

Das Parkbremssystem des neuen 7er BMW

BMW AG
Gerhard Brösicke
München

Zusammenfassung

Bei der „Parkbremse“ handelt es um ein automatisiertes Feststellbremssystem, das im neuen 7er BMW weltweit erstmalig serienmäßig zum Einsatz kommt. Dem Bediener wird die Erzeugung der Feststellkraft durch die Verfügbarkeit einer elektromechanischen bzw. hydraulischen Hilfskraft abgenommen. Als Bedienelement wird ein Taster in der Instrumententafel verwendet. Der Systemzustand wird dem Fahrer durch eine separate Kontrollleuchte und ggf. Hinweistexte im Kombi-Display angezeigt. Sollte während der Fahrt eine Notbremsung mit der Parkbremse erforderlich sein, erfolgt dies mit Hilfe der DSC-Hydraulik, die einen Bremsdruck an allen vier Rädern aufbaut. Die Einbeziehung aller Fahrwerksregelfunktionen während des Bremsvorgangs sowie die gegenüber herkömmlichen Feststellbremsen erheblich höhere Verzögerungswirkung tragen zu einer erhöhten aktiven Fahrzeugsicherheit bei.

Neben den üblichen Funktionen einer Feststellbremse - Feststellen und dynamisch Notbremsen - steht dem Fahrer mit „Automatic Hold“ eine zusätzliche Komfortfunktion zur Verfügung. *Automatic Hold* bewirkt bei Erreichen des Stillstandes mit Hilfe der DSC-Hydraulik ein automatisches Halten des Fahrzeugs. Das Lösen der Bremse erfolgt ebenfalls automatisch durch Betätigung des Fahrpedals.

Diese innovative Funktion unterstützt den Fahrer im Stop & Go Verkehr oder beim Ampelstopp, da das bei Automatikgetriebe typische Leerlauf-Kriechen des Fahrzeugs unterdrückt wird und beim Anfahren an Steigungen, indem ein ungewolltes Rückrollen des Fahrzeugs vermieden wird.

Die *Parkbremse* des 7er BMW ist eine Innovation, die zur weiteren Erhöhung der Sicherheit und des Komforts beiträgt. *Automatic Hold* entlastet den Fahrer von ermüdenden wiederholten Bremsvorgängen und erleichtert das Anfahren am Berg.

1. Einleitung

Die Entwicklung moderner Premiumfahrzeuge ist geprägt durch den Trend zu einem immer größeren Sicherheits- und Komfortangebot. Die angestrebte Differenzierung zwischen den Herstellern und Fahrzeugklassen erfolgt dabei in immer größerem Maße durch den intensiven Einsatz der Elektronik. Nahezu alle Funktionen, die vom Bediener das Aufbringen einer Betätigungskraft erfordern, werden heute durch Fremd- und Servoantriebe unterstützt. Was mit dem Bremskraftverstärker und der Servolenkung begann, hat sich mit elektrischen Fensterhebern, Schiebedachantrieben, Sitzverstellungen, Tür- und Haubenschließern fortgesetzt. In diesem Zusammenhang stellt die elektrische Feststellbremse eine folgerichtige Kontinuität dieser Entwicklung dar. Der neue 7er BMW, verfügt neben einer Vielzahl von anderen Innovationen über ein neuartiges Feststellbremssystem. Dieses System wird bei BMW „Parkbremse“ genannt. BMW bietet mit der *Parkbremse* das weltweit erste elektrische Feststellbremssystem in der Großserie an.

2. Produktbeschreibung

Die 7er *Parkbremse* wurde in Zusammenarbeit mit den Firmen Siemens-VDO und Bosch entwickelt. Die Entwicklungsziele waren neben der selbstverständlichen Erfüllung der gesetzlichen Vorschriften, die Bereitstellung höchster Systemsicherheit, bester Bremswirkung und des höchst möglichen Bedienkomforts. Dies beinhaltet eine aktive Fahrerunterstützung bei Anfahrvorgängen und Stop & Go Verkehr. Darüber hinaus ist dieses System als langfristige Innovationsbasis und Vorstufe zu künftigen „Brake by wire“ Systemen zu sehen. Bei der *Parkbremse* handelt es um ein automatisiertes, komfortorientiertes Feststellbremssystem, das im 7er als Serienausstattung zum Einsatz kommt. Dem Bediener wird die Erzeugung der Feststellkraft durch die Verfügbarkeit einer Fremdkraft abgenommen.

Neben den üblichen Funktionen einer Feststellbremse - Feststellen und dynamisch Abbremsen - steht dem Fahrer bei Aktivierung des *Automatic Hold* Modus eine zusätzliche Komfortfunktion zur Verfügung. Bei dieser Funktion wird das Fahrzeug im Stillstand automatisch festgebremst. Das Lösen der Bremse zum Anfahren geschieht ebenfalls automatisch durch Betätigen des Gaspedals.

3. Konzept der 7er *Parkbremse*

Die Darstellung der Systemfunktionalität erfolgt durch eine Kombination aus DSC-Hydraulik (DSC = Dynamic Stability Control) mit Eingriff auf die Betriebsbremse aller vier Räder sowie einer im Gepäckraumboden zentral angeordneten elektromechanischen Stelleinheit, die über konventionelle Bremsbowdenzüge auf die Duo-Servo Feststellbremse der Hinterachse wirkt. Als Bedienelement wird ein in der Instrumententafel angeordneter Taster verwendet. Der Systemzustand wird dem Fahrer durch eine Kontrollleuchte und ggf. Hinweistexte im Kombiinstrument angezeigt. Das in die Stelleinheit integrierte Anbausteuergerät steht mit dem Steuergerät der DSC und der Fahrzeugperipherie (Instrumentenkombi, Motorsteuerung DME, Getriebe...) über den Fzg.-CAN-Bus in Verbindung. Für die Aufnahme einer Bremsanforderung seitens der *Parkbremse* wird im DSC-Steuergerät eine separate Schnittstelle bereitgestellt. Bei Ausfall der Systemverfügbarkeit oder unzureichender Energieversorgung ist eine vom Kofferraum bedienbare manuelle Notentriegelung vorgesehen, die über einen direkten Eingriff in die Getriebemechanik ein Lösen der Stelleinheit ermöglicht.

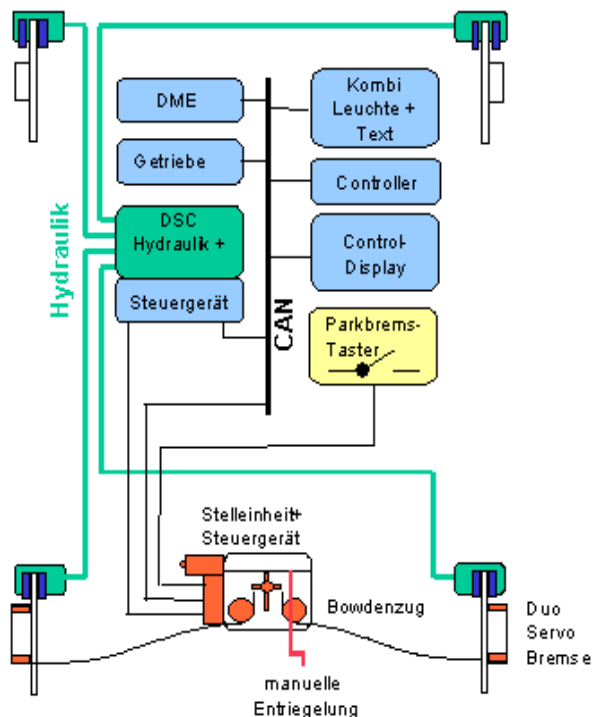


Bild 1: Systemarchitektur Parkbremse

4. Funktionsbeschreibung

4.1 Feststellen

Bei abgestelltem Fzg.-Motor wird das Feststellen des Fzgs. durch die elektromechanische Stelleinheit geleistet. Der Antrieb ist durch einen Software-Algorithmus so geregelt, dass eine vorgegebene Soll-Stellkraft erreicht wird. Systemveränderungen durch z. B. Verschleiß, Setzerscheinungen oder Teilaustausch werden berücksichtigt. Bei laufendem Fzg.-Motor werden alle statischen und dynamischen Feststellbremsvorgänge mit Hilfe der DSC-Hydraulik umgesetzt. Wird im Stillstand der Parkbrems-Taster betätigt, erfolgt über die DSC-Hydraulikpumpe ein Bremsdruckaufbau an allen vier Rädern. Während der hydraulischen Haltephase ist eine Stillstandsüberwachung aktiv, die bei Erkennen einer geringfügigen Fahrzeugbewegung (Radsensoren) (z.B. Beladung des Fzgs. am Hang) aktiv Druck nachfördert. Durch erneuten Tasterdruck wird die Bremse wieder gelöst. Ausgehend von einem betätigten Zustand erfolgen beim Starten bzw. Abstellen des Fzg.-Motors automatische Übergänge von mechanischer Stelleinheit auf die Hydraulik bzw. umgekehrt.

4.2 Automatic Hold

Diese Funktion steht dem Fahrer bei laufendem Motor nach Aktivierung im *Control Display* zur Verfügung. Die Aktivierung der *Automatic Hold* Funktion kann auch auf die individuell programmierbare Taste des Multifunktionslenkrades gelegt werden. Das Halten des Fahrzeugs erfolgt automatisch bei Erkennen des Stillstandssignals. Dem Fahrer wird die benötigte Brems-Fußkraft zum Halten des bei Automatikgetriebe typischen Leerlauf-Kriechens des Fahrzeugs abgenommen. Dadurch wird insbesondere bei Stop & Go Verkehr zur Fahrerentlastung beigetragen. Zunächst wird der Bremsdruck, den der Fahrer mit dem Pedal zum Abbremsen des Fzgs. in den Stillstand aufgebracht hat, im Hydrauliksystem „eingesperrt“. Kommt das Fzg. ohne Bremsbetätigung zum Stillstand (Ausrollen lassen), wird es automatisch durch aktiven Druckaufbau mit Hilfe der DSC-Hydraulikpumpe gehalten. Das Lösen der Bremse geschieht bei eingelegerter Getriebefahrstufe automatisch durch Betätigen des Gaspedals. Die Automatisierung des Halte- und Lösevorgangs unterstützt das Anfahren an Steigungen, da ein ungewolltes Rückrollen des Fahrzeugs vermieden wird (Hillhold-Funktion). Aus Sicherheitsgründen wird die *Automatic Hold* Funktion beim Verlassen des Fahrersitzes, beim Öffnen der Motorhaube oder der Kofferraumklappe in Getriebestellung „R“ und beim Abstellen des Motors selbsttätig ausgeschaltet. Das Fzg. wird gleichzeitig automatisch festgestellt.

4.3 Dynamische Abbremsung

Befindet sich das Fahrzeug in Bewegung erfolgt unabhängig von der Bedienebene und vom Betriebszustand des Motors bei Betätigung des Parkbrems-Tasters eine definierte Verzögerungsanforderung an die DSC-Hydraulik. Bei der dynamischen Bremsung muss aus Sicherheitsgründen der Taster für die Dauer des Bremsvorganges betätigt bleiben. Nach Loslassen des Tasters wird der Bremsdruck sofort wieder abgebaut. Wird die Bremsung bis zum Stillstand fortgeführt, wird das Fzg. anschließend automatisch festgestellt. Da die Bremsung hydraulisch auf die Betriebsbremse aller vier Räder erfolgt, sind gegenüber herkömmlichen Feststellbremsen wesentlich höhere Verzögerungen bei minimaler Bedienkraft (Taster) möglich. Der Verzögerungsverlauf ist theoretisch bis zur Schlupfgrenze parametrisierbar. Er wurde für den 7er so festgelegt, dass die Verzögerung bei einem Wert von 3 m/s^2 beginnt und innerhalb 3 s auf 5 m/s^2 ansteigt. Der Bremsvorgang wird durch die ABS-Regelfunktion überwacht. Dadurch ist die Stabilität des Fahrzeugs während der Bremsung optimal gewährleistet. Wegen der hohen Verzögerungswirkung wird der nachfolgende Verkehr durch Aufleuchten der Bremslichter gewarnt. Die geregelte dynamische Abbremsung ist ein wesentlicher Vorteil der 7er *Parkbremse* und trägt damit zu einer erhöhten aktiven Sicherheit bei.

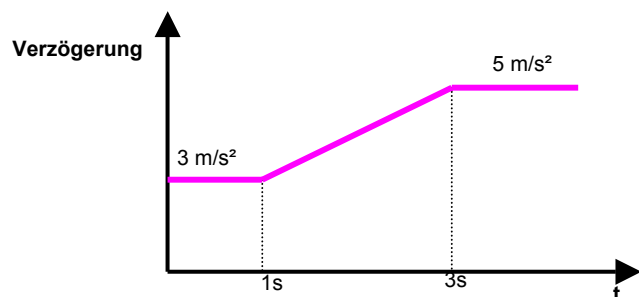


Bild 2: Verzögerungsverlauf dynamische Abbremsung

5. Auslegung der Mechanik

Die Bremskraft der Duo Servo Bremse wurde so festgelegt, dass die 7er-Fahrzeugvariante mit dem höchst zulässigen Gesamtgewicht in einer Steigung von 32% sicher gehalten wird. Weitere Parameter zur Bestimmung der erforderlichen Stellkraft sind der Reibradius der Bremsstrommeln, der Belagkennwert der Duo Servo Bremse und der statische Radradius. Unter Berücksichtigung ungünstiger Toleranzbedingungen ergibt sich eine Soll-Stellkraft an der Spindel von 3600 N, die zu gleichen Teilen auf die rechte und linke Seite aufgeteilt wird. Die Stellzeiten sind abhängig von den vorherrschenden Betriebsbedingungen. Die Motordrehzahl und das Moment werden von der verfügbaren Bordspannung und der Wicklungstemperatur beeinflusst. Bei 12 V und 20°C wird die volle Stellkraft nach ca. 1,5 s erreicht, wobei die Bremswirkung i.d.R. wesentlich früher bereitsteht (abh. v. Reibverhältnissen, Hinterachslast u. Hangabtriebskraft). Bei manuell betätigten Feststellbremsen wird die Anzugskraft i.d.R. situationsbedingt (abhängig von der Fahrbahnneigung) aufgebracht. Da nicht auszuschließen ist, dass sich die Neigung auch nach dem Feststellen noch ändert, (z.B. Duplex-Garage oder Fzg.-Verladung) ist aus Sicherheitsgründen immer vom ungünstigsten Zustand auszugehen und bei jedem Anziehvorgang die volle Stellkraft aufzubringen. Wegen der einfachen und komfortablen Bedienung ist möglicherweise mit einer häufigeren Anwendung zu rechnen. Zur Gewährleistung der Betriebsfestigkeitsanforderungen war in Zusammenarbeit mit der Fa. ALKO die Entwicklung spezieller Bowdenzugseile erforderlich.

6. Komponenten

6.1 Elektromechanische Stelleinheit

Die Elektromechanische Stelleinheit wird im Kofferraumboden versenkt in einer Montagewanne aus Kunststoff angeordnet und wirkt über Bowdenzüge auf die Duo Servo Bremsen der Hinterachse. Das Kernstück bildet ein stabiles Gehäuse aus Aluminium-Druckguß. Es dient zur Aufnahme des Antriebsmotors, des Anbausteuergerätes, der Getriebebauteile und der Kraftübertragungselemente auf die Seile der Bowdenzüge. Das Drehmoment des Antriebsmotors wird mit einer Getriebemechanik in drei Stufen untersetzt und durch einen Spindeltrieb in eine Axialbewegung umgewandelt. Auf der Spindelmutter ist ein Waagebalken angebracht, der zum Ausgleich von Längentoleranzen und zur gleichmäßigen Aufteilung der Spindelkraft auf die linke und rechte Seite dient. Der Waagebalken wirkt über Verbindungslaschen auf zwei Seilumlenkscheiben, in die die Endnippel der Bowdenzüge eingehängt sind. Die Bowdenzughülsen stützen sich direkt am Gehäuse ab. Dadurch wirkt die gesamte Einheit nach außen hin kraftfrei. Dies hat den Vorteil, daß keine Reaktionskräfte in die Karosserie geleitet werden müssen. Auf aufwendige Halter und Abstützvorrichtungen kann daher verzichtet werden. Die aufgebrachte Stellkraft wird nach Erreichen des Sollwertes über rein mechanische Mittel gehalten. Dazu dient ein in das Getriebegehäuse integriertes Schlingfeder-element. Diese Methode gestattet eine von der Selbsthemmung unabhängige Auslegung der Getriebekomponenten und die Verwendung von Kunststoff für die Zahnräder.

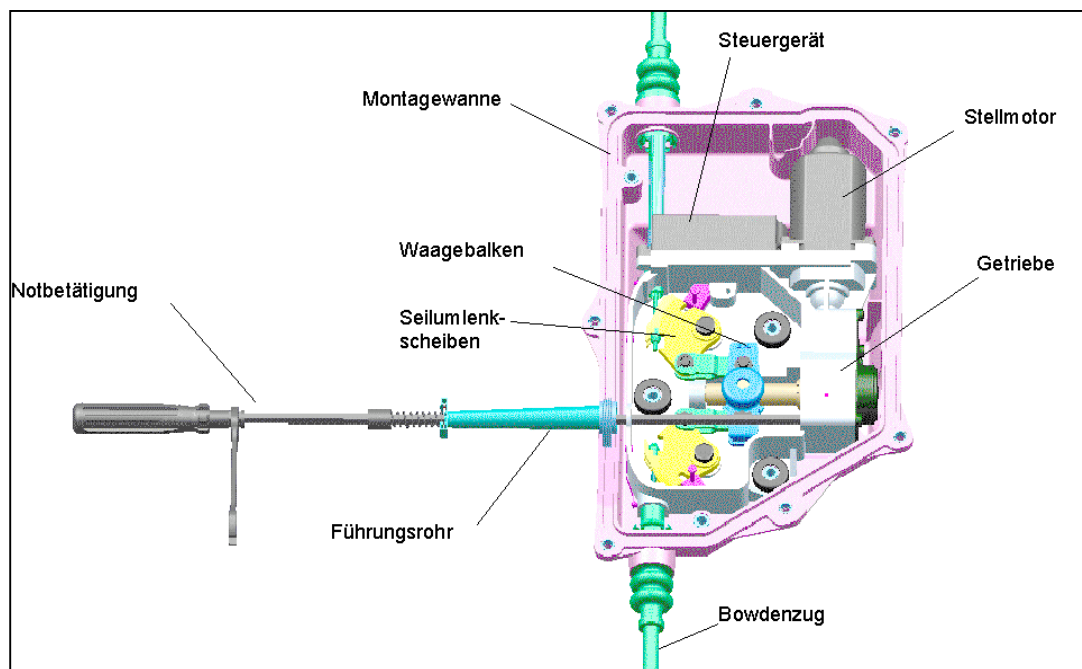


Bild 3: Elektromechanische Stelleinheit

6.2 Steuergerät

Es kommt ein Anbausteuergerät zum Einsatz, das sowohl die Steuerelektronik als auch die Schaltung der Leistungselektronik für den Antrieb sowie die Steckerleiste für den Kabelanschluss enthält. Auf der beidseitig bestückten Platine ist auch das Bürstenelement des Gleichstrommotors angeordnet. Innerhalb des Bürstenelementes sind zwei Hallgeber zur Drehrichtungs-, Positions- und Drehzahlfassung integriert. Der Motor wird mit einer H-Brücke aus diskreten P-MOSFETs angesteuert. Der Motorstrom wird dabei durch PWM-Taktung geregelt. Ein CAN-Treiber stellt die Verbindung zum PT-CAN des Fzgs. her. Es kommt der Prozessortyp C161CS-16FF von Infineon zum Einsatz. Dieser besitzt 128kB flash und 8 kB RAM. Die Flashbarkeit ist durch die Bordnetzstruktur des 7er grundsätzlich vorgegeben. Sie ermöglicht eine große Flexibilität während der Entwicklungsphase der Software. Auch nach Auslieferung an den Kunden sind so Updates oder Funktionserweiterungen ohne Austausch des

Steuergerätes möglich. Die Prozessorfunktion wird durch einen Watch-dog kontrolliert. Das Steuergerät muss bei Tasterbetätigung aus dem Sleep Modus aufweckbar sein. Über den Wake Up Ausgang wird daraufhin der gesamte Fzg.-CAN geweckt. Um die Weckfunktion und Diagnosefähigkeit zu ermöglichen, ist der Taster redundant ausgelegt. Zur Darstellung des Sicherheitskonzepts bestehen ein diskreter Eingang der Raddrehzahl sowie eine separate Signalleitung zum DSC-Steuergerät. Mit Hilfe dieser Signale wird eine Hardware-Verriegelungsschaltung realisiert, deren Ausgangssignale in Abhängigkeit von der Radgeschwindigkeit das Lösen oder Anziehen der Stelleinheit freigeben. In das Steuergerät ist eine Eigendiagnose implementiert, welche erkannte Fehler im EE-PROM ablegt. Funktionskritische Signale (Fzg.-Geschwindigkeit) sind durch Redundanzen abgesichert. Mit dem Durchlaufen verschiedener unabhängiger Softwarepfade werden Plausibilitätschecks durchgeführt. Durch das EE-PROM ist die Software in der Lage, Betriebsdaten unabhängig von der Spannungsversorgung nichtflüchtig abzulegen. Darüber hinaus können fahrzeugspezifische Daten oder Funktionsumfänge und Parameter durch Codierung flexibel festgelegt werden. In Verbindung mit einem Werkstatt-Diagnose-Rechner kann das Gerät über die CAN-Schnittstelle analysiert und parametrisiert werden.

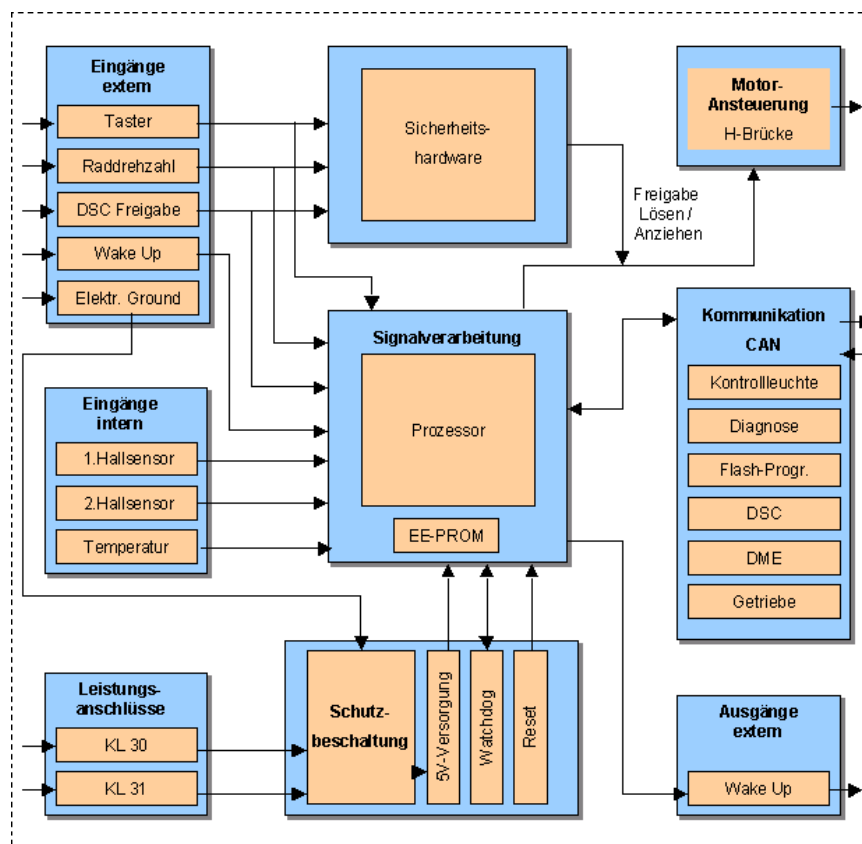


Bild 4: Blocksaltbild Steuergerät

6.2.1 Kraftregelung

Die Kraft am Bremsseil muss unabhängig von den Einflussgrößen Bordnetzspannung, Temperatur, Motoralterung, Streuung der Motorcharakteristik, Bremsbelagverschleiß, Bremsseillängenänderungen reproduzierbar konstant eingestellt werden. Der Antrieb verfügt dazu über ein inkrementelles Sensorsystem. In das Bürstenelement sind zwei Hall-IC's zur Drehzahl- und Positionserfassung integriert. Durch Einmessen der Motordrehzahl unter Berücksichtigung der momentanen Betriebsbedingungen (Motorspannung, Temperatur) und Einbeziehung der im Fertigungsprozess im Steuergerät abgelegten individuellen Motor-Charakteristik kann die am Antrieb anliegende Stellkraft berechnet werden. Veränderungen im Gesamtsystem, die durch Verschleiß, Setzerscheinungen der Kraftübertragungselemente oder Austausch von Teilen im Reparaturfall entstehen, werden durch eine entsprechende Stellwegreserve berücksichtigt. Auf diese Weise war es möglich, auf jegliche Einstellarbeiten am Band zu verzichten.

7. Bedien- und Anzeige-konzept

Da es sich bei der *Parkbremse* um eine neuartige System handelt, wurde dem Bedien- und Anzeige-konzept hinsichtlich Logik, Transparenz und Sicherheit viel Aufmerksamkeit geschenkt. Zur Bedienung der *Parkbrems*-Funktionen sind zwei separate Betätigungselemente vorgesehen. Mit einem Taster, der im Bereich der Instrumententafel angeordnet ist, können in Abhängigkeit von der Fzg.-Geschwindigkeit die Grundfunktionen Feststellen / Lösen (Stillstand) bzw. dynamisch Abbremsen (Fzg. in Bewegung) analog zu konventionellen Feststellbremsen manuell bedient werden. Durch die bauraumsparende Betätigungseinrichtung ergibt sich die Möglichkeit einer ergonomisch günstigen Anordnung. Ein zweites Bedienelement wird durch ein Schaltfeld im *Control Display* dargestellt. Die Bedienung und Aktivierung des Bildschirmmenus erfolgt durch den zentralen *Controller*. Mit diesem Bedienteil kann auf Fahrerwunsch die *Automatic Hold* Funktion aufgerufen bzw. ausgeschaltet werden. Zusätzlich kann diese Funktion auch auf die individuell programmierbare Taste des Multifunktions-Lenkrades gelegt werden. Auf diese Weise besteht die Möglichkeit, diese Funktion schnell und ohne Ablenkung vom Verkehrsgeschehen zu bedienen. Die Bedienung der *Parkbremse* durchläuft in Abhängigkeit vom Betriebszustand des Fzg.-Motors mehrere Ebenen. Im Ruhezustand und in der manuellen Ebene bei eingeschalteter Zündung übernimmt die elektromechanische Stelleinheit die Feststellfunktion. Bei eingestecktem Zündschlüssel ist jederzeit durch Tasterbetätigung ein Anziehen und Lösen der Feststellbremse möglich. Bei abgezogenem Zündschlüssel ist nur das Feststellen möglich, das Lösen wird aus Gründen der Kindersicherung unterbunden. Ab Motorstart kommt die DSC-Hydraulik zum Einsatz. Diese Übergänge laufen automatisch ohne jegliches Zutun des Fahrers ab.



Bild 5: Bedientaster



Bild 6: Anzeigeleuchten

Parkbremsleuchte
variable Anzeigeleuchte
Infocenter CC-Meldungen

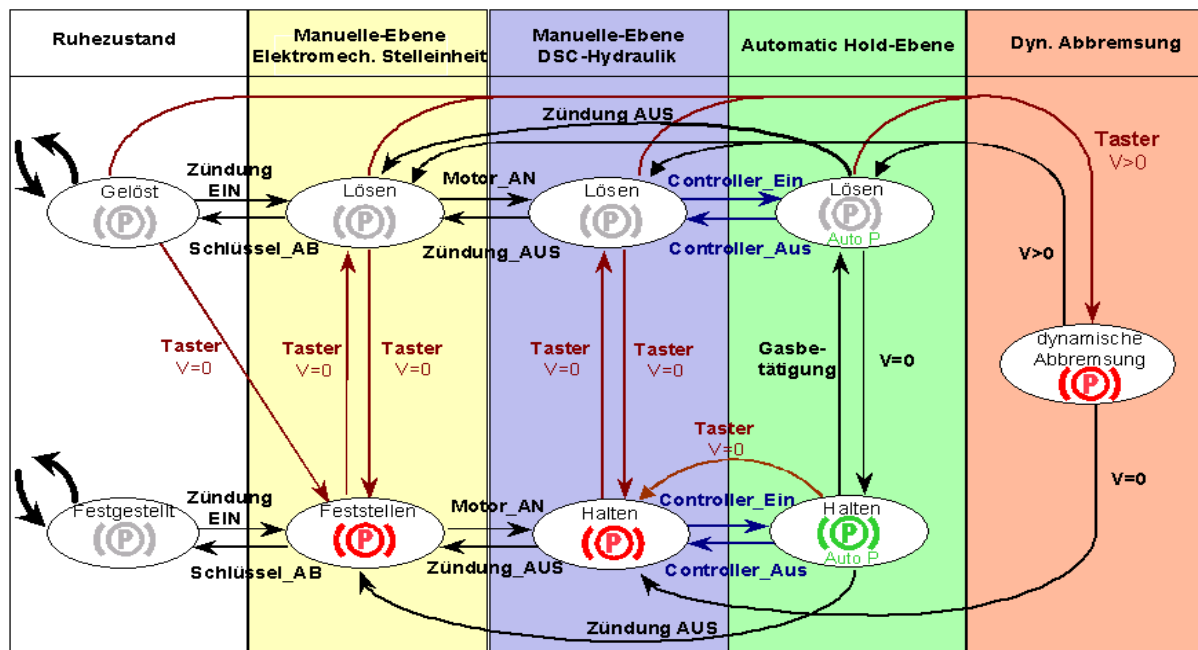


Bild 7: Bedien- und Anzeige-konzept

Bei laufendem Motor ist bei Bedarf zusätzlich die *Automatik Hold* Funktion verfügbar. Eine dynamische Abbremsung ist jederzeit unabhängig vom Betriebszustand und der Bedienebene möglich. Die dyn. Bremsung wird grundsätzlich (auch im Rollbetrieb bei Motor_AUS) mit der Hydraulik ausgeführt. Der Fahrer soll jederzeit über den Systemzustand und über die Verfügbarkeit informiert sein. Das Instrumentenkombi ist dazu mit einer in drei Farben ansteuerbaren Kontrollleuchte und einem Info Display ausgestattet. Die Feststellfunktion wird wie gewohnt durch eine rote Leuchte mit einem P-Symbol angezeigt. Wird die *Parkbremse* während der Fahrt betätigt (dynamische Abbremsung), wird zusätzlich ein akustisches Warnsignal (Gong) gesetzt. Der Fahrer soll hierdurch darauf hingewiesen werden, dass die dynamische Abbremsung mit der *Parkbremse* keinesfalls die Betriebsbremse ersetzt oder deren Betätigungsmöglichkeiten im Normalbetrieb ergänzt. Die Bereitschaft der *Automatic Hold* Funktion wird mit einem in die Leuchte integrierten grünen Schriftzug „AUTO P“ angezeigt. Ist die Haltefunktion aktiv, kommt während der Haltephase zusätzlich das P-Symbol zur Anzeige. Um eine Differenzierung zur Feststellfunktion zu verdeutlichen, erfolgt die Anzeige in grün. Sämtliche Fehlfunktionen der *Parkbremse* sowie Einschränkungen der Verfügbarkeit werden mit einem Aufleuchten der Anzeigeeinheit in gelb gegebenenfalls in Verbindung mit dem akustischen Warnsignal (Gong) und einem Hinweistext im Info Display des Instrumentenkombis signalisiert. Auf dem separaten größeren *Control Display* erscheinen bei Bedarf ausführliche Informationen über die Art des Fehlers und Anleitungen zur richtigen Handlungsweise.

8. Ausblick

Die fremdkraftbetätigte Feststellbremse wird sich in der Premiumklasse des 7er BMW zum Standard entwickeln. Potenziale zur weiteren Komfortsteigerung und Feinabstimmung der *Automatik Hold* Funktion liegen in der Umsetzung eines adaptiven Löseverhaltens der Bremse beim Anfahren. Dazu ist die Einbindung zusätzlicher Sensorik erforderlich. Darüber hinaus ermöglichen eine analoge Druckregelung (Sensoren) und die Integration eines Druckspeicherelements eine Optimierung und Erweiterung der parkbremsspezifischen Hydraulikfunktionen.

Die Elektroniksysteme künftiger Fahrzeuggenerationen werden geprägt sein durch eine immer umfangreichere Systemintegration und Funktionsvernetzung. Der automatischen Parkbremse kommt in diesem Zusammenhang in Bezug auf die Absicherung künftiger Fahrerassistenzsysteme eine bedeutende Rolle zu.