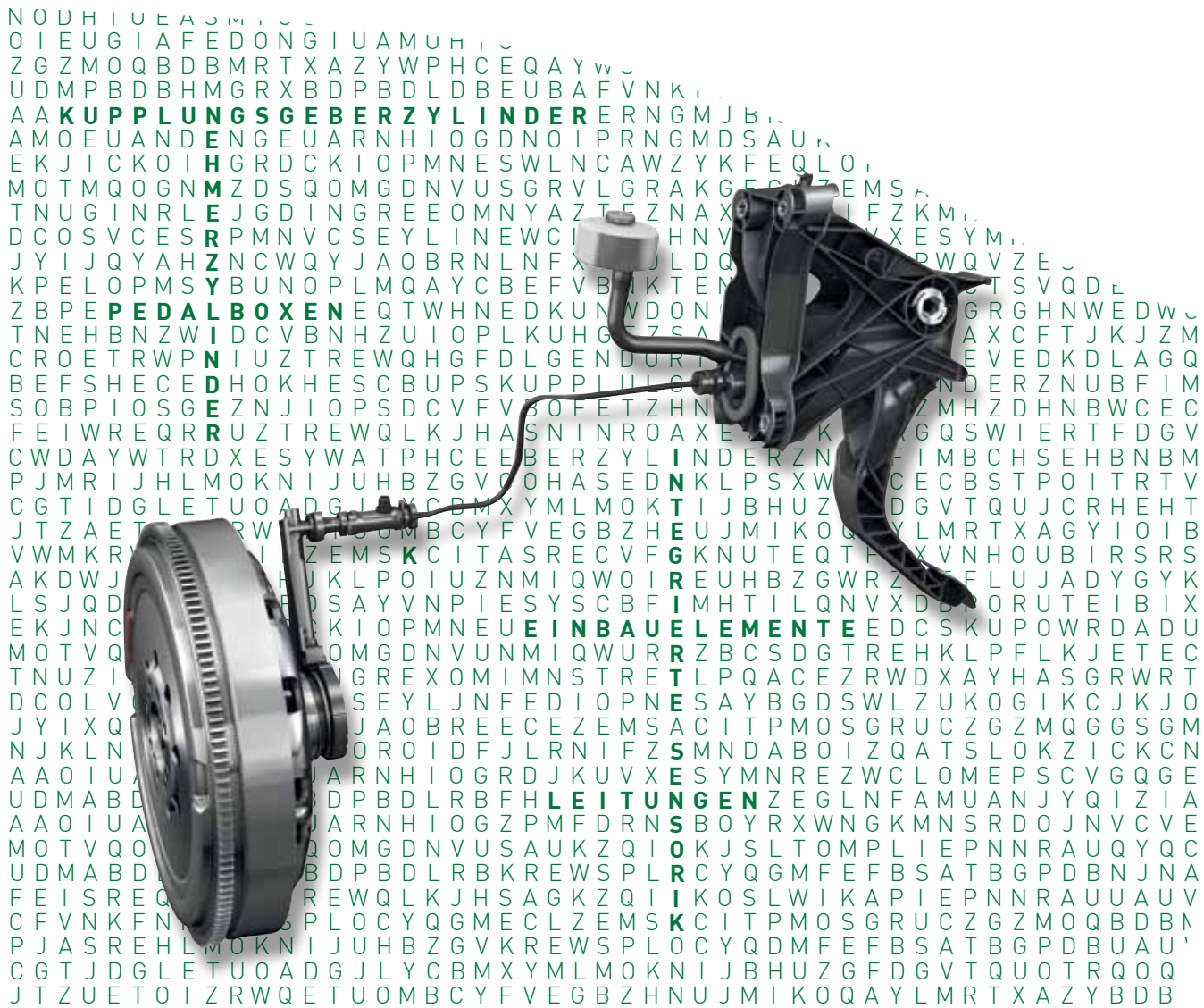


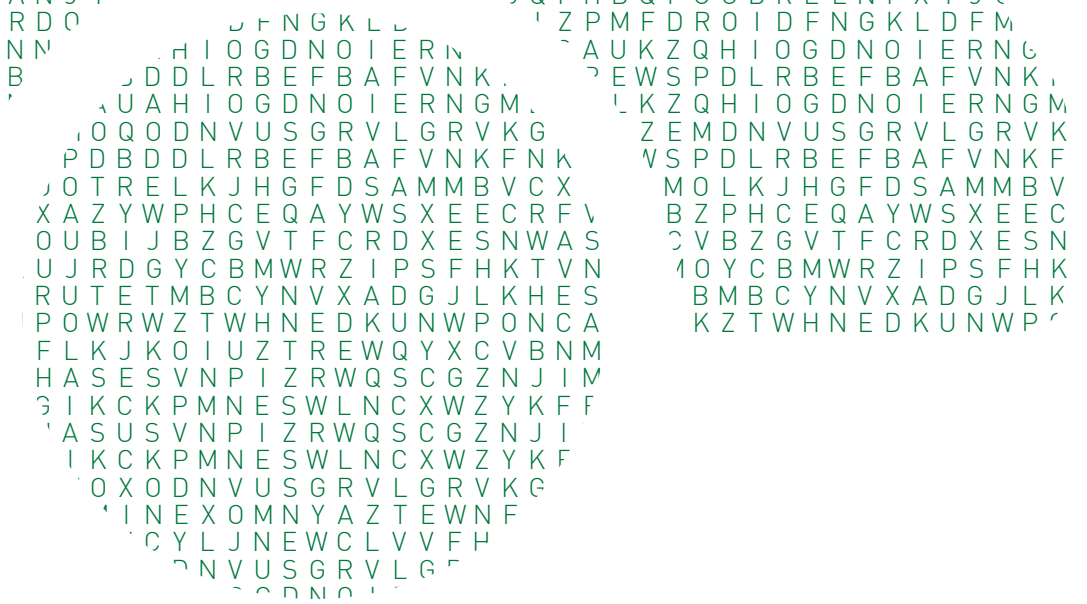


Ausrückerysteme

Vom System Know-how bis zum fertigen Serienprodukt

Roland Welter
Tim Herrmann
Sebastian Honselmann
Jeremy Keller

6



Einleitung

Mehr als 100 Jahre nach Erfindung des Automobils scheint es sich bei den Komponenten zur Kupplungsbetätigung um eine reife Technik zu handeln, für die kaum mehr Änderungen erforderlich sind. Doch auch diese scheinbar ausgereifte Produktfamilie unterliegt einer hohen Innovationsdynamik. Aktuelle Entwicklungen zielen darauf ab, die Robustheit weiter zu erhöhen, bisherige Werkstoffe durch Kunststoff zu ersetzen und Sensoren in den Geberzylinder zu integrieren.

Geberzylinder mit integrierter Sensorik kamen in der Vergangenheit nur in wenigen Fällen zum Einsatz. Die Verbreitung von Systemen wie Start-Stopp oder der elektronischen Parkbremse führt derzeit dazu, dass solche Sensoren im Geberzylinder bei manchen Automobilherstellern bereits zur Vollausstattung zählen. Die Sensoren ermöglichen es, den Weg am Kupplungspedal zu messen und so die Fahrerabsicht zu erkennen.

Auch die Werkstoffe unterliegen einem Wandel. Während über Jahrzehnte Grauguss oder das Leichtmetall Aluminium dominierten, werden Geberzylinder, Leitungen und Nehmerzylinder für neue Anwendungen fast nur noch in Kunststoff ausgeführt. Anfängliche Probleme beim Einsatz der Polymerwerkstoffe wie Geberquietschen, hohe adhäsive Reibung und Volumenaufnahme sind gelöst. Die erforderlichen Techniken für den Kunststoffeinsatz wurden kontinuierlich verfeinert und sind heute robust und preiswert. Selbst in den höher und ständig belasteten Doppelkupplungssystemen halten Kunststoffzylinder nach und nach Einzug. Aktuelle Entwicklungen zielen auf einen Einsatz von Kunststoff in der Pedalbox ab.

Schließlich sind die Anforderungen an die Robustheit der Komponenten zur Kupp-

lungsbetätigung deutlich gestiegen. Noch vor wenigen Jahren galt eine Million Zyklen unter Betriebslast als gängige Spezifikation für Ausrückssysteme. Heute sind nicht selten zwei bis drei Millionen Zyklen gefordert – bei gleichzeitig gestiegenen Anforderungen hinsichtlich der Umgebungsbedingungen Temperatur-, Wasser- und Schmutzbeaufschlagung.

Kupplungsgeberzylinder

Derzeit hat die Schaeffler-Marke LuK drei verschiedene Bauformen von Kupplungsgeberzylindern aus Kunststoff im Programm. Sie unterscheiden sich konstruktiv hinsichtlich der verwendeten Dichtungsanordnung.

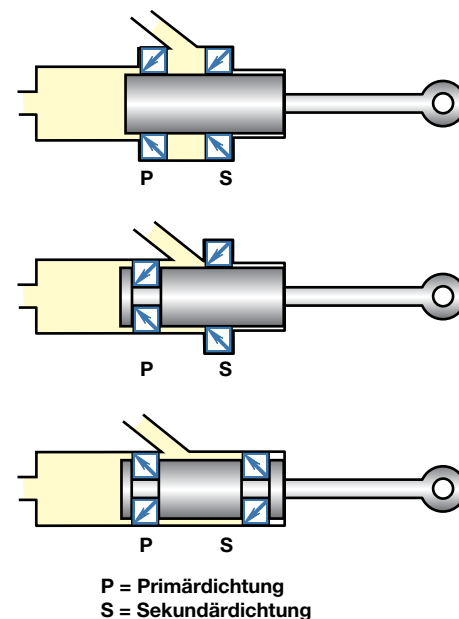


Bild 1 Bauformen von Kupplungsgeberzylindern

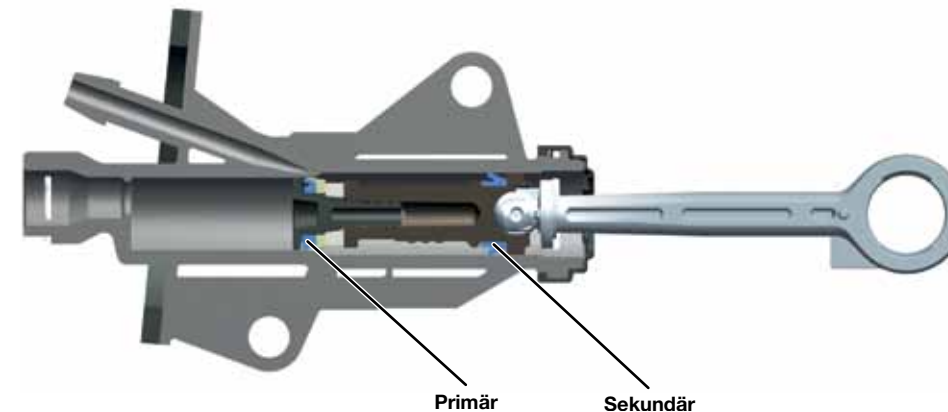


Bild 2 Neuartiger Kupplungsgeberzylinder mit einteiligem Gehäuse und mit dem Kolben verbundene Dichtungen

Die heute zumeist in der Serienproduktion verwendeten Kupplungsgeberzylinder verfügen über einen bewegten Kolben und zwei stationäre Dichtungen (Bild 1, oben). Dabei ermöglicht die Primärdichtung den Druckaufbau in Richtung Nehmerzylinder und die Sekundärdichtung hält das Fluid drucklos im Nachlaufbereich. Zu den Vorteilen dieser Bauform zählt, dass die Kolben aus einem duroplastischen Kunststoff hergestellt werden können. Mit diesem Werkstoff wird Quietschen mit den üblichen Dichtungen aus synthetischem Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM) wirkungsvoll unterdrückt. Als nachteilig gilt bei dieser Bauform, dass das Gehäuse aus Montagegründen zweiteilig und damit vergleichsweise kostenaufwendig aufgebaut werden muss. Zudem dehnt sich der gesamte Druckraum bei Betätigung radial, wodurch es zu einer relativ hohen Volumenaufnahme kommt.

Die zweite Bauform (Bild 1, Mitte) verfügt über eine mit dem Kolben bewegte Primärdichtung und eine stehende Sekundärdichtung im Gehäuse. Durch den verkleinerten Druckraum bei eingefahrenem Kolben ergibt sich eine geringere Volumenaufnahme bei der Betätigung. Zu den Nachteilen dieser Bauform zählt, dass die Geräuschproblematik bisher nicht zufrieden-

stellend gelöst werden konnte und zudem zur Montage der Sekundärdichtung ebenso ein kostenintensives, zweiteiliges Gehäuse erforderlich ist.

In neuen Anwendungen konzentriert sich LuK deshalb auf eine dritte Variante (Bild 1, unten), die aus einem einteiligen Gehäuse aus thermoplastischem Kunststoff besteht und über mit dem Kolben verbundene Dichtungen verfügt. Ein Beispiel für die technische Ausführung eines solchen Kupplungsgeberzylinders zeigt Bild 2.

Standardmäßig werden Dichtungen aus EPDM eingesetzt, wobei die Primärdichtung an der Außenseite mit einem Schild aus unverstärktem Polyamid gegen die Zylinderlaufbahn abgeschirmt wird, um Reibung und Verschleiß zu verbessern. Für die im Betrieb drucklose Sekundärdichtung ist so eine Maßnahme nicht erforderlich. Zur Vermeidung von Quietschgeräuschen können bei dieser Geberzylinderbauform Dichtungen aus speziellen Materialien eingesetzt werden.

Eine ausgefeilte Prüfstandtechnik unterstützt die Erforschung geeigneter Materialkombinationen von Dichtung und Laufbahn bei gegebener Bremsflüssigkeit. Neben standardisierten Geräuschmessungen mit kompletten Geberzylindern steht für grundlegende Versuche ein eigens für diesen

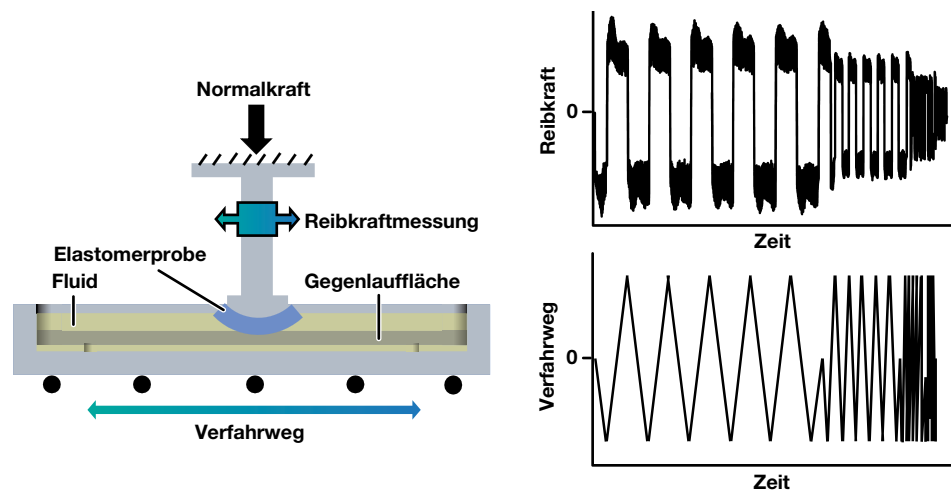


Bild 3 Tribologischer Prüfstand für Grundlagenversuche zur Dichtungsreibung und Geräuschanregung

Zweck entwickelter tribologischer Prüfstand zur Verfügung (Bild 3).

Zu den gängigen Versuchen auf diesem Tribometer zählt das Aufspannen und Belasten einer Flachprobe aus dem Material der Laufbahn mit einer Materialprobe der Dichtung, die längs der Flachprobe verschoben wird. Dabei kann die Kontaktstelle mit Bremsflüssigkeit geflutet und temperiert werden. Messgeräte erlauben die Erfassung von Reibkraft und Reibschwingungen. Geeignete Materialkombinationen zeigen zwei deutliche Effekte: Der Reibungsgradient über der Kolbengeschwindigkeit ist klein und eine Reibschwingung ist nicht zu erkennen. Bild 4 stellt dies beispielhaft für den Kontakt von Polyamid mit Standard Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk EPDM beziehungsweise Flüssigsilikon (Liquid Silicon Rubber: LSR) dar.

In allen bisher durchgeführten Versuchen hat sich LSR hinsichtlich Reibgradient, Reibungsniveau und Reibschwingungsverhalten überlegen gezeigt. Allerdings gibt es insbesondere im asiatischen Raum vereinzelt Bremsflüssigkeiten am Markt, die nicht mit LSR verträglich sind. Diese Einschränkung zu vermeiden ist das Ziel künftiger Entwicklungsarbeiten.

Zu den Vorzügen der neuen Zylinderbauform mit bewegten Dichtungen zählt die kleine Volumenaufnahme. Diese ist konstruktiv bedingt, da der höchste Druck bei fast eingefahrenem Kolben auftritt, wenn die „atmende“ Zylinderfläche vergleichsweise klein ist. Aufgrund des einteiligen Gehäuses werden mit der neuen Zylinderbauform statische Berstdrucke von mehr als 200 bar erzielt.

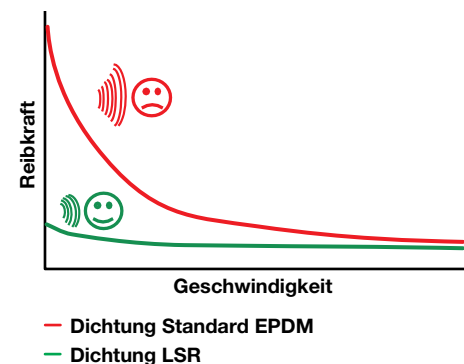


Bild 4 Gradient der Reibkraft für einen EPDM- und einen LSR-Probekörper gegen eine Laufbahn aus Polyamid PA 66 mit Glasfaserfüllung

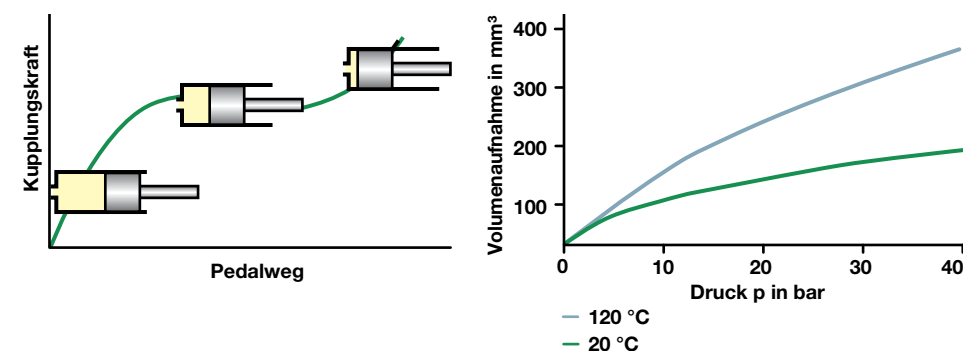


Bild 5 Volumenaufnahme des neuen Geberzylinders

Auf Wunsch kann der Zylinder mit zusätzlichen Anbauten versehen werden. Beispielsweise mit einer vormontierten Nachlaufleitung, die kostengünstig als Wellrohr aus Kunststoff ausgeführt ist. Im Gegensatz zur bislang üblichen Abdichtung solcher Wellrohre, die zur Erzielung akzeptabler Montagekräfte fettgeschmiert sein müssen, kommt eine neuartige selbststarretierende Dichtung zum Einsatz. Dazu verfügen die Dichtungen an der Umgebungsseite über Arretierungshaken, die während der Montage in einer Nut des Wellrohres einrasten (Bild 6). Auf eine zusätzliche Befettung kann

verzichtet werden. Auch die damit verbundene Verschmutzungsproblematik entfällt. Die Montagekräfte liegen bei maximal 40 N. Eine erfolgreiche Montage wird haptisch über einen Abfall der Schiebkraft deutlich angezeigt. In der Fahrzeugmontage übliche Befülldrücke bis 10 bar werden problemlos ertragen.

Integrierte Sensorik

Derzeit ist eine gestiegene Nachfrage nach Geberzylindern mit Weg- und/oder Positionssensorik zu beobachten. Die Wegsensoren messen den Kolbenweg kontinuierlich und ersetzen somit Potenziometer an der Pedalachse, während die Positionssensoren ein digitales Signal beim Durchlaufen definierter Kolbenpositionen erzeugen und somit die Funktion der Pedalschalter übernehmen. Beide Messaufgaben lassen sich platzsparend in einem Sensor am Kupplungsgeberzylinder unterbringen. Zudem ist eine Wegmessung am Kupplungsgeberzylinder weniger toleranzbehaftet und deshalb genauer. Die im Kupplungsgeberzylinder eingesetzten Sensoren arbeiten ausschließlich berührungslos und somit geräuschlos und verschleißfrei. Inzwischen sind neben den bekannten Hall-Sensoren auch mag-

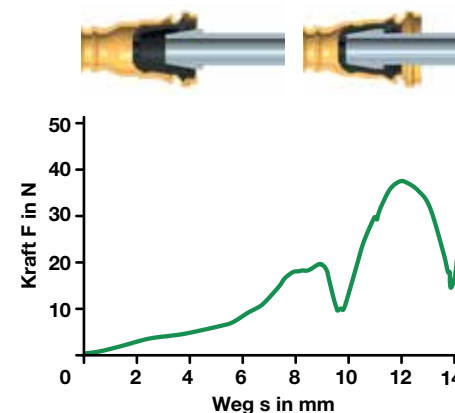


Bild 6 Ergonomisch gestaltete Verbindung zwischen Nachlaufschlauch und Befüllanschluss



Bild 7 Geberzylinder mit integriertem induktiven Weg- und Positionssensor

netlose, in die Gehäuse der Geberzylinder integrierte, induktive Sensoren in Serie verfügbar, wie Bild 7 anhand eines Beispiels zeigt.

Der Grund für die zunehmende Nachfrage nach Sensorinformationen aus dem Bereich der Pedalbox liegt in der Notwendigkeit, der Motorsteuerung oder auch den Steuergeräten für Start-Stopp-Systeme oder der elektronischen Parkbremse eine Weg- oder Positionsinformation zur Verfügung zu stellen, die Rückschlüsse sowohl auf den Trennzustand der Kupplung als auch auf den Fahrerwunsch zulässt. Heute übliche Funktionen sind in Bild 8 zu finden.

Weitere Informationsauswertungen sind denkbar, werden aber noch nicht im großen Stil genutzt. Zu den Beispielen zählen das Erkennen einer Fehlbedienung, wie eine mangelnde Entlastung des Pedals beim Fahren, zu häufiges Schleifenlassen der Kupplung oder auch das Hinterlegen eines Rechenmodells für Verschleißvorhersagen.

In der Serienfertigung kommen Hall-Schalter, integrierte Hall-ICs zur Wegmessung sowie magnetlose induktive Sensoren zur Anwendung. Der Einsatz von intelligenten Sensoren ermöglicht dabei die Kompensation fertigungs- und montagebedingter Toleranzen durch eine Kalibrierung nach

der Montage am Kupplungsgeberzylinder. Zudem verfügen sie über eine gewisse Diagnosefähigkeit. Kabelbrüche, Kurzschlüsse und sensorinterne Fehler können so erkannt und an das Steuergerät kommuniziert werden.

Die Anforderungen an die funktionale Sicherheit elektronischer Komponenten in Kraftfahrzeugen nach ISO 26262 werden je nach Ausführung bis zur Stufe „ASIL C“ erfüllt. Dies ist allerdings von den spezifischen Sicherheitszielen der sensorrelevanten Fahrzeugfunktionen abhängig, die durch den Automobilhersteller festgelegt



Bild 8 Nutzung des Sensorsignals aus dem Kupplungsgeberzylinder im Fahrzeug

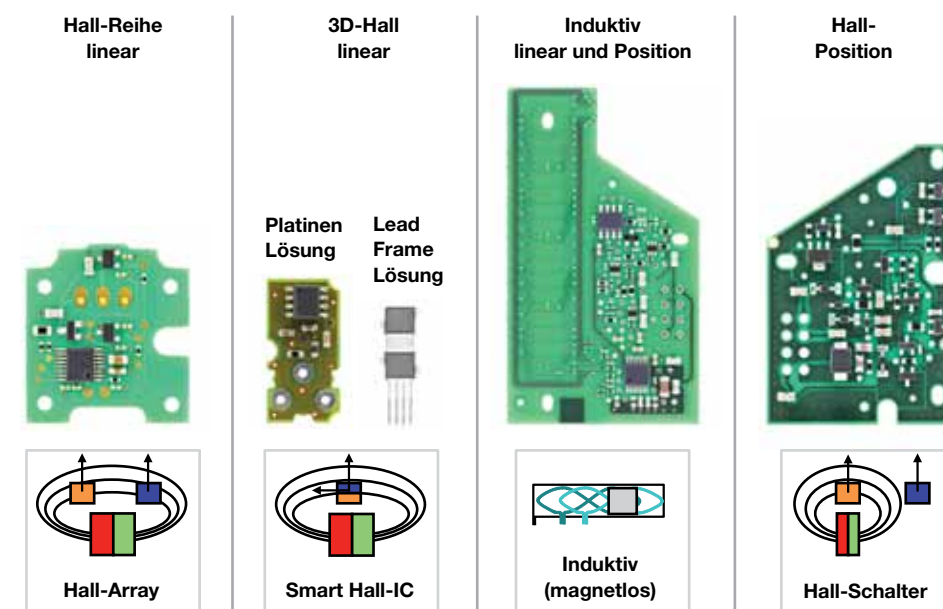


Bild 9 Eingesetzte Sensoren im Kupplungsgeberzylinder

werden müssen. Üblicherweise wird für die Erreichung der Sicherheitsziele auf Fahrzeugebene auf mehrere verfügbare Sensorinformationen zurückgegriffen. Dies reduziert die Anforderungen an einzelne Sensoren.

Ein wesentlicher Vorteil der Hall-Sensoren ist ihre kurze axiale Baulänge, die sich in Zukunft noch weiter reduzieren lässt. So nutzen Hall-Array-Sensoren zwei in Messrichtung hintereinander geschaltete Hall-Zellen und eine Signalverarbeitung über einen Mikro-Controller. Hochintegrierte Chips verfügen über mehrere Hall-Elemente, die es ermöglichen, das Magnetfeld mehrdimensional auszumessen und eine Weginformation abzuleiten. In der miniaturisierten Form haben diese Sensoren keine Platine mehr, sondern sind samt der notwendigen Beschaltung direkt auf dem Lead Frame aufgebracht. Der Vorteil eines kleinen Bau-raums muss jedoch dadurch erkauft werden, dass zusätzliche Beschaltungen oder Sonderlösungen nicht möglich sind.

Zu den Entwicklungszielen zählt es, die Masse der Magnete zu minimieren, um den Anteil an Seltenen Erden zu reduzieren. Während ursprünglich zylinderförmige Magnete zum Einsatz kamen, geht LuK zunehmend auf Segmentmagnete und eine Verdrehsicherung der Kolben über. Bei dem Hall-Schaltpunktsensor ist der Magnet inzwischen auf einen kleinen Kubus reduziert.

Trotz dieser Fortschritte wird in neueren Lösungen versucht, den Einsatz von Magneten ganz zu vermeiden, um der Volatilität der Preise für Seltene Erden zu entgehen. Ein erstes Ergebnis dieser Bemühungen ist ein berührungsloser induktiver Wegsensor, der als Messelement einen kleinen Ring aus Aluminium benutzt. Mit einem solchen System können höhere Genauigkeiten als mit einem Hall-Sensor erzielt werden und zusätzliche Schaltpunkte lassen sich aus dem Signal des integrierten Controllers oder durch eine Zusatzbeschaltung bedarfsge-recht ableiten.

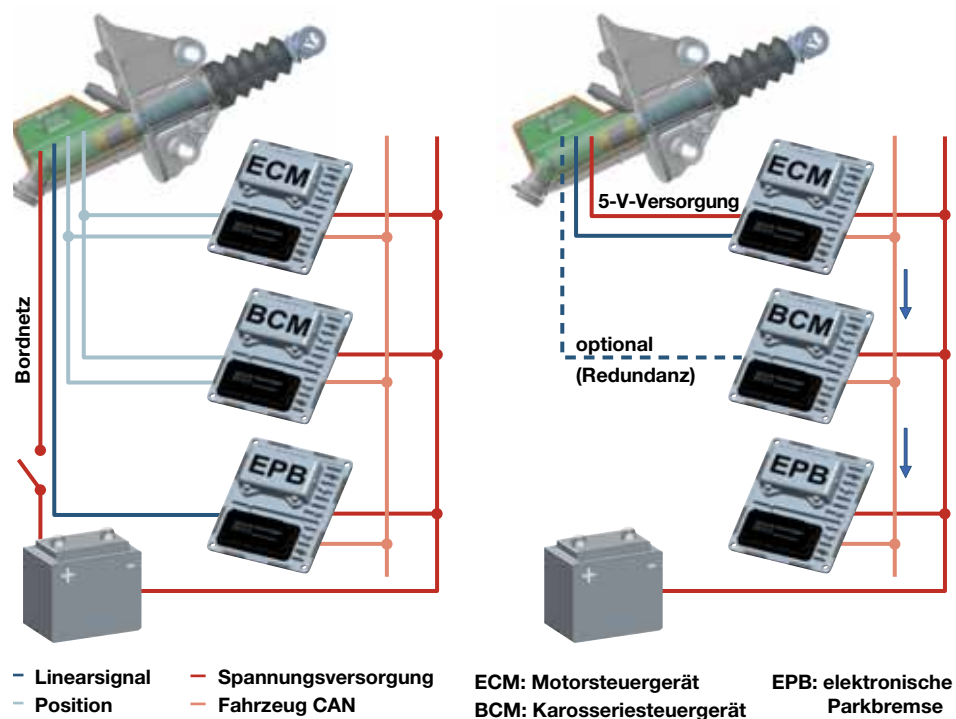


Bild 10 Geberzylinder-Signalverarbeitung im Fahrzeug; links: heute oft gebräuchliches Konzept; rechts: künftiges Konzept

Einziger Nachteil der induktiven Lösung ist die vergleichsweise große Baulänge. Die Länge des Spulensystems beträgt konstruktiv bedingt bis zu 135 % des Messwegs. Dies stellt für die meisten Anwendungen kein Problem dar. Trotzdem arbeitet LuK an kürzer bauenden Lösungen, die jedoch noch nicht serienreif sind.

Hochintegrierte Sensoren geben sowohl ein Wegsignal als auch Positionssignale aus und stellen diese Informationen unterschiedlichen Steuergeräten zur Verfügung. Da die Signalschnittstellen und die erwarteten Spannungsniveaus nicht vereinheitlicht sind und als Spannungsversorgung nur das Bordnetz verfügbar ist, kann das volle Potenzial einer intelligenten Sensorlösung derzeit nicht komplett ausgeschöpft werden.

Da Positionssignale im Gegensatz zu Linearwegsignalen nicht über aktive Diagnosefunktionen verfügen, werden Sicherheitsziele nach ISO 26262 mit abgeleiteten Positionspunkten aus dem linearen Wegsignal auf Fahrzeugebenen oft nicht komplett erfüllt. Für Anwendungen mit hoher Sicherheitsanforderung empfiehlt LuK deshalb die Verwendung eines Wegsensors mit zwei unabhängigen Wegsignalen, die von den jeweiligen Steuergeräten verarbeitet und gegebenenfalls zur Erhöhung der Sicherheit verglichen werden können. Eine stabilisierte 5-V-Spannungsversorgung wird in diesem Fall durch ein Steuergerät übernommen und die Sensorsignale werden dabei vorzugsweise als pulswidenmodulierte (PWM) oder digitale Signale (zum Beispiel SENT) zur Verfügung gestellt. Ein Vorteil dieser Lö-

sung ist, dass die für verschiedene Fahrzeugfunktionen benötigten Informationen direkt aus dem Linearsignal abgeleitet und über CAN-Bus den entsprechenden Steuergeräten mitgeteilt werden können. Erste Automobilhersteller planen bereits die Nutzung dieses Konzepts.

Die Wegmessung per integrierter Sensorik kann auch für Clutch-by-Wire-Anwendungen genutzt werden. Dazu wird eine ganze Palette von mehr oder weniger komplexen Lösungsvorschlägen diskutiert. LuK favorisiert eine Lösung, bei der nur der konventionelle Geberzylinder in der Pedalbox durch ein vom Bauraum her ähnliches Element ersetzt wird. Dies könnte aus einem Gehäuse mit Kolbenstange und innenliegendem Federpaket bestehen. Eine Feder mit linearer Kennlinie wird dabei durch die Feder- und Hysteresewirkung eines Klemmelementes überlagert und sorgt für das gewohnte Plateau der Kupplungsbetätigung. Der Sensor sitzt bei diesem Konzept wie beim konventionellen Geber außen am Gehäuse.

Leitungen und Einbauelemente

Leitungen haben die Aufgabe, den hydraulischen Druck sicher und mit möglichst wenig Reibungs- und Volumenverlusten zu übertragen. Zusätzlich sollen Leitungen vom Motor kommende Schwingungen an der Ausbreitung bis zur Pedalbox hindern. Dazu werden Einbauelemente wie Tilger und Kribbelfilter genutzt.

Leitungen werden heute aus den Werkstoffen Stahl/Gummi oder Polyamid (PA 12 und PA 612) hergestellt. Aktuell setzen sich Leitungen aus Kunststoff aufgrund der geringeren Kosten mehr und mehr durch [1]. LuK setzt inzwischen für fast alle Leitungen PA 610 ein. Dieser Kunststoff basiert zu mehr als 60 % auf pflanzlichen Rohstoffen. Die weltweite Verfügbarkeit der Vormaterialien ist besser als für PA 12 und PA 612. Die

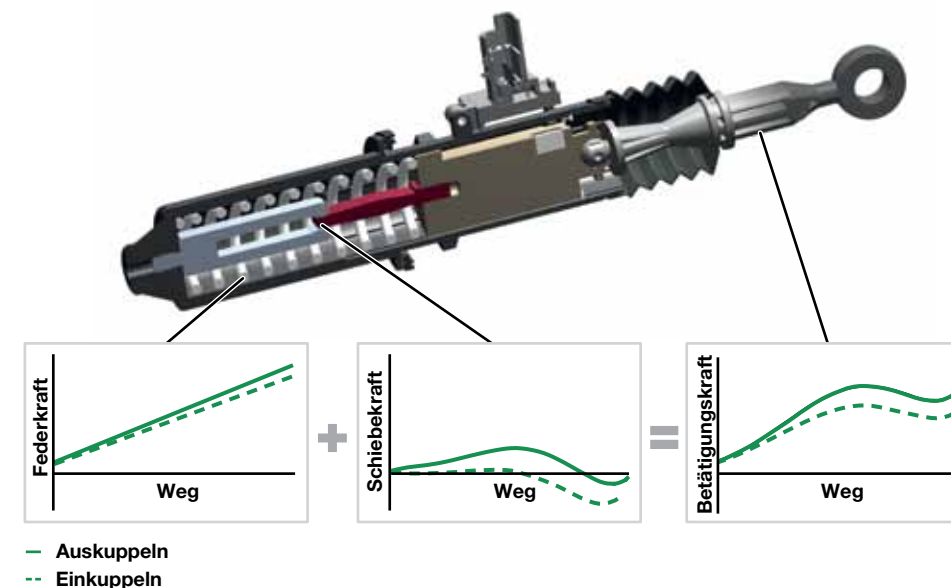


Bild 11 Kompakter Pedalkraftemulator mit Sensor für Clutch-by-Wire-Systeme

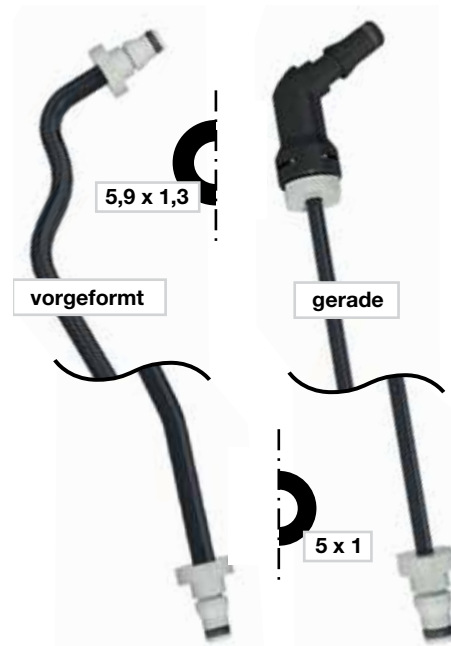


Bild 12 Druckleitungen für die Kupplungs- betätigung aus PA 610

mechanischen Eigenschaften sind annähernd gleich wie für PA 612 und die chemische Verträglichkeit ist besser.

Kunststoffleitungen in schwingungskritischen Anwendungen (Dieselmotoren und Motoren mit wenigen Zylindern) erfordern meist den Einsatz eines Filters gegen Pedalvibrationen und Innenraumgeräusche. Traditionell sind diese Filter als weiches Zusatzvolumen in der Leitung ausgeführt. Dabei entsteht jedoch regelmäßig ein Konflikt zwischen guter Filterwirkung und verlustarmer direkter Betätigung.

Aufgrund der Komplexität dieses Zielkonflikts kann eine optimale Lösung durch Versuche kaum gefunden werden. Deshalb müssen spezialisierte Simulationswerkzeuge eingesetzt werden. Im Allgemeinen genügt es, den Druckverlauf im Geberzylinder des Frequenzbereichs zu betrachten. Dazu steht bei LuK das Programm PipeSim zur Verfügung, das die Strömungs- und Schwingungsverhältnisse in der Leitung an-

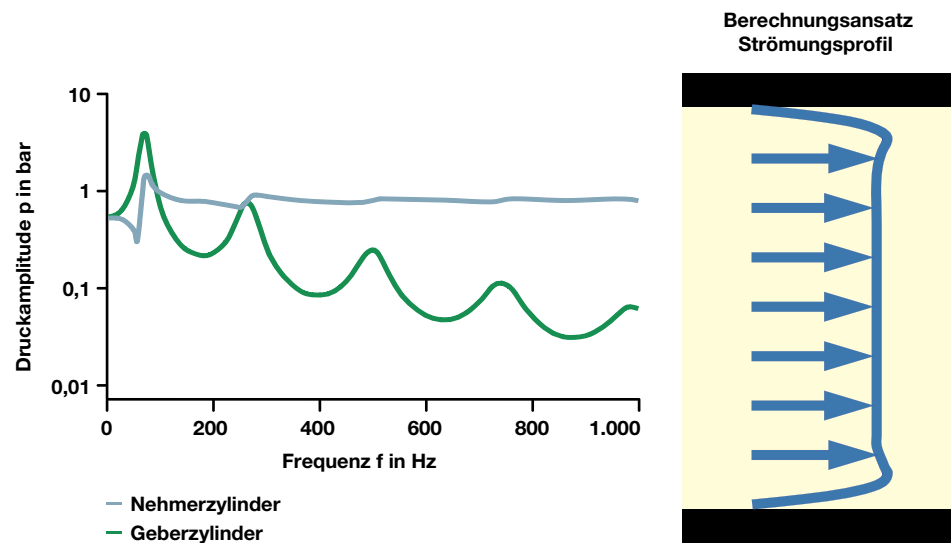


Bild 13 Simulation des Übertragungsverhaltens von Kupplungsleitungen und eingebauten Schwingungsdämpfern

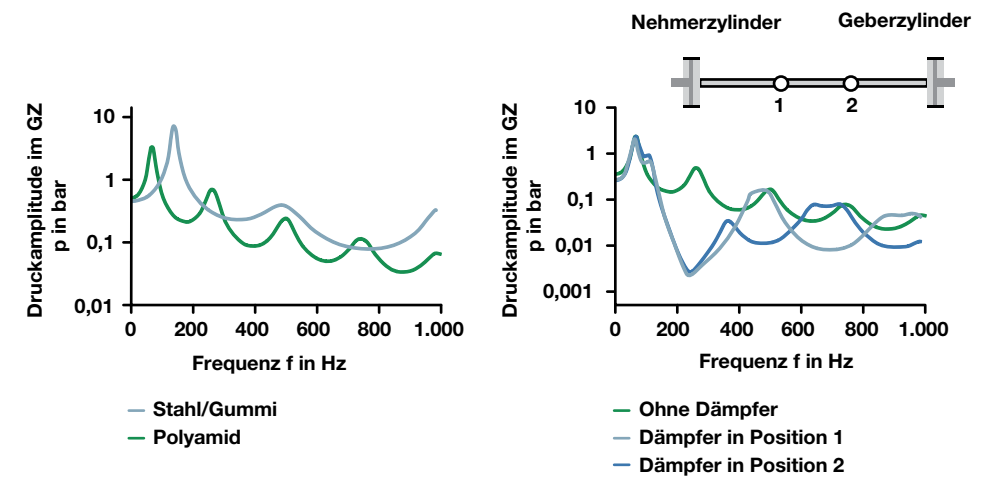


Bild 14 Beispiel einer Variationsrechnung mit PipeSim

hand der numerischen Lösung der Navier-Stokes-Gleichungen berechnet.

Mit PipeSim lässt sich die Schwingungsübertragung bis zum Geberzylinder gezielt untersuchen, so dass die besten Abhilfemaßnahmen identifiziert werden. Dabei handelt es sich in der Regel um einen Schwingungstilger mit passender Abstimmung, einen Kribbelfilter oder eine Kombination aus beidem am optimalen Ort entlang der Leitung. Die Simulation ermöglicht darüber hinaus eine frühzeitige Festlegung der Leitungsführung, noch bevor Versuchsfahrzeuge verfügbar sind.

Das folgende Beispiel zeigt das Vorgehen und die Vorteile der Simulation: Die Leitung wird zunächst entsprechend ihres mechanischen Aufbaus in mehrere Segmente aufgeteilt. Über den Nehmerzylinder wird anschließend eine Anregung als Frequenzbogen vorgegeben. Dies erzeugt gemäß dem Übertragungsverhalten der Leitung eine entsprechende Druckschwingung im Geberzylinder. Das Ergebnisdiagramm in Bild 14 zeigt links grau den Verlauf für eine Stahl/Gummi-Leitung und grün für eine typische PA-Leitung: Die Stahl/Gummi-Variante weist eine Resonanz der eingehenden

Schwingung bei circa 150 Hz auf. Dort ist mit Problemen durch Pedalvibration zu rechnen. Der Druckverlauf über der Frequenz für die Kunststoffleitung ist größtenteils niedriger, aber es gibt mehrere potenzielle Überhöhungen. Im gezeigten Beispiel hat sich im Fahrzeug lediglich die Überhöhung bei circa 250 Hz als störend gezeigt. Diese kann durch den Einbau eines Schwingungstilgers bekämpft werden, dessen optimale Platzierung PipeSim berechnen kann (Bild 14 rechts).

Gewissermaßen als Nebeneffekt lässt sich durch die Simulationstechnik auch die Technik der Tilger und Kribbelfilter entscheidend verbessern: Diese Elemente können heute perfekt und individuell auf den jeweiligen Anwendungsfall abgestimmt werden, zeigen eine nur minimale Volumenaufnahme, die die Pedalkennlinie nicht stört und sind als Baukasten verfügbar. Der Kribbelfilter (AVU) in Bild 15 links ist hydraulisch gesehen eine Art zweiseitig wirkendes automatisches Absperrventil bei gehaltenem Pedal oder eine Drossel bei leichter Durchströmung. Er dient zur Bekämpfung niederfrequenter Pedalschwingungen bis ca. 150 Hz, die am Fuß als Kribbeln wahrgenommen

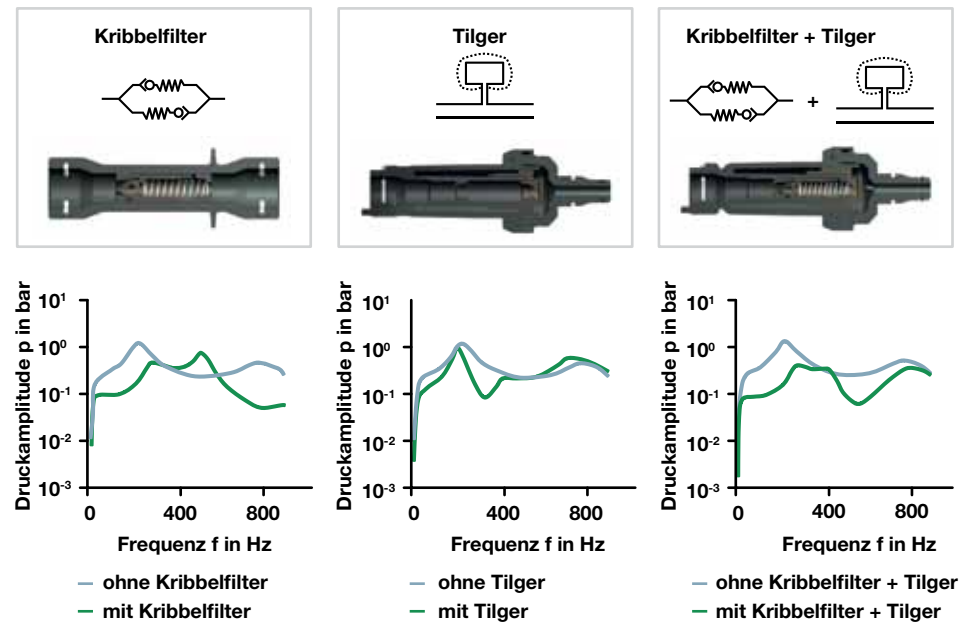


Bild 15 Kribbelfilter und Schwingungstilger-Baukastensystem

werden. Der Schwingungstilger in Bild 15 Mitte wurde einem Helmholtz-Tilger in der Gasdynamik nachempfunden. Dabei handelt es sich um eine nachgiebige Kapazität mit einer definierten Drossel als Querverbindung zur Druckleitung. Die Wirkung wird eher im höherfrequenten Bereich genutzt und dient zur Bekämpfung von Innenraumgeräuschen. Dabei bestimmen die Höhe der angeschlossenen Kapazität, die Länge und der Durchmesser der Drossel die Tilgerfrequenz und die Bandbreite. Ziel ist es, die Volumenaufnahme so klein wie möglich zu halten, um Ausrückwegverluste zu minimieren. Dazu wird der Tilger für jede Applikation spezifisch abgestimmt. Eine Kombination aus Kribbelfilter und Tilger zeigt Bild 15 rechts. Dort ist der Tilger so abgestimmt, dass die Resonanz bei etwa 550 Hz aus Bild 15 links behoben wird. Bisher ist es in nahezu allen Fällen gelungen, auch schwierige Problemstellungen anhand einer Kombination von Kunststoffleitung

und entsprechendem Filter zu lösen. Dies spricht für eine weitere Substitution von Stahl/Gummi-Leitungen durch kostengünstige Lösungen aus Kunststoff.

Neben den Schwingungsdämpfern ist der Einbau weiterer Elemente in die Leitungen möglich. Zu den Beispielen zählen Entlüftungshilfen für lange und nicht kontinuierlich steigend verlegte Leitungen, wie sie etwa bei Heckgetrieben erforderlich sind. Für solche Einbausituationen werden bislang oftmals eine doppelte Leitung und zwei Vorratsbehälter eingesetzt. Eine Entlüftungshilfe macht diese doppelte Auslegung überflüssig. Die kleine hydraulische Stufe lässt einen Transport von Luftblasen nur in Richtung Geberzylinder zu, selbst wenn die Leitung partiell entgegen geneigt ist. Dadurch sammelt sich die Luft im höchsten Punkt der Entlüftungshilfe, wird beim Einkuppeln größtenteils in Richtung Geberzylinder transportiert und kann dort über die Schnüffelfbohrung entweichen (Bild 16).

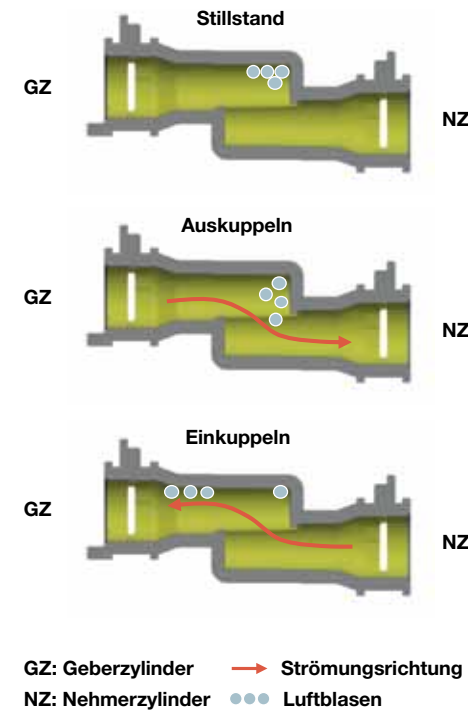


Bild 16 Entlüftungshilfe für zum Geberzylinder hin fallende Kupplungsleitungen

Nehmerzylinder – Kunststoff setzt sich durch

Die vergangenen Jahre zeigen weltweit einen klaren Trend zu Zentralausrückern (CSC-Concentric Slave Cylinder) und zu Gehäusen aus temperaturbeständigem Kunststoff für praktisch alle Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge. Zu den Vorteilen von Zentralausrückern zählen die kompakte Bauweise, die gleichmäßige Lagerbelastung und der im Vergleich zu allen anderen Systemen günstige Preis. Technische Weiterentwicklungen erlauben eine kontinuierliche Steigerung der Zuverlässigkeit. Kernthemen in der Entwicklung sind ein Schutz der Hydraulik und des Lagers vor Kontamination, eine verlängerte Lebensdauer der zentralen Dichtung bis zu drei Millionen Zyklen und eine dauerhaft geringe Reibung. Nahezu 100 % aller neuen Zentralausrücker für Handschaltgetriebe werden heute mit Gehäusen aus Kunststoff realisiert. Eine ausführliche technische Beschreibung findet sich in [3].



Bild 17 TAC mit DFA mit verkleinertem Deckellager am Ende des Führungsrohres [2]

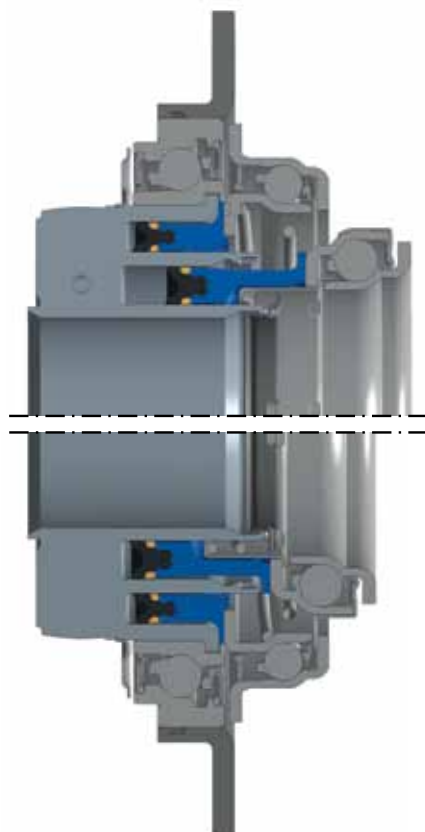


Bild 18 Deckelfester Zentralschalter für Doppelkupplung

Der bereits früher dargestellte deckelfeste Zentralschalter (DFA) läuft inzwischen in ersten Anwendungen in der Serie und zeigt hinsichtlich Pedalvibrationen, Rupfen und Rasseln ein komfortables Fahrverhalten. Weiterentwicklungen des DFA zielen auf eine Verkleinerung des Deckellagers und eine Kombination mit der neuen Kupplung mit weggesteuerter Verschleißnachstellung (Travel Adjusted Clutch, TAC) ab. Das kleinere Deckellager soll Kosten und Bauraum sparen. Der DFA mit TAC wird so aufgebaut, dass bei gleichem Deckelwerkzeug wahlweise ein konventioneller Ausrückzylinder oder ein DFA verwendet werden kann. So entsteht für die Kunden ein Maximum an Flexibilität für die Serie (Bild 17).

Die für Handschaltgetriebe bewährte Technik wird nun zum Teil auch auf Doppelkupplungsgetriebe mit hydraulischer Betätigung übertragen und ergänzt (Bild 18). So nutzen Zentralschalter für Doppelkupplungsgetriebe heute die armierte Dichtung, eine Lebensdauerschmierung zur Reibungsreduktion und die DFA-Technik. Darüber hinaus gibt es Ergänzungen wie:

- kardanische Aufhängung der Kolben für parallelen Abhub der Kupplung,
- Schleppmomentsicherung zum Gehäuse mittels Feder anstelle einer Vorlastfeder,
- Dimensionierung der Einrücklager für dauerhaft hohe Lasten.

Pedalboxen – Mauerblümchen mit viel Potenzial

Pedalboxen für die Kupplungsbetätigung werden zunehmend separat von Brems- und Fahrpedal eingesetzt. Damit wird dieses Thema grundsätzlich auch für einen Kupplungssystemhersteller interessant. Zu den aktuellen Aktivitäten rund um Pedalboxen zählen bei LuK eine vereinfachte Konstruktion durch die Integration von Sensorik, Leichtbau durch einen konsequenten Einsatz von Kunststoff mit integriertem Geberzylinder und nicht zuletzt eine möglichst ergonomische Pedalkennlinie.

Die Möglichkeit, die Sensorik in den Geberzylinder zu integrieren, vereinfacht die Struktur der Pedalbox erheblich (Bild 19). Bislang werden im Extremfall drei Schalter und ein Potenziometer mit entsprechenden Haltern, Anschlägen und Kabeln genutzt. Beim Einsatz eines Sensors im Geberzylinder können diese Bauteile mit Ausnahme eines Kabels komplett entfallen. Gleichzeitig wird die Messgenauigkeit des Systems erhöht.

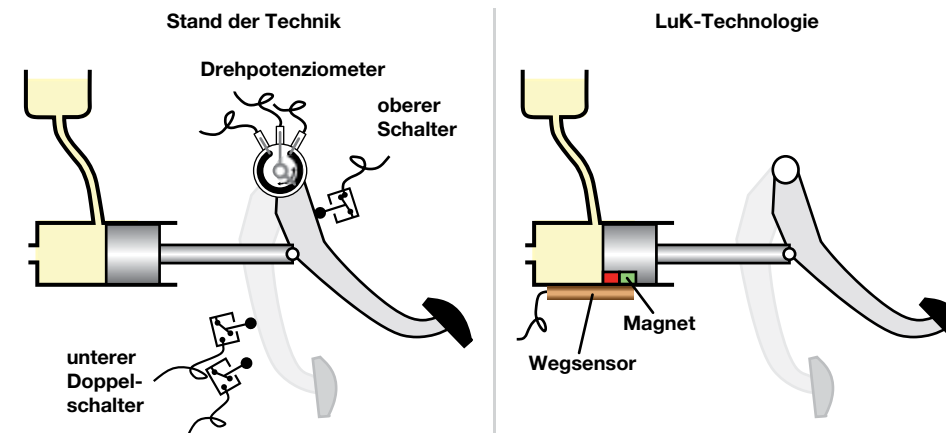


Bild 19 Vereinfachte Konstruktion der Pedalbox durch Integration der Sensorik in den Geberzylinder

Dabei ist es denkbar, den in Bild 2 gezeigten, neuartigen Geberzylinder einteilig mit dem Gehäuse der Pedalbox als Kunststoffteil aus Spritzguss herzustellen. Dies reduziert den Montageaufwand und dient der Erhöhung der Steifigkeit durch den Wegfall von

Trennfugen. Auch das Pedal würde für eine solche Lösung konsequenterweise ebenfalls aus Kunststoff hergestellt. Im gezeigten Beispiel gibt es zwei mögliche Gelenkpunkte zwischen Pedal und Pedalbox. Dadurch können zwei unterschiedliche Übersetzungen in der gleichen Struktur genutzt werden. Die Feder ist als zylindrische Druckfeder ausgeführt und – vom Gehäuse verdeckt – in der Mitte untergebracht. Der Sensor ist seitlich am Geberzylinder angebracht oder ebenfalls in die Struktur integriert (Bild 20).

Eine ergonomisch perfekte Auslegung der Kraft-Weg-Kennlinie am Pedal ist unabdingbar [4]. Verschiedene Automobilhersteller verfolgen das Ziel, toleranzbedingte



Bild 20 Pedalbox für die Kupplungsbetätigung aus Kunststoff mit integriertem Geberzylinder und Sensor

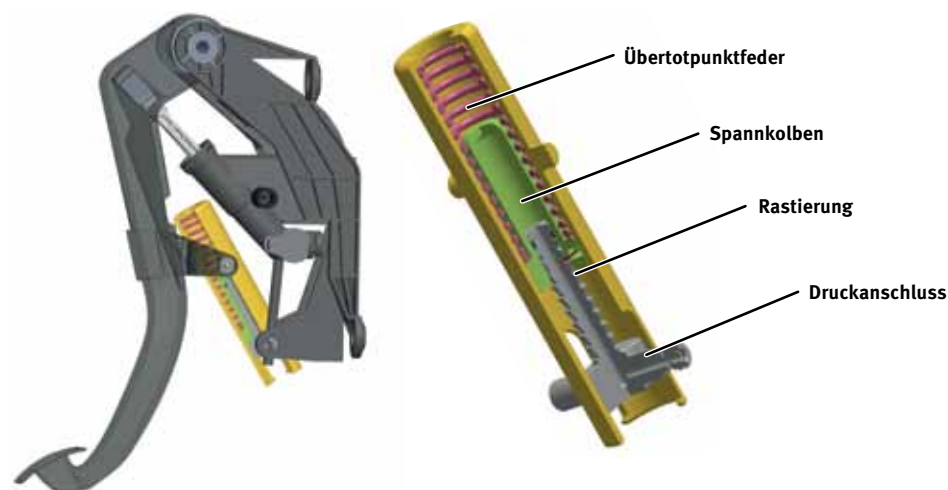


Bild 21 Pedalbox mit selbstnachstellender ÜTF zur Pedalkraftbegrenzung

Kraftschwankungen bei konventionellen Systemen im Neuzustand zu reduzieren. Dahinter steckt der Gedanke, ein markenspezifisches Pedalgefühl zu erzeugen. Da dies anhand von Toleranzeinschränkungen nicht ausreichend gut lösbar ist, hat sich LuK die Aufgabe gestellt, einen Einstellmechanismus in der Pedalbox zu untersuchen. Dazu wurden zwei verschiedene Einstellmechanismen betrachtet: eine Justierung der Pedalübersetzung sowie eine Vorspannung der Übertotpunktfeder (ÜTF) (Bild 21).

Letztlich wurde die Idee, Änderungen an der Pedalübersetzung vorzunehmen, verworfen, da dies auch die Wege am Pedal oder am Ausrücklager verändert. Die Anpassung der Vorspannung der ÜTF bietet dagegen eine elegante Möglichkeit, das Kraftniveau zu beeinflussen. Dabei sind eine manuelle oder eine automatisierte Anpassung gleichermaßen denkbar. Die manuelle Anpassung könnte beispielsweise mittels einer einfachen Einstellschraube am Pedal und einer Messung der Pedalkraft im Fahrzeug erfolgen. Da ein solcher Arbeitsschritt in den Fahrzeugmontagelinien nicht vorgesehen ist, konzentriert sich

LuK auf die automatische Einstellung. Dafür wird der Fußpunkt der ÜTF mittels eines kleinen hydraulischen Zylinders mit dem Druck des Ausrücksystems beaufschlagt. Im Neuzustand ist die ÜTF entspannt, kompensiert also sehr wenig. Bei der maximalen Pedalkraft beziehungsweise steigendem Druck im System wird die Feder weiter vorgespannt, bis ein Gleichgewicht zwischen Federkraft und Druckkraft erreicht ist. Ein Mechanismus zum Einrasten hindert den Spannkolben am Zurückstellen.

Auf diese Weise wird zwar nicht die komplette Form der Kennlinie an eine Sollkurve angepasst, wohl aber die Höhe der maximalen Kraft. Die gezeigte Form der Selbstnachstellung hat den Nebeneffekt, dass Kraftanstiege im Betrieb ebenfalls teilweise verhindert werden können. Dadurch wird in einem gewissen Umfang also auch eine Verschleißnachstellung erreicht. Wenn eine Kupplungsreparatur erforderlich wird, kann der Rastiermechanismus gelöst werden und die Selbsteinstellung beginnt von vorne. Details zu diesem Mechanismus befinden

sich derzeit in der Entwicklung; Zielgebiet ist der Einsatz in Fahrzeugen mit konventioneller Kupplung.

Zusammenfassung

Auch eine scheinbar reife Technik wie das Gebiet der Ausrückssysteme bietet viele Ansatzpunkte für Innovationen. Neue Sensoren und Pedalboxen aus Kunststoff mit integriertem Geberzylinder versprechen zahlreiche Vorteile für künftige Serienfahrzeuge. Neben einer Erhöhung der Funktionalität für den Kunden zählt in diesem Zusammenhang auch ein Beitrag zum Leichtbau und mithin zur Verbrauchseinsparung.

Literatur

- [1] Welter, R.; Wolf, B.; Ineichen, L.: Leitungssysteme für die Kupplungsbetätigung. VDI-Berichte Nr. 2139, 2011, S. 231-240
- [2] Welter, R.; Wittmann, C.; Hausner, M.; Kern, A.; Ortman, S.: Deckelfester Zentralausrücker für Kupplungen; VDI Berichte Nr. 2206, 2013, S. 67-79
- [3] Welter, R.; Lang, V.; Wolf, B.: Kupplungsbetätigung mit Köpfchen. 9. Schaeffler Kolloquium, 2010, S. 61-74
- [4] Zink, M.; Hausner, M.; Welter, R.; Shead, R.: Kupplung und Ausrücksystem. 8. LuK Kolloquium, 2006, S. 27-45