

Dipl.-Phys. Andreas Kirchberger, Dipl.-Ing. Hans-Albert Wagner,
Dr.-Ing. Jörg Reissing, Dipl.-Ing. Horst Reichl
BMW Motorrad, München

Das Teilintegral-ABS in der neuen K 1200 S von BMW Motorrad

1 Einleitung

Die K 1200 S wurde von Anfang an konsequent als Sportmaschine konzipiert und ist ein eigenständiges Motorrad innerhalb der K-Familie von BMW Motorrad. Die K 1200 S hat keinen Vorgänger in der Modellpalette und kein Vorbild. Durch die Eigenständigkeit verkörpert sie das, was BMW unter einem Sportmotorrad versteht: höchste Fahrpräzision und Agilität, hervorragende Motor- und Fahrleistungen und gleichzeitig eine sichere und souveräne Beherrschbarkeit in allen Fahrsituationen. Die K 1200 S erzwingt keine Kompromisse, sondern sie vereint, was bisher als weitgehend unvereinbar galt: Sportlichkeit und Dynamik mit Komfort, leichtes Handling mit absoluter Fahrstabilität, Hochleistung mit Alltagstauglichkeit, schlanke und sportliche Erscheinung mit Wind- und Wetterschutz sowie ausgefeilter Ergonomie.

Als Bremssystem kommt bei der K 1200 S das bewährte Teilintegral-ABS zum Einsatz, wie es beispielsweise in der R 1200 GS verwendet wird. Dieses Bremssystem, das eine Alleinstellung auf dem Motorradmarkt darstellt, unterstreicht die sportliche Ausrichtung der K 1200 S. Es ermöglicht in Verbindung mit der Fahrwerksgeometrie und dem niedrigen Fahrzeugschwerpunkt die optimale Ausnutzung der Fahrbahnreibwerte. Bei der Adaption des Systems wurden folgende Punkte besonders beleuchtet und auf die fahrzeugspezifischen Randbedingungen angepasst:

- Verkürzung des Bremsweges innerhalb einer ABS-Regelbremsung
- Berücksichtigung des Beladungszustandes
- Gewichtsreduzierung
- Reduzierung der elektrischen Leistungsaufnahme während der ABS-Regelung durch eine Reduzierung der Aktivierungsenergie
- Kein Druckpunkt wandern
- Vollständige Eigendiagnose für eine hohe Systemsicherheit

2 Die neue K1200S

2.1 Rahmen und Fahrwerk der K 1200 S

Mit einem Gewicht von nur 11,5 kg ist der Rahmen der neuen K 1200 S eine sehr leichte und gleichzeitig sehr steife Aluminium-Verbundkonstruktion. Unterhalb der im Kokillengusskopf doppelt gelagerte Lenkeinheit wird die Abstützung und Lagerung des Duolevers aufgenommen. Die Schwinge wird im versteiften Kokillengussteil im hinteren Bereich der Motorlagerung aufgenommen. Die Triebwerkseinheit ist in die tragende Struktur des Motorrades eingebunden. Diese wird mit vier Festlagern auf der linken Seite und vier Hülsen mit Klemmlagern auf der rechten Seite spannungsfrei mit dem Aluminiumrahmen verschraubt. Die tiefe Anbindung des Rahmens wie auch der nach vorne geneigte Motor tragen zum außergewöhnlich tiefen Fahrzeugschwerpunkt bei und bieten daneben Packagevorteile für die Motorperipherie. Der Heckrahmen besteht ebenfalls aus verschweißten Aluminium-Strangpressprofilen. Bild 1 zeigt dazu Rahmen und Fahrwerk.



Bild 1: Rahmen und Fahrwerk der K 1200 S

Das erstmals im Serienmotorradbau eingesetzte Doppellängslenker-Prinzip stellt eine Innovation der Vorderradföhrung dar. Die Kinematik des neuen Duolever-Systems, die in Bild 2 dargestellt ist, erfüllt dabei gegensätzliche Anforderungen. Ein Gelenkviereck aus zwei nahezu parallelen Längslenkern, die drehbar im Rahmen gelagert sind, föhrt einen Radträger und ermöglicht die Hubbewegung. Der Radträger, ein leichtes Gussteil aus einer hochfesten Aluminiumlegierung, ist über zwei Kugelgelenke mit den Längslenkern verbunden und kann damit eine Lenkbewegung ausföhren. Lenkachse ist die Verbindungsgerade beider

Kugelgelenke. Die Übertragung der Lenkbewegung und die Entkoppelung vom Radhub übernimmt ein scherenartiges Gestänge. Der Lenker ist in herkömmlicher Weise im Rahmenkopf drehbar gelagert. Ein am unteren Längslenker angelenktes Zentralfederbein übernimmt die Federung und Dämpfung.



Bild 2: Kinematik der Vorderradführung

Die Geometrie der zwei Längslenker ist so abgestimmt, dass das Rad eine nahezu ideale Bewegung ausführen kann. Die Raderhebung folgt aufgrund der kinematischen Auslegung des Gesamtsystems einer fast geraden Bahnkurve, die so verläuft, dass sich Nachlauf und Radstand über den Federweg nur sehr geringfügig ändern. Die Erhebungskurve ist dabei leicht nach hinten geneigt, so dass das Rad beim Ein- und Ausfedern den Fahrbahnebenenheiten in natürlicher Weise folgt und in Wirkrichtung der Fahrbahnstöße ausweichen kann. In Kombination mit der reibungsarmen Drehbewegung der Längslenker, bleibt die Einfederung auch unter hoher Querkraft oder Stoßbelastung immer leichtgängig. Die Abstimmung kann ohne spürbare Komfortminderung straff gewählt werden, wie es für ein Sportmotorrad wünschenswert ist.

Die Kinematik des Duolevers sorgt für einen Bremsnickausgleich. Die Besonderheit ist, dass dieser über den gesamten Federweg annähernd konstant bleibt. Aus dem Bremsvorgang entstehende Längskräfte am Vorderrad verursachen nahezu keine Einfederung. Nur aus der dynamischen Radlastverteilung resultiert ein gewisses Eintauchen und gibt dem Fahrer die von der Telegabel gewohnte Rückmeldung über die Stärke der Bremsung.

Damit vereint der Duolever das von Sportfahrern gewünschte Feedback vom Vorderrad mit dem Komfort- und Sicherheitsvorteil eines Bremsnickausgleichs.

Hinterradführung und –antrieb erfolgen aufgrund der bewährten Vorteile durch eine neue Kardan-Antriebseinheit mit Paraleverschwinge, die erstmals Anfang 2004 in der R 1200 GS vorgestellt wurde. Deutlich steifer und leichter als ihre Vorgänger passt diese Leichtbau-Konstruktion hervorragend zum Konzept der neuen K 1200 S. Sie wurde konstruktiv an die Gegebenheiten des Vierzylinder-Antriebs angepasst und der höheren Motorleistung entsprechend dimensioniert. Hauptelemente der Neukonstruktion sind der Achsantrieb und die Schwinge selbst. Die Paraleverschwinge aus einer hochfesten Aluminium-Gusslegierung konnte besonders leicht ausgeführt werden, weil ihre Gestaltung und Dimensionierung sich genau an dem durch die Belastungen definierten Bedarf orientiert. Trotz ihres geringen Gewichtes hat sie eine höhere Steifigkeit als bisherige Schwingen. Geometrisch wurde sie auf 90% Nickausgleich ausgelegt.

Der Schwingendrehpunkt wurde verlegt und unterhalb des vorderen Kreuzgelenks der Antriebswelle angeordnet. Das ermöglichte die erwünschte schmale Bauweise der Lagerung und eine tiefe Fußrastenposition. Die Lagerung der Schwinge selbst liegt im steifen Hauptrahmen, der in diesem Bereich von einer hochstabilen Struktur aus Leichtmetallguss gebildet wird. Die Momentenabstützung für das Gehäuse des Hinterradantriebs liegt oberhalb der Schwinge und ermöglicht es, den Bremssattel unten anzubauen. Die Vorteile: besserer Wärmehaushalt und einfacher Radausbau. Der Drehpunkt für die Lagerung des Achsantriebsgehäuses in der Schwinge liegt unterhalb der Gelenkwellenachse. Das Gesamtsystem aus insgesamt sechs Gelenkpunkten wurde kinematisch so ausgelegt, dass über den gesamten Federweg keine wirksamen Längenänderungen im Antriebsstrang auftreten. So konnte ein zusätzlicher Längen- und Toleranzausgleich entfallen. Das Federbein ist über eine Hebelkonstruktion mit ca. 30% Progression nahe am Schwingendrehpunkt angelenkt und stützt sich über einen Ausleger am Hauptrahmen ab. Diese Progression ermöglicht ein sensibles Ansprechverhalten der Federung bei zugleich verbesserter Traktion und dennoch genügend Reserven für Fahrten zu zweit.

2.1. Die Bremsen der K 1200 S

Die K 1200 S ist mit dem bekannten EVO-Bremssystem ausgestattet, das auch in anderen Modellen der Boxer und K-Baureihe eingesetzt wird. Die Bremsschläuche sind stahlummantelt. Bremsscheibendurchmesser von 320 mm vorn und 265 mm hinten sorgen für größtmögliche Verzögerung auch aus höchsten Geschwindigkeiten und bei hoher Beladung. Beim Vorderrad sind die Bremsscheiben ohne Träger direkt an einen stabilen Radstern angebunden. Die hintere Bremsscheibe ist direkt mit dem Radflansch verschraubt.

Seine weiteren Vorzüge wie unerreicht schneller Bremsdruckaufbau und geringste Betätigungskräfte auch bei Maximalbremsung hat dieses System in

vielen Tests unter Beweis gestellt. Die EVO-Bremse von BMW – EVO steht für Evolution – gehört zu den sichersten und effektivsten Bremsanlagen auf dem Markt.

Für die K 1200 S wird diese Bremse serienmäßig in der sportlichen Teilintegralvariante angeboten. Teilintegral heißt, dass bei der Betätigung des Handbremshebels beide Bremsen (am Vorderrad und am Hinterrad) aktiviert werden und der Fußbremshebel allein auf die Hinterradbremse wirkt. Das Integral ABS wurde der sportlichen Auslegung der K 1200 S angepasst und die Regelung weiter optimiert. Bei der K 1200 S besteht auch bei einer Bremsung mit höchster Verzögerung so gut wie keine Überschlagsgefahr – ein Effekt des tiefen Schwerpunkts und der besonderen Fahrwerkgeometrie im Zusammenspiel mit der Kinematik des Duolevers. Die maximal mögliche Reifenhaftung kann somit von der ABS-Regelung auch bei Maximalbremsungen voll ausgenutzt werden, was ein Höchstmaß an Sicherheit auch in extremen Bremssituationen gewährleistet.

3 Systembeschreibung

3.1 Fahrphysik des Einspurfahrzeuges

Das Motorrad stellt beim Bremsen bezüglich seiner Randbedingungen ein sehr komplexes System dar. Die Fahrphysik ist durch seine im Vergleich zum PKW 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.

3.1.1 Reifencharakteristik

Auf den meisten gebräuchlichen, festen Fahrbahnen haben die Motorradreifen analog zu den PKW Reifen die gleiche Charakteristik (Bild 3). 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.

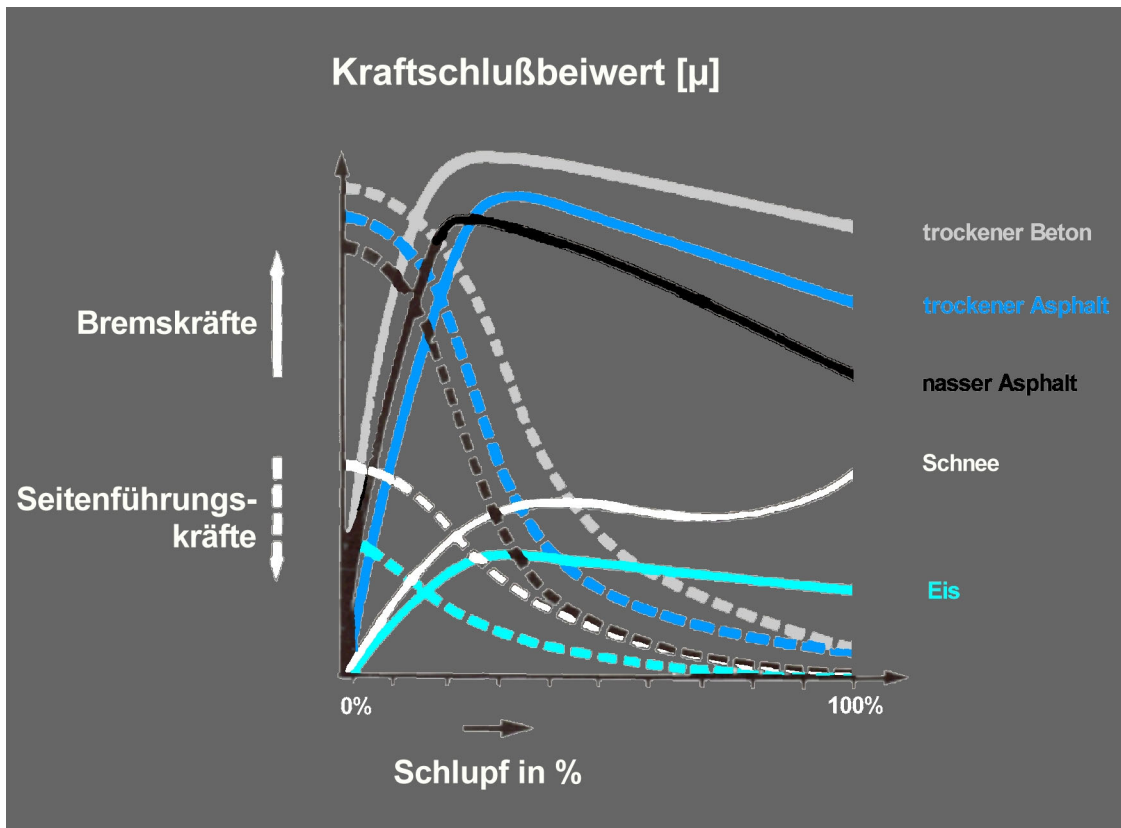


Bild 3: Kraftschlußbeiwert eines Motorradreifens

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.

3.1.2 Stabilität

3.1.2.1 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 3 ersichtlich ist, bei Geradeausfahrt und gerade gehaltenem Vorderrad in der Regel nach 200 bis 500 ms zum Sturz führt.

3.1.2.2 Abhebendes Hinterrad

Beim Verzögern eines Fahrzeugs kommt es zu einer verzögerungsabhängigen, fahrzeugspezifischen Radlaständerung (Bild 4). 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.

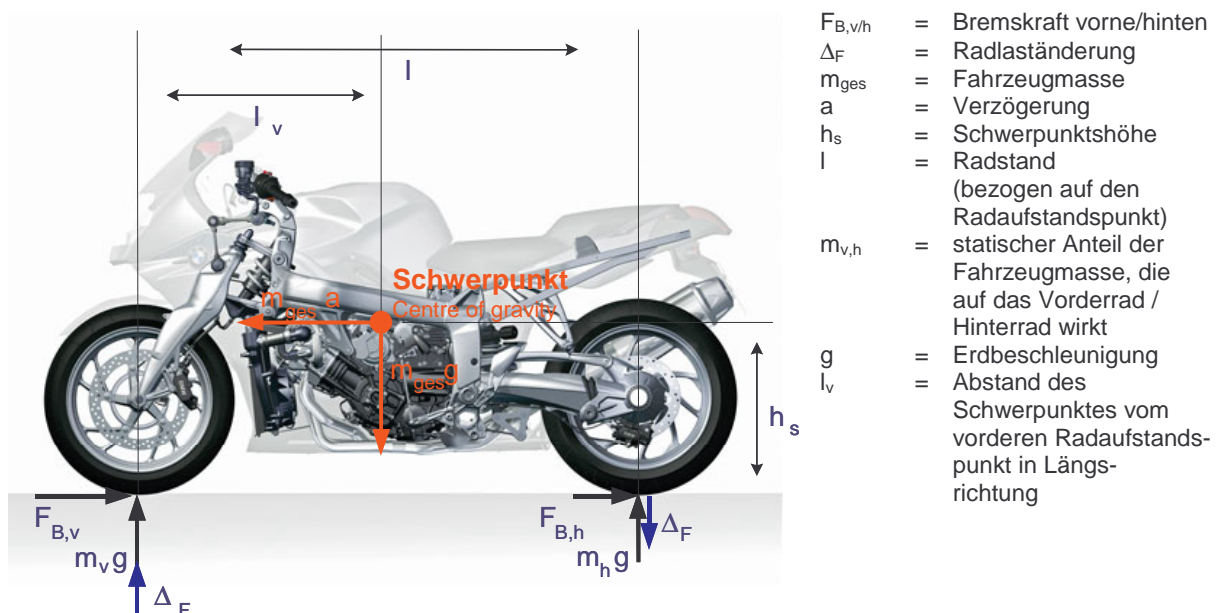


Bild 4: Schematische Darstellung der Radlaständerung

3.2 Systemaufbau

Bei Betätigung des Hauptbremszylinders am Hand- oder Fußbremshebel wird der Steuerkolben (Bild 5) 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 der Handbremse werden gegenüber einer konventionellen Bremse um ca. 30% verringert.

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.

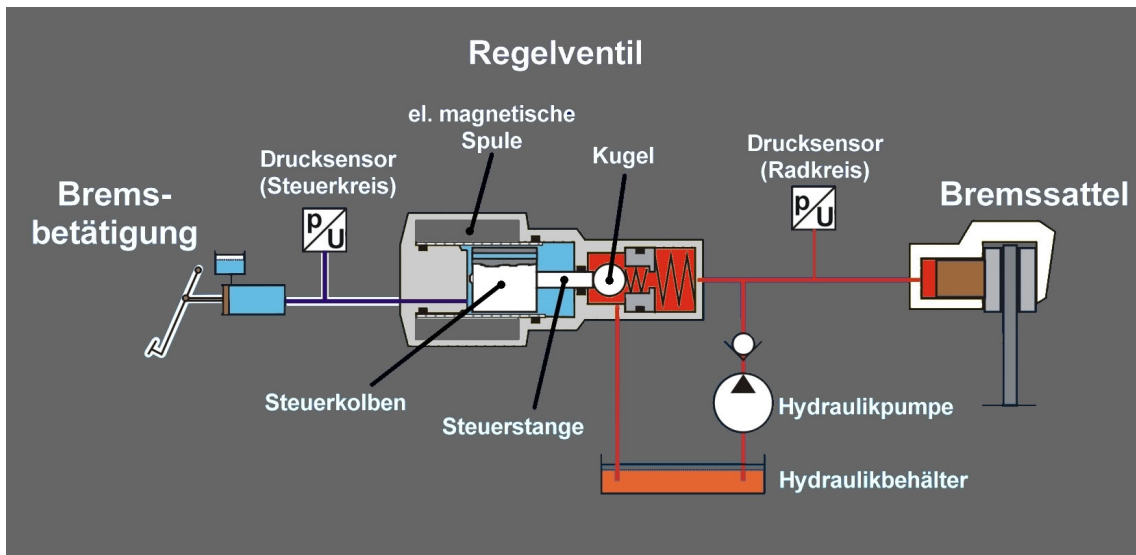


Bild 5: Aufbau des Integral-ABS-Regelventils

Deutlich einfacher im Vergleich zum Vorgängersystem 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.

3.3 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 Vorderradbremsdruck, entsprechend der fahrzeugspezifischen idealen Bremskraftverteilung geregelt.

3.4 Ideale Bremskraftverteilung

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

Aufgrund der Radlaständerungen beim Bremsen 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 6) gilt in seinem Verlauf auch bei Kurvenfahrt eines Motorrades.

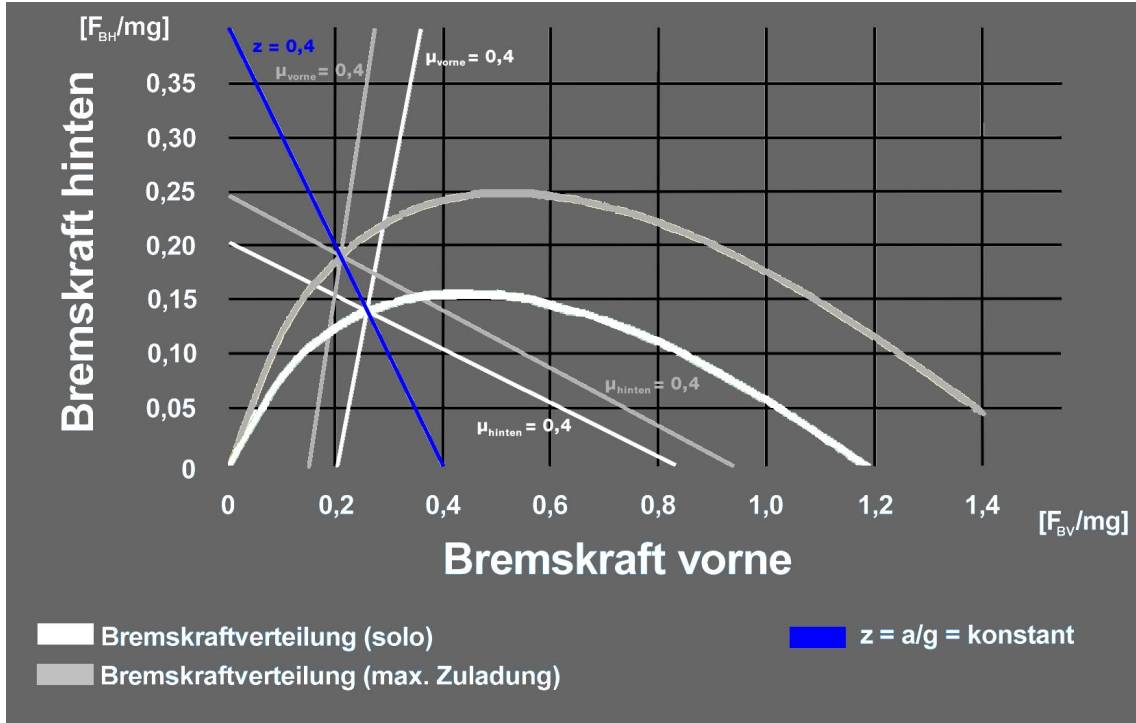


Bild 6: Ideale Bremskraftverteilung beim Motorrad

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.

3.4 Abheberegelung

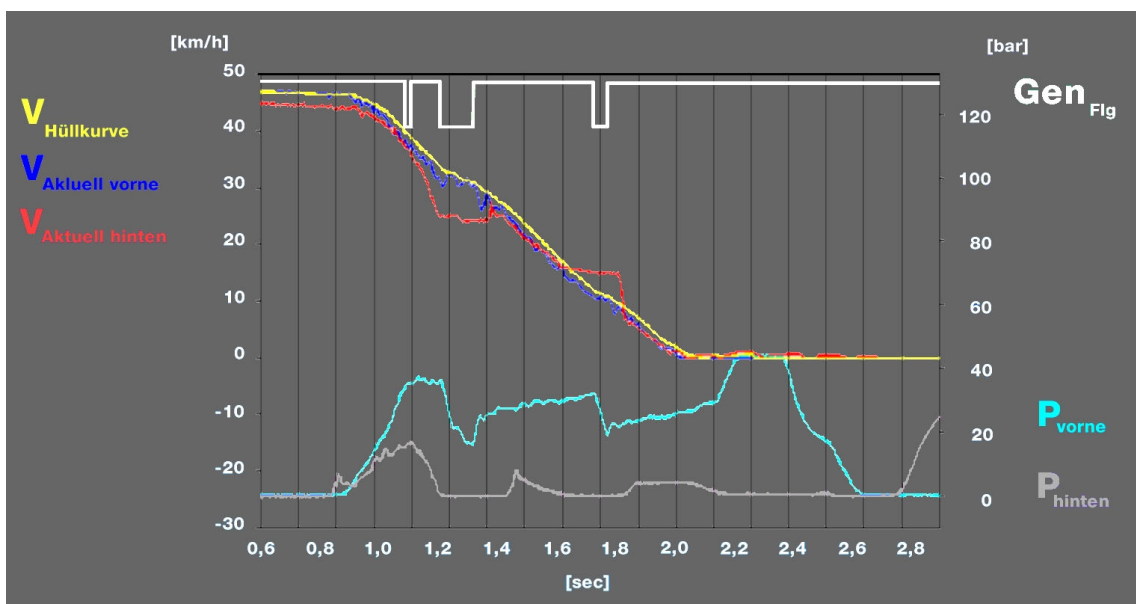


Bild 7: Raddrehzahlverläufe beim Hinterradabheben

Das Abheben des Hinterrades ist bei hohen Reibwerten einer entsprechenden Fahrbahn-Reifen-Kombination und starker Verzögerung möglich. Das BMW Teilintegral-ABS wertet die Radgeschwindigkeiten aus. Aus den bestimmten Radgeschwindigkeitsverläufen kann auf ein abhebendes Hinterrad geschlossen und entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden.

In Bild 7 ist ein zweimaliges Abheben des Hinterrades zu erkennen. Kurz nach Beginn der Bremsung bei $t = 1,1$ 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 Radbremssdruck 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 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 erhöht werden.

3.5 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 8 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 Radbremsskreis eingeschlossen. Dann wird der Restbremskolben verschoben, das der Pumpe nachgeschaltete Rückschlagventil schließt und der Radbremssdruck 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.

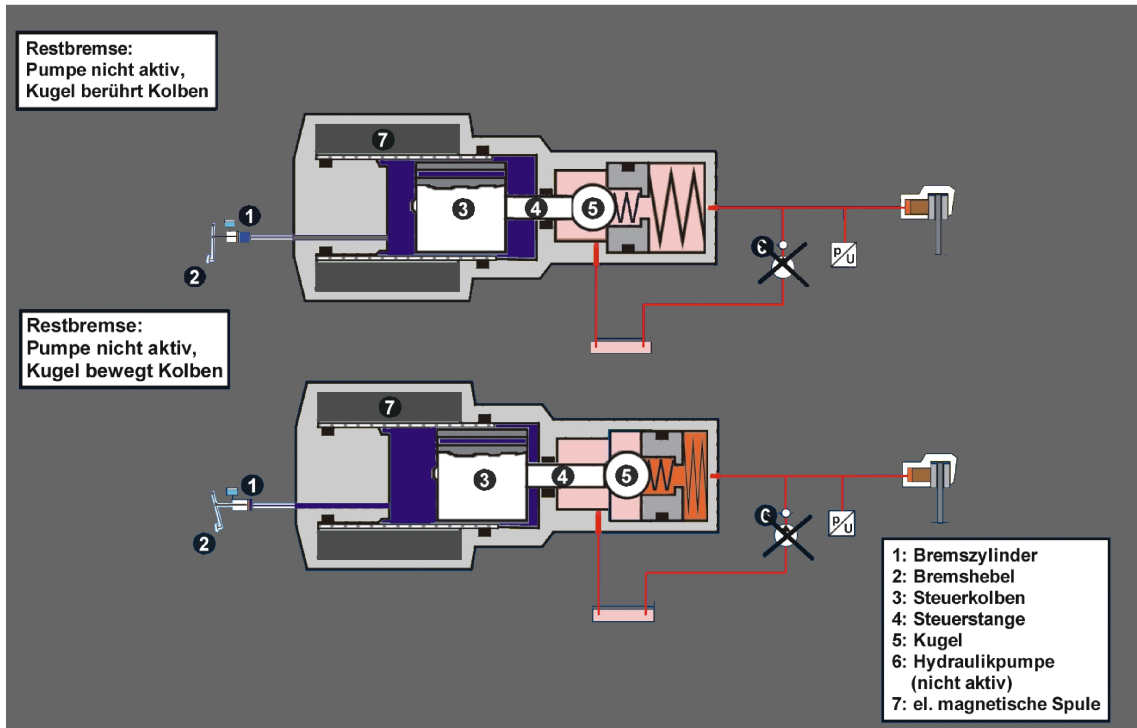


Bild 8: Funktionsweise der Restbremse

3.6 Kommunikation und Diagnosefähigkeit

Das Teilintegral-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 Anfahrsgeschwindigkeit 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.

Das ABS-Steuergerät bildet mit den weiteren Steuergeräten, die im Fahrzeug verbaut sind, einen gemeinsamen Kommunikationsverbund. Ein geordneter Datenaustausch zwischen den Steuergeräten ist dadurch möglich. Eine einfache und umfassende Diagnose des Gesamtsystems kann somit zentral durchgeführt werden. Die Elektronik filtert unwichtige Daten und Störsignale innerhalb einer definierten Toleranz aus. Dieses innovative Bordnetzkonzept bietet unter Einsatz von Elektronik und der CAN-Bus-Technologie (Controller Area Network) einen erheblich erweiterten Funktionsumfang gegenüber herkömmlichen Bordnetzen bei gleichzeitig deutlich verringertem Verkabelungsaufwand. Gewichtseinsparungen beim Kabelbaum und bei Komponenten, hohe Robustheit und umfassende Diagnosefähigkeit sind die wesentlichen Vorzüge dieser intelligenten Kombination von Elektrik und Elektronik.

4 Ergebnisse aus dem Fahrversuch

Die Dosierbarkeit des Bremssystems und die Rückwirkung der Fahrzeugverzögerung hat einen entscheidenden Einfluss auf das subjektive Sicherheitsempfinden des Fahrers. Deswegen wurde bei der Abstimmung des Teilintegral-ABS großes Augenmerk auf die Dosierbarkeit gelegt. Dazu sind in Bild 9 die Betätigungskräfte von Vorder- und Hinterradbremse in Abhängigkeit der Verzögerung dargestellt. Deutlich zu erkennen sind die geringen Betätigungskräfte der Handbremse. Die Handkraft zeigt hierbei einen degressiven Verlauf, der durch die ideale Bremskraftverteilung zwischen Vorder- und Hinterrad bedingt ist. Die Betätigungskräfte der Fußbremse, die nur auf das Hinterrad wirkt, steigt dagegen linear mit der Verzögerung an. Angepasst an die menschliche Motorik sind die Betätigungskräfte der Fußbremse bewusst höher gewählt, was den sportlichen Touch der Bremsanlage unterstreicht. In beiden Fällen vermittelt die gute Reproduzierbarkeit von Druckpunkt und Verlauf der Betätigungskräfte eine genaue Rückmeldung der Verzögerung.

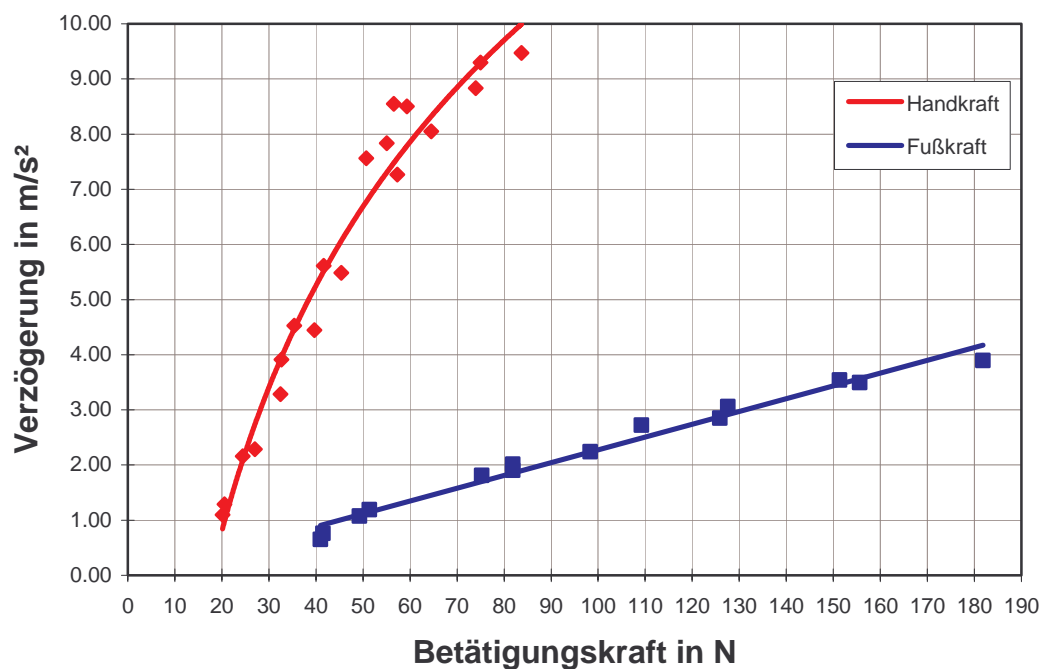


Bild 9: Verlauf der Betätigungskräfte

Als Beispiel für die Regelung an der Blockiergrenze zeigt Bild 10 den zeitlichen Verlauf der Fahrzeugverzögerung sowie die Verläufe der Radgeschwindigkeiten von Vorder- und Hinterrad bei einer Vollbremsung bis zum Stillstand. Zusätzlich sind in dem Diagramm die Bremsdrücke vom vorderen und hinteren Bremskreis eingezeichnet.

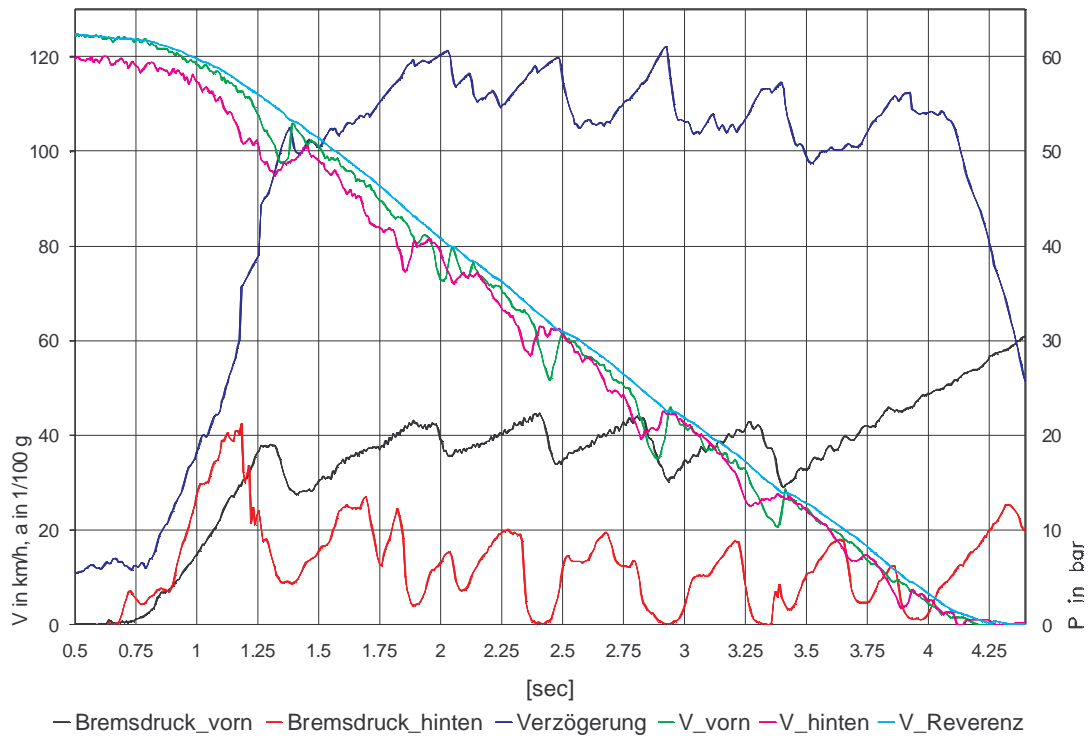


Bild 10: Zeitlicher Verlauf der Radgeschwindigkeiten und der Bremsdrücke bei einer Vollbremsung.

Wie dem Diagramm zu entnehmen ist, steigt mit ansteigendem Bremsdruck die Fahrzeugverzögerung bis zum ersten ABS-Regeleingriff stetig an. Nach dem ersten Regeleingriff und der damit verbundenen Druckreduzierung wird im folgenden der Bremsdruck wieder stetig angehoben. Der Druckanstieg des vorderen Bremskreises erfolgt dabei relativ moderat mit einem Druckgradienten von ca. 15 bar/sec. Diese Feinregelung des Bremsdruckes an der Blockiergrenze des Vorderrades hat sich als bester Kompromiss zwischen Bremsleistung und Fahrstabilität bei der K 1200 S herausgestellt. Dies wird durch das sehr hohe Niveau der Verzögerungswerte von bis zu 12 m/s² bestätigt.

Da aufgrund der Radlastverteilung beim Bremsvorgang das hintere Rad deutlich entlastet wird, muss bei blockierendem Hinterrad der Bremsdruck gegenüber dem Vorderrad deutlich verringert werden. Um die Fahrstabilität zu gewährleisten, muss teilweise der hintere Bremsdruck bis auf 0 bar reduziert werden. Der Druckaufbau erfolgt jedoch wesentlich schneller als beim Vorderrad.

Durch die Kombination des Teilintegral-ABS mit dem tiefen Schwerpunkt des Fahrzeuges und den sportlichen Reifenmischungen sind bei der K 1200 S auch für den Normalfahrer reproduzierbare, kurze Bremswege zu erzielen. Dies wird

durch Bild 11 verdeutlicht, welches die Bremswege aus einer Geschwindigkeit von 100 km/h von Motorrädern mit ABS-Systemen gegenüber stellt.

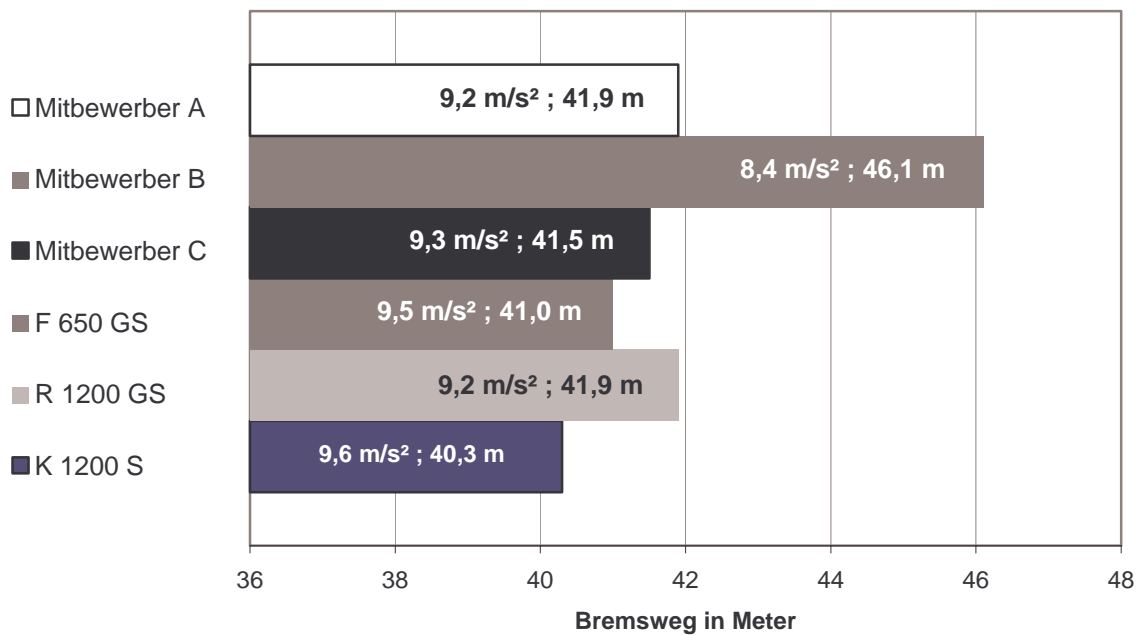


Bild 11: Gegenüberstellung von Bremswegen von Motorrädern mit ABS-Systemen

5 Zusammenfassung

Mit der neuen K 1200 S hat BMW Motorrad ein Motorrad vorgestellt, das eine Vielzahl von gegensätzlichen Ansprüchen und Eigenschaften in optimaler Weise vereinigt. Die souveräne Beherrschbarkeit in allen Situationen wird durch das Teilintegral-ABS Bremssystem unterstützt.

Das Teilintegral-ABS nutzt dabei die technischen Möglichkeiten der nunmehr dritten ABS-Generation bei BMW Motorrad und verbindet diese mit einem elektrisch-hydraulischen Bremskraftverstärker und adaptiver Bremskraftverteilung. Durch die optimierte Bremsdosierung, dem tiefen Schwerpunkt des Fahrzeuges und der Leistungsfähigkeit der EVO-Bremsanlage bietet es dem Motorradfahrer ein Höchstmaß an Sicherheit. Die intelligente Vernetzung der Steuergeräte im Fahrzeugverbund ermöglichen einerseits einen geordneten Datenaustausch zwischen den Steuergeräten. Andererseits ergeben sich durch den CAN-Verbund Vorteile im Fahrzeugpackage, die zu einer deutlichen Gewichtsreduzierung genutzt werden können.

Literatur:

- [1] Spiegel, B.: *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] Eberspecher, H.: *Verhaltenswissenschaftliche Aspekte der Motorradbremsung*, Auftaktsymposium besser bremsen, Essen 2001.
- [4] Braunsperger, M.; Beulich, S.; Wagner, H.-A.: *Das neue Integral ABS von BMW Motorrad*, ATZ 3/2001.
- [5] Thomas, J.: *R-frischend neu*, Zeitschrift Motorrad 8/2001.
- [6] Schwarz, W.: *Verzögerungstaktik*, Zeitschrift Motorrad 10/2001.
- [7] Stoffregen, S.: *Motorradtechnik, Grundlagen und Konzepte von Motor, Antrieb und Fahrwerk*, Vieweg Technik, Braunschweig/Wiesbaden 1999.
- [8] *Verzögerungstaktik*, Zeitschrift Motorrad 10/2001.
- [9] Schwarz, W.: *ABS-Vergleich*, Zeitschrift Motorrad 10/2004.
- [10] M. Braunsperger; G. Heyl: *Entwicklungstendenzen im Motorradbau aus Sicht von BMW*, Tagung Entwicklungstendenzen im Motorradbau, Haus der Technik, Zwickau, 2002.