

11

Kleiner, Flexibler, Intelligenter

Weiterentwickelte Komponenten
für Doppelkupplungsgetriebe

Bruno Müller
Markus Kneissler
Matthias Gramann
Norbert Esly
Rene Daikeler
Ivo Agner

Einleitung

Die ersten Doppelkupplungsgetriebe wurden nicht zuletzt wegen der relativ konventionellen und beherrschbaren Technologien zunächst mit Nasskupplungen und hydraulischen Steuersystemen ausgeführt. Die Verwendung einer permanent angetriebenen Getriebeölpumpe, deren Größe und Leistungsaufnahme durch die Maximaldrücke und den Kühlstrombedarf der Kupplungen definiert ist, führt zu Verlusten, die sich im Prozentbereich auf den Kraftstoffverbrauch auswirken. Ebenfalls schlägt sich der Wirkungsgrad des Betätigungssystems, hier insbesondere die Dreheinführungen für das Drucköl der Kupplungen, stark im Kraftstoffverbrauch nieder. Zwar konnten die ersten nassen Doppelkupplungsgetriebe den Kraftstoffverbrauch im Vergleich zu den damals gängigen 6-Gang-Stufenautomaten verbessern, jedoch hat diese Technik kaum Vorteile im Vergleich zu weiter- oder neuentwickelten Stufenautomaten. Neuere Entwicklungen – wie zum Beispiel das VW DQ200-Getriebe [1] – zeigen, dass Doppelkupplungsgetriebe dennoch das Potenzial haben, sogar das Handschaltgetriebe bezüglich des Kraftstoffverbrauchs zu schlagen. Nicht zuletzt der Beitrag über das Getrag 6DCT250 [1] zeigt, dass die besonders effizienten, elektromechanisch betätigten Getriebe bereits Wirklichkeit sind.

In diesem Beitrag wird die Weiterentwicklung der Doppelkupplungsgetriebe ausgehend von diesem Stand der Technik diskutiert. Der Beitrag zeigt konsequent weiterentwickelte Getriebekomponenten für nasse und trockene Doppelkupplungsgetriebe und wie diese zu effizienten Getriebesystemen kombiniert werden können.

Die direkt betätigte trockene Doppelkupplung

Ausgehend von dem vorgestellten Getrag 6DCT250 System mit elektromechanischer Betätigung stellt sich die Frage, wie dieses System weiterentwickelt werden kann. Die weitere Absenkungen der Betätigungskräfte der Kupplungen und die Verbesserung der Genauigkeit der Verschleißnachstellung erhöhen die erreichbaren Drehmomente oder vereinfachen die Mechanik der Kupplungsaktorik [2].

Im Zusammenhang mit der Klimadiskussionen und der Wirtschaftskrise ist ein deutlicher Trend zu den Kleinwagensegmenten mit weniger als 200 Nm zu erkennen (Bild 2). Während das durchschnittliche Wachstum des Automobilmarktes mit 20 % prognostiziert wird, geht man in den Kleinwagensegmenten von einem deutlich überproportionalen Wachstum von 40 % aus. Damit erreichen diese Segmente einen Marktanteil von 35 % [3].

Aus diesem Grund ist die Frage zu stellen, ob es sinnvoll ist, ein trockenes Doppelkupplungssystem, welches bis über 300 Nm abdecken kann, auch für diese Kleinstanwendungen herunter zu skalieren, oder ob es andere, für dieses Segment besser zugeschnittene Systeme gibt. Neben den Kosten spielt insbesondere der Bauraum in diesen Fahrzeugsegmenten eine große Rolle. Kürzere Getriebeglocken mit kleinerem Durchmesser und kompaktere Anordnungen der Getriebewellen erhöhen die Bauraumanforderungen an die Doppelkupplung und das Betätigungssystem.

		Relativer Kraftstoffverbrauch	
Nass mit Drehdurchführung	Hydraulik		4,5 - 10 %
	Power Pack		2,5 - 5 %
Nass mit Einrücklager	Power Pack		1,5 - 3,5 %
	Elektromotorisch		1,0 - 2,5 %
Trocken mit Einrücklager	Power Pack		0,4 - 0,8 %
	Elektromotorisch		Referenz

Bild 1 Verbrauchsvergleich (NEFZ) von verschiedenen Doppelkupplungssystemen

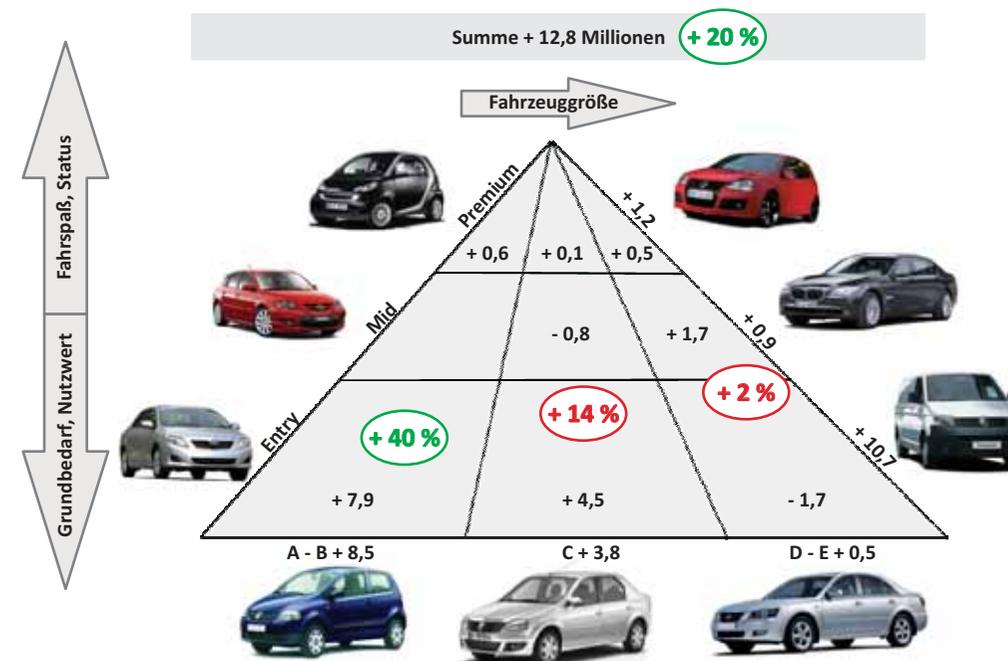


Bild 2 Größe der Fahrzeugsegmente im Jahr 2015 im Vergleich zu 2007 in Millionen (aus CSM Datenbank)

LuK hat deshalb untersucht, wie „viel Kupplung“ in diesem kritischen Bauraum überhaupt sein muss und dazu die Struktur der trockenen Doppelkupplung genauer betrachtet.

Entfall von Kraftübersetzung und Verschleißnachstellung

Eine hohe Kraftübersetzung in der Kupplung reduziert zwar die Betätigungskräfte an den Einrücklagern, erhöht jedoch den Bauraum durch die längeren Betätigungswege und die Schwenkbewegungen der Hebel Federn. Für kleine Drehmomente wird deshalb diese Kraftübersetzung eliminiert. Die maximal übertragbaren Kräfte der fettgeschmierten Einrücklager bestimmen nun das erreichbare Kupplungsmoment. Bei deren Auslegung ist es deshalb wichtig, realistische Last- und Temperaturkollektive anzusetzen. Führt man beispielsweise aus Dynamikgründen das Kupplungsmoment dem Motor moment nach, ergeben sich im Kollektiv geringere Lagerkräfte als beim vollständigen Einrücken der Kupplung [4] [5]. Je nach Auslegung sind um die 170 Nm maximales Motor moment darstellbar.

Da auch der Verschleißweg an den Kupplungsbelägen nun nicht mehr übersetzt wird, kann die Verschleißnachstellung eingespart werden. Bei einer Doppelkupplung entfallen dadurch einige Bauteile, was wiederum deutlich Bauraum einspart.

Um das System funktional einfach zu halten, wurde eine Konstruktion mit vier Platten gewählt. Übrig bleibt eine Kupplung, bei welcher die an den Einrücklagern eingeleiteten Kräfte direkt über einen Drucktopf auf die Kupplungsbeläge übertragen werden. LuK nennt diese Kupplungskonzepte deshalb direkt betätigte Kupplung (Bild 3).

Lagerung, Versatz- und Kraftausgleich

Bei der Definition der Lagerung für die direkt betätigte Doppelkupplung sind folgende verschiedene Gesichtspunkte zu beachten:

- Der nicht vermeidbare Achsversatz zwischen Motor und Getriebe muss ausgeglichen werden.
- Die an den weiteren Schnittstellen zwischen Kupplung, Betätigung und Umgebung auftretenden Kräfte, Momente und Bewegungen dürfen nicht zu schwer beherrschbaren, komplexen Wechselwir-

kungen, wie z. B. Rupfen, Momentenmodulation oder Schaltkratzen führen.

- Die Abstützung hoher Kräfte auf der Motor- oder Getriebeseite sollte möglichst vermieden werden.

Das in den Kupplungsdeckel integrierte Einrücksystem kann den Axial- und Winkelbewegungen der Kupplung folgen, ohne dass dabei die Anpresskraft der Kupplung moduliert wird. Als Einrücksystem wird ein Doppelzentraleinrücken vorgesehen, welcher zwei konzentrisch angeordnete Ringkolben hat. Die durch die Hydraulikdrücke erzeugten Kräfte stützen sich zum einen an den Einrücklagern ab und zum anderen am Deckellager, welches für Kupplung 1 und Kupplung 2 gemeinsam vorhanden ist. Da sich der Kraftfluss der Axialkräfte über die Kupplungsbeläge schließt, ist keine Abstützung an der Kurbelwelle, dem Gehäuse oder einer der Getriebeeingangswellen notwendig, was einen weiteren Vorteil für die Integration der Doppelkupplung im Getriebe darstellt.

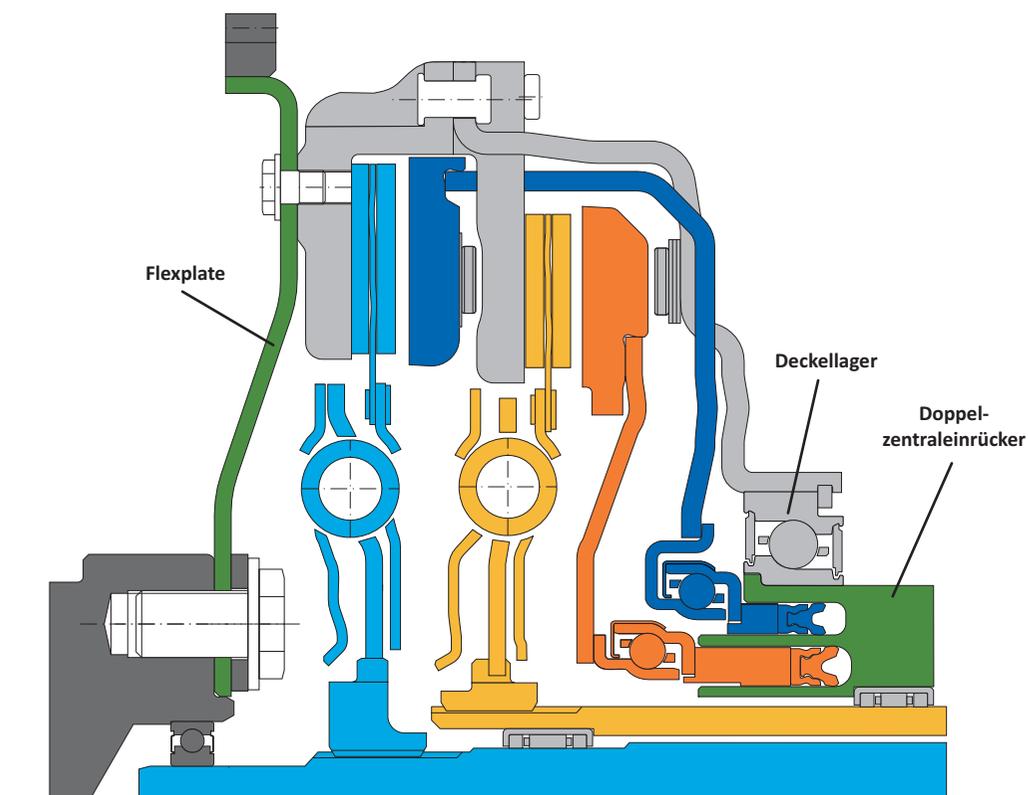


Bild 3 Direkt betätigte Doppelkupplung mit torsionsgedämpften Kupplungsscheiben

Varianten der direkt betätigten Doppelkupplung

Bild 3 zeigt eine Variante der direkt betätigten Doppelkupplung mit torsionsgedämpften Kupplungsscheiben, welche für die meisten Motorisierungen in den Kleinwagensegmenten dimensioniert ist.

Um den Versatz zwischen Motor und Getriebe auszugleichen, wird die Doppelkupplung auf der Kurbelwelle über eine Flexplate fixiert und getriebeseitig gelagert. Der gesamte Verband kann sich dem Versatz zwischen Kurbelwelle und Getriebeeingangswelle anpassen. Achsversatz zwischen der Doppelkupplung und den Getriebeeingangswellen wird in den beiden Dämpfern der Kupplungsscheiben ausgeglichen.

Bild 4 zeigt eine abgeleitete Variante mit Zweimasenschwungrad (ZMS). Hier wird die Doppelkupplung über eine nicht rotierende, getriebeseitige Flexplate positioniert und kurbelwellenseitig gela-

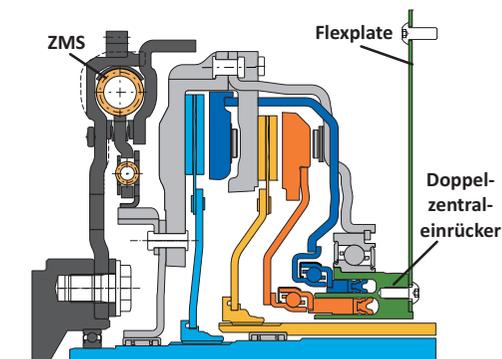


Bild 4 Direkt betätigte Doppelkupplung mit Zweimasenschwungrad

gert. Auch hier kann sich das System dem Achsversatz anpassen. Zwischen ZMS und Doppelkupplung befindet sich die bekannte, vorgespannte Steckverzahnung. Die Variante mit ZMS ist vor allem für Drei- und Vierzylindermotoren mit sehr hoher Anregung vorteilhaft.

Bild 5 zeigt eine abgeleitete Variante aus Bild 3 mit einem zusätzlichen Fliehkraftpendel zur Eliminierung der Hauptanregung. Da die ZMS Eigenfrequenz bei Zwei- und Dreizylindermotoren zu höheren Drehzahlen wandert, ist die Isolation bei geringen Drehzahlen nicht darstellbar. Deshalb kann speziell bei diesen Motorisierungen eine Variante mit Fliehkraftpendel günstiger sein [6].

Weitere Varianten, insbesondere andere Kombinationen der gezeigten Dämpfungselemente, sind denkbar. So könnte beispielsweise ein ZMS ebenfalls mit torsionsgedämpften Kupplungsscheiben oder einem Fliehkraftpendel kombiniert werden.

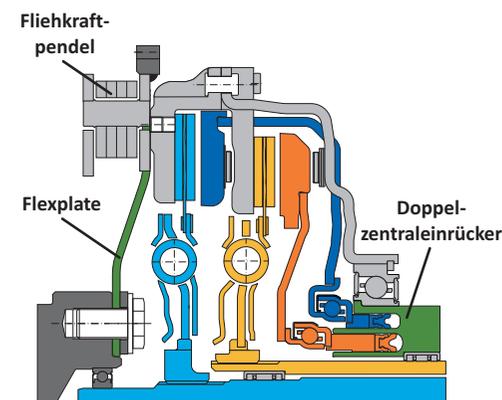


Bild 5 Direkt betätigte Doppelkupplung mit torsionsgedämpften Kupplungsscheiben und Flexplate mit Fliehkraftpendel

Zusammenfassung trockene Doppelkupplung

Mit der trockenen, direkt betätigten Doppelkupplung wurde ein Kupplungssystem entwickelt, welches insbesondere die Anforderungen in den Kleinwagensegmenten erfüllt. Reduziert auf die wichtigsten Bauteile, stellt dieses System ein Optimum bezüglich Bauraum und Kosten dar. Über den Doppelzentraleinrücken kann die Kupplung sowohl von einer konventionellen Getriebehydraulik als auch von einem Power Pack betätigt werden. Über eine hydrostatische Verbindung kann eine effiziente, elektromechanische Betätigung verwendet werden. Mit der trockenen, direkt betätigten Doppelkupplung steht den Herstellern von Doppelkupplungsgetrieben eine weitere Kernkomponente zur Verfügung, die bezüglich des Kraftstoffverbrauchs keine Kompromisse macht.

Nasse Doppelkupplungen

Ölgekühlte, nasse Doppelkupplungen sind für PKW-Anwendungen in den höheren Drehmomentklassen mit mehr als 300 Nm am besten geeignet. Zur Realisierung der höheren Drehmomente wird im Getriebe selbst mehr Bauraum benötigt, was dazu führt, dass der für die Kupplung zur Verfügung stehende Bauraum paradoxerweise kleiner ausfällt. Da ausreichende Wärmekapazitäten nicht mehr installiert werden können, muss auf die Ölkühlung und eine externe Aktorik zurückgegriffen werden. Jedoch auch bei geringeren Motormomenten kann der Einsatz einer nassen Doppelkupplung helfen, insbesondere dann, wenn die Anfahrübersetzung oder hohe Fahrzeuggewichte zu hohen Energieeinträgen in die Kupplung führen.

Wie eingangs bereits erwähnt, sind die nassen Doppelkupplungsgetriebe den trockenen bezüglich des Kraftstoffverbrauchs zumeist deutlich unterlegen. Doch wie bei den trockenen Doppelkupplungen gibt es auch bei den nassen Doppelkupplungen Verbesserungspotenziale. Der Verbrauchsvergleich mit dem trockenen, elektromechanischen Doppelkupplungsgetriebe kann knapp ausfallen, wenn auch die nassen Systeme konsequent optimiert werden. Ein Schlüssel hierfür ist eine bedarfsgesteuerte, von der Betätigung unabhängige, Kühlölpumpe. Ein weiterer Schlüssel liegt in der Verringerung der Verluste in der

Aktorik. Hier fallen insbesondere die Drehdurchführungen auf, über welche das Öl zu den rotierenden Druckkolben gelangt. Die hydraulischen Verluste und die Reibungsverluste an den Dichtungen können selbst im Teillastbetrieb über 100 W betragen.

Mit der Betätigung der Nasskupplung über Einrücklager und Doppelzentraleinrücke entfallen diese permanenten Verluste (Bilder 7 und 8).

Die Bilder 7 und 8 zeigen nasse Doppelkupplungen, die jeweils mit Doppelzentraleinrücke über die Einrücklager angesteuert werden. Da die Einrücklager in beiden Fällen ölgeschmiert sind, ist deren Lebensdauer nicht durch die Fettlebensdauer begrenzt und sie können deshalb höher belastet werden. Der Entfall der Dichtungsreibung in den Lagern erhöht den Wirkungsgrad des Aggregates, auch wenn bei Nasskupplungen eine prinzipbedingte Abdichtung des Ölraumes zur Umgebung hinzukommt. Wie bereits bei der trockenen, direkt betätigten Doppelkupplung ausgeführt, ist es vorteilhaft, die Einrückkräfte kupplungsintern über ein deckelfestes Lager abzustützen. Nach Festlegung dieser für den Wirkungsgrad wichtigsten Randbedingungen beschränken sich die Konstruktionen auf die Variation der Torsi-

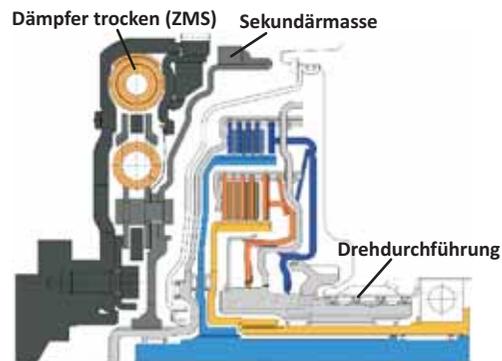


Bild 6 Nasse Doppelkupplung konventioneller Bauart, mit Drehdurchführungen zu den rotierenden Druckkolben

onsdämpferkonzepte und die bestmögliche Einpassung in den gegebenen Bauraum.

Bild 7 zeigt ein vorgeschaltetes, konventionelles, trockenes ZMS. Da das Massenträgheitsmoment der Nasskupplung im Vergleich zur trockenen Doppelkupplung vergleichsweise gering ist, müssen in vielen Fällen Zusatzmassen angebracht werden, um eine vergleichbare Isolationswirkung zu erreichen.

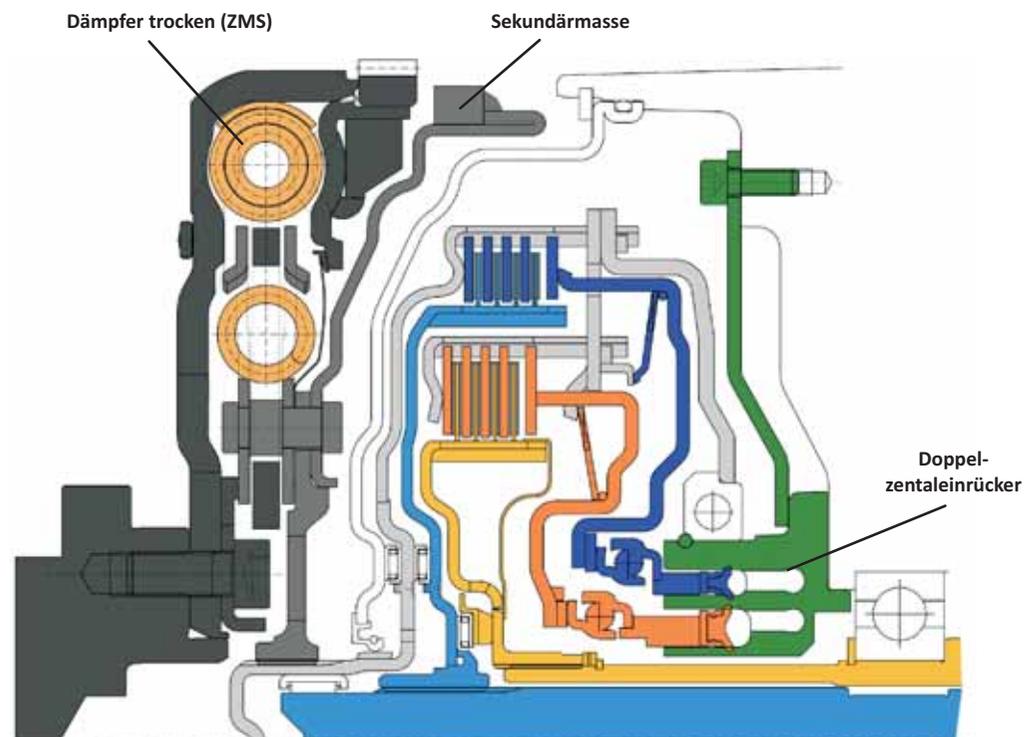


Bild 7 Nasse Doppelkupplung mit Doppelzentraleinrücke und trockenem ZMS

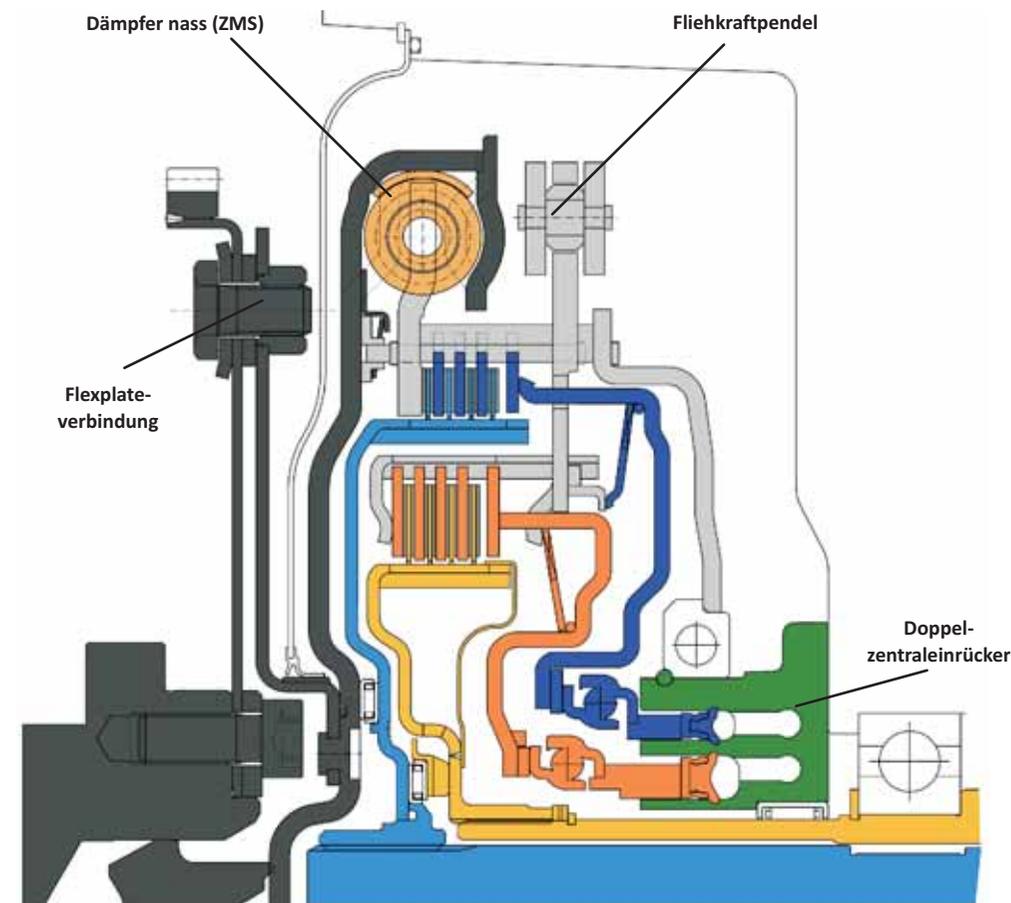


Bild 8 Nasse Doppelkupplung mit Doppelzentraleinrücke sowie integriertem Torsionsdämpfer und Fliehkraftpendel

Bild 8 hingegen zeigt die Integration des Torsionsdämpfers und eines Fliehkraftpendels in den Nassraum. Hier erzeugt das Fliehkraftpendel die Isolationswirkung einer großen Sekundärmasse bei wesentlich geringerem Gewicht. In Kombination mit dem Bogenfederdämpfer kann sogar eine bessere Isolationswirkung als mit dem ZMS erzielt werden. Durch die höhere Integration von Nasskupplung und Dämpfer kann in einigen Fällen axialer Bauraum gewonnen werden. Die Ölschmierung der Torsionsdämpferelemente ist bezüglich Verschleiß und Funktion ebenfalls von Vorteil.

Möglicher Abrieb aus den Kupplungsbelägen und den Stahl-Stahl Reibstellen verbleibt im Kühlölkreislauf der Kupplung und des Getriebes. Generell ist das nichts Neues, da dies in vielen Stufenautomaten und CVT-Getrieben so realisiert ist. Bei der Auslegung einer bezüglich Leckage optimierten Hydraulik und der

Öllebensdauer ist dies zu beachten. Jedoch zeigen hier Bogenfederdämpfer im Vergleich zu Wettbewerbskonzepten im Nassraum deutlich weniger Verschleiß. Noch besser ist es eine vom Kühlölkreislauf unabhängige Aktorik, beispielsweise eine Elektromechanik oder ein Power Pack zu verwenden.

Zusammenfassung nasse Doppelkupplung

Mit der Betätigung der nassen Doppelkupplung über einen Doppelzentraleinrücke mit Einrücklagern kann ein großer Wirkungsgradnachteil, nämlich die Drehdurchführung für das Drucköl der Kupplungen, eliminiert werden. Über den Doppelzentraleinrücke können die Nasskupplungen sowohl von einer konventionellen Getriebehydraulik als auch von einem Power Pack betätigt werden. Über eine hydrostati-

sche Verbindung kann auch eine effiziente, elektro-mechanische Aktorik verwendet werden.

Mit diesen direkt betätigten nassen Doppelkupplungen und dazu passenden Dämpfern stehen den Herstellern von Doppelkupplungsgetrieben weitere Kernkomponenten zur Verfügung, die bezüglich des Kraftstoffverbrauchs keine Kompromisse machen.

Mehr Intelligenz durch lokale Steuergeräte

Bei den nassen Doppelkupplungsgetrieben ist der Ausfallzustand, welcher als sicherer Zustand definiert sein muss, dadurch realisiert, dass im Fehlerfall beide Kupplungen drucklos geschaltet und dadurch geöffnet werden. Dies ist jedoch nicht bezüglich aller Gesichtspunkte optimal, insbesondere weil konventionelle Stufenautomaten auch bei Totalausfall der Elektronik noch in „Limp-Home-Programmen“ bewegt werden können.

Dabei hat man gerade beim Doppelkupplungsgetriebe durch die zwei unabhängigen Teilgetriebe eine hervorragende Grundlage, auch nur mit teilweise zur Verfügung stehenden Komponenten eine gute Limp-Home-Funktion darzustellen und so die Systemverfügbarkeit zu verbessern. Sicher, die modernen Doppelkupplungsgetriebe nutzen diese Möglichkeiten heute bereits teilweise, allerdings bleibt die Funktion der zentralen elektronischen oder hydraulischen Getriebebesteuerung kritisch. Fällt diese Steuerung aus, fällt das System in den sicheren Zustand „Kupplungen offen“ und das Fahrzeug bleibt liegen.

Um beim elektromotorisch betätigten 6DCT250 zumindest ein vergleichbares Verhalten zu erreichen, wurde der Kupplungsaktorik die Fähigkeit zum Selbstöffnen in das Lastenheft geschrieben [1]. Diese Anforderung alleine hat weitreichende Auswirkungen auf die Kupplungs- und Aktorikonstruktion. Für die Kupplungen bedeutet es, dass sie jederzeit noch ausreichend Rückstellkraft zur Verfügung stellen müssen, um die Aktorik innerhalb einer bestimmten Zeit in die Ausgangslage zurückzudrücken. Diese Gegenkraft muss in der Kupplungsauslegung als Offset auf die Betätigungskraft vorgehalten werden und geht als Anpresskraft für

die Kupplungsbeläge verloren. Die Aktorik wiederum muss im stromlosen Zustand einen möglichst geringen mechanischen und elektrischen Widerstand bieten, damit sie leicht und schnell zurückgedrückt werden kann. Dies macht einen hohen mechanischen Wirkungsgrad des Spindeltriebes erforderlich und gleichzeitig müssen die Spitzenmomente im Anschlagsfall beherrscht werden, was wiederum mechanischen Aufwand in Form von stärkeren Lagern oder einer Rutschkupplung bedeutet. Für ein elektromechanisches Kupplungssystem ist demnach die Forderung des Selbstöffnens eine hohe Hürde, die nur mit entsprechendem Mehraufwand zu nehmen ist.

Vor dem Hintergrund, zum einen die Verfügbarkeit des Fahrzeuges zu erhöhen und zum anderen um die speziellen Anforderungen an die Kupplung und Kupplungsaktorik zu reduzieren, wurden deshalb weitergehende Überlegungen zum „sicheren Zustand“ gemacht.

Nicht selbstöffnende Kupplungssysteme

Der aktuelle Stand der Technik definiert bereits, dass eine einzelne, defekte Kupplung im Antriebsstrang vom Fahrer beherrschbar ist, egal ob die Kupplung öffnet, stehen bleibt oder sogar schließt. Im Handschaltgetriebe und in automatisierten Schaltgetriebe wird dies heute im Feld als sicher akzeptiert [7].

Übertragen auf das Doppelkupplungsgetriebe bedeutet das, wenn eine der beiden Kupplungen im Fehlerfall noch hinreichend schnell geöffnet werden kann, verhält sich das Getriebe im Fehlerfall wie ein manuell geschaltetes oder automatisiertes Schaltgetriebe (ASG) und kann vom Fahrer beherrscht werden. Das bedeutet, wenn die beiden Kupplungen unabhängig voneinander kontrolliert werden können, kann auf die strenge Anforderung des selbstöffnenden Verhaltens im Fehlerfall gänzlich verzichtet werden. Es ist dennoch sicherzustellen, dass ein Kupplungsdefekt hinreichend schnell erkannt und die noch funktionsfähige Kupplung hinreichend schnell geöffnet werden kann.

Das lokale Steuergerät (LCU)

Ziel war es also je Kupplung eine unabhängige intelligente Elektronik zu definieren, ohne dass andere Nachteile, wie zum Beispiel zusätzlicher Baubedarf oder Mehrkosten entstehen.



Bild 9 Lokales Steuergerät (LCU)

Die ohnehin für die Signalerfassung am Elektromotor notwendige Platine wird durch eine neue Steuergeräteplatine ersetzt. Ein 16-Bit-Mikrocontroller übernimmt die hardwarenahen Softwarefunktionen, die Kommunikation mit der übergeordneten Steuerung über den CAN-Bus sowie die Erfassung der aktorspezifischen Eingangssignale. Die vorgesehene Sensorik besteht aus der Winkelerfassung der rotierenden Welle und einem Temperatursensor. Bei Bedarf können noch weitere Sensoren ergänzt werden. Die Kommunikation und Ansteuerung der EC-Motor Endstufen, eine Spannungsversorgung, EMV-Filter sowie ein Überwachungscontroller komplettieren die Steuergeräteplatine. Die besondere Herausforderung war es dabei, geeignete Bauteile und Anordnungen zu finden, die den Temperatur- und Schwingungsbedingungen in der Getriebeumgebung gerecht werden und diese im zur Verfügung stehenden Bauraum unterzubringen.

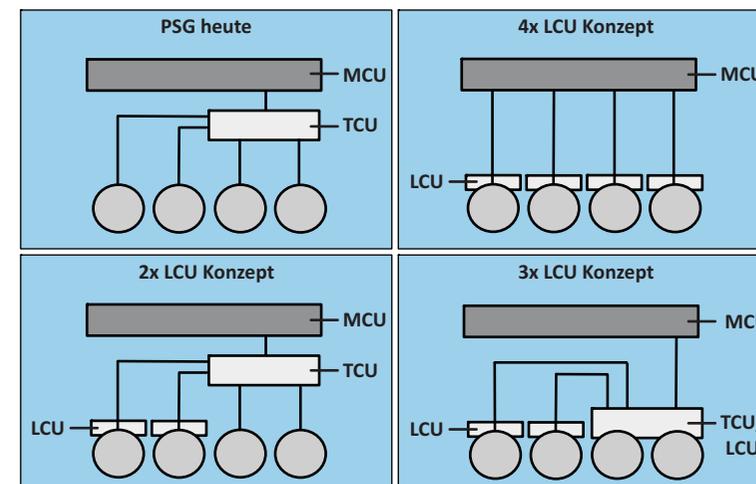
Wie eingangs erwähnt, ist es sinnvoll die Kupplungsbetätigung vom zentralen Getriebebesteuergerät unabhängig zu machen. Wichtig ist, dass die lokalen Steuergeräte jeweils eine unabhängige Spannungsversorgung haben. Der Mehraufwand der Steuergeräte wird durch ein-

fachere Steckverbindungen und minimierte Kabelbäume in der Regel kompensiert. Wenn man auch die Motoren der Getriebebetätigung mit lokalen Steuergeräten ausrustet, kann das klassische Getriebebesteuergerät sogar ganz entfallen. Die koordinierende Software wird dann in einem bereits vorhandenen Steuergerät, wie zum Beispiel dem Motorsteuergerät integriert. In diesem Fall können Kosteneinsparungen gegenüber den bisherigen Systemen mit zentralem Steuergerät erreicht werden. Die Verwendung von lokalen Steuergeräten ermöglicht neue Varianten für die Systemarchitektur. Eine Auswahl davon zeigt Bild 10.

Zusammenfassung lokales Steuergerät

Mit dem entwickelten lokalen Steuergerät steht eine Technologie zur Verfügung, die völlig neue Wege für die Systemarchitektur ermöglicht, speziell in der Kombination mit einer elektromechanischen Getriebeaktorik, wie zum Beispiel dem LuK Active Interlock Aktor [7] [8]. Nicht selbstöffnende Kupplungen, ja sogar selbstschließende Kupplungen, werden zulässig. Dadurch wird die Kupplungs- und Betätigungsmechanik vereinfacht.

Eine elektromechanische Schaltungs- und Kupplungsaktorik mit einer durchschnittlichen Leistungsaufnahme von ca. 20 W ist ohnehin kaum re-



MCU - Master Control Unit
TCU - Transmission Control Unit
LCU - Local Control Unit

Bild 10 Systemarchitektur mit lokalen Steuergeräten

levant für den Kraftstoffverbrauch und stellt bei den bekannten Getriebebetätigungen den Benchmark dar. Die lokalen Steuergeräte verringern die Leistungsaufnahme noch einmal wesentlich.

Mit der Integration von lokalen Steuergeräten in die Kupplungs- und Getriebeaktorik steht den Herstellern von Doppelkupplungsgetrieben eine Technologie zur Verfügung, die bezüglich der Sicherheit, dem Kraftstoffverbrauch und der Fahrzeugverfügbarkeit optimiert ist.

Der Hydrostatische Kupplungsaktor (Hydrostatic Clutch Actuator HCA)

Die semihydraulische Ansteuerung der Kupplung über eine hydrostatische Strecke ist im Handschaltgetriebe seit langem Stand der Technik. Das Kupp-

lungspedal bedient dabei einen Geberzylinder, welcher auf eine Ölsäule drückt, die wiederum den bei der Kupplung angebrachten Nehmerzylinder bewegt und dadurch die Kupplung betätigt. In mehreren Serienprojekten wurde bereits das Kupplungspedal durch eine elektromechanische Aktorik ersetzt, welche die automatisierte Kupplungsbetätigung (Elektronisches Kupplungs-Management EKM) übernimmt. Gerade von LuK wurde und wird diese Technologie in mehreren EKM- und ASG-Anwendungen erfolgreich und zuverlässig eingesetzt [4] [7]. Die neuen, oben vorgestellten Möglichkeiten in der Systemarchitektur ermöglichen es, diese Technologie auch für ein Doppelkupplungsgetriebe einzusetzen.

Auslegung des HCA

Erste Voraussetzung ist eine Doppelkupplung mit Nehmerzylindern wie z. B. die oben vorgestellten, direkt betätigten trockenen und nassen Doppelkupplungen. Bei der Auslegung der Aktorik ist es dabei wichtig die enorm große Gesamtübersetzung, von der Anpresskraft der Kupplungsbeläge

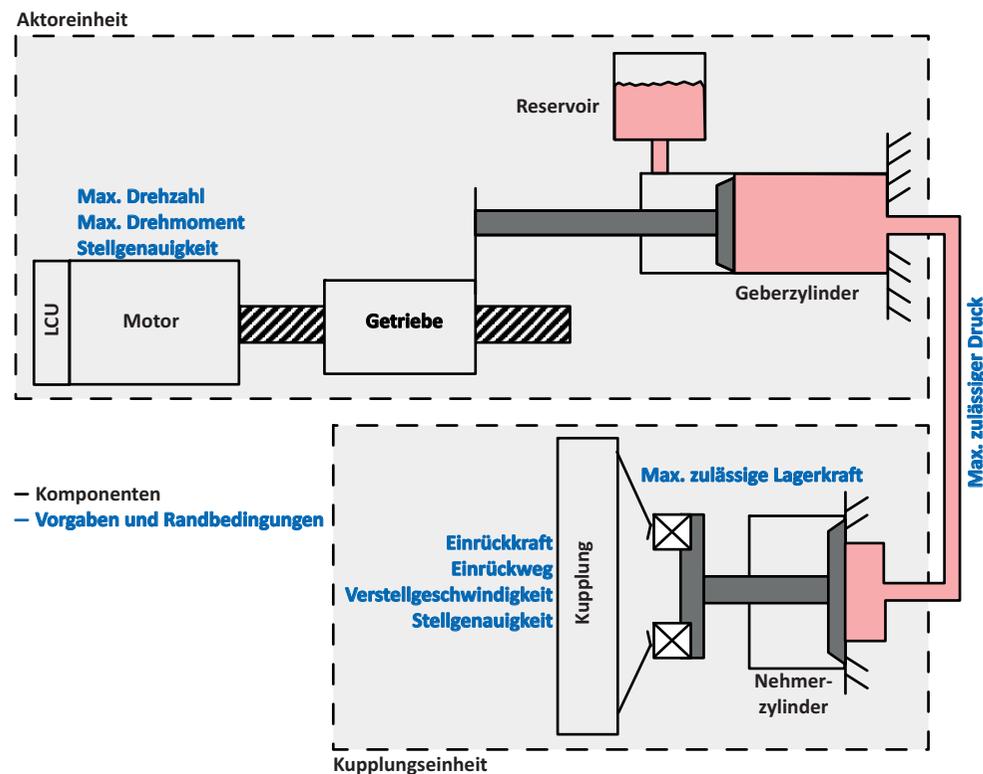


Bild 11 System der hydrostatischen Kupplungsbetätigung

bis zum Drehmoment des E-Motors, an den richtigen Stellen zu realisieren. Wird die Übersetzung beispielsweise in der Kupplung (Hebelfeder) realisiert, sinkt zwar das Kraftniveau in der Strecke bis zur Aktorik, allerdings werden die Hubwege länger. Das bedeutet, dass bei der Wahl einer Variante an vielen Stellen geprüft werden muss, welche Konsequenzen das dort herrschende Kraftniveau und die erforderlichen Hubwege haben (Bild 11).

Aus dem maximal zulässigen Druck und den maximal zulässigen Kräften an den Einrücklagern ergeben sich die Kolbenflächen im Nehmerzylinder. Oft muss hier bereits aus Bauraumgründen ein Kompromiss gefunden werden. Aus den Eckdaten des Elektromotors (maximale Drehzahl, maximales Moment und Stellgenauigkeit) ergibt sich eine Gesamtübersetzung, für die eine geeignete Konstruktion gefunden werden muss. Zur Realisierung dieser Gesamtübersetzung stehen prinzipbedingt bereits zwei Übersetzungen zur Verfügung. Zum einen die Übersetzung der hydrostatischen Strecke, welche durch das Verhältnis der Kolbenflächen von Nehmer- zu Geberzylinder definiert ist, und zum anderen die Getriebeübersetzung, welche die Drehbewegung der Motorwelle in eine lineare Hubbewegung umwandelt. Aus Kosten- und Wirkungsgradgründen wird keine weitere Übersetzungsstufe vorgesehen. Berechnungen ergeben, dass nur mit einer großen Getriebeübersetzung im Spindeltrieb von höchstens 1 mm Hub pro Umdrehung und einer moderaten hydrostatischen Übersetzung kleiner 3,0 eine kompakte Aktorik entstehen kann. Dies macht beim Spindeltrieb neue Ansätze erforderlich.

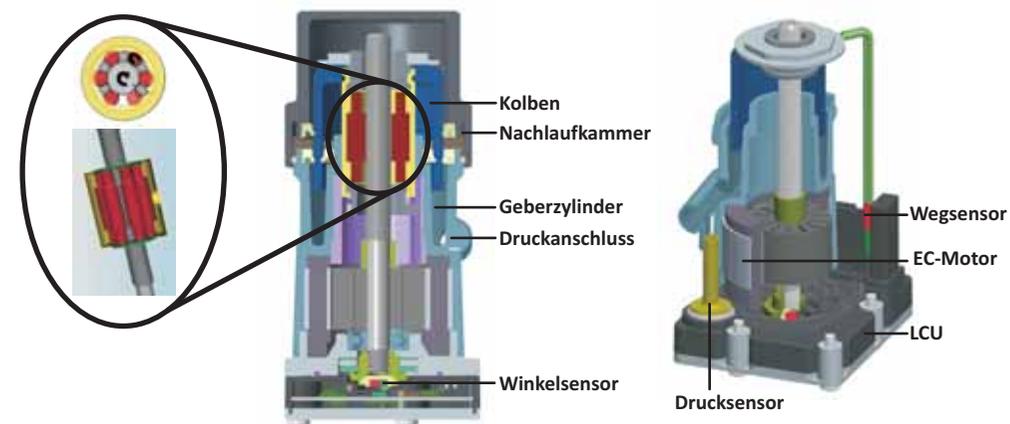


Bild 12 Hydrostatischer Kupplungsaktor

Es versteht sich von selbst, dass die Festlegung der Auslegungsdetails nur in einem iterativen Prozess unter Einbindung von Simulationen erfolgen kann.

Konstruktion

Die geringe Spindelsteigung wird mit einer Planetenwälzgewindespindel realisiert, welche bisher insbesondere aus Raumfahrt- und Industrieanwendungen bekannt ist [9] [10]. Zusammen mit INA wird hierfür eine kostengünstige und automobiltaugliche Lösung entwickelt, die vorwiegend aus spanlos hergestellten Komponenten besteht. Die große Kolbenfläche des Geberzylinders konnte radial um den Spindeltrieb herum angeordnet werden, sodass eine kurze Baulänge entsteht. Der Kolben wird als Zugkolben ausgeführt, um die hohen Axialkräfte in einem kurzen Kraftfluss vom Gehäuse auf die Spindellagerung zurückzuführen. Für den Volumenausgleich des hydrostatischen Systems ist eine sogenannte Schnüffelposition bei offener Kupplungsstellung vorgesehen. In dieser Position wird die Druckleitung mit der Nachlaufkammer verbunden, damit temperaturbedingte Volumenänderungen der Flüssigkeit in der Einrückstrecke ausgeglichen werden können. Angetrieben wird die Spindel von einem im Aktor integrierten EC-Motor mit dem oben vorgestellten lokalen Steuergerät.

Sensorikkonzept

Die Drehwinkelerkennung des Rotors für die Kommutierung des Motors wird, wie im Folgenden beschrieben, realisiert. Das Magnetfeld des an der Spindel befestigten Magneten wird von einem di-

rekt auf der Platine angebrachten Winkelsensor ausgewertet. Diese Lösung ist gegenüber den bisherigen Lösungen genauer, bauraumoptimiert und trotzdem günstiger, da zum Beispiel die mechanische Einstellung zwischen Stator- und Sensorlage entfällt. Ein integrierter Temperatursensor hilft die Endstufen zu schützen.

Aufgrund der großen Übersetzung kann der HCA bei maximalem Motorstrom sehr große Kräfte erzeugen, die deutlich über den normalen Betriebskräften liegen. Um zu verhindern, dass alle Komponenten auf einen hohen Überlastfaktor ausgelegt werden müssen, wurde ein Sensorik-konzept definiert, welches bei vergleichsweise geringem Aufwand zur sicheren Funktion der Aktorik beiträgt und weitere Vorteile nutzbar macht. Ein Drucksensor dient als Überlastschutz für die hydrostatische Strecke und für die Kupplung. Das Signal kann zudem zur sicheren Erkennung der Kupplungskennlinie auch bei ausgelegtem Gang verwendet werden. Auch das Eigenleben der hydrostatischen Strecke, zum Beispiel durch die Wärmeausdehnung des Fluids, kann bei betätigter Kupplung erkannt und von der Software berücksichtigt werden. Für die Messung der Kolbenposition ist ein Absolutwegsensor im Aktorkonzept vorgesehen.

Durch den Einsatz des bereits oben vorgestellten lokalen Steuergerätes und die platinennahe Anordnung aller Sensoren kann die Sensorik kostengünstig realisiert werden, da zusätzlicher Verkabelungs- und Verbindungsaufwand nicht erforderlich ist.

Zusammenfassung HCA

Mit dem neuen HCA steht eine weitere leistungsfähige Komponente zur automatisierten Kupplungsansteuerung zur Verfügung. Aufgrund der umfangreichen optionalen Ausstattung kann diese Aktorik für verschiedenste Anwendungen zugeschnitten werden. Ferner ist eine gute Skalierbarkeit der Komponenten bei der gewählten Bauweise gegeben. Die Verwendung als Einzelaktor für Clutch-by-Wire Anwendungen oder zur Ansteuerung von Hybridkupplungen ist, neben der Verwendung in Doppelkupplungsgetrieben, ebenfalls möglich. Mit dem lokalen Steuergerät kann immer eine einfache Schnittstelle zum Fahrzeug und zu anderen Systemen zur Verfügung gestellt werden. Bei der Anordnung der Aktoren im Motorraum sind verschiedenste Möglichkeiten realisierbar. Zwei Aktoren

können auch in ein gemeinsames Gehäuse integriert werden, der Anschluss an einzelnen oder an einem gemeinsamen Ausgleichsreservoir ist möglich. Die Aktorik wurde so konzipiert, dass sie getriebe-, motor- oder chassisfest eingesetzt werden kann. Damit sind alle Voraussetzungen für die verschiedensten Anwendungen in der Kupplungs-betätigung erfüllt.

Die Komponenten im Überblick

In diesem Beitrag wurden zwei neue Doppelkupplungstypen, ein lokales Steuergerät und ein neues Betätigungssystem vorgestellt.

Reduziert auf die wichtigsten Bauteile, stellt die direkt betätigte trockene Doppelkupplung ein Optimum bezüglich Bauraum und Kosten dar und ist besonders für kleine Motordrehmomente in den unteren Fahrzeugsegmenten geeignet.

Mit der Betätigung der nassen Doppelkupplung über einen Doppelzentraleinrücken mit Einrückklappen konnte einer der größten Wirkungsgradnachteile, nämlich die Drehdurchführung für das Drucköl der Kupplungen, eliminiert werden. Damit kann die Nasskupplung auch mit effizienteren Betätigungssystemen kombiniert werden.

Durch den Einsatz lokaler Steuergeräte muss das Kupplungssystem nicht mehr selbstöffnend sein. Dadurch werden neue Kupplungs- und Betätigungskonzepte möglich. Auch der bekannte Hebelaktor kann mit dieser Technologie verbessert werden.

Neben den bekannten Betätigungssystemen wurde eine hydrostatische Kupplungsbetätigung vorgestellt. Ausgestattet mit lokalen Steuergeräten und optionaler Sensorik können damit sowohl die verschiedensten Doppelkupplungen als auch Einzelkupplungen, zum Beispiel für die Hybridisierung, automatisiert werden.

Mit den neuen Komponenten entsteht eine Modularität (Bild 13), die es den Getriebeherstellern möglich macht, eine für ihre Anwendungen zugeschnittene Lösung zusammenzustellen. Was alle diese neuen Lösungen dabei gemeinsam haben ist, dass bezüglich des Kraftstoffverbrauchs keine Kompromisse gemacht werden.

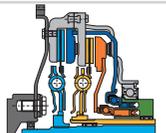
Kupplungsvarianten und Aktoren	Elektrohydraulische Aktorik „Power Pack“	Elektromechanische Aktorik „Hebelaktor“	Hydrostatische Aktorik „HCA“
			
Trockene Doppelkupplung mit Verschleißnachstellung 	✓	✓	✓
Direkte trockene Doppelkupplung 	✓		✓
Nasse Doppelkupplung 	✓	✓	✓

Bild 13 Kupplungstypen und Betätigungssysteme

Literatur

- [1] Kimmig, K.; Bürhle, P.; Henneberger, K.; Ehrlich, M.; Rathke, G.; Martin, J.: Mit Effizienz und Komfort zum Erfolg – Die trockene Doppelkupplung etabliert sich auf dem Automatikmarkt; 9. Schaeffler Kolloquium, 2010
- [2] Reik, W.: Weniger ist Mehr! Unkonventionelle Wege zum neuen Produkt; 9. Schaeffler Kolloquium, 2010
- [3] Prognose Fahrzeugproduktion 2007-2015, CSM worldwide database, Januar 2010
- [4] Fischer, R.; Berger R.: Automatisierung von Schaltgetrieben; 6. LuK Kolloquium 1998, S.98 ff.
- [5] Wagner, U.; Bürhle, P.; Müller, B.; Kimmig, K.; Kneissler, M.: Trockene Doppelkupplungssysteme – Innovative Komponenten für hocheffiziente Fahrzeuggetriebe, ATZ 11/2009, S. 826-833
- [6] Kroll, J.; Kooy, A.; Seebacher, R.: Land in Sicht? Torsionsschwingungsdämpfung für zukünftige Motoren, 9. Schaeffler Kolloquium, 2010
- [7] Pollak, B.; Kneissler, M.; Esly, N.; Norum, V.; Hirt, G.: Elektromechanische Aktorik – So kommen Getriebesysteme in die Gänge; 7. LuK Kolloquium, 2002
- [8] Wagner, U.; Berger, R.; Ehrlich, M.; Homm, M.: Elektromotorische Aktorik für Doppelkupplungsgetriebe – Bester Wirkungsgrad aus eigenem Antrieb, 8. LuK Kolloquium, 2006
- [9] Dietrich J; Gombert B.: Vorrichtung zur Umwandlung einer Drehbewegung in eine Axialbewegung, Patentschrift EP000000320621A1, 1988
- [10] Balázs, M.: Analyse und Modellbildung einer Planeten-Wälz-Gewindespindel, München, Technische Universität, Dissertation, 2000