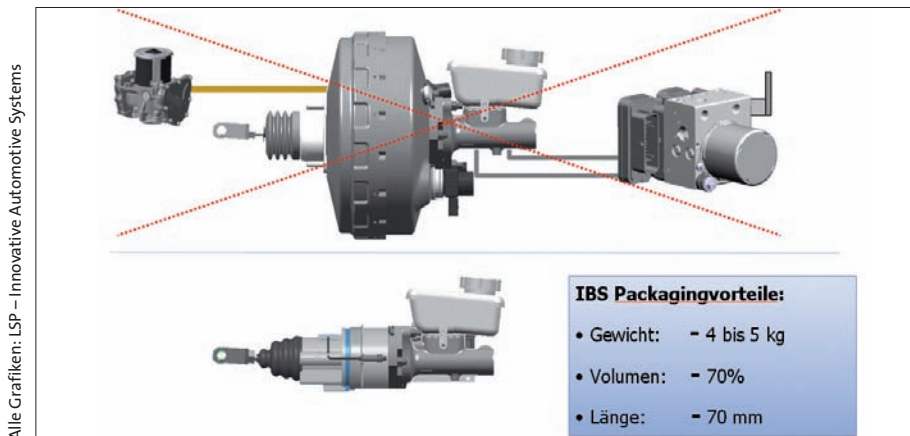


# Das ABS von morgen

1965 wurde das ABS erfunden, aber weltweit kommt beim ABS bis heute dasselbe Konzept zur Drucksteuerung mit Ein-/Auslassventil und Rückförderpumpe in einer separaten Baueinheit zum Einsatz. Ein **INTEGRIERTES BREMSYSTEM** mit hochdynamischer und genauer Drucksteuerung nutzt jetzt einen EC-Motor, um sowohl die Bremskraftverstärkung als auch die Druckmodulation zu steuern.



**Bild 1:** Ein heute übliches ABS-System im Vergleich zu einer bereits fortgeschrittenen Konstruktion des IBS (Integriertes Brems-System).

Seit seiner Serieneinführung im Jahr 1978 durchlief das Antilockiersystem ABS verschiedene Entwicklungsstufen von der separaten Anordnung der Hydraulikeinheit zur Druckmodulation bis zur Integration dieser Funktion in einen hydraulischen Bremskraftverstärker. Aus Kostengründen hat sich letztere am Markt nicht durchgesetzt. Dasselbe gilt für die vollelektrische Bremse EMB oder auch die Variante Keilbremse. Eine neue Basis liefert später ein System, das in Bild 4 dargestellt ist.

Für eine hohe Funktionalität wurde die elektrohydraulische Bremse entwickelt, die heute nur in speziellen Fahrzeugen und Hybridfahrzeugen wie beispielsweise dem Toyota Prius zum Einsatz kommt. Ende der 1980er Jahre wurde ein sogenanntes Multiplex-Verfahren untersucht, bei dem der Aktuator sowohl die Bremskraftverstärkung als auch die Druckmodulation übernimmt, indem zur Druckreduzierung der HZ-Kolben gegen die Fußkraft zurück gestellt wird. Dieses Konzept hat wegen der starken Pedalrückwirkung, hohem Geräuschniveau und unbefriedigendem Zeitverhalten früher nicht befriedigt.

## EC-Motor

Durch die Neuentwicklung eines ungewöhnlichen schnellen EC-Motors bestand die Möglichkeit, dieses Verfahren

in einer Integration von Aktuator und Drucksteuerung umzusetzen und die beschriebenen Nachteile durch eine adaptive hochdynamische Drucksteuerung zu lösen.

Bild 1 zeigt den Vergleich des heutigen separaten ABS/ESP mit Vakuumbremskraftverstärker und Vakuumpumpe mit einer bereits fortgeschrittenen Konstruktion des IBS (Integriertes Brems-System), das erhebliche Vorteilen in punkto Gewicht, Bauvolumen und Einbaulänge bietet. Das IBS besteht im Wesentlichen aus Pedalinterface, EC-Motor mit Spindel, konventionellem HZ-Zylinder und parallel liegendem kleinem Ventilblock. Die ECU am Ventilblock hat eine elektrische Verbindung zu den Magnetventilen, Druckgeber, Sensoren und EC-Motor.

Bild 2 zeigt im Vergleich einen Überblick der Drucksteuerung zwischen konventionellem ABS/ESP, auch EHB zu IBS. Hier kommt für jede zu steuernde Radbremse je ein Einlass- und Auslassventil zur Druckmodulation zum Einsatz. Der Druckabbau erfolgt in die Speicherkammer. Die Rückförderpumpe fördert das entsprechende Volumen zum Hauptzylinder zurück, was zum bekannten pulsierenden Pedal führt, wobei der Regler die Höhe des Druckabbaus und -aufbaus bestimmt. Dies geschieht über eine Zeitsteuerung der Ventile, welche aufwändig und von beschränkter Genau-

igkeit ist (siehe obere Bildhälfte). Beim IBS bewegt der E-Motor über eine Spindel den Hauptzylinderkolben, welcher das Volumen zum Druckaufbau und -abbau zu den Radbremsen befördert. Zwischen diesem und jeder Radbremse ist ein Schaltventil angeordnet, welches zur Drucksteuerung geschaltet wird. Hierbei können die Radbremsen in der Regel nacheinander, aber bei IBS auch gleichzeitig (simultan) gesteuert werden. Der große Unterschied in der Drucksteuerung zu konventionellen Systemen besteht darin, dass die vom Regler vorgegebene Druckänderung in eine Volumensteuerung über Positionssteuerung des HZ-Kolbens umgesetzt wird.

Da der Regler die abgebildete Druckvolumenkennlinie jeder Radbremse kennt, ist eine sehr genaue Drucksteuerung möglich, bei der zusätzlich die Druckänderungsgeschwindigkeit um Faktoren größer gewählt werden kann als heute. Die schnellen und genauen Druckänderungen der einzelnen Radbremsen erfordern eine sehr hohe Dynamik und Regelgenauigkeit des EC-Motors. Bei Fahrzeugerprobungen wurden insbesondere bei glatten Fahrbahnen (beispielsweise auf Eis) im Vergleich zum konventionellen System erhebliche Bremswegverkürzungen bei höherer Fahrzeugstabilität und Regelgenauigkeit erzielt, während Geräusch und Pedalrückwirkung kaum wahrnehmbar sind.

## Bremsen-Management

Bild 3 zeigt das zukünftige Bremsenmanagement, welches durch Einfluss von Hybridfahrzeugen und Assistenzsystemen geprägt ist. Bei Hybridfahrzeugen erzeugt der Generator zur Rekuperation der Bremsenergie ein Bremsmoment, welches im Bremsenmanagement den Fahrerwunsch nach einer gewissen Abbremsung als einen entsprechenden Soll-druck für das IBS vorgibt. Dabei gibt der Fahrer durch Pedalweg und -kraft den Sollwert vor. Während der Abbremsung ergänzt der hydraulische Aktuator das notwendige Bremsmoment zum Generator, das stark schwankend ist. Grün gezeichnet sind die zusätzliche Potenziale

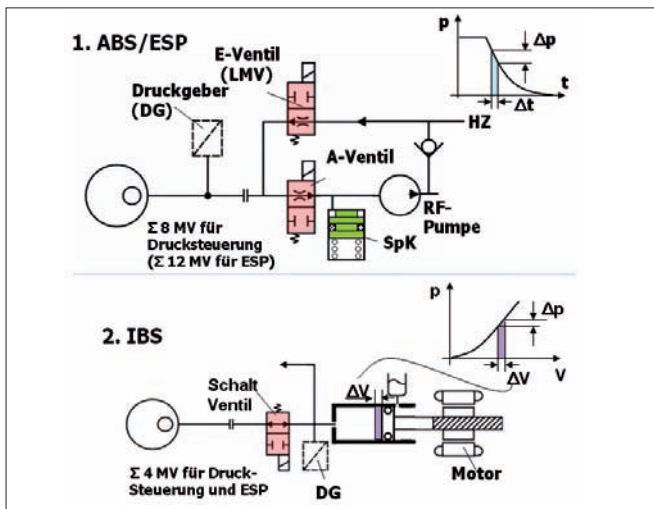


Bild 2: Überblick der Drucksteuerung.

mit ABS, zum Beispiel dass Fahrzeugverzögerung, Fahrzeuggewicht und Anhängerlast mitgerechnet werden, indem der Fahrer seine Pedalkraft sowie den Pedalweg nicht mehr beispielsweise der unterschiedlichen Bremswirkung anpassen muss. Für kleinere Menschen, die in der Regel eine geringere Fußkraft haben, kann die Verstärkung variabel angepasst werden.

Bekanntlich lösen sich die Bremsbeläge im Normalfall, zum Beispiel ohne forcierte Kurvenfahrt, nicht voll von der Bremsscheibe, so dass sie ein nicht vernachlässigbares Restmoment erzeugen, das zusätzlich Kraftstoff erfordert und somit einen höheren CO<sup>2</sup>-Ausstoß zur Folge hat. Beim IBS kann durch entsprechende Kolben mit Ventilsteuerung ein kleines Lüftspiel erzeugt werden, was das Restmoment nennenswert reduziert.

**Bremsen im Elektrofahrzeug**

Ausgehend von Bild 3 benötigt das Elektrofahrzeug diese Funktionalität; die Reibungsbremse bleibt bestehen, da die Bremsmomente selbst bei einem 1000-kg-Fahrzeug nicht vom Generator

geliefert werden können. Es stellt sich dann die Frage, ob ein modernes elektrohydraulisches Bremssystem oder eine vollelektrische Bremse zum Einsatz kommen soll.

Im Rahmen der Entwicklung des 42-V-Bordnetzes wurde intensiv an der vollelektrischen Bremse entwickelt. Bekanntlich benötigt die Vorderradbremse höhere Bremsmomente und damit höhere Betätigungskräfte zum Anlegen der Bremsbeläge. Dafür genügte 12 V nicht, aber mit 42 V konnte der entsprechende EC-Motor dargestellt werden. Baugröße und Gewicht waren im Vergleich zur konventionellen hydraulischen Bremse unvorteilhaft. Die Entwicklung wurde nach dem Stopp des 42-V-Bordnetzes nicht mehr fortgeführt.

Danach wurde für längere Zeit mit viel Aufwand bei mehreren Firmen die Keilbremse entwickelt, welche in Folge der Selbstverstärkung 12-V-tauglich war. Wegen der hohen Kosten und Komplexität (unter anderem zwei EC-Motoren pro Radbremse) wurde die Entwicklung eingestellt. Neuerdings entwickeln Ingenieure in Österreich an einer elektrischen

Bremse unter Einsatz von Hebelwirkung zum Bremsbelag.

Bild 4 zeigt im Vergleich die wesentlichen Komponenten. Vielfach wird davon ausgegangen, dass der Ersatz der hydraulischen Leitung einen großen Vorteil darstellt, was zweifelsohne für die Wartungsfreiheit gilt, da bekanntlich bei der hydraulischen Bremse in größeren Zeitabständen die Bremsflüssigkeit getauscht werden muss. Dies wird im ohnehin notwendigen Serviceintervall erledigt, und die Kosten bewegen sich bei weniger als 50% eines Satzes Bremsbeläge.

Beim Wechsel zur elektrischen Leitung muss berücksichtigt werden, dass mehrere Leitungen (etwa 5) zum elektrischen Aktuator benötigt werden – und zwar mit mehreren Steckverbindern (siehe Bild). Hierdurch ergibt sich ein beträchtlicher Kostenunterschied. Auch in der Zuverlässigkeit ist die hydraulische Leitung deutlich überlegen, da bei der Radbremse extreme Bedingungen bezüglich Temperatur, Schmutz und Salzwasser vorliegen.

Im Aufwandsvergleich sind deutliche Unterschiede erkennbar: beispielsweise 5 anstelle von 1 EC-Motor, 5 anstelle von 1 ECU. Alle ECUs benötigen einen hoch sicherheitsrelevanten Aufbau – inklusive der ECU am Radaktuator. Eine zweite Batterie als Redundanz ist ebenfalls notwendig. Im Gewicht kann die elektrische Bremse auch nicht punkten, dasselbe gilt für die Funktionalität.

Nach 6-jähriger Entwicklung mit 2 Wintererprobungen hat das IBS einen hohen Reifegrad erreicht, der eine Beurteilung aller Fakten ermöglicht. ←

Dr. Thomas Leiber ist Geschäftsführer der LSP – Innovative Automotive Systems GmbH.

infoDIRECT [www.all-electronics.de](http://www.all-electronics.de)

Link zu LSP

321AEL0510

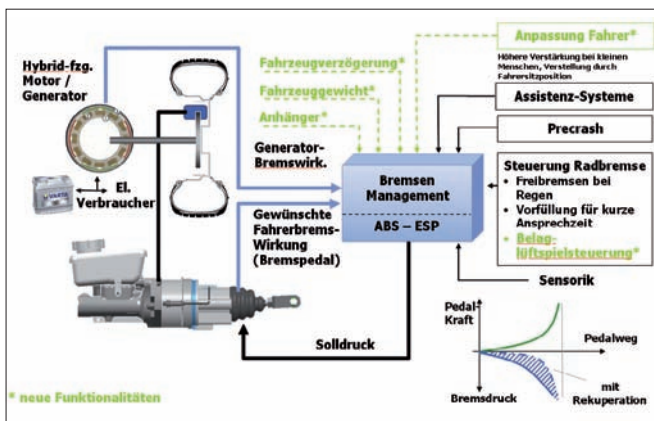


Bild 3: Das zukünftige Bremsenmanagement.

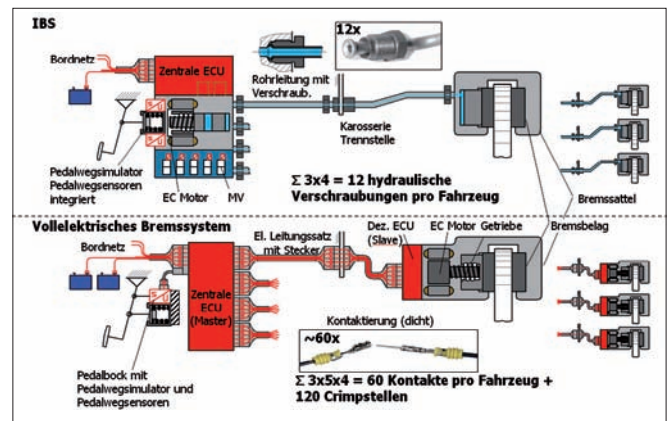


Bild 4: IBS und voll elektrisches Bremssystem im Vergleich.