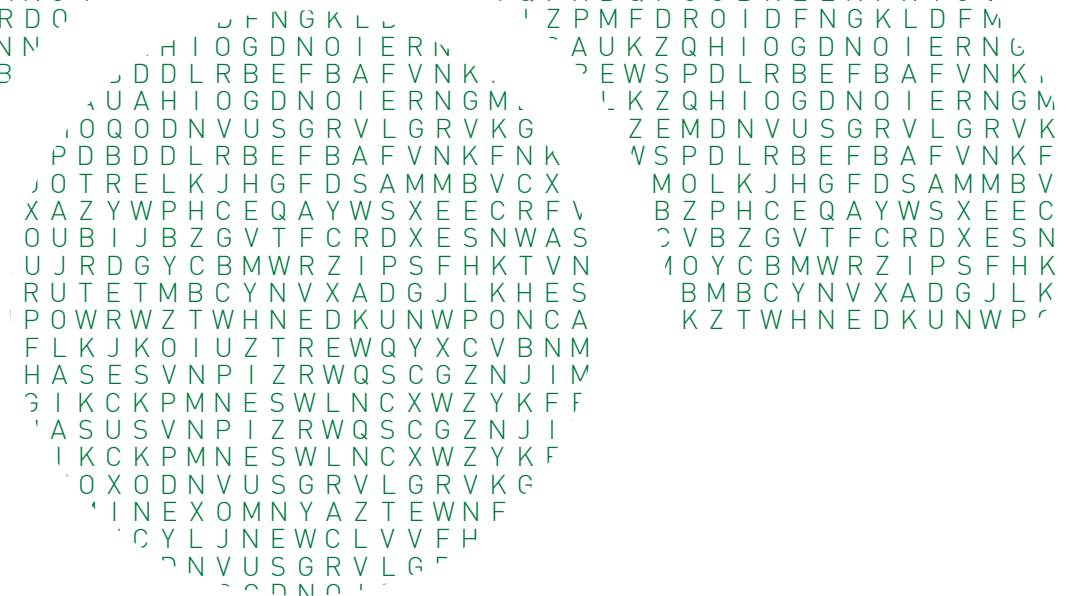
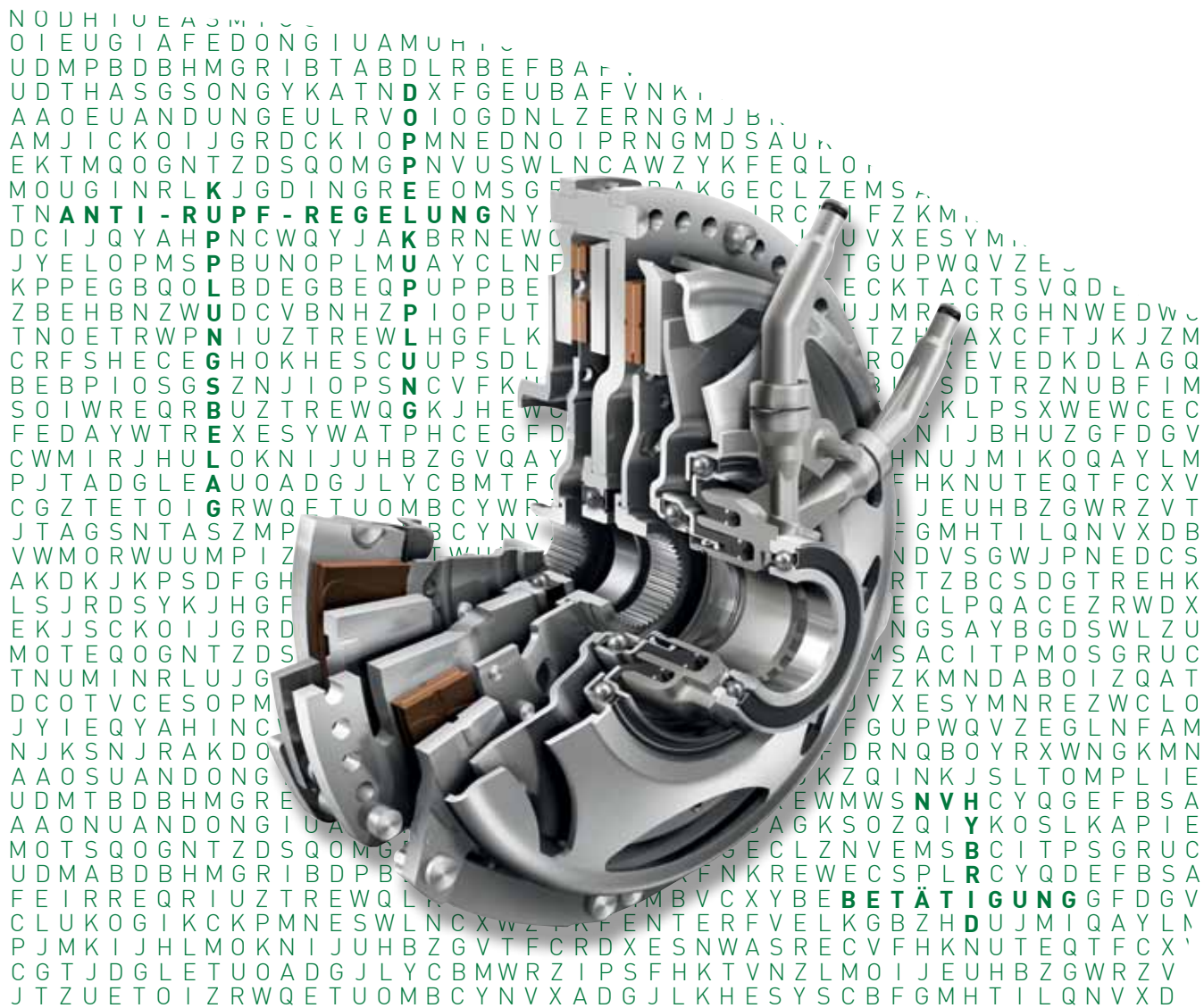


Höchster Komfort

Die trockene Doppelkupplung
stellt sich der Herausforderung

Karl-Ludwig Kimmig
Dr. Peter Bührle
Dr. Ralph Kolling
René Daikeler
Michael Baumann

16



Einleitung

Das Wettbewerbsumfeld, in dem sich die trockene Doppelkupplung bewegt, wurde in [1] bereits einführend erläutert. Eine große Anzahl von in Serie befindlichen Anwendungen unterstreicht, dass sich trockene Doppelkupplungen am Markt bewährt haben (Bild 1).

Auch für zukünftige automatisierte Antriebsstränge der Kompakt- und Mittelklassefahrzeuge ist das trockene Doppelkupplungssystem aufgrund des sehr guten Gesamtwirkungsgrads und der nicht erforderlichen Öl-/Wasserkühlung für das Kupplungssystem eine sehr gut geeignete Alternative. Eine Herausforderung besteht darin, dass die Anforderungen an die Antriebs-

stränge bezüglich Geräusch und Vibration (NVH) sowie Komfort weiter steigen werden und für die Fahrdynamik das Massenträgheitsmoment des Doppelkupplungssystems möglichst klein sein sollte. Dies erfordert eine Weiterentwicklung der trockenen Doppelkupplungssysteme und der zugehörigen Schwingungs-Dämpfungskonzepte. Neue, speziell für die Anforderungen abgestimmte Reibbeläge und erweiterte Softwarefunktionen tragen zu einem großen Optimierungsschritt für das Gesamtsystem bei. So können zum Beispiel durch die Betätigung der Kupplungen über geeignete Software-Regelstrategien Schwingungen am Antriebsstrang eliminiert werden (Anti-Rupf-Regelung). Weiter ergeben sich durch das elektrische Anfahren in Verbindung mit hybridisierten Antriebssträngen zusätzliche Komfortverbesserungspotenziale.

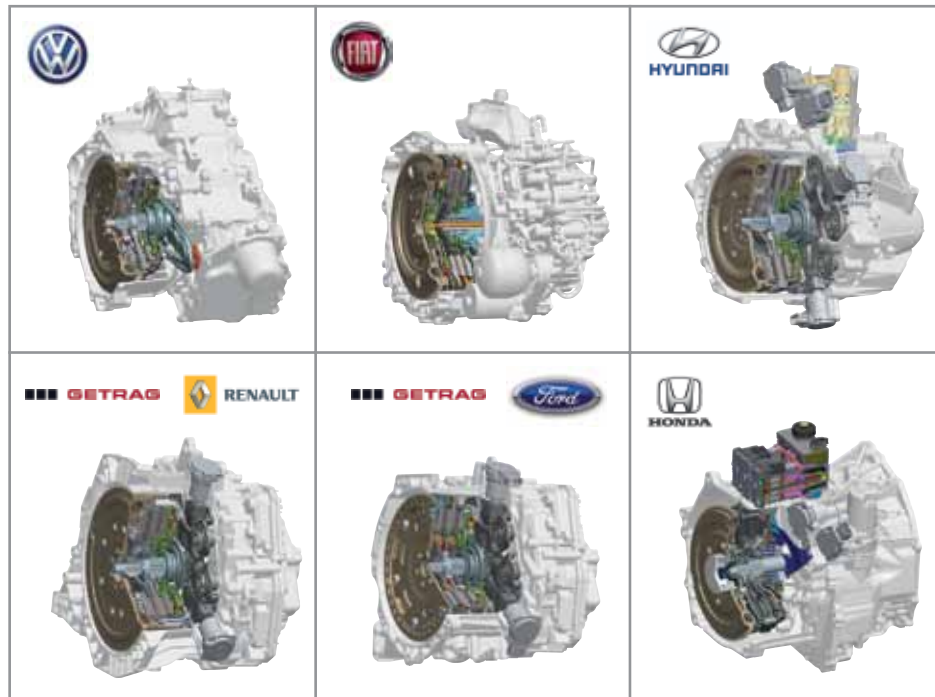


Bild 1 Trockene Doppelkupplungsanwendungen in Serie

Trockene Doppelkupplungssysteme mit minimaler Schwingungsanregung

Das NVH-Verhalten von modernen Antriebssträngen hängt von vielen system-spezifischen Faktoren ab, wie z. B. der Dämpfung, dem Übertragungsverhalten des Antriebsstrangs, den Schwingungskopplungen und natürlich der Anregung von Motor, Kupplung und Getriebe. Aus Kupplungssicht relevant sind hierbei speziell die Isolation der Drehschwingungen des Motors über das Zweimassenschwungrad und die weiteren Dämpfungsmaßnahmen in der Kupplung, einschließlich Schlupfregelung und der Störanregung der schlupfenden Kupplung („Rupfanregung“). Besonders die Störanregungen einer schlupfenden Kupplung stehen bei Doppelkupplungssystemen sehr stark im Fokus. Bild 2 zeigt, weshalb dies bei Doppelkupplungssystemen eine deutlich stärkere Herausforderung darstellt als bei Handschaltfahrzeugen.

Ein wesentlicher Unterschied von Anfahr- und Schaltvorgängen mit automatisierten Systemen im Vergleich zum manuellen Fahren liegt darin, dass zur Steigerung des Fahrkomforts der Zustand, in dem die Kupplung mit Schlupf betrieben wird, deutlich länger gehalten wird (Kriechfunktion). Da speziell in den kleineren Gängen 1, 2 und Rückwärtsgang fast immer die Eigenfrequenz des Antriebsstrangs während des Schlupfzustandes durchfahren wird, können kleinste Drehmomentenschwankungen am Ausgang der Kupplung zu spürbaren Schwingungen oder Geräuschen am Fahrzeug führen. Verstärkt wird dies noch dadurch, dass beim Doppelkupplungsgetriebe während des Anfahrvorganges nur ein Teilgetriebe durch das Drehmoment vorgespannt wird und das inaktive Teilgetriebe frei schwingen kann. Damit können zusätzliche Geräusche entstehen. In der Anfahrsimulation (Bild 2) wurden gleiche Kupplungsparameter (u. a. Geometrie, Reibbelagverhalten und Anfahrmoment) zu Grunde gelegt. Auch wurde von einer identischen Antriebsstrangdämpfung ausgegangen. Es ist zu erkennen, dass sich durch die Verlängerung

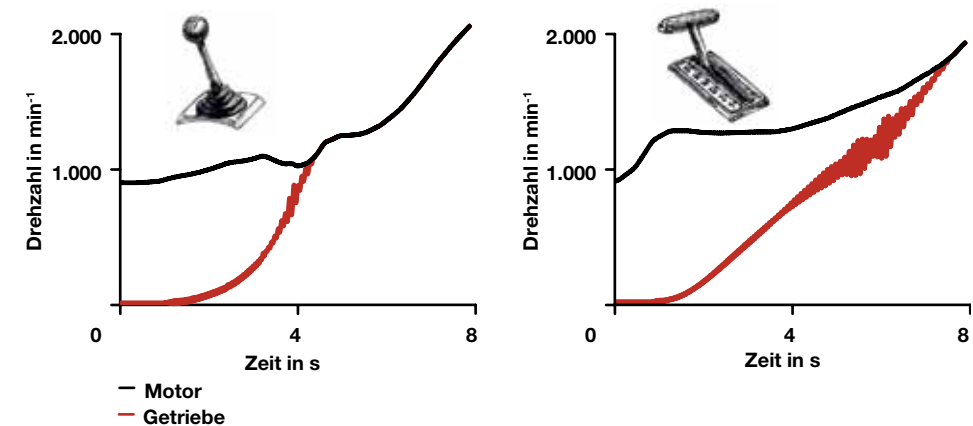


Bild 2 Vergleich der Drehzahlverläufe bei einer Anfahrt mit Handschaltgetriebe und Doppelkupplungsgetriebe mit Kriechfunktion (Simulation)

des Anfahrvorgangs die Rupfschwingungen viel stärker aufschwingen können und deutlich länger anhalten. Dadurch stellt sich der automatisierte, verschliffene Anfahrvorgang für das subjektive Empfinden deutlich schlechter dar.

Benchmark für einen komfortablen und schwingungsarmen Anfahrvorgang mit Kriechfunktion bilden Getriebe mit Drehmomentwandler. Um dieses Komfortniveau auch mit Doppelkupplungssystemen zu erreichen, muss die Störanregung der Kupplungen signifikant reduziert werden. Dies gilt insbesondere, weil moderne Antriebsstränge zur Verbesserung des Wirkungsgrades möglichst reibungsarm ausgeführt sind und dadurch die Schwingungsdämpfung entfällt. Die Quellen für die Störanregungen an den Kupplungen sind bekannt. Diese haben jedoch aufgrund des beschriebenen Sachverhalts stark an Bedeutung zugewonnen [8, 9].

Zur Erklärung der physikalischen Grundlagen und zum Aufzeigen von Optimierungspotenzialen kann das bewährte Bandschleifer-Kupplungsersatzmodell in einer erweiterten Form herangezogen werden (Bild 3).

Die Kopplung eines schwingungsfähigen Antriebsstrangs über ein sich im Schlupf befindendes Reibsystem kann je

nach Reibwertcharakteristik als Funktion der Gleitgeschwindigkeit zusätzliche Anregungen oder Dämpfung erzeugen [4, 8]. Moderne, trockene Reibbeläge neigen nur in geringem Maße zur Anregung von Reibschwingungen. In den meisten Betriebszuständen unterstützt das Reibsystem während der Schlupfphasen durch einen positiven Reibwertgradienten das Dämpfungsverhalten des Antriebsstrangs. Allerdings hat sich bei den ersten Doppelkupplungsanwendungen gezeigt, dass durch spezifische Fahrzustände bei automatisierten Kupplungssystemen neue, bis dahin unbekannte Schädigungsmechanismen auftreten können. Dabei wird das Tribosystem durch Bildung von speziellen Oberflächenschichten verändert, wodurch sich das Dämpfungsverhalten verschlechtert. Normalerweise wird durch den Verschleiß einer trockenen Kupplung die Oberfläche des Reibsystems stetig erneuert, so dass im realen Fahrbetrieb über der Lebensdauer kein Dämpfungsabfall auftritt. Durch spezielle Leichtlastbeanspruchungen kann dieser Erneuerungsprozess aber verzögert werden. Für eine trockene Doppelkupplung ist es also durchaus günstig, wenn gelegentlich auch höhere thermische Beanspruchungen auftreten. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen lassen sich auch

durch neue, speziell für die Belastung von Doppelkupplungssystemen abgestimmte Reibbeläge und deren Gegenreibpartnern weitere Steigerungen des Dämpfungsverhaltens und damit weitere Komfortsteigerungen erreichen.

Neben diesen reibwertinduzierten Anregungen gibt es noch eine zweite Quelle für Störanregungen in der schlupfenden Kupplung. Diese hat ihre Ursache in geometrischen Fehlern, die stets mindestens paarweise und mit Wechselwirkung vorliegen müssen [8, 9]. Dies ist im Kupplungsersatzmodell (Bild 3 rechts) dargestellt. Beide im Reibkontakt befindlichen Oberflächen weisen eine Unebenheit auf, welche bei Relativbewegung mit der Steifigkeit der Kupplung (Belagfederung) und der Steifigkeit des Betätigungssystems eine Anpresskraftmodulation erzeugen. Zur Minimierung der geometrischen Fehler von Doppelkupplungskomponenten und Subsystemen wurden bereits viele Lösungs-ideen entwickelt, die zum Teil bereits in der Umsetzung sind oder in den nächsten Monaten für die Großserie umgesetzt werden können, wie z. B. das Paaren von Komponenten zur Reduzierung von geometrischen Abweichungen [9].

Die Entwicklungsarbeit hat sich jedoch nicht nur auf die Verringerung von geometrischen Fehlern beschränkt. Vielmehr wurden Lösungen erarbeitet, mit deren Hilfe die Auswirkungen geometrischer Abweichungen an Komponenten, z. B. durch eine kardananische Abstützung, robust und dauerhaft ausgeglichen werden können. Ideal wird dies aus derzeitiger Sicht mit direktbetätigten Kupplungen erreicht, bei denen die Betätigung über Concentric Slave Cylinder (CSC) erfolgt. Das erste trockene Doppelkupplungssystem dieser Bauart ging Mitte 2013 in Serie. Diese Doppelkupplung mit der daraus abgeleiteten neuen Kupplungsfamilie wird im zweiten Teil dieses Beitrags näher erläutert.

Dämpfung der Antriebsstrangschwingungen durch die Anti-Rupf-Regelung

Neben den Ursachen für die Schwingungsanregung lässt sich mit dem Kupplungsersatzmodell (Bild 3) auch die Idee der Schwingungsbedämpfung durch eine Anti-Rupf-Regelung beschreiben. Im Wesentlichen handelt es sich hierbei um eine gegenphasige aktive Anpresskraftmodulation, welche über einen Softwareregelkreis initiiert und überwacht wird. Es entsteht damit indirekt eine zusätzliche Dämpfung des Antriebsstrangs, jedoch ohne den Nachteil eines höheren Kraftstoffverbrauchs. Die Herausforderungen bei diesem System liegen in der Aufbereitung der zur Verfügung stehenden Drehzahlsignale und der möglichst genauen Kenntnis über das Gesamt-systemverhalten, determiniert durch das Fahrzeug, den Antriebsstrang, die Kupplung und deren Aktorik. Für den 1. Gang und den Rückwärtsgang kann heute eine Anti-Rupf-Regelung mit einer Verbesserung von 1-2 Noten auf der Skala der ATZ (Automobil-technische Zeitschrift) erreicht werden. Erste Fahrzeuge mit dieser Softwarelösung sind seit Anfang 2013 in Serie. Die hervorragende Wirkung einer Anti-Rupf-Regelung im Fahrzeug während einer Kriechanfahrt ist in Bild 4 dargestellt. Die Rupfschwingungen wurden fast vollständig beseitigt.

In Verbindung mit Hybridantriebssträngen erschließen sich weitere Potenziale. So kann in Kombination mit dem Elektromotor teilweise komplett elektrisch angefahren werden. Längerer Kupplungsschlupf (Bild 2 rechts) wird dadurch weitgehend vermieden. Zusätzlich lassen sich über die Drehzahlregelung des E-Motors kleine gegenphasige Momentenschwankungen im Antriebsstrang erzeugen, wodurch Rupfschwingungen auch vollständig beseitigt werden können.

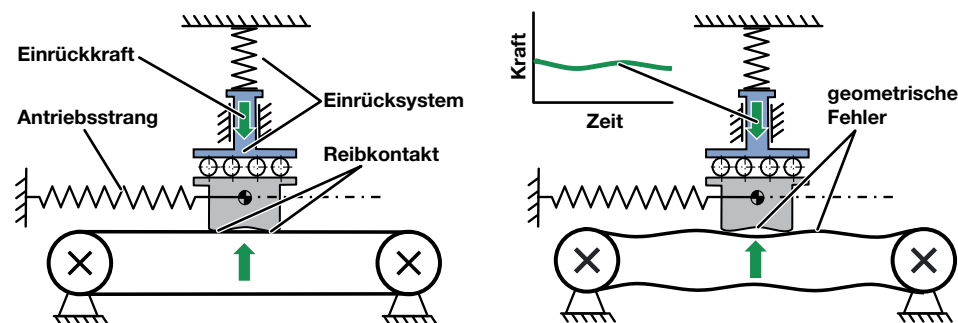


Bild 3 Prinzipmodell „Schlupfendes Kupplungssystem“; linkes Bild Tribosystem ohne überlagerte Geometriefehler, rechtes Bild mit Geometriefehlern

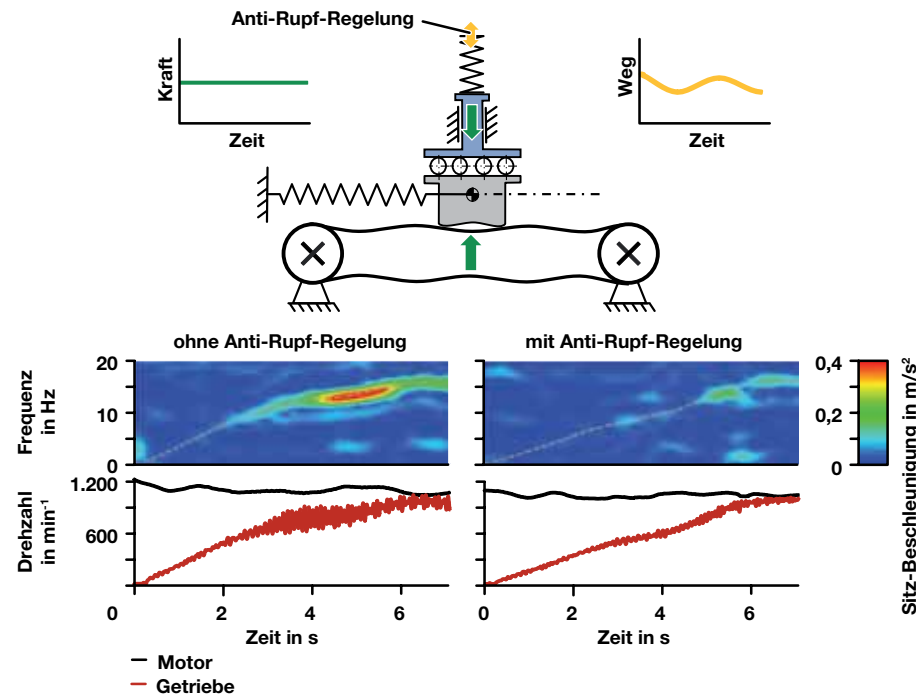


Bild 4 Wirkung der Anti-Rupf-Regelung im Fahrzeug, links ohne, rechts mit Anti-Rupf-Regelung

Optimierungen des Tribosystems für trockene Doppelkupplungsanwendungen

Zur Vermeidung von Antriebsstrangschwingungen sollten Kupplungsbeläge in Kombination mit den Guss- oder Stahlgegenreibflächen über einen großen Nutzungsbereich während der Schlupfphasen nur dämpfungsunterstützende Eigenschaften aufzeigen. Dies erfordert einen leicht ansteigenden Reibwert über der Gleitgeschwindigkeit. Da sich die Belastungen auf das Reibsystem der Kupplung zwischen Handschaltkupplungen und Doppelkupplungen unterscheiden, mussten zur Optimierung neue Reibbeläge entwickelt und

in der Breite erprobt werden. Umfangreiche systematische Untersuchungen haben gezeigt, dass speziell die anorganischen Füll- und Reibwerkstoffe in der Belagmischung bei den doppelkupplungsspezifischen Schlupfphasen für die Veränderungen der Belagdämpfung über der Nutzungsdauer verantwortlich sind. Der Wirkmechanismus im Reibkontakt kann durch ein Zweiphasenmodell beschrieben werden.

Phase 1: Anreicherung anorganischer Stoffe in der Reibschicht

Durch viele ähnliche Kupplungsschlupfvorgänge mit geringer Reibenergie, jedoch mit mittlerer spezifischer Reibleistung, werden organische Bestandteile der Belagmi-

schung auf der Belagoberfläche teilweise thermisch abgebaut. Der damit verbundene Belagverschleiß ist zu gering, um die Reiboberfläche ausreichend zu erneuern. In Folge dessen reichern sich vermehrt anorganische Komponenten in der oberflächennahen Reibschicht an.

Phase 2: Anreicherung von Gussverschleißpartikeln in der Reibschicht

Der erhöhte Anteil an anorganischen Komponenten in der Reibschicht führt zu einem erhöhten Verschleiß der Gegenreibflächen aus Guss oder Stahl. Da die Oberfläche der Reibbeläge aufgrund der vergleichsweise geringen thermischen Beanspruchung nicht erneuert wird, reichern sich die metallischen Verschleißpartikel in der Reibschicht der Beläge an. Dies führt zu einem negativ veränderten Reibwertgradienten.

Zur Optimierung wurden neue Füllstoff- und Faserkombinationen für Beläge entwickelt. Deren positive Wirkung konnte mittlerweile in einer Vielzahl von Komponenten- und Systemdauerlauftests nach-

gewiesen werden. Schaeffler kann heute mit B8040 und RCF10 zwei für Doppelkupplungsanwendungen sehr gut geeignete Reibmaterialien empfehlen. Die finale Entscheidung für einen jeweiligen Reibbelag in einer spezifischen Fahrzeuganwendung hängt neben dem Reibwertgradienten auch ab von weiteren Parametern, wie z. B. dem Verschleißverhalten und dem absoluten Reibwertniveau bei den verschiedenen Betriebszuständen. Die Entwicklungsarbeit der vergangenen Monate hat gezeigt, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit weitere Verbesserungen bezüglich des Belagdämpfungsverhaltens mit weiterentwickelten Reibbelägen möglich sind.

Zusätzlich kann auch durch die Gestaltung der Gegenreibpartner-Oberfläche eine Verlangsamung und Minderung des Schädigungsmechanismus erreicht werden.

Als mögliche Maßnahmen hierzu sind spezifische Oberflächenrauheiten und auch spezielle Radialnuten auf der Gegenreibfläche zu nennen.

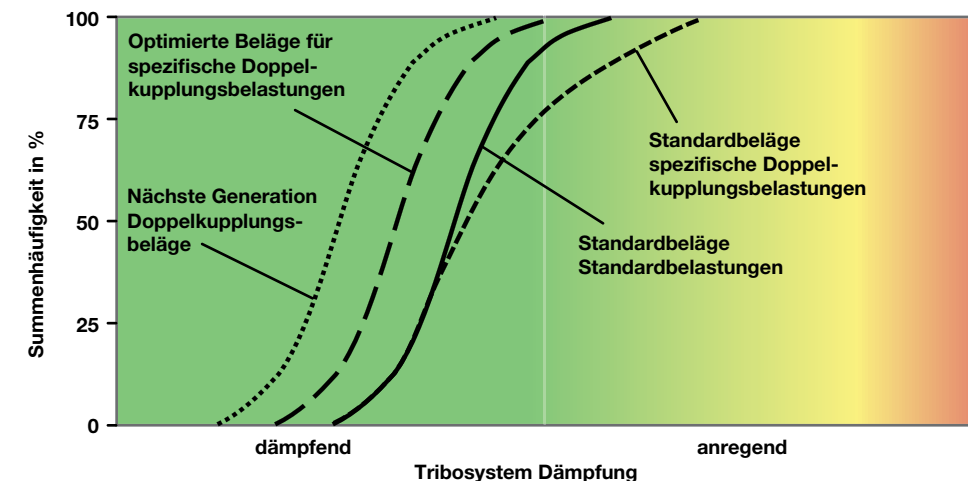


Bild 5 Dämpfungsverhalten des Tribosystems für Doppelkupplungsanwendungen

Reduzierung der geometrischen Momentenanregung

Die erste Generation trockener Doppelkupplungen wurde in der sehr kompakten 3-Platten-Anordnung ausgeführt. Bei diesen Konstruktionen wird die Doppelkupplung über eine mittlere zentrale Gussmasse mittels eines Stützlagers auf der äußeren Getriebeeingangswelle gelagert. Auf der getriebeeingewandten Seite sind die Betätigungshebelfedern und die Komponenten der Verschleißnachstellung auf dem gemeinsamen Kupplungsdeckel angeordnet. Diese Anordnung ist sehr kompakt, jedoch müssen aufgrund der hohen Anforderungen bezüglich Störanregungen die darin verwendeten Blech- und Gusseinzelteile hohe Ebenheits- und Parallelitätsanforderungen erfüllen. Dies erfordert viel Erfahrung bei der Werkzeugkonzepterstellung und auch bei der Abstimmung der Serienwerkzeuge. Allerdings bietet diese Anordnung mit mehreren aufeinander gestapelten Blechteilen auch die Möglichkeit, diese im Serienprozess so zu paaren, dass in Summe der kleinstmögliche Parallelitätsfehler vorliegt [9].

Obwohl diese Optimierungsmaßnahmen bereits große Erfolge zeigen – teilweise bis zur Halbierung der geometrischen Störanregungen – können weitere Verbesserungen erzielt werden, indem die Betätigung kardanisch erfolgt und damit auch letzte geometrische Ungenauigkeiten ausgeglichen werden. Deshalb wurde das neue direktbetätigte Doppelkupplungssystem mit hydrostatischer Betätigung mittels CSC entwickelt.

Das neue direktbetätigte Doppelkupplungssystem mit hydrostatischer Betätigung

Zur Reduzierung geometrischer Störanregungen gibt es grundsätzlich drei Hauptrichtungen.

1. Minimierung der Geometriefehler.
2. Lineare Kupplungskennliniencharakteristik (Moment über Einrückweg) mit geringer Steigung. Dies führt bei gegebenen Geometriefehlern zu einer geringen Anpresskraft bzw. Momentenmodulation.
3. Reduzierung der Kippsteifigkeit der Anpresskraftübertragungselemente mit dem Ziel, im Kupplungssystem den kardanischen Ausgleichseffekt zu nutzen.

Insbesondere der letzte Punkt führt zu einer neuen Doppelkupplungsanordnung (Bild 6), dem sogenannten direktbetätigten Doppelkupplungssystem mit hydrostatischer Betätigung mittels CSC. Bei diesem System können Geometrieabweichungen im Reibkontakt durch einen nahezu hysterese-freien kardanischen Winkelausgleich von der Anpressplatte über den Drucktopf bis zum CSC-Kolben erfolgen, ohne dass über dem Umfang ungleiche Anpresskräfte entstehen. Diese Ausgleichsfunktion ist nur möglich, wenn das System eine geringe Kippsteifigkeit aufweist, sich also kardanisch verhält. Dadurch entstehen bei gegebenen geometrischen Fehlern nur noch sehr geringe Drehmomentschwankungen in der Kupplung. Insgesamt ergibt sich ein einfacherer Gesamtaufbau mit einer Kupplungsbetätigung mittels CSC, die auch bei nassen Doppelkupplungssystemen zum Einsatz kommen kann [3, 10].

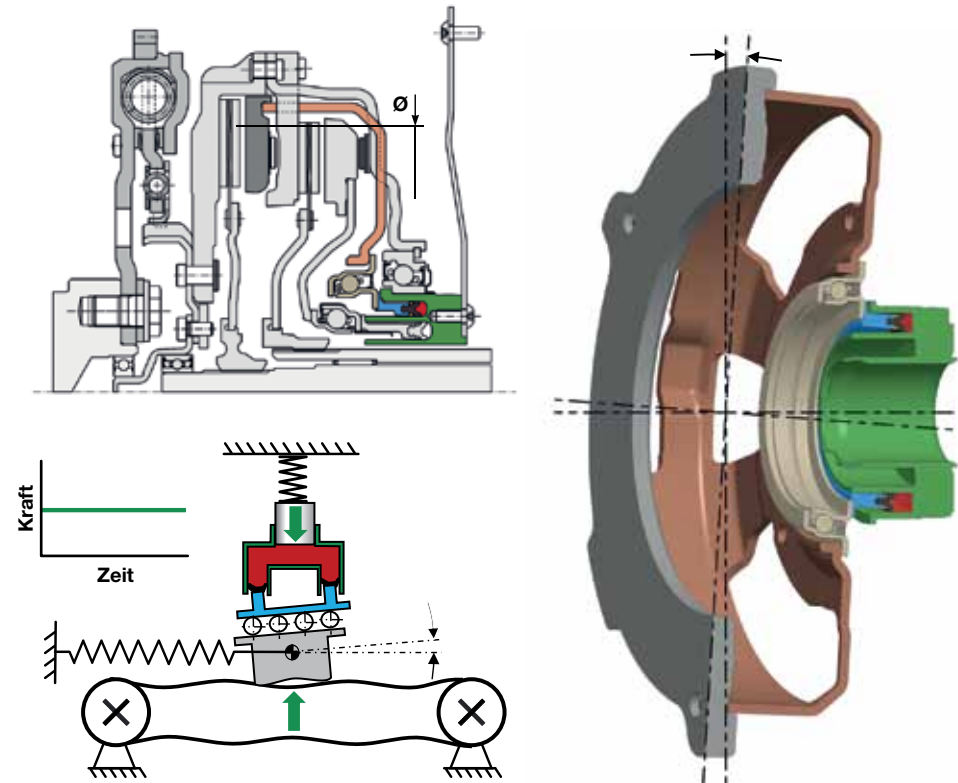


Bild 6 Aufbau der direktbetätigten Doppelkupplung mit Doppel-CSC, Betätigung mit kardanischem Kippausgleich über den CSC-Kolben

Evolution neuer direktbetätigter trockener Doppelkupplungen

Diese direktbetätigte trockene Doppelkupplung ist erstmalig Mitte 2013 in Serie gegangen. Bei diesem System wurden die für dieses Konzept notwendigen vier Gegenreibplatten noch in für Kupplungen üblichem Gusswerkstoff ausgeführt. Auch wurde die Doppelkupplung über ein Stützlager am Kupplungsdeckel mittels Flexplate am Getriebegehäuse befestigt, was zusätzlich

den Vorteil einer sehr guten Schwingungsabkopplung hat. Bedingt durch die Direktbetätigung (Anpresskraft wird direkt vom CSC-Kolben über die Einrücklager auf die Anpressplatten übertragen) kann nur ein Motordrehmoment von maximal 180 Nm bedient werden. Um darüber hinaus weitere Anforderungen zu erfüllen – z. B. Drehmomente bis ca. 250 Nm oder geringere Massenträgheitsmomente – wurde ein auf dem bisherigen System aufbauender Baukasten entwickelt (Bild 7).

Neu ist, dass durch den Einsatz eines neuen Lagerungskonzepts (Kraftfluss über die Getriebewelle geschlossen) eine weitere Systemvereinfachung erreicht werden

	Serienkonzepte		Einscheiben-Konzept	Zweischeiben-Konzept
	trocken	nass		
Drehmoment in Nm	250	280	150	250
Sekundäre Masse in kg	12,5 – 16,6	8,4 – 9,3	10	12
Sek. Massenträgheit in kgm²	0,09 – 0,15	0,055 – 0,065	0,08	0,09

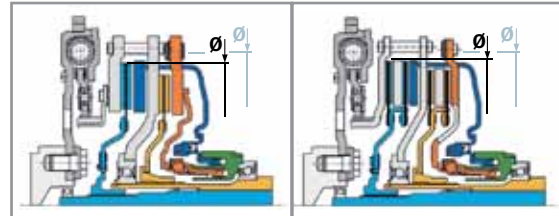


Bild 7 Baukasten trockener direktbetätigter Doppelkupplungen

konnte (Bild 8). Das neue Lagerungskonzept vermeidet fast vollständig Schwingungsrückkopplungen von Motor und Getriebe auf das Kupplungssystem und verbessert damit das Gesamt-NVH-Verhalten des Antriebsstrangs weiter. Axial-schwingungen der Kurbelwelle oder auch der Getriebeeingangswellen durch die Schrägverzahnungskräfte erzeugen bei

diesem Lagerungskonzept in keinem Betriebszustand störende Momentenschwankungen der Kupplungen.

Weiter sollen bei diesem Konzept Stahl-gegenreibflächen zum Einsatz kommen. Sie bieten viele neue Gestaltungsmöglichkeiten, wie Dickenreduzierung, Funktionsintegration (z. B. Verzahnungselement direkt in motorseitige Gegenreibplatte integriert),

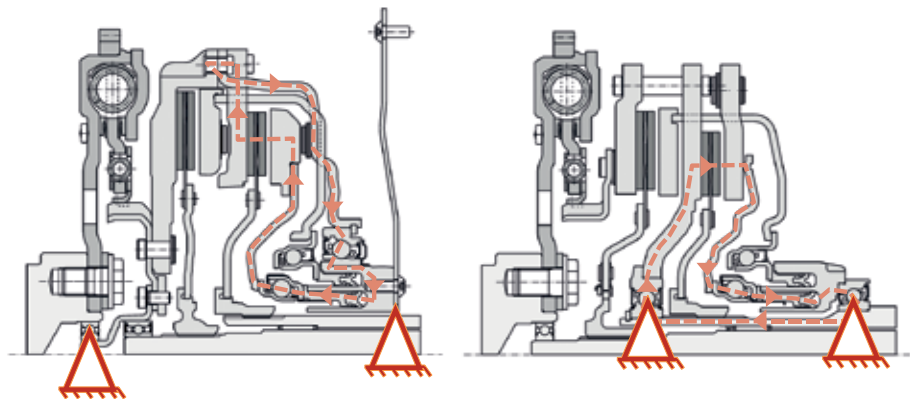


Bild 8 Lagerungskonzepte direktbetätigter Doppelkupplungen, links Serienkonzept, rechts neues Konzept mit geschlossenem Kraftfluss über die Getriebeeingangswelle

neue Reiboberflächengestaltung wie z. B. eingeprägte Nutungen gegen die Schädigung des Tribosystems usw. Aus Konstruktions- und Projektsicht erscheint es günstig, wenn eine radial kleinere Einscheiben-Kupplung für Anwendungen bis ca. 150 Nm zum Einsatz kommt und für größere Drehmomente und/oder höhere spezifische Belastungen eine im Durchmesser ebenfalls reduzierte Zweischeiben-Doppelkupplung verwendet wird. Damit kann auch für die unterschiedlichsten Anwendungsfälle ein deutlicher Vorteil hinsichtlich des Massenträgheitsmoments des Kupplungssystems erreicht werden (20-30 % Reduzierung des Massenträgheitsmoments), ohne dass der Gesamtaufwand durch eine große Variantenvielfalt zu stark erhöht und die thermische Masse signifikant reduziert wird. Beim Zweischeiben-Konzept wird die Momentensteigerung durch die Erhöhung der Reibflächenanzahl von 2 auf 4 je Teilkupplung erreicht. Die Befestigung der Zwischenanpressplatte erfolgt wie bei der Anpressplatte über Blattfederpakete. In axialer Richtung führt die Zwischenanpressplatte immer etwa den halben Weg aus wie die Anpressplatte. Bild 9 zeigt

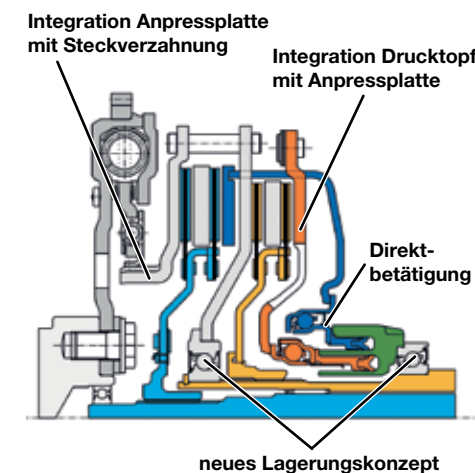


Bild 9 Neue direktbetätigte Zweischeiben-Doppelkupplung

die neue vereinfachte direktbetätigte Zweischeiben-Doppelkupplung.

Zusammenfassung und Ausblick

Trockene Doppelkupplungssysteme bieten vielfältige Möglichkeiten zur Optimierung des Systemverhaltens hinsichtlich NVH, Komfort, Komplexität und Massenträgheitsmoment. Speziell mit den Entwicklungen aus der jüngsten Vergangenheit lassen sich bezüglich NVH und Komfort entscheidende Fortschritte erzielen, was den Erfolg des Systems weiter steigern wird, da die sonstigen Vorteile wie bester Kraftstoffverbrauch und geringe Gesamtkosten nach wie vor bestehen.

Die wichtigsten Maßnahmen zur signifikanten Komfortsteigerung sind:

- Neue Kupplungsbeläge mit verbesserten Dämpfungseigenschaften (B8040, RCF10 und zukünftig auch B9000)
- Geometrieoptimierungen zur Reduzierung der geometriebedingten Störanregung, z. B. durch das Paaren von Kupplungskomponenten oder durch den Einsatz von genaueren Kupplungsbau-teilen unter Anwendung von optimierten und teilweise neuen Herstellverfahren
- Weiterentwicklung des Doppelkupplungslagerungskonzepts in Verbindung mit dem neuen direktbetätigten Doppelkupplungssystem und damit Beseitigung der negativen Einflüsse von Axial-schwingungen
- Ausgleich geometrischer Fehler durch „Kardanik-Funktion“ der Kupplung und des Einrücksystems im direktbetätigten Doppelkupplungskonzept
- Aktive Schwingungsbekämpfung durch die softwaregesteuerte leichte Kraftmodulation der Kupplung, die „Anti-Rupf-Regelung“

- Bei Hybridfahrzeugen Unterstützung der Anti-Rupf-Regelung durch Gegenanregung über die E-Maschine sowie Vermeidung von Schwingungsanregung und Reduzierung der thermischen Kupplungsbelastung durch elektrisches Anfahren.

Auch die Reduzierung des Massenträgheitsmoments von trockenen Doppelkupplungssystemen lässt sich durch das neue modulare und direktbetätigte Konzept mit reduziertem Außendurchmesser erreichen. Dabei wird für Anwendungen mit Motordrehmomenten größer ca. 150 Nm für jede Teilkupplung eine direktbetätigte Zweischeiben-Doppelkupplung eingesetzt. Das System zeichnet sich ganz besonders durch eine geringe Komplexität aus.

Mit diesen zur Verfügung stehenden Möglichkeiten wird das trockene Doppelkupplungssystem für das untere bis mittlere Fahrzeugsegment hinsichtlich Effizienz und Komfort neue Maßstäbe setzen.

Literatur

- [1] Wagner, U.; Zink, M.; Feltz, C.: Doppelkupplungssysteme – modular und höchst effizient für den Antriebsstrang von morgen. 10. Schaeffler Kolloquium, 2014

- [2] Wagner, U.; Bührle, P.; Müller, B.; Kimmig, K.-L.; Kneissler, M.: Dry double clutch systems – Innovative components for highly-efficient vehicle transmissions. ATZ 11/2009, S. 826-833
- [3] Müller, B.; Kneissler, M.; Gramann, M.; Esly, N.; Daikeler R.; Agner I.: Kleiner, Flexibler, Intelligenter – Weiterentwickelte Komponenten für Doppelkupplungsgetriebe. 9. Schaeffler Kolloquium, 2010
- [4] Albers, A.; Herbst, D.: Rupfen – Ursachen und Abhilfen. 6. LuK Kolloquium, 1998
- [5] Kimmig, K.-L.; Bührle, 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
- [6] Rudolph, F.; Schäfer, M.; Damm, A.; Metzner, F.; Steinberg, I.: The Innovative Seven Speed Dual Clutch Gearbox for Volkswagen's Compact Cars. 28. Internationales Wiener Motorensymposium, 2007
- [7] Wagner, U.: What makes a transmission operate-Tailored actuation systems for double clutch transmissions. CTI Symposium, 2011
- [8] Steiger, S.; Treder, M.; Neuberth, U.; Reuschel, M.: Innovative Weiterentwicklungen bei trockenen Doppelkupplungssystemen; VDI-Berichte Nr. 2206, 2013
- [9] Kimmig, K.-L.; Rathke, G.; Reuschel, M.: Next Generation of Efficient Dry Double Clutch-Systems, VDI Congress, 2013
- [10] Müller, B.; Ubben, H.; Gantner, W.; Rathke, G.: Efficient Components for efficient Transmissions. CTI Symposium, 2013