

Technologiesprung: Federbein mit nichts als Luft

Das Contitech Luft-Feder-Dämpfer-System

Das Contitech-Federbein der BMW R 1200 GS / HP2 ist nicht nur zwei Kilo leichter als ein entsprechendes Ölgedämpftes Federbein, sondern auch von der Justierbarkeit ein doppelter Salto vorwärts. Mit seinen drei Luftkammern und dem Stülp-Balg ist dieses neue Federbein verschleiß- und leakagefrei abgedichtet und verfügt mit Hilfe der speziell geformten Tulpe über die ideale Federprogression für die BMW GS. Die Federprogression stellt sich zusätzlich automatisch und dynamisch in Echtzeit auf die Heftigkeit eines Einfedervorgangs ein.

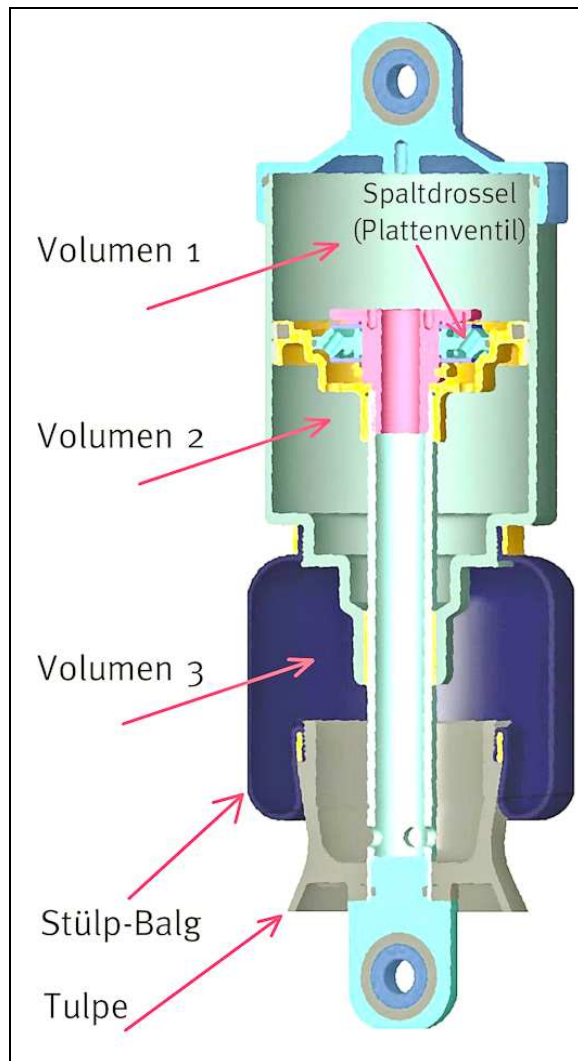
Manche Pisten sind eine Herausforderung - für Bike und Fahrer. Ungedämpft würde jede Art der Federung große Resonanzamplituden produzieren und die Räder bald den Straßenkontakt verlieren. Einen ganz neuen Weg geht BMW bei der HP2 mit der „Integrierten Luftdämpfung“. Zwei komplette Komponenten werden durch Luft ersetzt, sowohl die Feder als auch das Dämpferöl. Mit dem neuen adaptiven Dämpfungsprinzip kann eine bisher unerreichte Harmonie zwischen Federung und adäquater Dämpfung erreicht werden. Das Federbein ist mit nur einem Medium, nämlich Luft, in allen drei Kam-

mern gefüllt, deren Druck im Ruhezustand über alle Volumina gleichmäßig verteilt ist. Die Federung erfolgt durch die Kompression der Luft in letztendlich allen drei Volumina, die ausgefedert etwa 6 bar (*Fahrgewicht 75 Kilogramm*) aufweisen. Eine Kompression des Gesamtvolumens wird durch das Eindringen der Tulpe in den Stülp-Balg verursacht. Die Dämpfung hingegen funktioniert durch gedrosseltes Überströmen der Luft zwischen den drei intelligent verbundenen Kammern.

Funktion:

Ein Einfedern reduziert zunächst das Volumen 3 im Stülp-Balg. Gleichzeitig wandert der Dämpferkolben nach oben und reduziert das Volumen 1. Dadurch steigt der Druck in den beiden verbundenen Volumina V1 und V3. Volumen 2 hingegen vergrößert sich, hier sinkt der Druck zunächst. Man erhält ein mit dem Einfedern steigendes Druckgefälle zwischen V1 und V2. Es sorgt dafür, dass Luft durch die so genannte Spaltdrossel gedrückt wird. Der momentane Luftinhalt von V1 wird dabei ständig mit Luft aus V3 ergänzt, die ungehindert durch die Löcher in der Dämpferstange nachströmt. Somit muss sich bei einem kompletten Hub praktisch das Doppelte des auf 6 bar verdichteten ursprünglichen Luftvolumens V1 durch die

Spaltdrossel im Dämpferkolben in Richtung Volumen 2 quetschen.



Schnitt des Contitech Luftfederbeins

Bei der anschließenden Entspannung passiert dasselbe nur umgekehrt, wobei die Spaltdrossel der zurückströmenden Luft etwas mehr Widerstand entgegenbringt als beim Einfedern. Das entspricht der bisher üblichen unterschiedlichen Dämpfung von Druck- und Zugstufe. Technisch ist die Dämpfung damit bei überschaubaren Abmessungen fast beliebig zu steigern und außerdem ganz einfach durch die Wahl des Ausgangsdrucks einzustellen.

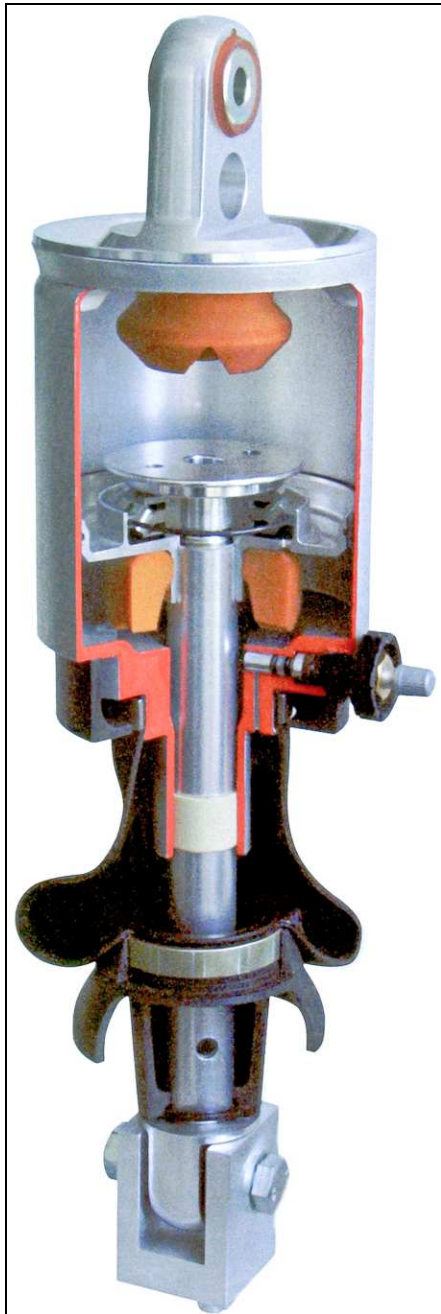
Zusätzliche Effekte:

"Die Physik bietet uns einen weiteren Vorteil ...", erklärt Dirk Hoffmeister von Contitech, der Firma, die das Patent von Henning Gold zur Marktreife geführt hat.

Bei dieser Dämpfung führe die kontinuierliche und lastabhängige Dichteänderung der Luft zu einer automatischen Anpassung der Dämpfungs- und Federwirkung, je nach Belastung, sowohl bezüglich des Hubs, als auch der Frequenz. Davon unabhängig gelte: Je höher das Gewicht ist, das auf die Gasfeder einwirkt, desto höher wird auch die Dämpfungsleistung. "Damit haben wir praktisch einen selbst einstellenden Dämpfer", fasst Hoffmeister zusammen. Diese Eigenschaft kommt nicht nur der Universalität einer einmal getroffenen Einstellung zugute, die sowohl für Autobahn als auch Gelände taugt, sondern ermöglicht dem Fahrer wesentlich größere Freiheit in der Federeinstellung, ohne die bislang manchmal schwierige Anpassung der Dämpfung in Zug- und Druckstufe. Bei BMW behauptet man sogar kühn, damit eine simple Adaption an die Beinlänge des Fahrers zu ermöglichen, was unserer Ansicht nach allerdings enge Grenzen haben wird. Die Libelle am Heckrahmen ermöglicht ein sinnvolles und genaues Austarieren des Fahrzeugs mittels Luftdruck im Federbein bei unterschiedlicher Beladung.

Sonderfall Wellblech und Kopfsteinpflaster:

Bei hochfrequenten Schwingungen, wie sie Kopfsteinpflaster oder Pisten-Wellblech erzeugen, ist der Luft-Dämpfer den bisherigen Lösungen deutlich überlegen. Bei hohen Frequenzen und kleinen Hübem strömt bei ölgedämpften Federbeinen immer der gleiche Teil des Dämpferöls durch die Drossel und wird immer wärmer. Das Öl verhält sich durch seine Massenträgheit sehr steif, fast wie eine Stange, weil seine Masse in der Röhre immer hin und her beschleunigt werden muss. Beim Luftdämpfer sind die Luftpolster im Dämpfer kompressibel und produzieren wesentlich geringere Kräfte. Sowohl Komfort als auch die Lebensdauer profitieren davon und übertreffen die bisherigen Lösungen. Gibt das Einstellrad die Bypassöffnung frei, wird die Dämpfung, und damit auch die gefühlte Federhärte, durch eine zusätzliche Verbindung zwischen V2 und V3 reduziert.



Das BMW-Pressbild-Schnittmodell des Luftdämpfers mit Füllventil, Bypass-Handrädchen und Polymeranschlagpuffern (orange). Es stiftete etwas Verwirrung beim Versuch, die Funktion zu verstehen.

Vorteile:

- natürliche Progression der Federrate bei hoher Belastung - der Druck im System steigt mit der Temperatur
- natürliche Progression der Dämpfung bei hoher Beanspruchung - die Viskosität der Luft steigt mit der Temperatur und der Dichte

- frequenz- und hubabhängige Dämpfung mit automatischer Anpassung an die Beladung
- bislang unerreichte Gewichtsreduktion
- hohe Durchschlagssicherheit
- komplette Rundum-Abdichtung, Leckage nur diffusionsbedingt
- das Losbrechmoment ist wesentlich geringer als bei Öldämpfern
- völlig unempfindlich gegen Sand und Staub
- kein temperaturbedingtes Nachlassen der Dämpfung durch die Viskositätsänderung des Öls bei hoher Beanspruchung
- einfache Anpassungsmöglichkeit an die Zuladung
- bedingte Sitzhöhenanpassung

Nachteile:

- bislang irreparabel bei Störungen
- ein eventuelles Leck im Stülp-Balg kann nicht abgedichtet werden
- kaum Notfahreigenschaften

Allgemeine Funktionsweise von Stoßdämpfern:

Beschleunigungskräfte durch Unebenheit der Fahrbahn werden mit elastischen Ausweichbewegungen abgefedert. Ungedämpft kommt es zum so genannten Nachschwingen: Federelemente jeder Art wirken als Energiespeicher. Sie geben zunächst der Stoßkraft nach und nehmen die Energie auf, um sie wieder zurückzugeben. Dabei schwingt das Fahrzeug über die Ausgangslage hinaus. Bei einem einzelnen Stoß wäre dies nicht weiter störend, bei kurz aufeinander folgenden Stößen kommt es jedoch in der Regel zu Resonanzerscheinungen und Wippbewegungen mit großem Hub, die bis zum Verlust des Bodenkontakts der Räder führen können. Eine Dämpfung ist also erforderlich. Mit gezielten Reibungsverlusten kann das Nachschwingen gemildert oder vermieden werden. Bereits die Reibung in der Führung von Telegabeln

macht sich positiv bemerkbar. Ideal erwiesen sich bislang die Öldämpfer: Mit dem Eintauchen der Federung wird Öl durch enge Kanäle gepresst, was durch die Reibung zu einer definierten Dämpfung führt. Über Ventile lässt sich der Ölfluss so steuern, dass die Reibung beim Zurückfedern höher ausfällt, als beim Einfedern.

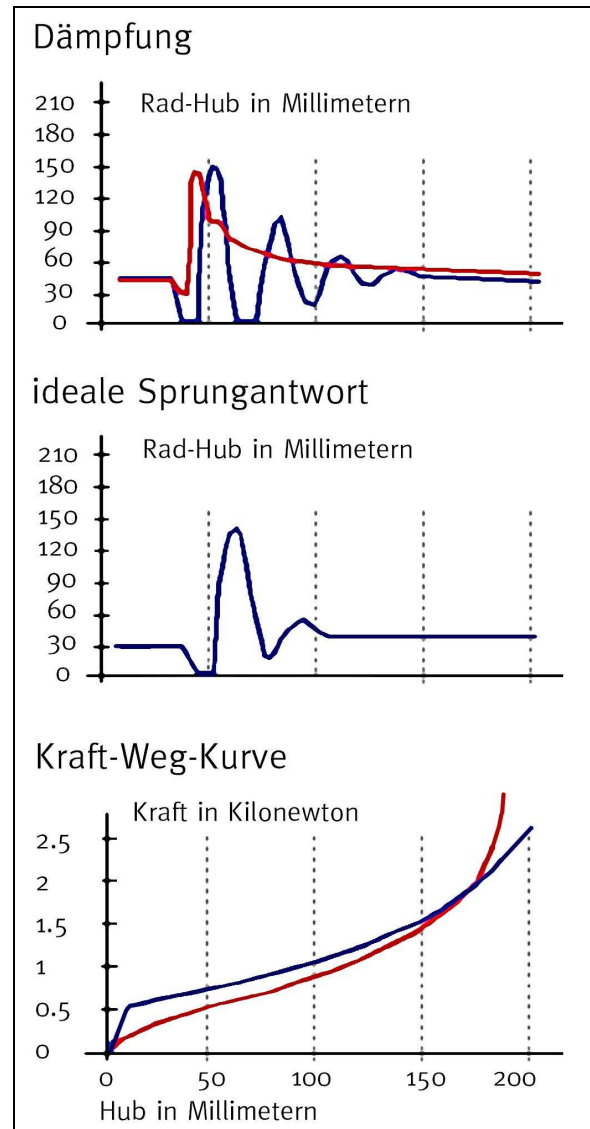
Zu hohe Dämpfung

Wird solch ein Vorgang überdämpft, ist die Federung noch nicht wieder in die Ausgangslage zurückgekehrt, bevor der jeweils nächste Stoß kommt. Das Federungssystem taucht dann weiter und weiter ein, bis der Anschlag erreicht ist. Es ist daher verständlich, dass sich beim Set-Up (der genauen Federbeeinstellung) alles um die Harmonie zwischen Federung und Dämpfung dreht. Theoretisch braucht jeder Fahrer, jede Strecke, jede Zuladung und jedes Tempo eine andere Feder- und Dämpfereinstellung. Motocross-Fahrer haben früher nicht lange gefackelt und alles so eingestellt, dass das Fahrwerk, die Landungen nach den weiten Sprüngen ausgenommen, genau ein Mal pro Runde durchschlägt. Das neue BMW-Federbein kann hier automatisch für eine wesentlich gutmütigere und selbst anpassende Harmonie sorgen.

Physik der Gase:

Beim Komprimieren eines Gases steigt nicht nur der Druck, sondern auch die Temperatur. Das merkt man beim Luftpumpen mit der Fahrradpumpe, bei der es vorne ganz schön warm wird. Diese Temperatursteigerung beim Komprimieren wird von unserem Federbein gleich in vielfältiger Weise ausgenützt.

1. Zur „spontanen Progression“: Angenommen die HP 2 landet nach einem Sprung im Gelände auf dem Hinterrad. Das immer noch stolze Gewicht des Boxers drückt nachhaltig auf die Dämpferstange und komprimiert die gesamte Luft. V3 und V1 gehen also sehr schnell gegen Null. Die Temperatur steigt rapide an und unterstützt die Federwirkung mit zunehmendem Hub.



Oben blau: Ungedämpfter Rad-Hub, relativ zum Bike, nach dem Herunterfahren einer Bordsteinkante. **Rot:** leicht überdämpfte Reaktion.

Mitte: perfekt gedämpfte Sprungantwort

Unten blau: Progressiv gefedertes, herkömmliches Federbein mit deutlichem Losbrechmoment. **Rot:** das neue BMW Luftfederbein

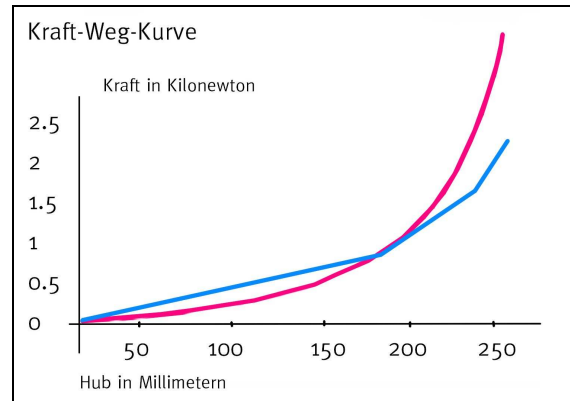
Zeit für den Wärmeaustausch ist kaum vorhanden, der Vorgang kann daher frei nach Denis Poisson als „fast adiabatisch“ bezeichnet werden, also fast ohne Wärmeübergang an die Umwelt. Eine derart fantastische Progression ist mit keiner auch noch so progressiv gewickelten Feder möglich.

2. Bei heftiger Beanspruchung wird der gesamte Luftinhalt durch häufige Hübe insgesamt wärmer. Daraus folgt ein genereller Druckanstieg und somit eine höhere Federrate und gleichzeitig eine stärkere Dämpfung.

3. Bei Wellblech oder Kopfsteinpflaster, also bei hochfrequenter und kurzhubiger Belastung wird nur der kleiner Teil der Luft warm, der ständig in der Spaltdrossel hin und her wandert. Der Rest des Luftvolumens bleibt lange Zeit unbeeinflusst, sodass es nicht zu einer in diesem Fall unerwünschten Verhärtung des Federbeines kommt.

Fazit:

Der BMW-Contitech Luftdämpfer ermöglicht eine ungeahnt komfortable, teils automatische Anpassung an viele mögliche Betriebszustände, unterschiedliche Pisten und Zuladungen, die mit herkömmlichen Federbeinen nicht zu schaffen wäre. Durch sein fast halbiertes Gewicht gegenüber herkömmlicher Technik hat er ein zweites durchschlagendes Verkaufsargument.



Blau: dreifach progressives Cross-Federbein in herkömmlicher Technik

Rot: adiabatische „Spontanprogression“ beim Luft-Federbein