

8

Drehmomentwandler Aufbruch zu neuen Herausforderungen

Patrick Lindemann
Thorsten Krause
Mike Swank
Philip George
Jeff Hemphill
Bhaskar Marathe

Trends in der Motorenentwicklung

Jetzt ist die richtige Zeit, Teil eines Entwicklungsteams für Drehmomentwandler zu sein – vorausgesetzt man liebt die Herausforderung. Die Aufgabe des Drehmomentwandlers ist es, den Motor vorteilhaft zu ergänzen, indem er ein sanftes Anfahren erlaubt und das Getriebe und den Antriebsstrang von den motorinduzierten Schwingungen trennt. Der Drehmomentwandler hat diese Aufgabe seit mehr als 100 Jahren zuverlässig erfüllt, aber nun werden die Randbedingungen schwieriger denn je. Die Entwicklung neuer Motoren ist darauf ausgerichtet, den Verbrauch zu reduzieren bei gleichzeitiger Erhöhung des verfügbaren Drehmoments. Dies wurde in den letzten Jahren durch Downsizing-Konzepte und Aufladung erzielt, wodurch die Drehschwingungen weiter zunehmen und auch das Anfahren schwieriger wird. Bild 1 zeigt den Trend bei den Motormomenten und die damit verbundenen erhöhten Anforderungen an die Isolation zum Getriebe.

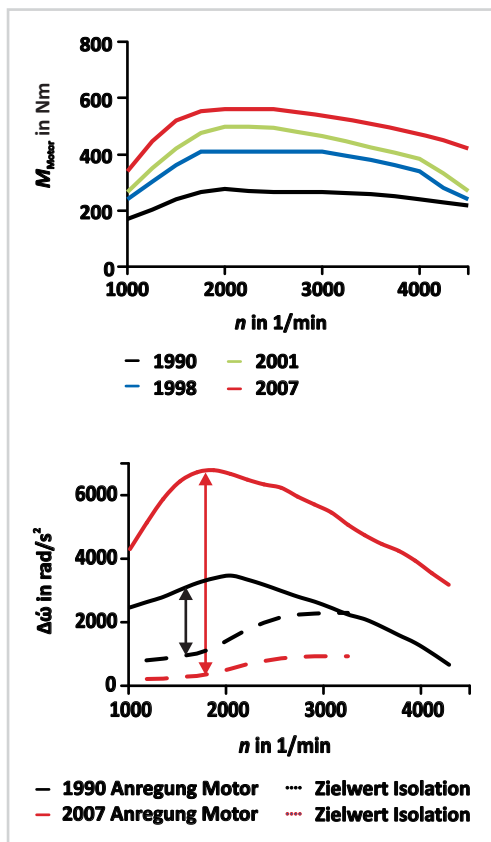


Bild 1 Anstieg der Motormomente und der Drehungleichförmigkeit

Isolation von Drehungleichförmigkeiten

Fliehkraftpendel

Für die Schwingungsdämpfung werden üblicherweise Federdämpfer eingesetzt. Die Spiralfedern nehmen die Energie aus den verbrennungsinduzierten Kräften auf und geben sie während der nachfolgenden Kompressionsphase wieder ab, wodurch die Schwingungen gedämpft werden. Der wesentliche Parameter bei der Federdämpferauslegung ist das Energieaufnahmevermögen, welches von der Größe der Feder abhängt. Je größer die Feder, umso mehr Ener-

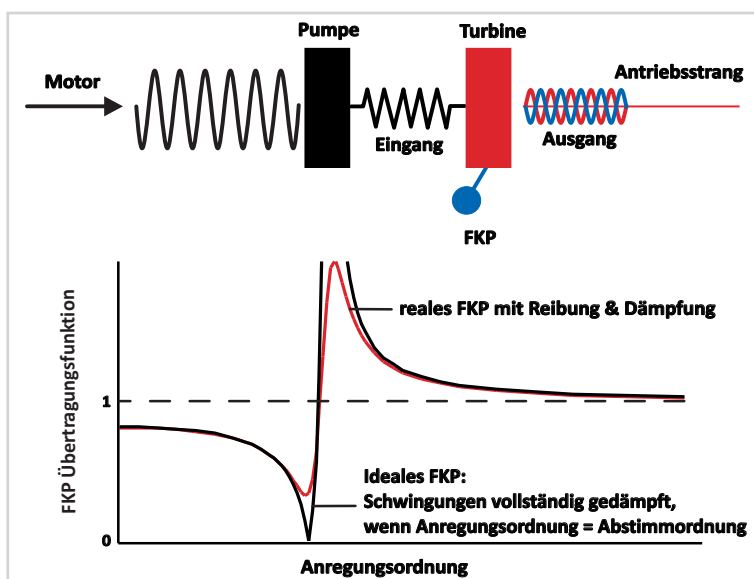


Bild 2 Tilgersystem

gie kann sie aufnehmen. Wenn das Getriebegehäuse beliebig platz böte, wäre dies eine leichte Entwicklungsaufgabe. Der Trend zu kleineren, frontgetriebenen Fahrzeugen führt allerdings dazu, dass der verfügbare Raum kleiner ist als jemals zuvor.

Es wird ein neues Paradigma benötigt, um diese Herausforderung anzugehen: der Tilger. Ein Tilger besteht aus einer kleinen Masse oder Massenträgheit, die über eine Feder mit einer größeren Masse verbunden ist. Die Eigenfrequenz der kleinen Tilgermasse wird auf die Eigenfrequenz des Systems abgestimmt, wodurch die Schwingungen der großen Masse getilgt werden. Bild 2 zeigt eine schematische Darstellung eines Tilgersystems.

Dieses Prinzip wird erfolgreich in Dämpfern für den Nebenaggregattrieb zur Tilgung einer Kurbelwellendreh-schwingungseigenfrequenz eingesetzt. Ein Tilger ist nur bedingt hilfreich für die Schwingungsisolation zum Getriebe, da er nur eine Eigenfrequenz tilgen kann. Ein Getriebe weist jedoch mehrere verschiedene Eigenfrequenzen auf, je nach Anzahl der Freiheitsgrade und der verfügbaren Gangstufen. Ein konventioneller Tilger kann deshalb nur auf eine Frequenz abgestimmt werden, was in den meisten Fällen nur eine Teillösung darstellt.

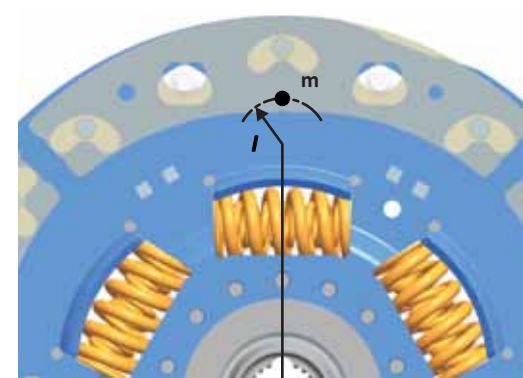


Bild 4 Wandlerdämpfer mit integriertem Fliehkraftpendel

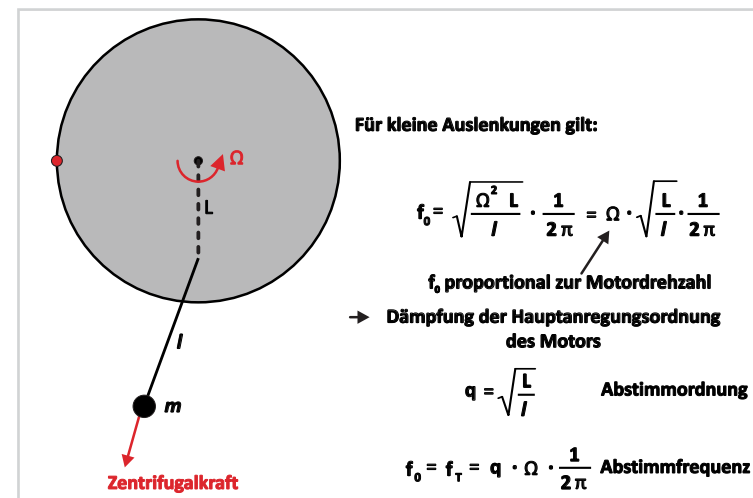
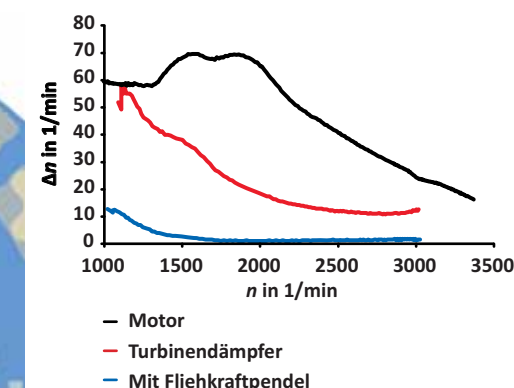


Bild 3 Fliehkraftpendel und beschreibende Gleichungen

Dieser Nachteil kann behoben werden, indem das Feder-Masse-System des Tilgers durch ein Pendel ersetzt wird, auf welches die Zentrifugalkraft wirkt. Da die Zentrifugalkraft sich mit der Geschwindigkeit ändert, ändert sich nun ebenfalls die Eigenfrequenz mit der Geschwindigkeit. Sie kann deshalb auf die veränderliche Zündfrequenz des Motors anstelle von einer festen Frequenz abgestimmt werden, wodurch diese veränderliche Frequenz getilgt wird. Eine schematische Darstellung des Fliehkraftpendels (FKP) sowie die zugehörigen Gleichungen können Bild 3 entnommen werden.

Das Fliehkraftpendel wurde erfolgreich im Zweimassenschwungrad eingeführt und ist auch im Drehmomentwandler auf dem Weg in die Serienproduktion. Bild 4 zeigt einen Wandlerdämpfer mit



integriertem Fliehkraftpendel sowie eine Messung der Schwingungsisololation mit Fliehkraftpendel im Vergleich zum konventionellen Dämpfer.

Turbinentilger

Die Leistung des Fliehkraftpendels ist hervorragend, es gibt jedoch einige Anwendungen, die von einem anderen eleganten Tilgerkonzept profitieren können – dem Turbinentilger. Der Turbinentilger nutzt eine bereits im Antriebsstrang vorhandene Massenträgheit für die Tilgung, nämlich die Massenträgheit der Turbine. Bild 5 zeigt eine schematische Darstellung des Turbinentilgers. Das Massenträgheitsmoment der Turbine, welches normalerweise direkt mit dem Mitnehmer verbunden wäre, wird stattdessen über einen Satz kleiner Spiralfedern mit dem Zwischenflansch verbunden. Im überbrückten Zustand ist die Turbine nicht aktiv, da das gesamte Moment über

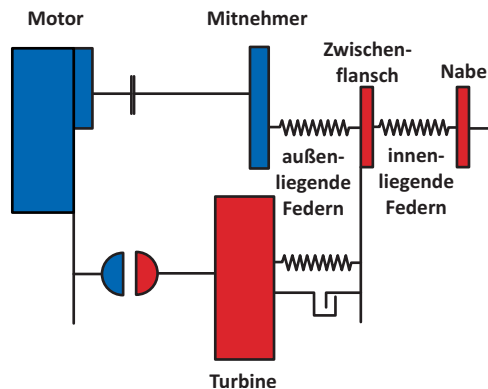


Bild 5 Schematische Darstellung des Turbinentilgers

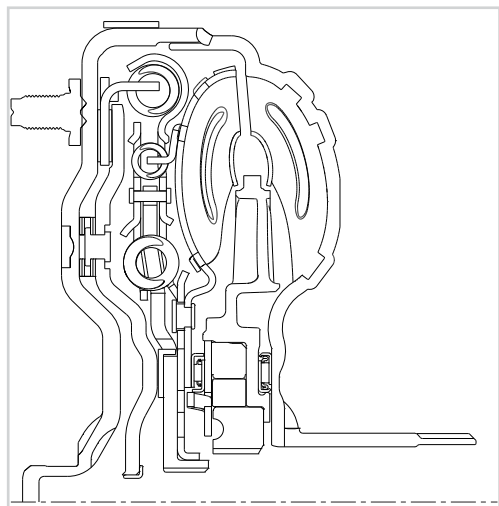


Bild 6 Wandler mit integriertem Turbinentilger

die Überbrückungskupplung geht. Daher kann ihr Massenträgheitsmoment für die Tilgung genutzt werden. Die Turbine schwingt in diesen kleinen Federn gegen den Zwischenflansch und tilgt die Systemschwingungen in diesem Punkt.

Ein Schnitt einer Ausführung mit Turbinentilger ist in Bild 6 dargestellt. Der Satz kleiner Spiralfedern zwischen den beiden größeren Federn ist ausreichend, um den gewünschten Effekt zu erzielen. Die Verbesserung im NVH-Verhalten ist in Bild 7 dargestellt. Obwohl diese Anordnung ein Tilger mit fester Eigenfrequenz ist, erkennt man, dass sie über einen großen Motordrehzahlbereich wirksam ist. Dies liegt an dem Verhältnis der beteiligten Massenträgheiten, die etwas Reibung erlauben und den Tilgungseffekt über einen breiten Frequenzbereich ausdehnen. Der Turbinentilger ist besonders vorteilhaft für hochaufgeladene Vierzylindermotoren, kann aber in vielen verschiedenen Antriebssträngen eingesetzt werden.

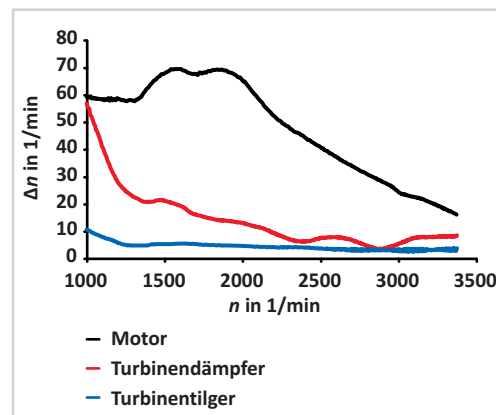


Bild 7 Schwingungsisololation des Turbinentilgers im Vergleich zum Turbinendämpfer

Platz schaffen

Optimierung des Fluidkreislaufs

Der für den hydrodynamischen Kreislauf des Wandler verfügbare Raum wird mit fortschreitender Entwicklung der Getriebe immer kleiner. Alle neuen Automatikgetriebe – ob Stufengetriebe, CVT oder Mild-Hybrid – benötigen mehr Platz. Gleichzeitig schränken strengere Anforderungen an die Momentenkapazität von Wandlerkupplung und Dämpfer (für ein möglichst frühes Überbrücken) den axialen Bauraum für die Komponenten des Fluidkreislaufs weiter ein.

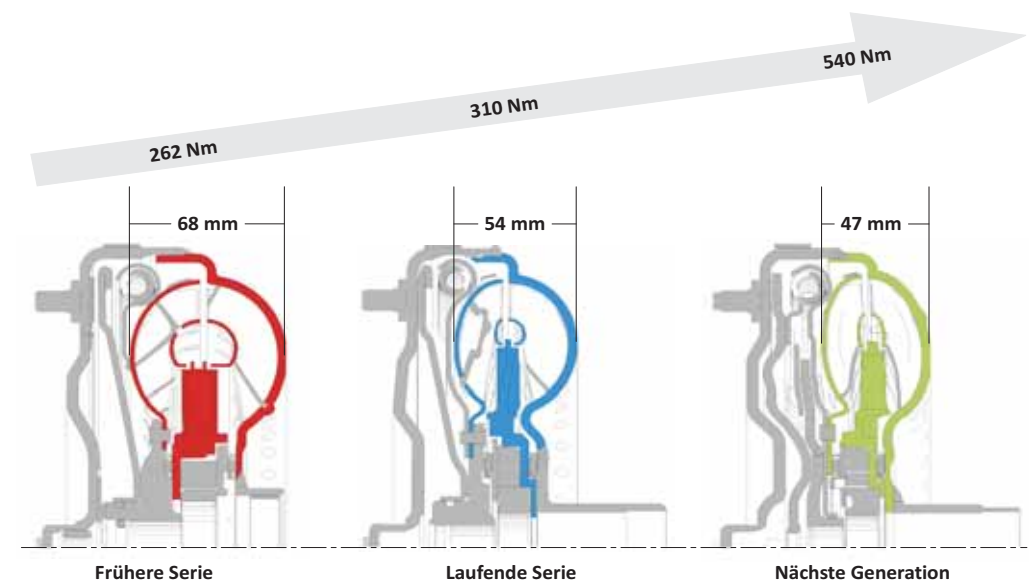


Bild 8 Abnehmende Wandlerbreite bei steigendem Drehmoment

Einige Konzepte zur Erhöhung der Leistungszahl des Wandler (Kompensierung der Einschränkung des radialen Bauraums) und zur Optimierung der Ausnutzung des axialen Bauraums durch Neigung des Wandler in eine Richtung wurden bereits beim LuK Kolloquium 2006 [1] vorgestellt. Aktuelle Entwicklungen zeigen jedoch, dass die Begrenzung des radialen Raumes nicht so restriktiv ist wie die Begrenzung des axialen Raumes. Deshalb wird bei LuK der Schwerpunkt auf die Optimierung der Leistungsfähigkeit von Wandlerkreisläufen mit axial reduzierten Abmessungen gelegt.

Herkömmliche Fluidkreislaufgeometrien verlieren deutlich an Leistungsfähigkeit, wenn die hydrody-

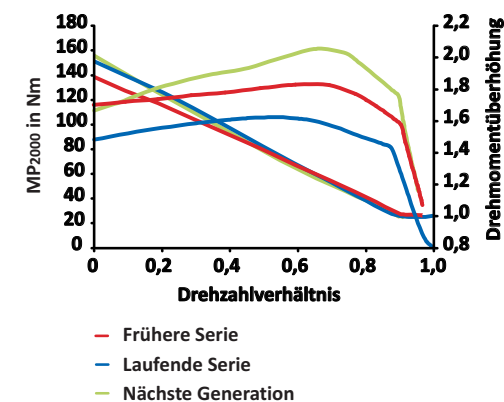


Bild 9 Verbesserte Drehmomentcharakteristik bei geringerer Wandlerbreite

namischen Komponenten axial gestaucht werden, um in den verfügbaren Raum zu passen. Außerdem erhöht eine geringere axiale Breite der Leitrad-schaukeln die Neigung des Wandler, bei niedrigerem Speisedruck zu kavitieren. Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse wurde eine neue Strategie für die Wandlerauslegung entworfen.

Die traditionell bekannte Funktion einer jeden Komponente des Fluidkreislaufs (Pumpe, Turbine und Leitrad) bei der Auslegung einer gewünschten Wandlerleistungscharakteristik wurde nochmals überprüft. Dabei zeigte sich, dass diese Funktion durch eine Neugestaltung des Schaufelkanals geändert bzw. optimiert werden kann. Die Beispiele in den Bildern 8 und 9 zeigen, dass es möglich ist, die axiale Breite des Fluidkreislaufs zu reduzieren und dabei die Wandlerleistungsparameter, die den Verbrauch oder das Fahrverhalten des Fahrzeugs bestimmen, nur geringfügig oder gar nicht zu beeinträchtigen.

Die Optimierung der Eintritts- und Austrittskanten der Schaufeln aller drei Komponenten verringerte ebenfalls deutlich die negativen Auswirkungen, die eine Verkleinerung des Wandlerkreislafs häufig mit sich bringt. Dies erlaubte eine weitere Reduzierung der axialen Breite des Fluidkreislaufs.

Die Kombination vieler kleiner Optimierungen hat eine erhebliche Verringerung der axialen Breite des Fluidkreislaufs ermöglicht, ohne dafür Einschränkungen bei der Leistungsfähigkeit hinnehmen zu müssen.

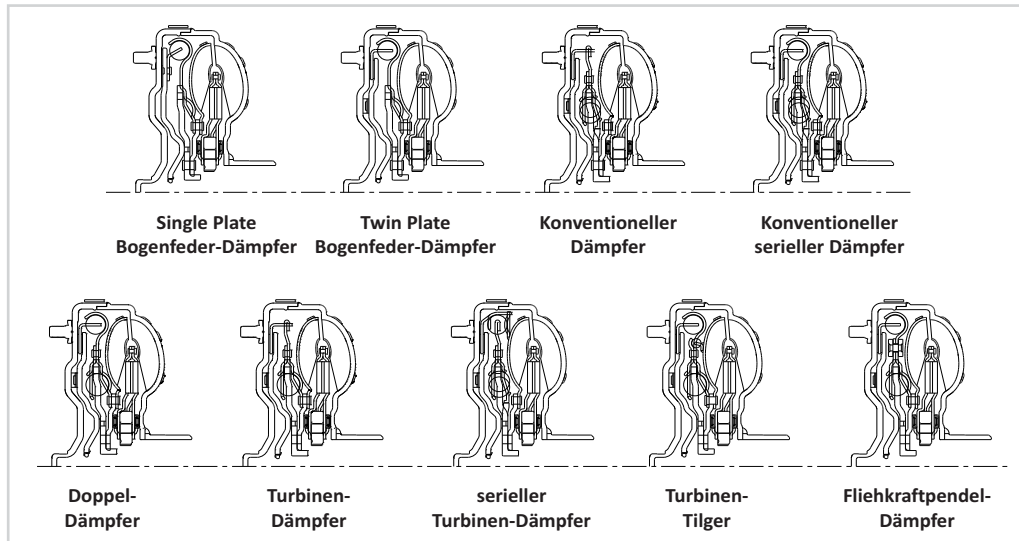


Bild 10 Wandlerbaukasten-Portfolio

Dadurch gewinnt LuK den Raum, hochentwickelte Dämpferkonzepte einzusetzen und ein Baukastenprinzip für Dämpfer und Kupplung einzuführen.

Baukastenprinzip

Das Bestreben, die Verbrauchswerte von Fahrzeugen zu verbessern, hat zu bedeutenden Veränderungen bei den Motoren- und Getriebebauarten geführt, z. B. Saugmotoren, turboaufgeladene Motoren und Motoren mit Stopp-Start Systemen kombiniert mit CVT und Automatikgetrieben. Um diese vielen Triebstrangkombinationen mit möglichst kleinem Invest bei Entwicklung und Werkzeugen zu bedienen, hat LuK einen Baukasten entwickelt, der es ermöglicht, verschiedene Ausführungen von Dämpfern und Fluidkreisläufen mit geringen Änderungen in ein und demselben Gehäuse einsetzen zu können.

Das Baukastenportfolio für frontangetriebene Fahrzeuge kann Bild 10 entnommen werden. Die erste Anpassungsmöglichkeit, die vorgesehen ist, betrifft die

Momentenkapazität der Überbrückungskupplung. Hierfür kann entweder eine Single Plate oder eine Twin Plate Kupplung eingesetzt werden. Bei der Single Plate Kupplung wird der Reibbelag direkt auf den Kolben aufgeklebt. Um auf eine Twin Plate Kupplung zu gehen, wird ein zusätzliches Stanzteil mit Reibbelägen auf beiden Seiten und außen angeformten Mitnehmerlappen für die Dämpferfedern benötigt.

Die Flexibilität beim Dämpfer wird gewährleistet, indem im einfachsten Dämpfer Verbindungspunkte für alle Dämpfertypen vorgesehen werden. Mit die-

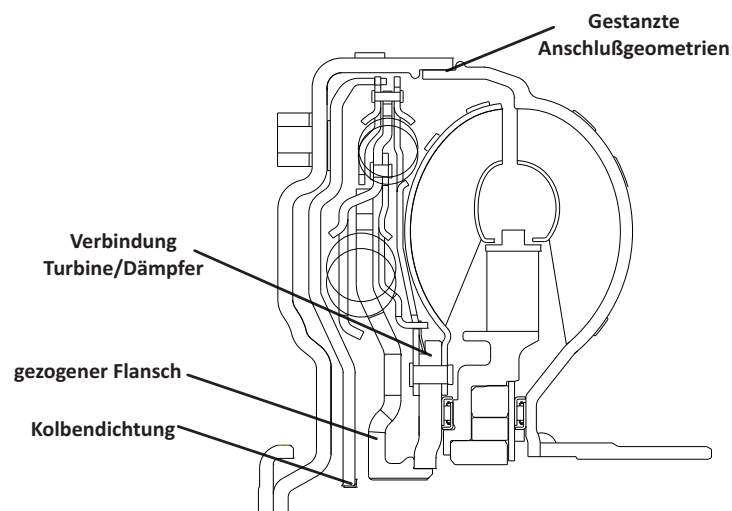


Bild 11 Wandlerquerschnitt mit vereinfachter Bearbeitung

ser Vorkehrung können Druckfeder- und Bogenfederdämpfer, serielle Dämpfer und Doppeldämpfer sowie Fliehkraftpendel und Turbinentilger mit einer Grundausstattung von Teilen realisiert werden. Nur die zusätzlichen Teile, die für den neuen Dämpfertyp benötigt werden, müssen neu gefertigt werden.

Stanz- und Bearbeitungstechnologie

Um Raum für diese Vielfalt an Dämpfertypen zu schaffen und die Kosten zumindest teilweise zu kompensieren, werden neue Bearbeitungstechnologien benötigt. Ein Beispiel für einen modularen Wandler mit optimierter Bearbeitungstechnologie ist in Bild 11 dargestellt. Der Einsatz von Stanztechnologie für Formen, die normalerweise zerspanend hergestellt würden, ist in dem Bereich zu erkennen, wo normalerweise eine geschmiedete oder gesinterte Turbinennabe zu finden wäre. Herkömmlicherweise übernimmt diese Nabe die Verbindung der Getriebewelle mit der Turbine, stellt eine Verzahnung für den Dämpfer bereit und übernimmt die Dichtungsfunktion zum Kolben und zur Getriebewelle. In der optimierten Ausführung werden diese Funktionen direkt in die gestanzten Komponenten integriert. Zu diesem Zweck hat der Dämpferflansch eine Verzahnung, die mit der Getriebewelle im Eingriff steht. Die Kolbenbohrung ist mit einer Buchse ausgestattet, die den Kolben einerseits zentriert und den Druckraum zur Welle hin abdichtet, wodurch eine Dichtung eingespart werden kann. Die Turbine ist direkt mit dem Dämpfer verbunden.

Ein weiteres Beispiel für Stanztechnologie im Wandler ist an der Außenschweißnaht zu sehen. Die Anschlussmaße für diese Schweißverbindung werden normalerweise durch Drehbearbeitung der gestanzten Außenschalen realisiert. Im abgebildeten Fall werden beide Durchmesser und Anschläge durch einen Prägevorgang in der Presse hergestellt. Die gestanzten und geprägten Schalen werden der Montagelinie fertig zum Schweißen zugeführt.

Das Schweißen wird üblicherweise als Schutzgasschweißen unter Verwendung von Schweißdraht durchgeführt. Um einerseits die Kosten für den Schweißdraht aber auch die Verschmutzung des Wandlers durch Schweißspritzer zu vermeiden, hat LuK einen Autogenschweißprozess entwickelt, welcher das Material der Teile selbst für die Schweiß-

verbindung nutzt. Dies verhindert Schweißspritzer und vereinfacht den Bearbeitungsablauf.

Blecheitrad und Freilauf

Die bereits angesprochenen Neuerungen in der Blechumformung sind beachtlich, wie zum Beispiel das Ersetzen von Sinter- oder Schmiedekomponenten durch Stanzteile. Die nächste Herausforderung besteht in der Ablösung von Aluminium-Druckguss und geschliffenen Stahlkomponenten durch Stanzteile. Damit werden zwei Ziele verfolgt: den für das Leitrad benötigten Platz sowie die Kosten zu reduzieren. Wirksamere Dämpfer benötigen nicht nur mehr Raum, sondern verlangen auch Kosteneinsparungen an anderer Stelle im Wandler, um den Gesamtpreis halten zu können.

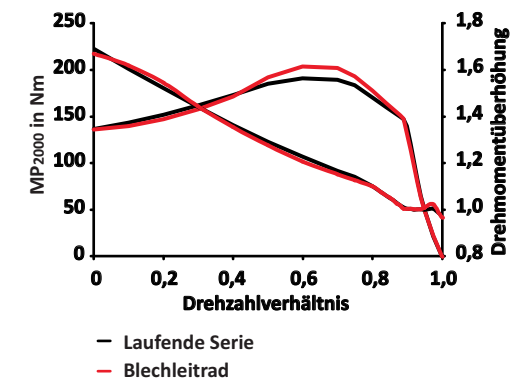


Bild 12 Wandlerkennlinie mit Blecheitrad

Die Vorteile eines Leitrades aus Blech in verschiedenen Anwendungen wurden in den vergangenen Jahren mehrfach gezeigt [1] [2] und sind in Bild 12 dargestellt. Kurz zusammengefasst: Stahl hat die dreifache Festigkeit von Aluminium, wodurch die Leitradschau-feldicke reduziert werden kann. Eine dünnere Schaufel setzt der Strömung weniger Widerstand entgegen, wodurch die Leistung erhöht wird. Die größte Herausforderung ist es, den Kupplungspunkt bzw. den maximalen Wirkungsgrad des Wandlers beizubehalten. Da eine Schaufel aus Blech eine konstante Dicke hat, kann sie kein Tragflügelprofil nachbilden, welches für die Erzielung eines hohen Kupplungspunktes wichtig ist. Die Einbußen beim Kupplungspunkt aufgrund des Einsatzes eines Blecheitrades liegen zwischen nahezu 0 bis zu 3 % je nach Fluidkreislaufgeometrie. Dieser Nachteil wird jedoch zunehmend bedeutungslos, da die Wandlerüberbrückungskupplung bereits bei immer kleineren Geschwindigkeiten zugeschaltet wird.

Außerdem ist die Kennlinie mit Leitrad-schaufeln konstanter Dicke im Anfahrpunkt weicher und steigt mit zunehmendem Drehzahlverhältnis an. Das bedeutet, dass der Wandler beim Start weniger Moment überträgt und später dann mehr. Diese Kennliniencharakteristik ist in zweierlei Hinsicht ideal geeignet für moderne turboaufgeladene Motoren, sowohl Diesel als auch Benzin. Zum einen werden die Stillstandsverluste verringert, denn im Stillstand dreht die Pumpe gegen die stehende Turbine, so dass die in diesem Bereich niedrigere Kennlinie mit Blechleitrad hier vorteilhaft ist. Zum anderen gibt dies dem Motor beim Anfahren Zeit, auf die Drehzahl der Turboladerzuschaltung hochzudrehen. Indem der Motor schnell hochdrehen und den Turbolader beschleunigen kann, wird das Turboloch, ein häufiges Problem bei hochaufgeladenen Motoren, wirksam kompensiert. Im Hinblick auf diese beiden Effekte bietet das Blechleitrad eine vorteilhafte Kennliniencharakteristik für moderne Motoren.

Die Frage, die sich im Zusammenhang mit dem Blechleitrad stellt, ist die nach der richtigen Wahl für den Freilauf. Um Bauraum und Kosten zu sparen, wäre der Einsatz eines Freilaufs aus Blech wünschenswert. Da ein solcher Freilauf notwendigerweise dünner ist, muss eine niedrigere Spannung für ein bestimmtes Moment gefordert werden. Dies kann erreicht werden, indem man von einem Linienkontakt, wie er in Rollen- oder Klemmkörperfreiläufen vorhanden ist, auf einen Flächenkontakt übergeht. Diesen Effekt nutzt ein neues Freilaufkonzept, welches als Wedge-Freilauf (wedge = Keil) bezeichnet wird. Eine schematische Darstellung ist in Bild 13 zu finden. In Sperrrichtung wird der Keilring zwischen der Nabe und dem Außenring verklemmt. In Freilaufrichtung verliert der Keilring seinen Kontakt mit dem Außenring, während er sich auf den Rampen nach innen bewegt.

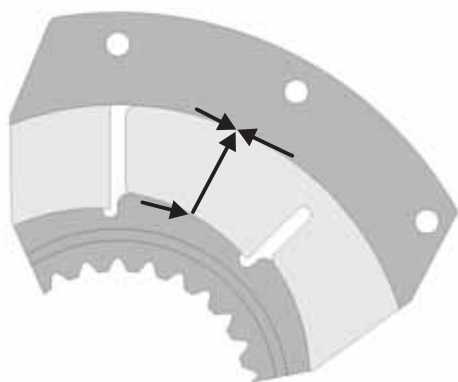


Bild 13 Schematische Darstellung des Wedge-Freilaufs

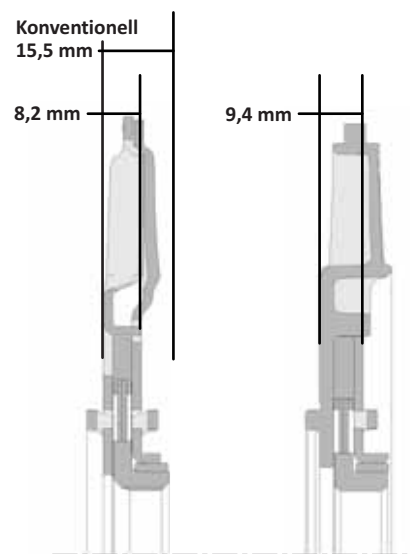


Bild 14 Leitrad mit Wedge-Freilauf

Eine Anordnung mit einem solchen Freilauf ist in Bild 14 dargestellt. Der Bauraumvergleich mit einem herkömmlichen Rollenfreilauf zeigt einen deutlichen Vorteil hinsichtlich Breite. Dieser zusätzliche axiale Raum kann für den Aufbau größerer Dämpfer genutzt werden oder um eine kürzere Getriebegehäuse zwischen Kurbelwelle und Getriebegehäuse unterzubringen. Da alle Komponenten des Wedge-Freilaufs gestanzt werden, können viele Bearbeitungsschritte entfallen, wodurch ein Kostenvorteil entsteht. Das Blechleitrad mit Wedge-Freilauf ist ein weiterer Pluspunkt, der durch den optimalen Einsatz von Stanztechnologie erzielt werden kann.

Stopp-Start für das Automatikgetriebe

Vor dem Hintergrund immer strenger werdender Verbrauchs- und Emissionsstandards wächst die Notwendigkeit, neue Technologien oder Technologiegruppen einzuführen, mit denen diese Standards erfüllt werden können. Gleichzeitig sollen Fahrzeugkomfort und Funktionalität nicht beeinträchtigt werden.

Das Konzept der Verbrauchsreduzierung durch einen Motor mit Stopp-Start Strategie ist nicht neu. Zwar wurden Fahrzeuge mit dieser Funktion als Handschalter und Automatikversion bereits seit

Anfang der achtziger Jahre zum Verkauf angeboten, allerdings waren, trotz Ölkrise und der damals generell niedrigeren Komfortansprüche, die Einbußen beim Komfort zu groß. Die Verbraucher trafen ihre Wahl und diese Systeme verschwanden aus dem Produktangebot der Autohersteller. Dennoch haben Stopp-Start Systeme in den letzten Jahren ein Comeback erlebt, insbesondere in Fahrzeugen mit Handschaltgetriebe oder Hybridtechnologie. Inzwischen ist die Technologie verfügbar, um es mit den Schwierigkeiten aufzunehmen, die die alten Systeme plagten und die Marktakzeptanz ist auf dem Vormarsch. Dennoch ist für den Hauptanteil an Automatikgetrieben auf dem nordamerikanischen Markt – dem Planetengetriebe – bislang keine entsprechende Technologie für die Lösung der Probleme verfügbar. Bei 95 % der in den USA verkauften Fahrzeuge gibt es bisher keine Lösung für die folgenden drei Grundprobleme:

1. Schneller Neustart des Motors mit gleichzeitigem Absichern von Absichtsänderungsereignissen (change of mind)
2. Getriebehydraulik so schnell wie möglich in einen normalen Funktionszustand zu versetzen
3. Handhabung des Anfahrvorganges oder von Absichtsänderungsereignissen in einer für den Fahrzeugbediener akzeptablen Art und Weise

Für jedes dieser Probleme gibt es verschiedene Lösungen, von denen einige bereits in Handschaltgetrieben oder Getrieben mit Hybridtechnologie ein-

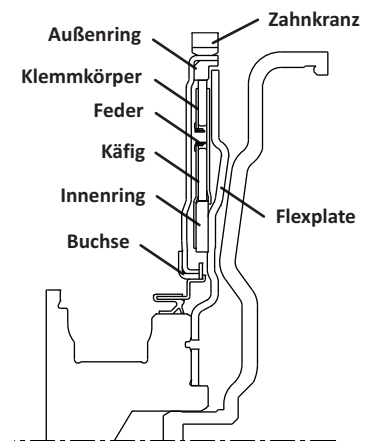
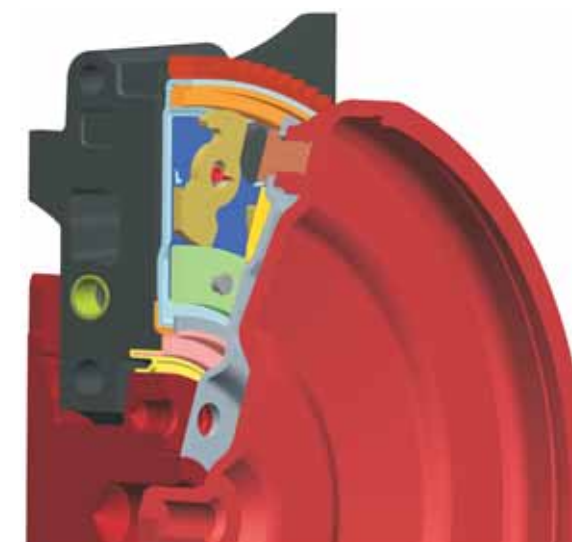


Bild 15 Querschnitt eines PES



gesetzt werden. Insbesondere die erste Aufgabe – den Motor schnell und unauffällig zu starten – bringt Lösungen hervor, die einigermaßen unabhängig vom Getriebetyp auf die Fahrzeuge angewendet werden können. Zurzeit erforschen viele Fahrzeug- und Motorenhersteller aufgerüstete Anlassermotoren oder, im Fall von Benzinern mit Direkteinspritzung, den Direktstart ohne Anlassermotor. Bei letzterem wird Benzin eingespritzt und gezündet, um den Motor aus dem Stillstand zu starten. Obwohl jedes dieser Konzepte attraktive Möglichkeiten bietet, den Motorneustart zu handhaben, sind beide gleichermaßen begrenzt bezüglich des Einsatzes für alle Betriebsarten sowie bei Extremwerten von Umgebungs- und Motortemperatur.

Permanent eingespurter Anlasser

Das Konzept des permanent eingespurten Anlassers (Permanently Engaged Starter PES) bietet einen interessanten Weg, die Schwächen der oben diskutierten Systeme zu überwinden. Mit Hilfe eines Freilaufs zwischen der Motorkurbelwelle und dem Anlasserzahnkranz bleibt der Zahneingriff permanent bestehen. Wenn der Motor einmal gestartet ist, dreht der Freilauf und die Geschwindigkeit des Anlassermotors geht auf null. Somit können Motorneustarts schnell erfolgen, da es keine Verzögerungen beim Eingreifen der Verzahnungen gibt. Absichts-

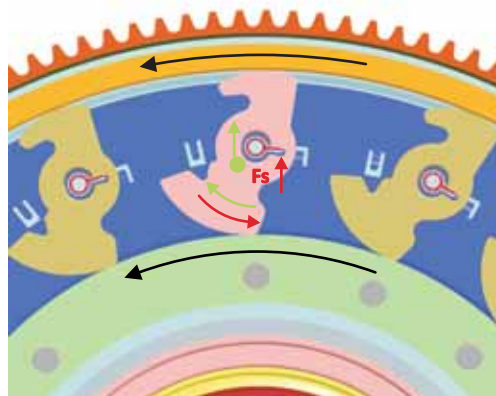


Bild 16 Funktionsschema des Freilauf-Mechanismus beim PES

änderungsereignisse lassen sich ebenfalls gut handhaben, da der Anlasser jederzeit angekoppelt werden kann, ohne die Zahnkranz- und Ritzelgeschwindigkeiten vorher synchronisieren zu müssen. Und schließlich, da die grundlegende Funktionsweise des Anlassersystems nicht geändert wird, gibt es keine Einbußen beim Motorstartverhalten hinsichtlich Umgebungs- oder Motortemperaturen.

Bislang erfordern PES-Systeme Änderungen an der Rückseite des Motorblocks, die Anbringung eines Anschlusses für die Schmierung des nassen Freilaufs sowie verschiedene Lager und Dichtungen. Typischerweise gehen die beiden letzteren mit zusätzlichen Schleppverlusten einher, wenn der Motor in Betrieb ist, so dass die Verbrauchsreduzierung und damit der Netto-Nutzen des Stopp-Start Systems vermindert wird.

LuK hat eine Ersatzanordnung für den PES entwickelt. Mit dem LuK Konzept, welches in den Bildern 15 und 16 zu sehen ist, entfällt die Notwendigkeit für Schmieranschlüsse und Dichtungen, da ein neuartiger, trockener Klemmkörperfreilauf eingesetzt wird. Da die Klemmkörper über ein Käfigelement mit der Kurbelwelle verbunden sind, kann das Verhalten des Freilaufs auf die Motordrehzahl abgestimmt werden. Der Freilauf kann so ausgelegt werden, dass er bis zu einem für Absichtsänderungsereignisse benötigten Schwellenwert von typischerweise 400 1/min klemmt, aber bei einer Drehzahl knapp unterhalb der Leerlaufdrehzahl voll abgehoben hat. Dadurch kann das System auf die Anforderung eines Neustarts während eines Absichtsänderungsereignisses reagieren, auch wenn die Motordrehzahl unter diejenige Drehzahl

gefallen ist, bei der ein Neustart des Motors nur durch Benzinzufuhr und Zündfunken nicht möglich wäre. Außerdem gibt es keinen Schleppwiderstand im Freilauf, wenn der Motor einmal gestartet ist und mit Leerlaufdrehzahl dreht. Und schließlich wurde das System so konfiguriert, dass das Zahnkranzlager, außer beim Motorneustart, immer stillsteht, wodurch Verluste vermieden werden, da es keine Differenzdrehzahl zum Motorblock gibt. Daraus ergibt sich, dass ein PES mit einem Minimum an Änderungen zur bestehenden Motor-Getriebe-Kombination und ohne die aus konventionellen Anlassersystemen bekannten Schleppverluste eingesetzt werden kann.

Gesteuertes Rückschlagventil

Die beiden verbleibenden Aufgaben – die Getriebebesteuerung wieder in einen normalen Funktionszustand zu versetzen und den Anfahrvorgang zu handhaben – sind vermutlich am einfachsten zu bewältigen, indem man sich bei der Technologie hybrider Antriebe bedient und eine externe, elektrisch betriebene Hydraulikpumpe einsetzt. Diese Pumpe hält die Hydraulikkreisläufe des Getriebes auch dann aufrecht, wenn die motorgetriebene Ölpumpe nicht arbeitet. Außerdem können mit dieser Pumpe die Getriebebeschaltetelemente während des Neustarts und des Anfahrvorganges gesteuert oder geregelt werden, wodurch Störungen soweit abgeschwächt werden, dass der Vorgang subjektiv angenehmer wird. Diese Lösung ist ein guter Ansatz für Hybridantriebe, bei denen elektrischer Fahrzeugbetrieb eine übliche Betriebsart ist und folglich ohnehin eine Zusatzpumpe benötigt wird. Für Fahrzeuge, die nur ein Stopp-Start System haben, werden die Kosten für den Aufwand einer zusätzlichen Pumpe unattraktiv.

Eine andere wettbewerbsfähige Lösung für Automatik-Planetengetriebe ist der hydraulische Speicher. Der Speicher ist so konzipiert, dass er das Getriebe während des Motorneustarts mit einem kleinen Ölvolumen hohen Druckes versorgt. Dies gewährleistet, dass die Getriebehydraulik schneller wieder in Normalbetrieb versetzt werden kann. Dieses System erfordert eine präzise Zeitsteuerung der Speicherentladung. Außerdem muss die Getriebehydraulik entsprechend ausgelegt werden, um ein solches Gerät aufnehmen zu können.

LuK hat jedoch bereits eine alternative Lösung für diese beiden Anforderungen entwickelt – das in

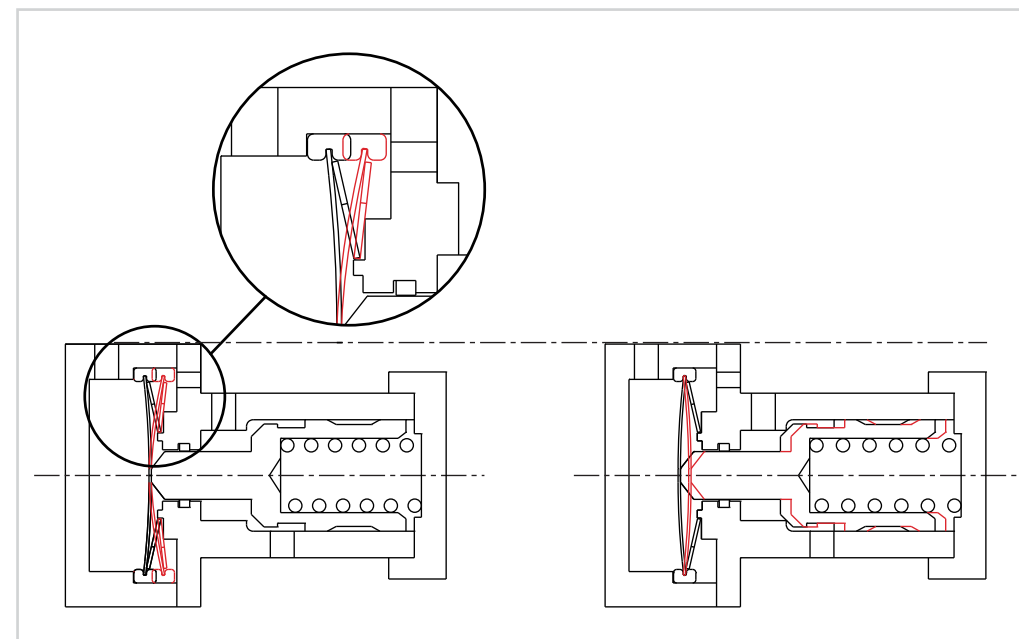


Bild 17 Gesteuertes Rückschlagventil mit Rastfunktion in aktiviertem und deaktiviertem Zustand

Bild 17 dargestellte gesteuerte Rückschlagventil mit Rastfunktion. Dieses System besteht aus zwei funktionell getrennten Elementen: dem Druckregelventil selbst sowie einer Vorrichtung, um das Regelventil wahlweise zu aktivieren oder zu deaktivieren. Das Prinzip ist recht einfach und beruht darauf, mit Hilfe des Regelventils die gewünschten Schaltelemente bereitzustellen und zu positionieren, so dass der Anfahrvorgang so schnell wie möglich durchgeführt werden kann, während die Getriebehydraulik wieder ihren Betrieb aufnimmt. Der zweite Teil des Systems besteht aus einer bistabilen Membranfeder und ermöglicht es, dass das Ventil vor einer Motorabschaltung aktiviert bzw. nach dem Motorneustart wieder deaktiviert wird. Durch eine kurze Druckspitze, die nur etwas über dem normalen Betriebsdruck liegt, schnappt die Membranfeder über die Mitte und erlaubt damit dem Ventil, den Kolbendruck zu regulieren. Die nächste normale Betätigung der Kupplung bewirkt, dass die Feder zurückspringt, wodurch das Getriebe wieder in normalen Betrieb gelangt, so als wäre kein Ventil vorhanden.

Das System kann auf die Anforderungen eines speziellen Getriebes abgestimmt werden. Wird zum Beispiel gewünscht, die Schaltelemente am

Antastpunkt der Kupplung bereitzustellen, wodurch die Notwendigkeit entfällt, die Kupplungskolbenposition zu ermitteln und die Kupplung an den richtigen Punkt zu bringen, so kann das Ventil so abgestimmt werden, dass ein Druck gehalten wird, der die Kraft der Kupplungsvorspannfeder überwindet. Alternativ kann es wünschenswert sein, die Kupplung bei einem bestimmten Moment oder Druck zu halten, um ein Kriechmoment beim Anfahren zu ermöglichen aber Effekte wie zum Beispiel Motorruckeln beim Neustart zu vermindern.

Das System ist so ausgeführt, dass es in der Nähe der Schaltelemente für den ersten Gang – in modernen Planeten-Automatikgetrieben sind das typischerweise eine Kupplung und eine Bremse – angebracht werden kann. Hierdurch kann es im Getriebe mit minimalen Hardware-Änderungen integriert werden und muss nicht mit Leckageeffekten an Dichtungen des Ventilkörpers kämpfen.

Die Kombination von permanent eingespurtem Anlasser und gesteuertem Rückschlagventil bietet eine Technologie, die die Stopp-Start Systeme näher an den Markt bringen mit einem Minimum an Ausgaben und den geringsten Einschränkungen gegenüber bewährten Getriebesystemen.

Hybridisierung

Die Verkaufszahlen von Hybridfahrzeugen sind in den vergangenen Jahren auf mehr als 3 % aller verkauften Fahrzeuge angestiegen, und Prognosen legen nahe, dass dieser Trend sich auch in der Zukunft fortsetzt. Für LuK sind diese Anwendungen kein Neuland und es wird kontinuierlich an einem Spektrum von Dämpfern für diese doch eher speziellen Antriebe gearbeitet.

Während LuK die Hybrid-Aktivitäten vorantreibt und mit den Herausforderungen dieses neuen Marktes wächst, ist es interessant zu erwähnen, dass eine der Kerntechnologien von LuK, die trockene Kupplung, ein neues Zuhause im Antriebsstrang als Teil einer „P2“ Hybrid-Architektur findet.

Das P2 Layout bietet die Flexibilität, das Fahrzeug mittels Verbrennungsmotor, oder mit Unterstützung des Verbrennungsmotors durch eine E-Maschine, zu betreiben. Die Anbringung der zuvor erwähnten trockenen Kupplung, in diesem Fall als Motortrennkupplung ausgeführt, ermöglicht es, das Fahrzeug ausschließlich elektrisch zu betreiben. Außerdem wird der Wirkungsgrad bei der Rekuperation verbessert, indem Motorverluste vermieden werden.

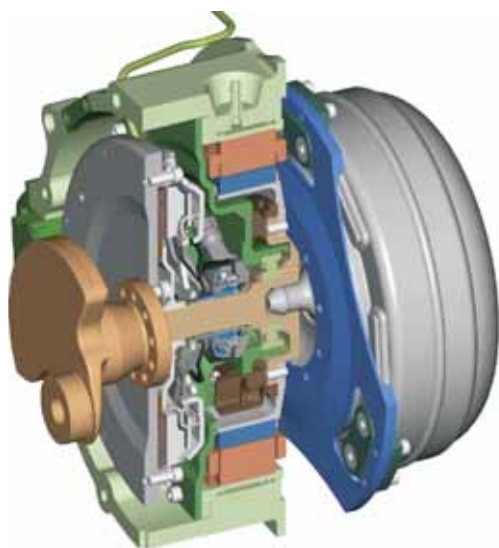


Bild 18 Hybrid-Modul für den Einsatz im konventionellen Automatikgetriebe

Einer der wohl attraktivsten Aspekte der P2 Architektur ist ihre Fähigkeit, alle relevanten Hybrid-Betriebsarten zu erlauben, ohne eine neue Getriebeauslegung zu benötigen. Motortrennkupplung, Betätigungssystem, E-Maschine und zugehörige Wellen und Lager können alle in einem unabhängigen Modul untergebracht werden. Dieses in Bild 18 dargestellte Modul kann dann komplett mit dem Anfahrerelement – typischerweise ein Drehmomentwandler – zwischen Motor und Getriebe angeschraubt werden. Es versteht sich von selbst, dass diese Lösung vielleicht nicht für eine Anwendung mit Frontantrieb geeignet ist, wo nicht genügend axialer Raum verfügbar ist, um dieses zusätzliche Modul unterzubringen. Für viele Anwendungen mit Heckantrieb liefert dieser Ansatz jedoch beste Werte bezüglich Investitions- und Entwicklungskosten im Vergleich zur Funktion.

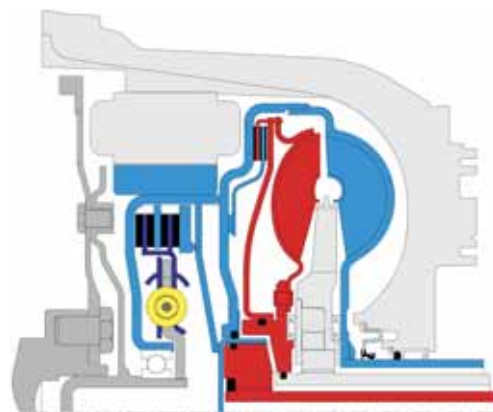


Bild 19 Hybrid-Modul integriert in der Wandler-Baugruppe

Eine andere Weise, in der die P2 Architektur umgesetzt werden kann, besteht in der Integration der Motortrennkupplung und der E-Maschine im Wandler selbst. Eine Anordnung dieser Bauform ist in Bild 19 dargestellt. Hierdurch ist es möglich, die weiter vorn vorgestellten Fortschritte in der Wandlerentwicklung mit der, aufgrund verbesserter Dämpfungstechnologie und verringertem Belastungsgrad des Wandlers, möglichen Verkleinerung des Fluidkreislaufs zu verknüpfen und so zu einer Lösung zu gelangen, die in einen Bauraum passt, wie er noch vor wenigen Jahren für einen herkömmlichen Wandler benötigt wurde.

Zusammenfassung

Es ist in der Tat eine gute Zeit, Teil eines Entwicklungsteams für Drehmomentwandler zu sein. Wie man anhand der vielen vorgestellten, eleganten und leistungsfähigen Konzepte sehen kann, hat LuK Lösungen entwickelt für die vielen Herausforderungen moderner Antriebsstränge. Für die Dämpfung von Schwingungen aufgeladener Motoren steht eine Sammlung unterschiedlicher Dämpfertypen zur Verfügung, die nach dem Baukastenprinzip eingesetzt werden können. Den steigenden Forderungen bezüglich Bauraum kann durch Verkleinerung des Wandlerkreislaufs sowie durch innovative Bearbei-

tungstechnologien begegnet werden. Stopp-Start Systeme und Hybridisierung sind technisch möglich und erschwinglich. Der Drehmomentwandler hat also eine lange Zukunft, da sich die bewährte Technologie auch weiterhin behaupten wird.

Literatur

- [1] McGrath, M.; Hemphill, J.; Bailey, G.; George, P.; Swank, M.; Krause, T.: Drehmomentwandler, 8. LuK Kolloquium, 2006
- [2] Advanced Torque Converter Concepts, CTI North America, May 2007