

# 4

## Kupplungsbetätigung mit Köpfchen

Roland Welter  
Volker Lang  
Bernhard Wolf



## Einleitung

Die Beiträge zur Kupplungsbetätigung der beiden Kolloquien der Jahre 2002 [1] und 2006 [2] waren thematisch geprägt von dem Trend mehr Drehmoment, höherer Leistungsdichte und damit auch höhere Ausrückkräfte zu beherrschen. Als Hersteller kompletter Kupplungssysteme hat LuK sich darauf eingestellt, die Auslegung solcher Systeme anhand von Simulationen und Fahrzeugabstimmungen qualifiziert durchzuführen und die für die Anforderungen passenden Produkte, wie selbstnachstellende Kupplungen und hydraulische Betätigungssysteme, anzubieten. Darüber hinaus wurden Funktionen integriert, welche dazu beitragen die Pedalkraftkennlinie ergonomisch zu gestalten und Vibrationen und Geräusche zu reduzieren. Die Entwicklung der angesprochenen Technologien geht weiter, wird aber inzwischen von zusätzlichen Trends beeinflusst.

Die weltwirtschaftlichen Veränderungen der Jahre 2008 und 2009 und die Erkenntnis, dass sorgsamer mit fossilen Brennstoffen hauszuhalten ist als bisher, führten zu einer steigenden Nachfrage nach kleinen Fahrzeugen und verbrauchsärmeren Technologien von verbrennungsmotorischen Antrieben in allen Fahrzeugklassen. Kupplungssysteme für kleine Fahrzeuge werden heute leichter und kostengünstiger gestaltet ohne nennenswerte Abstriche beim Komfort. Auf der anderen Seite erhöhen verbrauchsoptimierte Antriebe, beispielsweise Stopp-Start Systeme, Hybride und Doppelkupplungsgetriebe, den technischen Anspruch und die Komplexität.

LuK kann auf beiden Gebieten, der klassischen manuellen Betätigung und den modernen verbrauchsarmen Antrieben, innovative Lösungen anbieten.

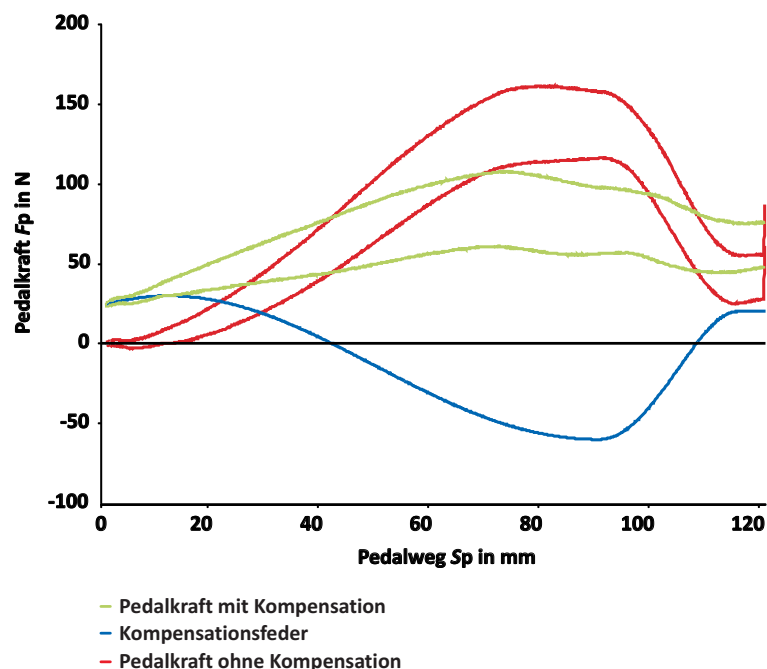


Bild 1 Pedalkraftkennlinie mit und ohne Kompensation (Beispiel)

Konventionelle Kupplungsbetätigung:

- Leistungsdichte
- Zuverlässigkeit und Gebrauchsdauer
- Kleine Fahrzeuge

Verbrauchsoptimierte Antriebe:

- Stopp-Start Systeme
- Hybridantriebe
- Doppelkupplungsgetriebe

## Neue Entwicklungen für konventionelle Kupplungsbetätigungen

### Pedalergonomie

Im Kolloquium 2006 [2] wurde die Energiespeicherung mittels Blattfeder und Kulissee am Pedal als eine Möglichkeit zur gezielten Verbesserung der

Pedalkraftkennlinie gezeigt. Als Vorteil dieser Lösung wurde beschrieben, dass auf engerem Bauraum eine höhere Kraftkompensation als mit einer Übertodpunktfeder (ÜTF) erreicht wird und dass der Verlauf der Kennlinie aufgrund der freien Wahl der Kulissegeometrie nahezu beliebig veränderbar ist. So ist beispielsweise ein Verlauf mit zwei Nulldurchgängen der Kraft möglich, wodurch das Pedalkraftminimum in ausgekuppelter Pedalstellung angehoben werden kann (Bild 1).

Das Prinzip wurde inzwischen in verschiedenen Fahrzeugen mit guten Ergebnissen erprobt. Aus der ursprünglichen Konstruktion mit einer Blattfeder und einer Rolle sind mittlerweile zwei Rollen und zwei Biegefeder in Form von V-förmig gestanzten Blechen geworden (Bild 2). Dadurch werden Querkraften auf das Pedal und die Pedalachse vermieden.

Die Kompensation mittels Blattfeder wurde zunächst für Fahrzeuge mit hohen Drehmomenten und hohem Bedarf an Kraftkorrektur entwickelt. Da solche Anwendungen aus heutiger Sicht weniger gefragt sind, lag der Gedanke nahe, die Konstruktion für den Bedarf von Mittelklassefahrzeugen zu verändern und dafür das erreichbare Kraftniveau etwas zu reduzieren. Gleichzeitig sollte der Bauraum verkleinert werden und Pedal und Kompensationsmechanik als eine Einheit ausgeführt werden. Die Weiterentwicklung (Bild 3) benutzt einen Kompensationsmechanismus, welcher radial um die Pedalachse angeordnet ist.

Mehrere Federelemente aus Blech werden dabei gestapelt angeordnet, wobei die Rampen als federnde Biegebalken ausgeführt sind. Sie besitzen

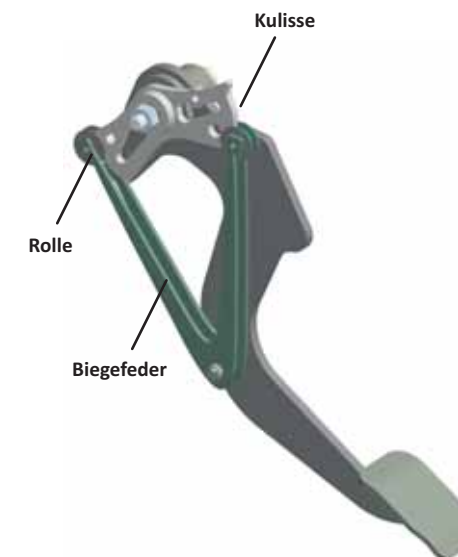


Bild 2 Pedalkraftkompensation mittels Biegefeder, Rollen und Kulissee

die Aufgaben, die eingeleitete Energie zu speichern und mittels ihrer Rampenkontur eine gezielte Korrektur des Pedalkraftverlaufes zu erreichen. Zwischen den Rampen und der zylindrischen Gehäusehülse sind drei Nadeln angeordnet. Bei der Betätigung des Pedals rollen die drei Nadeln die Rampen herunter und unterstützen mit der freiwerdenden Energie der Federelemente die Ausrückbewegung am Pedal. Beim Einkuppeln wird umgekehrt wieder Energie in den Federelementen gespeichert. Das Prinzip funktioniert grundsätzlich und es wird an einer montagefreundlichen und in das Pedal integrierten Lösung gearbeitet.

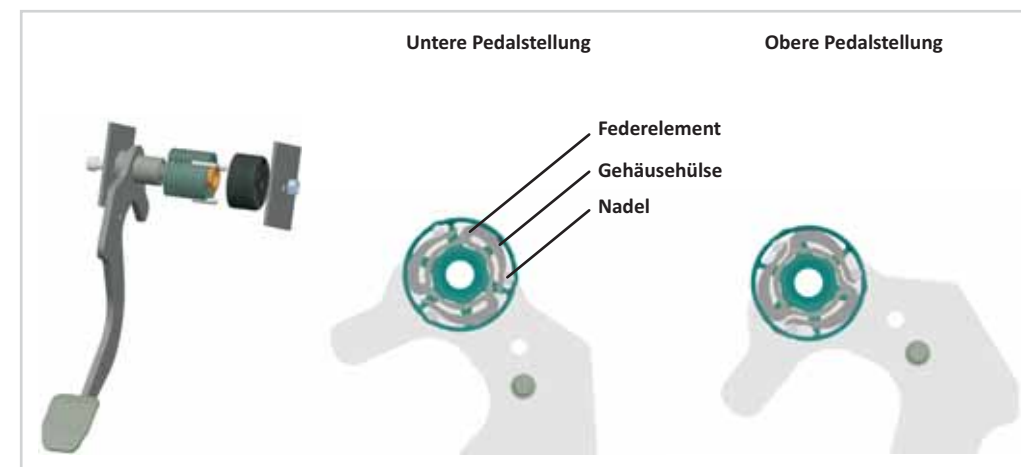


Bild 3 Einheit zur Pedalkraftkompensation angeordnet um die Pedalachse



## Geräusche/Vibrationen

Störende Pedalvibrationen und Innenraumgeräusche werden durch Schwingbewegungen der Kurbelwelle angeregt und über das Ausrücklager in das hydraulische System bis zum Pedal übertragen. Bei kleinen Amplituden genügt eine einfache Veränderung der Druckleitung mittels Blenden oder eine Durchmesser- und Längenabstimmung, um das Problem hinreichend zu beseitigen. In schwerwiegenderen Fällen kommen Dämpfungselemente zum Einsatz. Es wird zwischen sogenannten Kribbelfiltern, welche in der Art eines automatisch wirkenden Absperrventils die Druckleitung bei gehaltenem Pedal verschließen, und Membrandosen (Bild 4) unterschieden. Beide Systeme sind in Serie eingeführt, besitzen aber spezifische Nachteile. Der Kribbelfilter erhöht grundsätzlich die Krafthysterese der Pedalkennlinie und die breitbandig wirkende Membrandose erhöht die Volumenaufnahme und damit die Ausrückwegverluste an der Kupplung.

Um die Nachteile der bekannten Lösungen zu vermeiden, wurden vielfältige Simulationen und Tests mit den unterschiedlichsten Wirkprinzipien durchgeführt. Als mögliche Verbesserung erwies sich eine der Dämpferdose verwandte Lösung, welche sich an die Wirkung des aus der Akustik bekannten Helmholtz Resonators anlehnt und als Kompakttilger bezeichnet wird. Hierbei handelt es sich um ein Zusatzvolumen, welches mittels eines T-förmigen Verbindungsstückes mit definierter Länge und Durchmesser mit der Druckleitung verbunden wird. Die hydraulische Kapazität wird kleinstmöglich ausgelegt, um Ausrückwegverluste klein zu halten. Die Filterfrequenz und die Dämpfung werden über die Geometrie der Drossel abgestimmt.

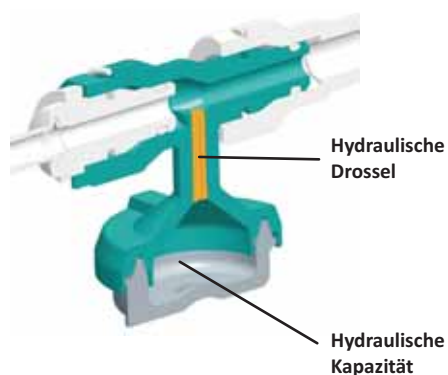


Bild 5 Kompakttilger und Frequenzgang mit und ohne Kompakttilger

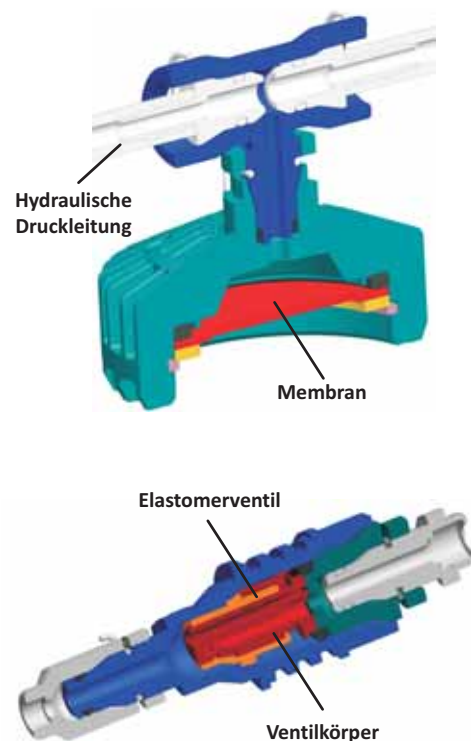
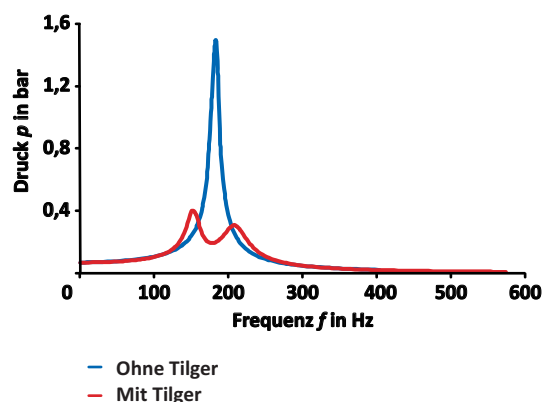


Bild 4 Breitbandig wirkende Membrandose (oben) und Konventioneller Kribbelfilter (unten)

Der Kompakttilger hat nur etwa 1/3 der Volumenaufnahme einer herkömmlichen Membrandose. Er ist zudem wesentlich kleiner und deshalb einfacher in dem verfügbaren Bauraum unterzubringen. Eine Abstimmung mit einer steifen Druckleitung aus Kunststoff ist mehrfach in Fällen gelungen, die bisher zwingend eine aufwändige Stahl-Gummi Leitung erfordert haben.

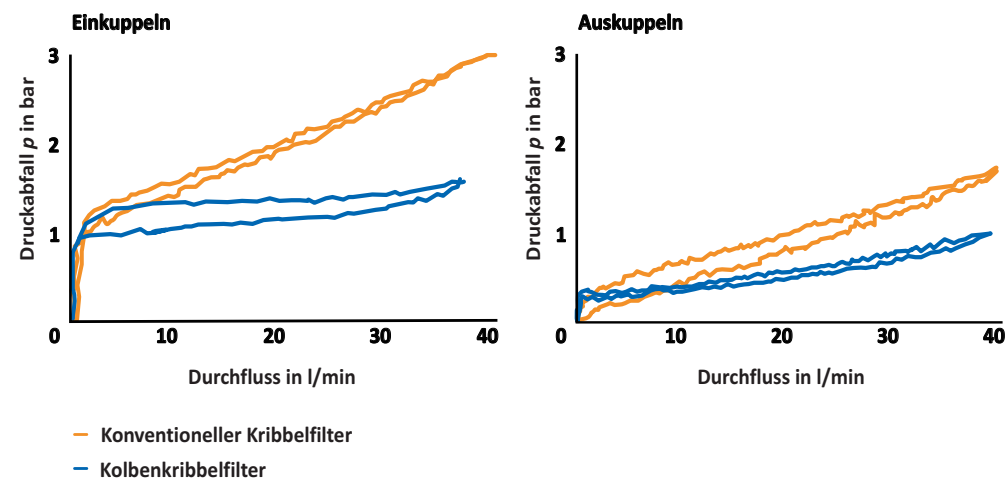
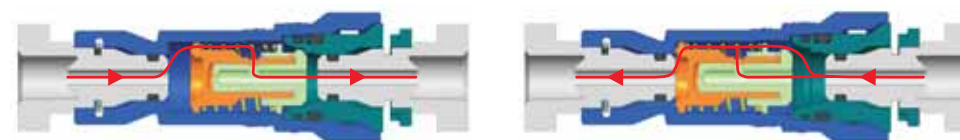


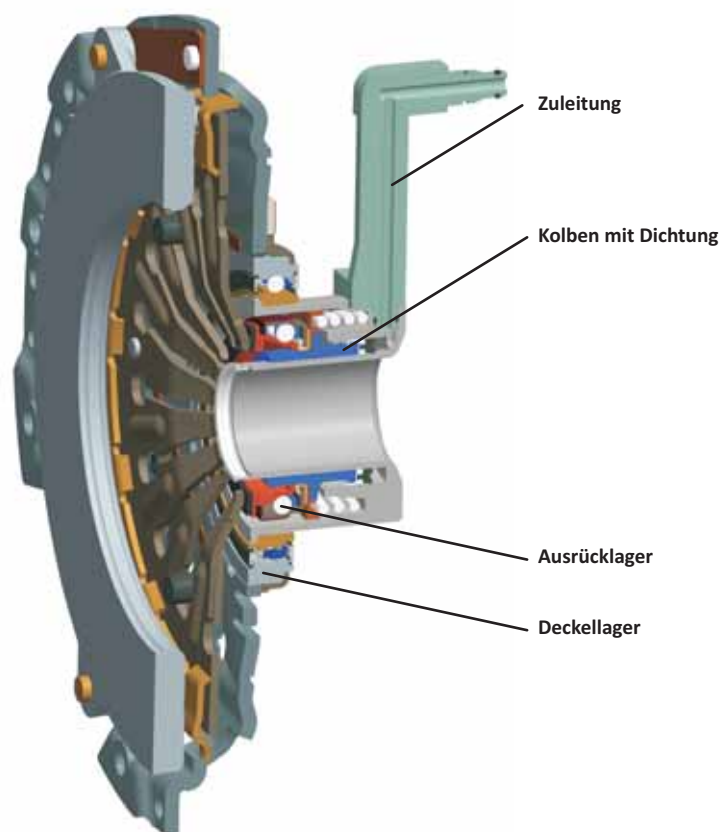
Bild 6 Kolbenkribbelfilter mit zwei ineinander geschachtelten Kolben und reduzierter Druckhysterese

Der bisherige Kribbelfilter wurde ebenso weiterentwickelt (Bild 6), mit dem Ziel, die Druckverluste bei ansonsten gleicher Wirksamkeit gegen Pedalvibrationen zu reduzieren. In der verbesserten Version werden die Ventile aus zwei ineinander geschachtelten Kolben gebildet, die in ihren jeweiligen Dichtsitzen mittels einer Feder vorgespannt sind. Sobald die Flüssigkeit den Öffnungsdruck übersteigt, verschiebt sich der jeweils in Strömungsrichtung angebrachte Kolben und gibt dabei eine Durchtrittsöffnung frei. Im Vergleich zu dem bekannten Schlauchkribbelfilter sind die Druckverluste am Kolbenkribbelfilter im geöffneten Zustand deutlich kleiner und bleiben in etwa auf dem Niveau des Öffnungsdruckes. Dadurch spürt man den Kolbenkribbelfilter auch bei schneller Betätigung praktisch nicht, da sich die Pedalkraft nur geringfügig erhöht. Eine zwischen den Kolben angeordnete Dämpfungskammer vermeidet Schwingungen und Geräusche im Dicht-sitz.

Die physikalisch beste Möglichkeit Pedalvibrationen zu vermeiden, ist die vollständige Entkopplung der axialen Kurbelwellenschwingung mittels eines deckelfesten Zentralausrückers (DFA). Hierbei stützen sich die hydraulischen Reaktionskräfte nur am Kupplungsdeckel und nicht an der sta-

tionären Getriebewand ab; eine Anregung der hydraulischen Säule entsteht damit erst gar nicht [1].

Der DFA benötigt neben dem eigentlichen Ausrücklager noch ein zweites Lager zur Abstützung im Kupplungsdeckel. Die Schleppmomente der beiden Lager lassen sich in der Regel über die Druckleitung abstützen, wenn die radialen und axialen Schwingamplituden des DFA im Fahrzeug nicht zu groß sind. Die integrierte Vorlastfeder sorgt im drucklosen Zustand dafür, dass die Lager vorbelastet sind und der Kontakt zwischen Ausrücklager und Tellerfederung auch dynamisch immer gegeben ist. Störende Geräusche und frühe Lagerschäden lassen sich so wirkungsvoll vermeiden. Zur Montage von Motor und Getriebe muss die Druckleitung zum Durchtritt in der Kupplungsglocke ausgerichtet werden. Restriktionen durch begrenzten axialen Platz beim Tausch der Kupplung im Servicefall traten in keinem der untersuchten Fälle auf. Mit dem DFA lassen sich die Bewertungsnoten gegen Pedalkribbeln so weit verbessern, dass auf weitere Filter in der Druckleitung völlig verzichtet werden kann. In Testfahrzeugen hat sich herausgestellt, dass ein DFA auch die Rupfneigung und die Anregung von Getrieberasseln positiv beeinflussen kann.



**Bild 7** Deckelfester Zentralausrücker (DFA)

Anhand von dynamischen Simulationsrechnungen von Kupplung, Ausrücksystem und Pedal können die Notwendigkeit eines Filters, die Bauart des Filters und der Einbauort im Fahrzeug sehr zuverlässig vorhergesagt werden. LuK empfiehlt deshalb, diese Untersuchung in einer frühen Phase eines Entwicklungsprojektes durchzuführen um späte Änderungen zu vermeiden.

## Hydraulische Druckleitungen in Stahl-Gummi Bauweise

Kupplungsleitungen aus Stahlrohr und Gummischlauch werden bei langen Leitungen und im Fall hoher Temperaturbeanspruchung eingesetzt. An den Enden besitzen die Leitungen Schnellverbinder zu den Kupplungszyklindern, welche traditionell aus Stahl, inzwischen aber zunehmend als montierte Stecker aus Kunststoff ausgeführt sind. Die in Bild 8 oben abgebildeten Stecker garantieren eine besonders hohe Sicherheit gegen Leckage, indem ein O-Ring als Dichtelement unmittelbar zwischen dem Rohr und

der Gegenfläche (z. B. im hydraulischen Zylinder) verwendet wird. Dem Schnellverbinder kommt lediglich eine axiale Haltefunktion zu, welche mittels eines Falzes im Rohr und zweier eingerasteter Halbschalen realisiert wird.

Die Verbindung zwischen Rohr und Schlauch wird traditionell mittels eines auf dem Rohr mechanisch verprägten Zwischenstücks aus Metall hergestellt. Präzise Umformwerkzeuge ermöglichen es inzwischen eine axial mehrfach hinterschnittene Endkontur des Rohres so zu formen, dass ein geweberstärkter Schlauch mittels einer Blechhülse unmittelbar darauf verpresst werden kann (Bild 8 unten). Diese direkte Verbindung be-

sitzt eine Dichtstelle weniger und ist damit prinzipbedingt betriebssicherer.

Kupplungsleitungen dieser Bauart werden seit etwa zwei Jahren bei LuK gefertigt. Bedarfsgerechtes Zuschneiden vom Coil und eine hochflexible und automatisierte Biegetechnik minimieren die Werkzeugkosten und die Reaktionszeit bei Änderungen. Kupplungsleitungen in Stahl-Gummi Bauweise werden auch in Zukunft noch für eine Vielzahl von Anwendungen attraktiv bleiben.

## Hydraulische Druckleitungen aus Kunststoff

Kunststoffleitungen sind kostengünstiger als solche aus Stahl-Gummi, ihr Einsatzgebiet ist aber technisch begrenzt durch die lokal größte Temperatur in der Leitung, die Volumenaufnahme über der Temperatur und das Übertragungsverhalten von Druckpulsationen.

### Männlicher Schnellverbinder



### Weiblicher Schnellverbinder



### Direkte Schlauchanbindung

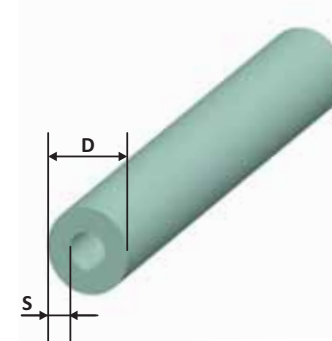


**Bild 8** Schnellverbinder für Kupplungsleitungen in Stahl-Gummi Bauweise

Als Materialien kommen temperaturstabilisiertes Polyamid 12 (PA 12H) mit einem Querschnitt von 8 x 2 mm und Polyamid 612 (PA 612) mit einem Querschnitt von 5 x 1 mm und 5,9 x 1,3 mm für längere Leitungen zum Einsatz.

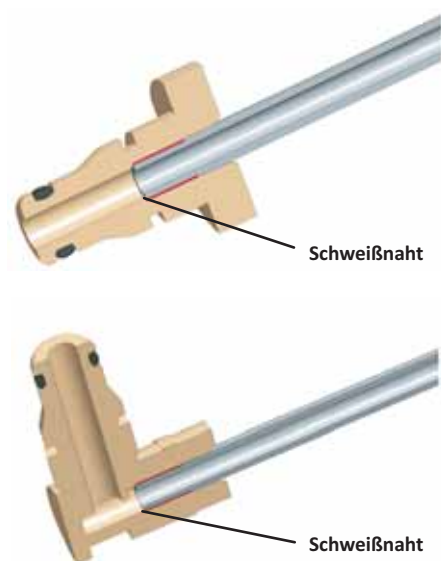
Die Leitungen aus PA 12H bestehen aus einem extrudierten und anschließend thermisch gebogenem Rohr mit Schnellverbindern aus Stahl oder aus

schnitt (Bild 9). Der Werkstoff hat eine höhere Wärmebeständigkeit als PA 12H und wird bis 140 °C Dauertemperatur eingesetzt. Der Bohrungsdurchmesser der Leitungen ist mit 3 bzw. 3,3 mm gerade so groß bemessen, dass die hydraulischen Verluste bei Kälte noch akzeptabel sind. Aufgrund des kleineren Durchmessers ist die Dehnung unter Innendruck kleiner und die Wandstärke kann dünner bemessen werden, ohne dass Nachteile für die Festigkeit oder



**Bild 9** Kupplungsleitungen aus polymeren Werkstoffen im Vergleich

	PA12	PA612	PA612
D x S	8 x 2	5,9 x 1,3	5 x 1
Volumenaufnahme bei 120 °C und 30 bar in mm <sup>3</sup> /m	780	405	390
Flächenträgheitsmoment in mm <sup>4</sup>	189	54	27
Verlegbarkeit	Vorformung notwendig	freie Verlegung möglich	freie Verlegung möglich
Berstdruck bei 120 °C in bar	80	90	85



**Bild 10** Rotationsgeschweißte Schnellverbinder aus Kunststoff

Volumenaufnahme in Kauf genommen werden müssen. Das Flächenträgheitsmoment der Leitung ist kleiner, so dass die Leitungen in der Regel nicht thermisch vorgebogen werden, sondern im Fahrzeug zwischen Geber und Nehmerzylinder relativ frei verlegt und mit üblichen Halteklipsen fixiert werden.

Die Schnellverbinder werden durch Rotationsgeschweißen druckdicht mit der Leitung verbunden. Dieses Verfahren umgeht die Begrenzung des Umspritzens, bei dem aufgrund des werkzeugbedingten zentralen Kerns nur Verbinder mit einem geraden Loch herstellbar sind. Beim Rotationsschweißen können auch abgewinkelte Schnellverbinder benutzt werden (Bild 10) und die Schweißmaschine kann problemlos in eine saubere Montagelinie integriert werden.

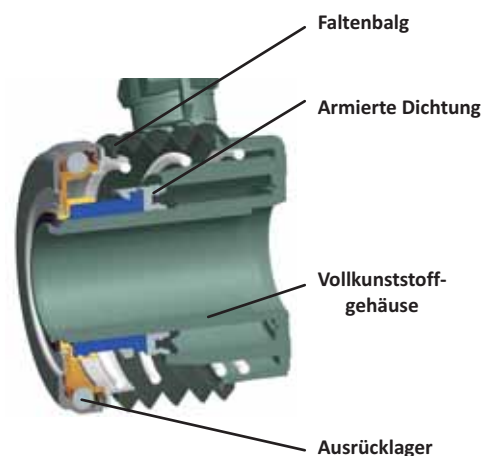
## Steigerung der Leistungsfähigkeit von Zentralausrückern

Eine hohe Gebrauchsdauer und Zuverlässigkeit von Zentralausrückern (Bild 11) ist aufgrund der aufwändigen Fahrzeugreparatur im Falle eines Ausfalls unabdingbar. Die relevanten Faktoren sind der Verschleiß der zentralen Dichtung und die Funktionsfähigkeit des Ausrücklagers. Auf beiden Gebieten wurden erhebliche Fortschritte erzielt.

Die zentrale Dichtung ist lediglich einseitig und systembedingt nur mit der schlecht schmierenden

Bremsflüssigkeit benetzt. Sie bewegt sich bei jeder Kupplungsbetätigung etwa 8 mm entlang der trockenen Laufbahn und sie ist Umgebungseinflüssen wie hoher Temperatur, Staub und Mikroschwingungen ausgesetzt. Die daraus resultierenden Ausfallmechanismen sind Verschleiß am Dichtungsrücken und Spaltextrusion mit Rissbildung.

Ein neuartiges Konzept verbessert die Dichtungseigenschaften grundlegend (siehe Bild 12). Die Flanken der Dichtung werden mittels einer Armierung aus einem thermoplastischen Dichtungsträger vor Verschleiß geschützt. Durch die reduzierte Reibung am Dichtungsrücken und den verkleinerten Spalt verringert sich außerdem die Dehnung im elastomeren Material und Spaltextrusion wird zuverlässig vermieden. Der Träger wird, wie bisher, axial mit einem definierten Spiel an den Kolben angebunden, um Mikrobewegungen bei drucklosem Fahren von der Dichtung fernzuhalten. Hierdurch verringert sich der kumulierte Verschleißweg der Dichtung und die Gebrauchsdauer steigt. Die Anbindung vermeidet eine unzulässige Spielvergrößerung zwischen Kolben und Dichtung beim Betrieb mit einem Geberzylinder ohne Nachsaugfunktion. Die Zylinderlaufflächen und die Dichtung selbst werden in der Montage mit einem Schmierstoff bestehend aus hochviskosem Silikonöl und PTFE versehen, der sich nicht in Bremsflüssigkeit löst und eine dauerhafte Belegung der Oberflächen garantiert. Die Gegenlaufflächen der Zylinder sind tribologisch optimal ausgelegt. Das bedeutet insbesondere bei Führungsrohren aus Stahl, dass ein Finishen zwingend zum Einsatz kommen muss.

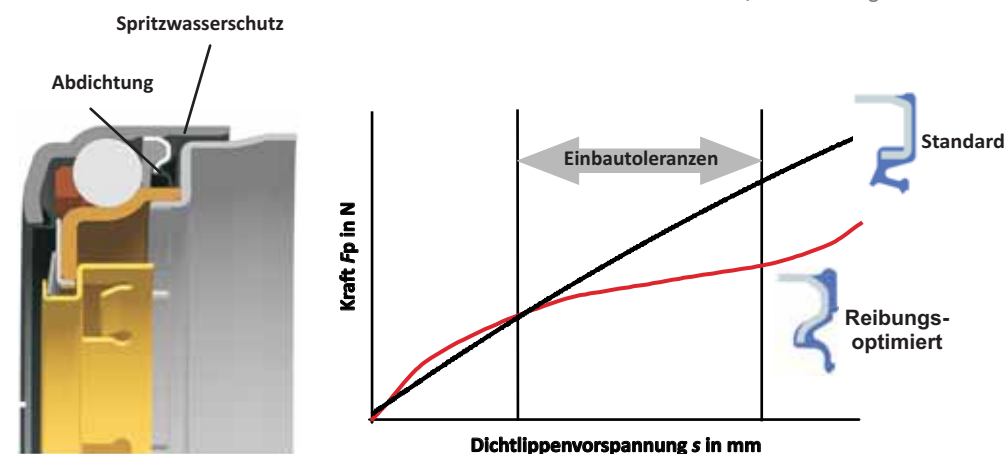


**Bild 11** Zentralausrücker in Vollkunststoffbauweise mit gebrauchsdaueroptimierter Dichtung

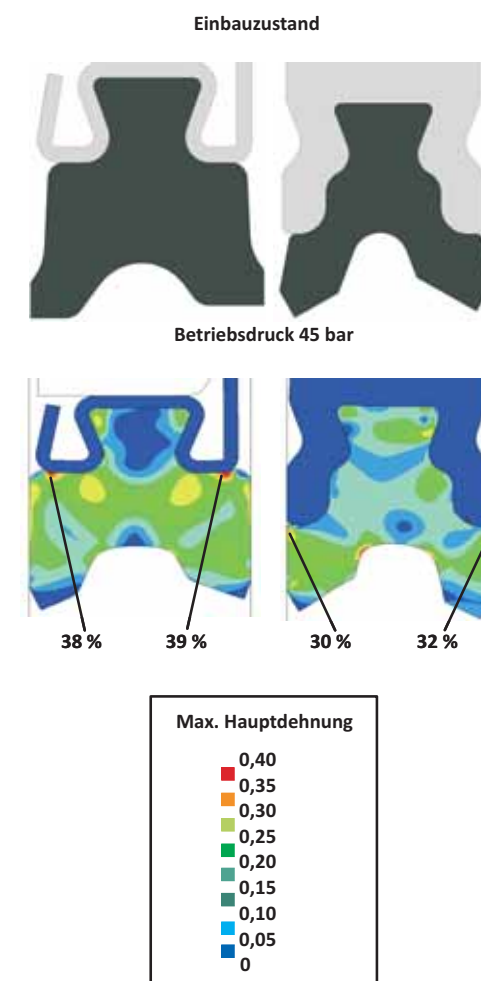
Das neue Dichtungskonzept erlaubt eine etwa doppelte Einsatzzeit sowohl in einem Zentralausrücker mit Aluminium- als auch mit Kunststoffgehäuse. Je nach Einsatzfall muss die Dichtung zusätzlich vor eindringendem Staub geschützt werden. Hierzu wird der Zentralausrücker mit einem Schild zur Ablenkung des Luftstroms von der Dichtstelle oder mit einem Faltenbalg versehen.

Die Gebrauchsdauer der Ausrücklager wird maßgeblich durch die Schmierfähigkeit des Fettes bestimmt. Schäden durch Wälzermüdung gibt es nicht. Um die gewünschte Fettgebrauchsdauer zu erzielen, muss Eindringen von Staub, Wasser oder Bremsflüssigkeit in das Lagerinnere vermieden werden. Für Anwendungen unter mitteleuropäischen Bedingungen ist diese Anforderung in der Regel mittels einer gut abgestimmten Labyrinthabdichtung zu erfüllen. In Regionen mit weniger guten Straßen empfiehlt sich eine beidseitige Abdichtung der Lager mit berührenden Dichtungen. Hieraus ergibt sich der Zielkonflikt einer ausreichenden Dichtheit gegenüber einer geringen Reibungswärme und hoher Fettgebrauchsdauer.

Für Zentralausrücker wurden Ausrücklager mit speziellen Dichtungen entwickelt, welche diesen Anforderungen genügen. Die im Bild 13 links gezeigte Dichtung schmiegt sich radial mit einer nachgiebigen Lippe an den Außenring an während die rechte Dichtung neben der radial nachgiebigen Lippe zusätzlich von einem mechanischen Schutzkragen gegen intensives Sprühwasser geschützt ist. Die besondere Gestaltung der radialen Dichtlippe bewirkt, dass ihr Reibmoment im relevanten Be-

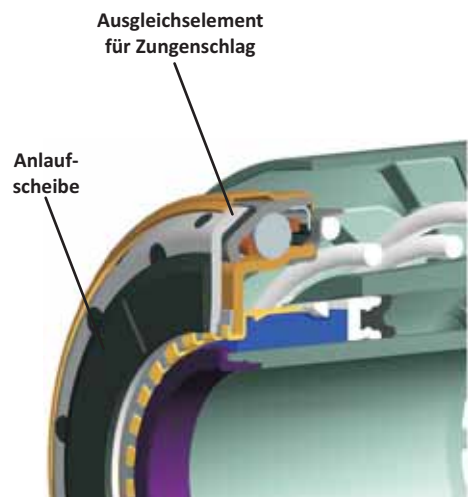


**Bild 13** Voll abgedichtetes Ausrücklager mit reibungsoptimierten Abdichtungen



**Bild 12** Rechts: Gebrauchsdaueroptimierte Dichtung für Zentralausrücker; Links: bisherige Konstruktion

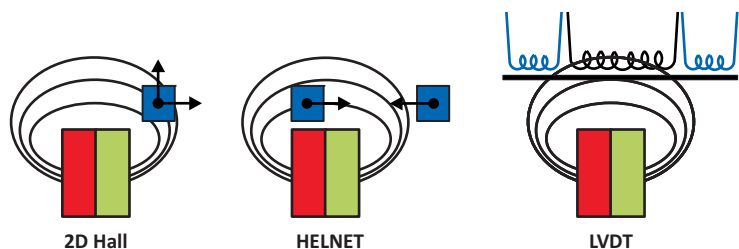




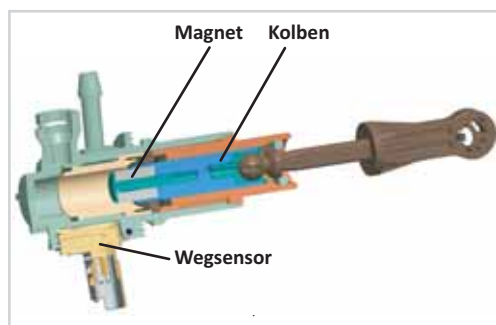
**Bild 14** Schlagausgleichslager mit Kontaktscheibe für Zentralausrücker

reich unabhängig von der Überdeckung zur Laufbahn ist. Hierdurch wird die maximale Lagererwärmung begrenzt und die Gebrauchsdauer des Fettes verlängert. Ausrücklager dieser Bauart bestehen härteste Kontaminationstests und sind bis zu Drehzahlen von 7000 1/min geeignet.

In einem Schlagausgleichslager (Bild 14) sorgt ein Kalottenring zwischen Lager und Tellerfederungen für einen Ausgleich von Schiefstellungen. Dadurch wird ein schräger Abhub der Kupplungsdruckplatte vermieden und das geometrisch bedingte Rupfen wird reduziert. Vorteilhaft ist auch der Einsatz einer Kontaktscheibe aus hochgefülltem, polymerem Material im Kontakt zu den Tellerfederungen, welche den metallischen Kontakt zwischen den Tellerfederungen und dem Lagerring vermeidet und die Reibung gering hält. Praktische Erfahrungen haben gezeigt, dass die Kontaktscheibe auch dazu dient, Druckpulsationen bzw. Pedalvibrationen zu vermindern. Kurbelwellenschwingungen werden üblicherweise durch die Biegung der Tellerfederungen relativ weich abgedert. Bei hoher Reibung im Kontakt zwischen Tellerfederungen und Ausrücklager wird die Tellerfeder an einer ausgleichenden Bewe-



**Bild 16** Sensorprinzipien  
 Elektrische Spule  
 Hall Element



**Bild 15** Kupplungsgeberzylinder mit integriertem Wegsensor

gung gehindert, ein Großteil der Schwingungen erzeugt dann Druckpulsationen. Ist die Reibung hingegen gering, können die Tellerfederungen radial gleiten und die Kurbelwellenschwingungen ausgleichen.

## Innovation für verbrauchs-optimierte Antriebe

### Stopp-Start Systeme

Um die gewohnte Fahrweise in Fahrzeugen mit Stopp-Start Systemen beizubehalten ist ein frühzeitiges Erkennen des Fahrerwunsches hilfreich. Wegsensoren in Kupplungsgeberzylindern erfüllen diese Anforderung und können zudem noch Zusatzfunktionen übernehmen, welche bisher elektrischen Positionsschaltern in der Pedalerie vorbehalten waren. Es wird eine Messgenauigkeit von etwa +/- 3 % und eine hohe Dynamik des gemessenen Signals erwartet. Von den Sensoren wird eine „Intelligenz“ beispielsweise zur Diagnose von Kabelbruch oder Kurzschluss gefordert, was den Einsatz eines Mikrocontrollers oder ASICs erzwingt.

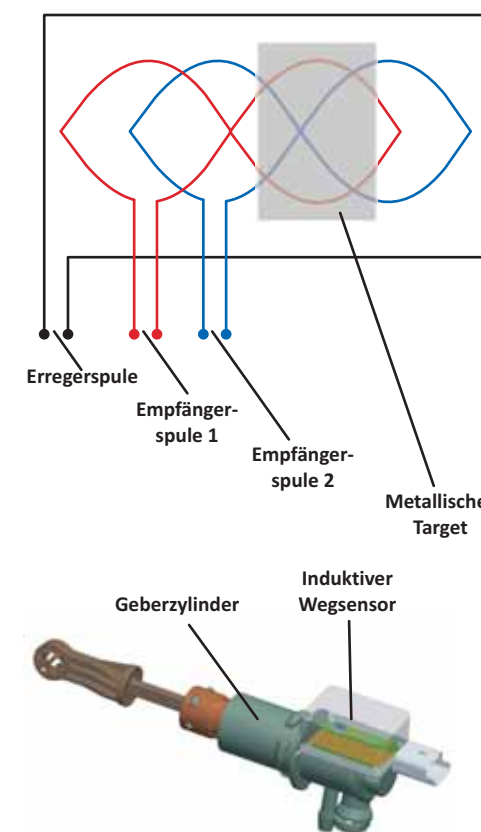
Das Ausgangssignal ist je nach Bedarf entweder analog oder digital. Erhöhte Forderungen nach Redundanz können berücksichtigt werden.

Realisierte Messprinzipien nutzen den Hall Effekt oder werden als sogenannte Linear Variabel Displacement (LVDT) Sensoren ausgeführt [4], [5]. In allen Fällen wird ein Magnet am Kolben des Zylinders benötigt und der Sensor muss in einem definierten Abstand etwa in der Mitte des Messweges angebracht sein.

Bei den Hall Sensoren kommen zwei verschiedene Prinzipien von Halbleiterelementen zum Einsatz. Bei den hoch integrierten Sensoren (2D Hall) sind zwei Hall Zellen orthogonal zueinander und gemeinsam mit einem ASIC zu einer Baugruppe vereint [6]. Aus dem resultierenden Feldvektor wird die vorher angelernete Position des Magneten errechnet. Diese Sensoren sind kompakt aber der Kalibrierungsaufwand im Zusammenbau mit dem Geberzylinder ist vergleichsweise hoch. In einer anderen Anordnung werden zwei gleiche Hall Zellen in einem definierten Abstand in Messrichtung positioniert (Conti Helnet). Über die Arctan-Funktion des Signals beider Elemente wird mittels eines programmierbaren ASICs die Position errechnet. Vorteil dieser Anordnung ist, dass sich metallische Teile in der Umgebung weniger störend auswirken und die Kalibrierung schneller geht.

Bei den LVDT Sensoren wird das magnetische Feld einer Primärspule durch den Magneten partiell gesättigt und die Veränderung wird mittels zweier an den äußeren Enden angebrachter Sekundärspulen gemessen. Vorteil dieses Prinzips ist, dass die Signalerfassung relativ unempfindlich gegenüber Abstandsschwankungen des Magneten und gegenüber Temperaturdrift ist. Aus diesem Grund werden LVDT Sensoren nicht nur an Geberzylindern sondern besonders an Nehmerzylindern in der warmen Umgebung der Getriebeglocke für automatisierte Schaltsysteme benutzt.

Ein gewisser Schwachpunkt bei allen beschriebenen Messprinzipien ist der Magnet, denn er ist relativ teuer und die Anforderung hinsichtlich Parallelität der mechanischen zur magnetischen Achse ist relativ hoch. In der Zukunft ist der Ersatz des Magneten durch ein einfaches metallisches Target aus Aluminium denkbar, wenn als Sensor ein induktiv wirkendes Prinzip benutzt wird. Die Funktion dieses induktiven Sensors beruht auf einer Erregerwindung, welche ein magnetisches Feld

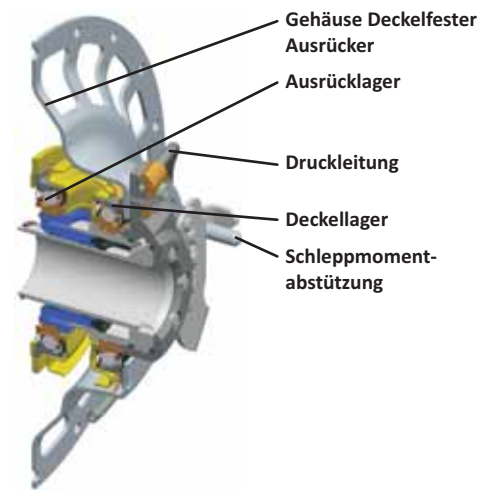


**Bild 17** Prinzip und Anwendung des neuen induktiven Sensors (Continental)

erzeugt. Zwei Empfängerspulen in der Mitte erfassen die Veränderung des Feldes, welche durch Verschieben des metallischen Targets entlang der Messachse erfolgt. Die elektrischen Signale werden in einem speziell für diesen Zweck entwickelten ASIC zu dem gewünschten Ausgangssignal verarbeitet. Aufgrund der geringen Temperaturempfindlichkeit eignen sich diese Sensoren gleichermaßen für die Anwendung an einem Zentralausrücker innerhalb der Getriebeglocke als auch für einen Geberzylinder.

### Hybridantriebe

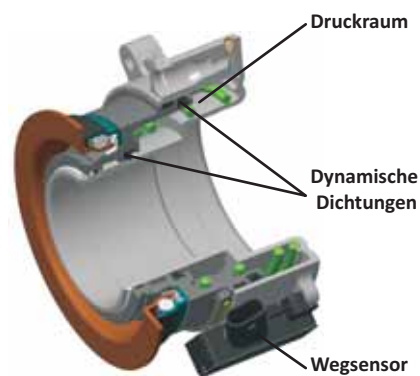
In Hybridfahrzeugen kann je nach Aufbau des Antriebsstranges eine trockene Trennkupplung am Verbrennungsmotor erforderlich sein. Die zur Anwendung kommenden hydraulischen Zylinder sind heute noch Sonderlösungen. Sie werden als deckelfeste oder gehäusefeste Ausrücker ausgeführt. Der deckelfeste Ausrücker besitzt den Vorteil der



**Bild 18** Deckelfester Zentralausrücker für ein Hybridfahrzeug

sehr kompakten Bauweise und er entlastet die Kurbelwelle von den Betätigungskräften. Das Bild 18 zeigt eine aktuell in Serie anlaufende Variante mit massiven und axial vorgespannten Wälzlagern. Hier wird das Drehmoment der Wälzlager über eine separate Drehmomentstütze gehalten, weil die relativ komplex verlegte Leitung dies nicht leisten kann.

Der gehäusefeste Ausrücker stützt sich an der Getriebewand ab und ähnelt damit prinzipiell einem konventionellen Zentralausrücker. Die im Bild 19 gezeigte Variante besteht aus einem Gehäuse und einem Kolben aus Aluminium. Der Zylinder ist für niedrige Drücke bis max. 6 bar und Betrieb mit Mineralöl ausgelegt. Er kann deshalb von der hydraulischen Versorgung eines konventionellen Stufen-

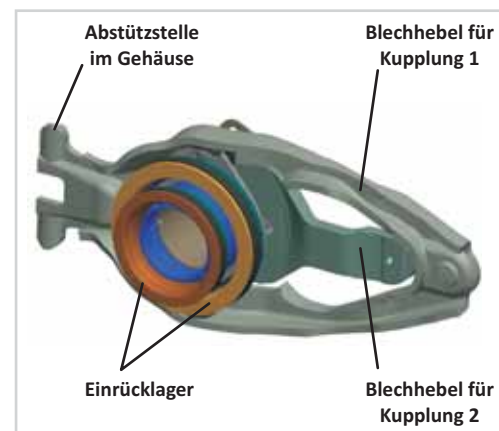


**Bild 19** Gehäusefester Ausrücker für eine Hybridkupplung

automaten angesteuert werden. Um die notwendigen Betätigungskräfte der Kupplung zu erreichen, ist die hydraulische Fläche besonders groß dimensioniert. Damit dennoch eine schnelle Betätigung möglich ist, wurde ein besonderes Augenmerk auf einen geringen Durchflusswiderstand in der zuführenden Leitung gelegt. Ein seitlich angebrachter Wegsensor erlaubt eine gezielte Positionsregelung.

### Einrücker für Doppelkupplungen

Während die Betätigungseinheiten bei konventionellen Handschaltgetrieben oft als „Ausrücksystem“ bezeichnet werden, hat sich bei den Doppelkupplungen, wegen der häufig eingesetzten zugedrückten Kupplung, sprachlich der Begriff „Einrücksystem“ etabliert. Einrückssysteme benötigen wegen der zeitlich länger anstehenden, hohen Lagerkraft eine höhere Tragzahl der Wälzlager. Darüber hinaus werden höhere Steifigkeit der Kraftübertragung, geringe Reibung und Genauigkeit der Lagerführung gefordert, um den Anspruch nach komfortablen Schaltvorgängen zu erfüllen. Einrückssysteme können in mechanisch und hydraulisch wirkende unterteilt werden.



**Bild 20** Mechanisches Einrücksystem für eine Doppelkupplung mittels Hebeln

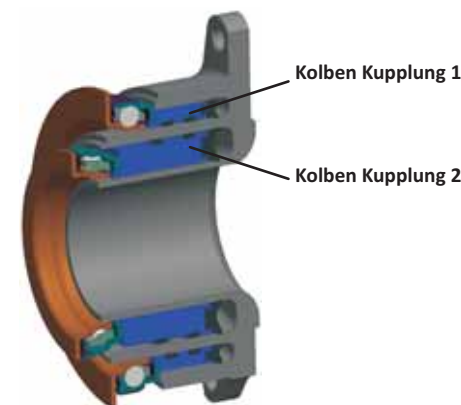
Mechanisch wirkende Einrücksysteme sind als Baueinheit mit Führungsrohr, zwei Hebeln und zwei Einrücklagern verfügbar. Die Hebel ragen seitlich aus der Getriebeglocke heraus und werden elektrohydraulisch betätigt. Ein Lager wird über eine Schiebehülse innen in dem mit seitlichen Fenster versehenen Führungsrohr aufgenommen und das

andere über ein Gleitstück am Außendurchmesser. Der Vorteil der Hebelmechanik liegt in der Verwendung bereits bekannter Technik, der Nachteil in dem benötigten Bauraum durch den Schwenkbereich der Hebel.

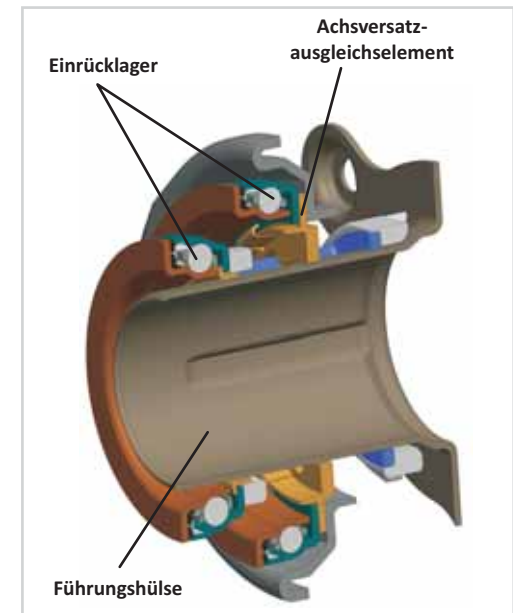
Kompakter bauen die Einrückheiten, welche in Verbindung mit dem Hebelaktor [2] verwendet werden. In der gezeigten Ausführungsform (Bild 21) werden die Einrücklager beide außen am Führungsrohr derart aufgenommen, dass eine unabhängige Bewegung in ihrem Arbeitsbereich möglich ist. Die Schiebehülsen sind dazu geschlitzt und greifen segmentweise ineinander. Ein radialer Versatzausgleich zu den Betätigungshebeln und die Verwendung reibungsoptimierter Kunststoffe in den Führungen reduzieren die Hysterese und ermöglichen eine reproduzierbare Ansteuerung der Kupplungen.

Die naheliegende Bauform für ein hydraulisches Einrücksystem besteht in einem Zentraleinrücksystem mit zwei radial übereinander geschachtelten Kolben. Was auf den ersten Blick so denkbar einfach aussieht, hat bei genauerem Hinsehen einige Tücken. So ist diese Lösung oft nicht in dem verfügbaren radialen und axialen Bauraum unterzubringen, und die für die Ansteuerung teilweise geforderte Wegsensorik kann allenfalls an dem außen liegenden Kolben angebracht werden.

Elegantier lässt sich die Anforderung lösen, wenn man die Vorstellung von einem Ringkolben verlässt und stattdessen eine Nierenform zulässt (Bild 23). Jedes Einrücklager wird dabei über ein gegenüberliegendes Paar von nierenförmigen Kolben betätigt. Die Lastübertragung ähnelt den bekannten Hebelmechanismen mit zwei Kontaktpunkten zu

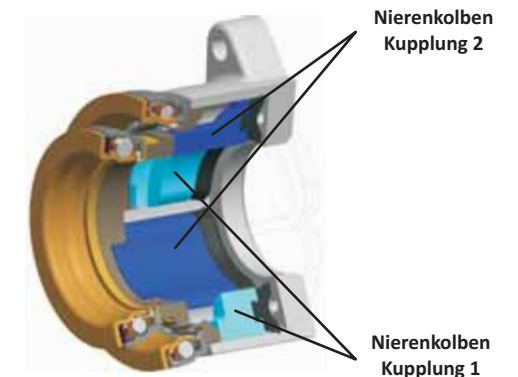


**Bild 22** Hydraulischer Zentraleinrücksystem mit zwei Ringkolben für eine Doppelkupplung



**Bild 21** Zentrales Einrücksystem für eine Doppelkupplung mit Hebelaktor

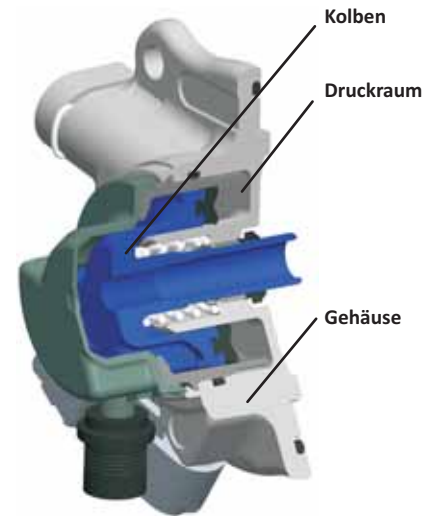
den Lagern, vermeidet aber radiale Reibungskräfte. In der rückwärtigen Seite des Gehäuses eingebrachte Kanäle sorgen für die Verteilung der hydraulischen Flüssigkeit auf die Druckkammern. Die Einheit kommt mit zwei Druckanschlüssen aus, die so angeordnet sind, dass eine Selbstentlüftung gewährleistet ist. Wegsensoren können bei diesem Bauprinzip für jede Kupplung problemlos außen am Gehäuse angebracht werden. Die Kolbenpaare müssen nicht zwangsläufig gleich groß sein. Deshalb kann das Gehäuse radial ausgebuchtet sein



**Bild 23** Hydraulischer Zentraleinrücksystem mit nierenförmigen Kolben für eine Doppelkupplung

und somit auch in einem radial engen Bauraum mit kurzem Zwischenwellenabstand eingepasst werden.

Es besteht bei quer eingebauten Getrieben natürlich auch die Möglichkeit einen Zentraleinrücken außen am Getriebegehäuse anzubringen (Bild 24). Hierbei erfolgt die Kupplungsbetätigung mittels einer durch die Hohlwelle des Getriebes geführten Zugstange, welche über ein Gewinde mit dem Kolben verbunden ist. Eine Feder sorgt für eine permanente Vorlast des Einrücklagers, welches sich im Inneren der Kupplungsglocke befindet. Die hydraulische Einheit ist nach außen durch eine Kunststoffkappe gegen Verschmutzung und Wasser geschützt. In der gezeigten Version erfasst ein Wegsensor die Kolbenposition und ermöglicht eine automatische Ansteuerung der Kupplung.



**Bild 24** Außen am Getriebe angebrachter Zentraleinrücken

## Zusammenfassung

Auf dem Gebiet der scheinbar etablierten Kupplungsbetätigung bewegt sich technisch viel. In modernen Fahrzeugen mit Handschaltgetriebe sorgen weiterentwickelte Ausrücksysteme für mehr Komfort, höhere Gebrauchsdauer, Beherrschung einer höheren Leistungsdichte bei gleichzeitig leichter Bauweise und günstigen Herstellkosten. Durch die Integration von elektronischen Sensoren und durch neue Antriebsarten wie Hybride und Doppelkupplungen entstehen derzeit völlig neue technische Lösungen für Betätigungssysteme, mit einer deutlich höheren Komplexität und Vielfalt. Zum Teil exotisch anmutende Konstruktionen sind dabei das Entwicklungsstadium zu verlassen und werden schon bald in interessanten Stückzahlen in Serie produziert. Diese Entwicklung wird getrieben durch die Veränderungen, welche Fahrzeugantriebe derzeit erfahren und wird vermutlich auch in der nahen Zukunft dynamisch weitergehen.

## Literatur

- [1] Zink, M.; Shead, R.; Welter, R.: Kupplungsausrücksysteme, 7. LuK Kolloquium, 2002, Seiten 35-47
- [2] Zink, M.; Hausner, M.; Welter, R.; Shead, R.: Kupplung und Ausrücksystem – So macht das Kuppeln Spaß!, 8. LuK Kolloquium, 2006; Seiten 27-45
- [3] Welter, R.; Hausner, M.; Grethel, M.: Pedalkraftunterstützung für Kupplungssysteme, ATZ 109, 09/2007; Seiten 768-777
- [4] Munzig, T.: Berührungslose Weg- und Winkelmessung im Antriebsstrang und Chassis, Elektronik Praxis, 14.08.2009
- [5] Bestimmt berührungslos die Position; Elektronik Net, 2009
- [6] Melexis, MLX 90333, Data Sheet, Jan 08