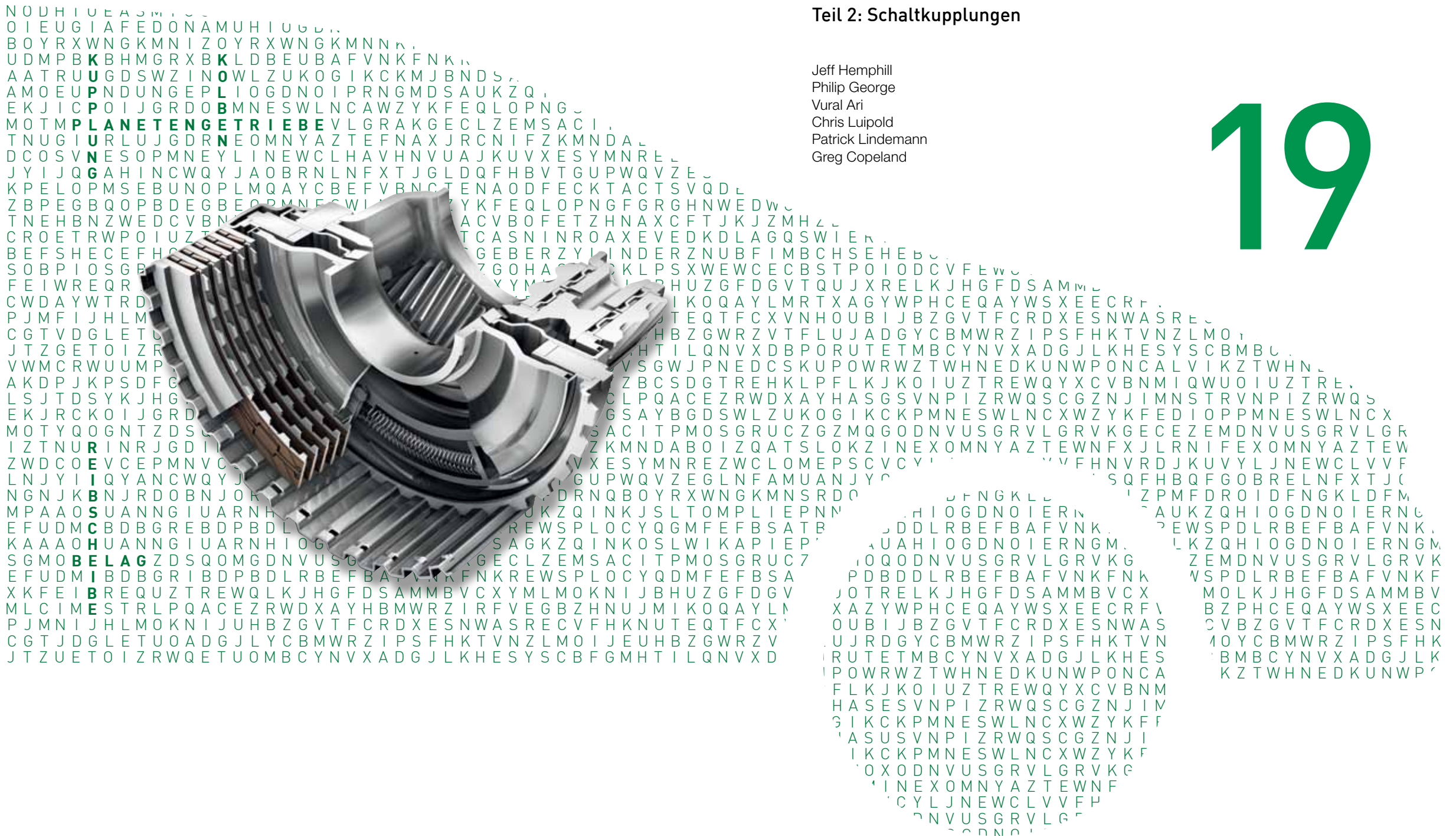


Neue Lösungen im Planetengetriebe zeigen überraschende Potenziale

Teil 2: Schaltkupplungen

Jeff Hemphill
Philip George
Vural Ari
Chris Luipold
Patrick Lindemann
Greg Copeland

19



Neue Wege zur Betätigung von Lamellenkupplungen

Die Entwicklung nasslaufender Lamellenkupplungen begann in den 1930er-Jahren und wurde zur Erfolgsgeschichte [1]. Nasse Lamellenkupplungen werden in großen Mengen nicht nur in Automatikgetrieben und CVTs benötigt, sondern auch als Anfahrkupplungen in manchen CVT- und DCT-Kupplungen. Erste Konstruktionsansätze dieser Technologie waren so erfolgreich, dass sie die Bedürfnisse der Industrie lange Zeit mit relativ wenigen Änderungen des Grundkonzepts erfüllen konnten [2].

Aktuelle Markttendenzen führen derzeit zu neuen Anforderungen an Schaltkupplungen. So nimmt die Gangzahl in Automatikgetrieben weiter zu (Bild 1). Der Anspruch an einen möglichst hohen Schaltkomfort ist so ausgeprägt wie nie. Das Bemühen um nachhaltige Mobilität drängt in den Vordergrund und beinhaltet auch Themen wie die Umweltauswirkungen des Herstellungsverfahrens. Nicht zuletzt werden auch die Kraftstoffverbrauchsnormen rund um den Globus strenger, wodurch Themen wie das Schleppmoment oder Masseverringerungen mehr und mehr in den Fokus rücken.

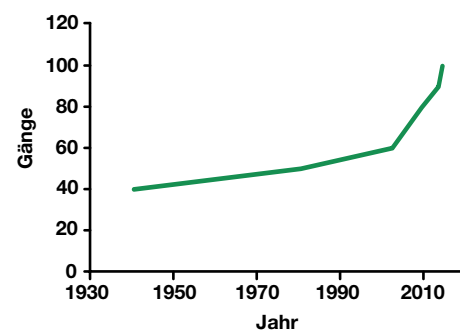


Bild 1 Steigende Anzahl von Gängen in automatischen Planetengetrieben

Regelbarkeit und Trägheit

Die Eigenschaften nasslaufender Lamellenkupplungen sind widersprüchlich: Kleinere Freiräume zwischen den Lamellen verbessern die Steuerbarkeit, während große Spalte das Schleppmoment verringern. Die Regelbarkeit ist von der zweistufigen Eigenschaft des Lamellenkupplungspakets beeinflusst. So schließt der Kolben zuerst die Freiräume gegen wenig Widerstand und presst anschließend das Lamellenpaket zusammen, um die Drehmomentkapazität sicherzustellen. Ein typischer Schaltplan für eine Lamellenkupplung wird in Bild 2 gezeigt.

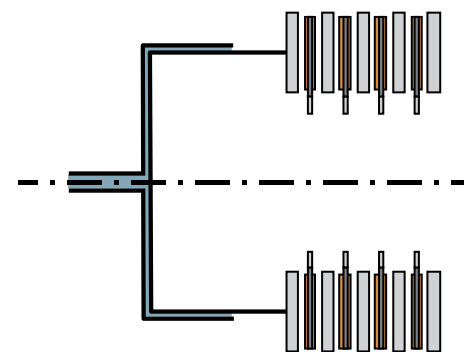


Bild 2 Schaltplan einer Lamellenkupplung

Da der axiale Weg des Kolbens für die Überbrückung der Freiräume 1 bis 3 mm beträgt, während der Weg für die Kupplungskompression nur 0,1 bis 0,3 mm lang ist, wird die Hauptölmenge zur Kolbenbewegung für die Überbrückung der Freiräume benötigt. Die Kolbenfläche muss jedoch entsprechend der erforderlichen Klemmkraft ausgelegt werden, um das benötigte Drehmoment erzeugen zu können. Das bedeutet, dass das Schließen des Spalts ein relativ langsamer Prozess ist. Da die Getriebesteuerung diese beiden Abläufe nicht un-

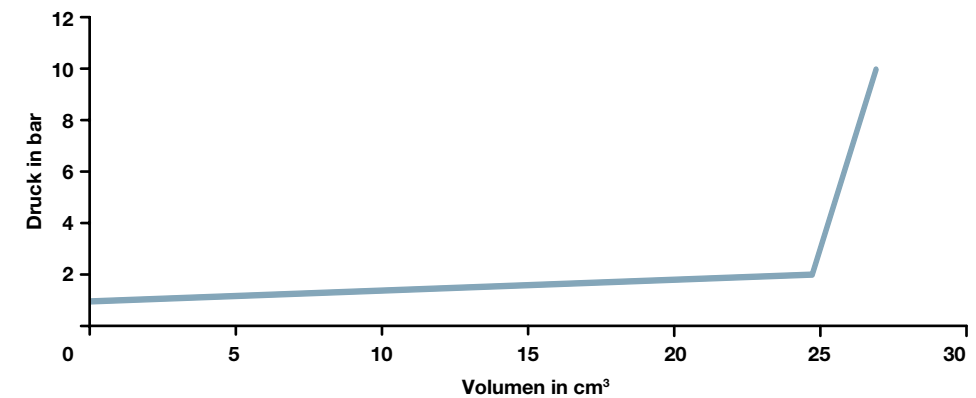


Bild 3 Druck-Volumen-Verhältnis einer typischen Schaltkupplung

terscheiden kann, können Fehler oder Schwankungen in der Momentenübertragung auftreten, wenn die Steuerung nicht genau abgestimmt ist. Bild 3 zeigt das Druck-Volumen-Verhältnis.

Die bislang übliche Lösung für dieses Problem besteht in einer Vorbefüllungsstrategie. Der Regler verfügt über eine Steuerungstabelle, die zeit- beziehungsweise temperaturabhängig zunächst für einen sehr hohen Öl-Durchfluss zur Spaltschließung sorgt. Ist eine bestimmte Temperatur oder Zeit erreicht, wird der Durchfluss verringert und die Drehmomentsteuerung übernimmt die Regelung. Ergibt sich ein Drehmomentfehler, kann der Regler die Tabellenzzeit anpassen. Diese Verfahrensweise funktioniert, kann aber mehrere Fehler verursachen.

Das Schleppmoment wird durch größere Luftspalte verbessert, da es sich weitgehend um Rei-

bungswiderstand handelt und die Scherkräfte im Öl bei größeren Luftspalten kleiner sind. Bild 4 zeigt die Schleppmomente einer Lamellenkupplung mit verschiedenen Luftspalten. Dabei gilt es zu beachten, dass jede Kupplung eine andere Toleranzsituation aufweist. So kann beispielsweise das Nennschleppmoment zulässig sein, das maximale Schleppmoment jedoch erheblich höher ausfallen.

Ein weiterer Faktor, der das Kupplungsschleppmoment erhöhen kann, ist das Aneinanderhaften der Lamellenschei-

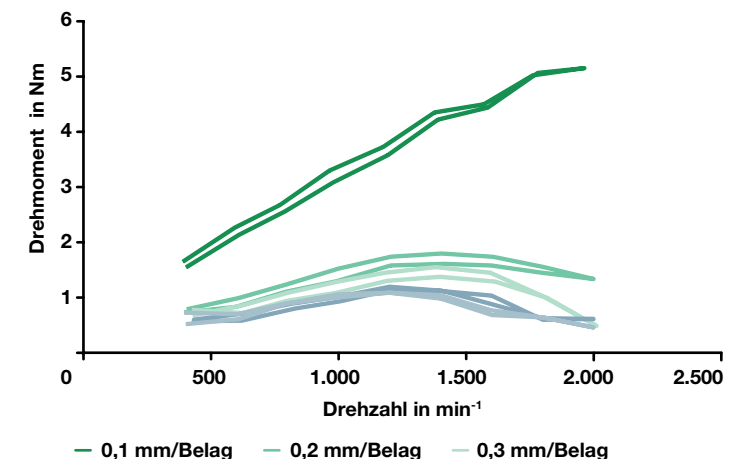


Bild 4 Lamellenkupplung: Schleppmoment für verschiedene Luftspalten

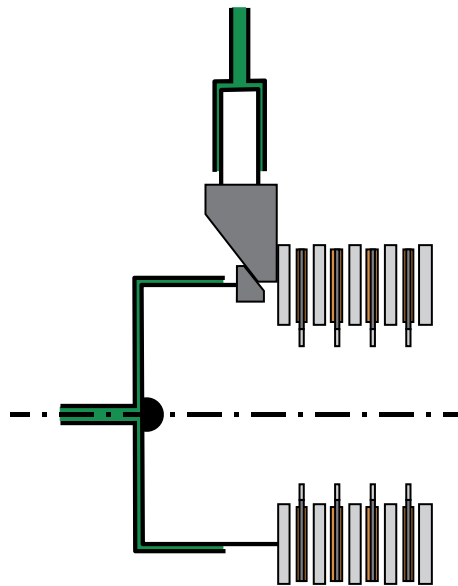


Bild 5 Zweistufiger Betätigungsmechanismus für die Kupplung

ben – trotz des Spaltes. Das kann passieren, weil das Öl zwischen dem Reibmaterial und den Stahlplatten eine Adhäsionskraft bildet, die es dem atmosphärischen Luftdruck ermöglicht, die Scheiben zusammenzuhalten.

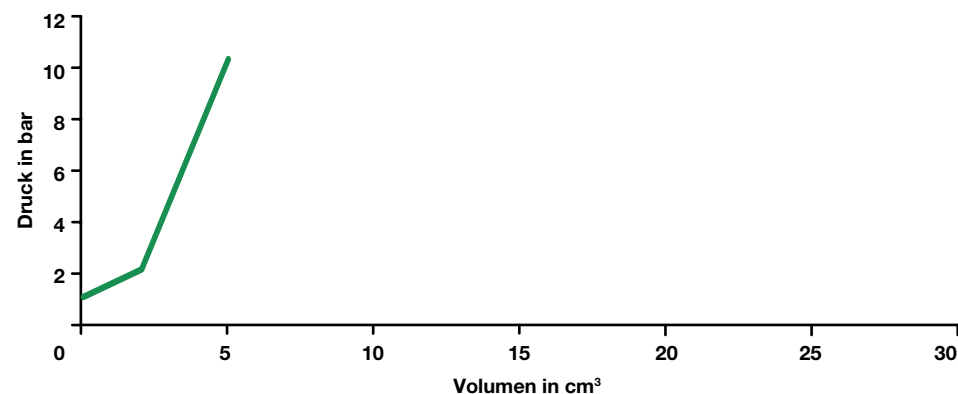


Bild 6 Druck-über-Menge-Kennlinie für eine Kupplung mit zweistufigem Mechanismus

Angesichts dieser physikalischen Fakten sind neue Lösungsansätze erforderlich. Da die zweistufige Eigenschaft des Lamellenkupplungspakets bekannt ist, bietet sich ein zweistufiger Mechanismus auch für die Lösung an. Das Schaltbild eines solchen Mechanismus ist in Bild 5 vorgestellt. In der Prinzipzeichnung sind eine Rampe und ein Verdrehmechanismus zwischen dem Kolben und der Lamellenkupplung eingefügt. Diese Vorrichtung wird vom Hauptkolben betätigt. Aufgrund der hohen Rampenübersetzung kann der Luftspalt über einen sehr kleinen Betätigungsweg geschlossen werden. Das bedeutet, dass auch ein größerer Luftspalt schnell und mit wenig Ölvolumen geschlossen werden kann, was ein Vorfüll-Konzept überflüssig macht. Aufgrund der hohen Übersetzung des Mechanismus wird zudem nur sehr wenig Drehmoment benötigt, bis der Kontaktpunkt erreicht ist. Dies minimiert nicht zuletzt das Auftreten von Momentenübertragungsfehlern. Die Kurve von Druck über Menge für eine Kupplung mit diesem Mechanismus ist in Bild 6 dargestellt.

Der Mechanismus funktioniert folgendermaßen: Hochdrucköl tritt im Bereich hinter dem Hauptkolben ein. Das Öl dringt durch mehrere Löcher in den Betätigungs-

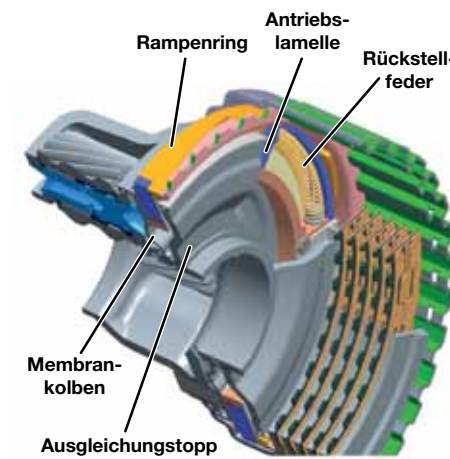


Bild 7 Querschnitt des zweistufigen Kolbens

raum und wirkt auf den Hauptkolben. Der Öldruck wirkt nun auf den Betätigungsring, der wiederum den Rampenring verdreht und dadurch axial verschiebt. Dadurch schließen sich die Spalte zwischen den Reiblamellen. Sobald er auf die Lamellen

trifft, stoppt der Ring. Der Öldruck baut sich jedoch weiter auf, bis der Hauptkolben vorwärtsfährt. Da der Hub nur das Lamellenpaket zusammendrücken muss, ist der Kolben als Membran ausgelegt. Der Hubweg beträgt nur 0,3 mm und der Membrankolben funktioniert als eigene Rückstellfeder. Die Klemmwirkung des Hauptkolbens wird durch den Verdrehmechanismus sichergestellt und sorgt für eine exakte Positionierung. Dadurch ergeben sich noch zwei weitere Vorteile: Die Betätigung dichtet das System ab und klemmt den Rampenring fest, was ungewollte Verstellung vermeidet. Bild 8 zeigt die Simulation einer solchen Kupplung im Vergleich mit einer normalen Kupplung. Zu sehen sind eine schnellere Betätigungszeit und weniger Momentenübertragungsfehler bei einem maximal großen Luftspalt. Dieses führt zu den folgenden konkreten Vorteilen:

- Luftspalt von 3 mm oder mehr ohne Zeitnachteile bei der Betätigung,
- reduzierte Schleppmomente aufgrund der Luftspalte,

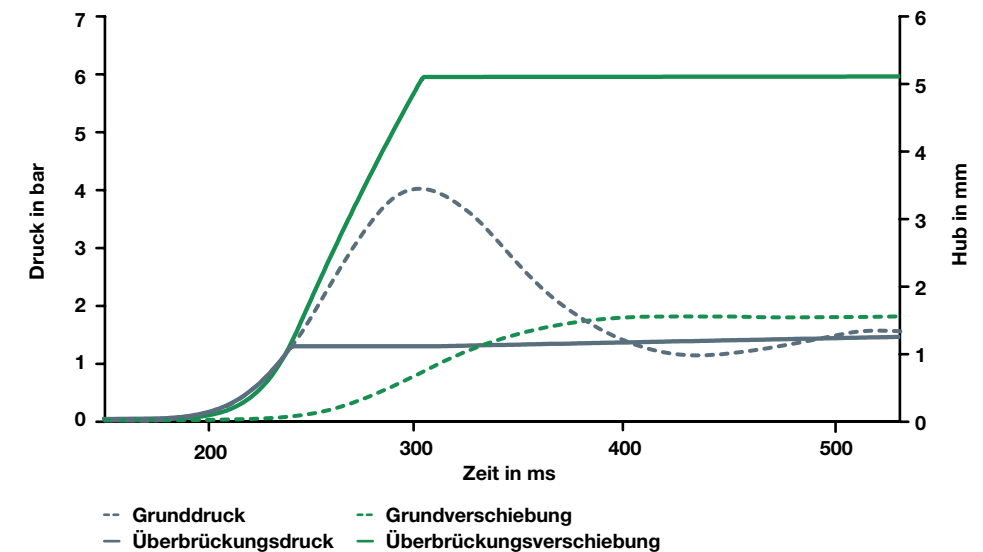


Bild 8 Ergebnisse der Simulation eines zweistufigen und eines normalen Mechanismus

- geringerer Ölstrom für die Kupplungs-betätigung, weshalb eine kleinere Ölpumpe eingesetzt werden kann,
- verbesserte Regulierung durch weniger Momentenübertragungsfehler, wenn der Kontaktpunkt erreicht ist,
- keine Toleranzkorrektur in der Lamellenkupplung erforderlich.

Lamellen mit sicherer Trennfunktionalität

Auch bei einem Mechanismus, der ohne Nachteile mit größeren Luftspalten zurechtkommt, muss gewährleistet werden, dass die Reibscheiben in diesem Spalt getrennt werden. Im Verlauf der Jahre wurden dazu mehrere Lösungen wie Trennfedern und hydrodynamische Kräfte getestet. Diese Konzepte haben meistens Toleranzprobleme und können oft die Reibplatten oder die

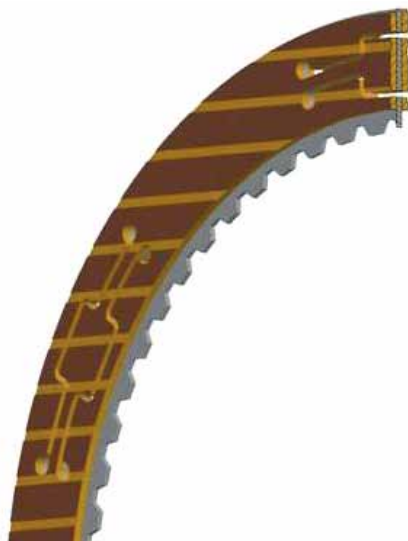


Bild 9 Reibscheiben mit Trennungsfunktion

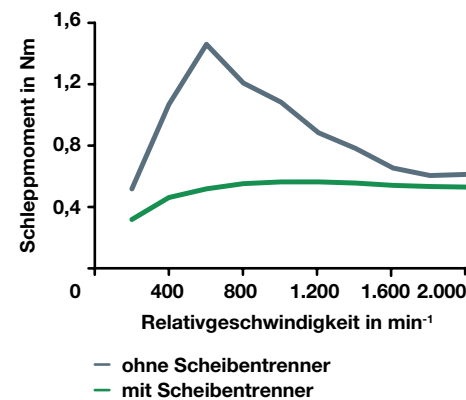


Bild 10 Schleppmoment-Messungen mit und ohne Scheibentrennung

Stahlplatten, aber nicht eins vom anderen trennen.

Bild 9 zeigt eine Reibscheibe mit eingebauter Trennfunktionalität. In diesem Konzept wurden Laschen direkt an der Scheibe ausgebildet und leicht gebogen, damit die Laschenkanten mit der gewünschten Spalthöhe über das Reibmaterial ragen. Da diese Laschen nur Linienekontakt mit der Verteilerplatte haben, ist die Fläche für den Reibungswiderstand erheblich reduziert. Das kann mit anderen Methoden, wie dem Einsatz gewellter Reibscheiben, nicht erreicht werden. Die dünnen Arme der Laschen funktionieren wie Drehfedern, wobei die Lasche während des Kupplungseingriffs in Richtung des Reibmaterials zurückgedrückt wird.

Bild 10 zeigt die Ergebnisse der Schleppmoment-Messung eines Lamellenpakets mit und ohne Scheibentrennung. Die Verminderung des Schleppmoments beträgt mehr als 60 %. Auch dieses Konzept weist eine erhebliche Toleranz auf. Bei einer Betätigung mit dem Rampenmechanismus sind die zusätzlichen Toleranzen jedoch nicht nachteilig.

Reibscheiben-Herstellung

Die vorgestellten Konzepte ermöglichen bessere Leistungsergebnisse in einer Lamellenkupplung. Auch Verbesserungen im Herstellungsprozess sind möglich. Derzeit werden Reibscheiben produziert, indem ein Stahlring gestanzt, geätzt, mit Klebstoff beschichtet und mit einem Reibbelag, zum Beispiel aus Papier, ergänzt wird. Dieser Ring wird dann zwischen parallel angeordneten heißen Platten gepresst und – sofern erforderlich – mit Ölrillen versehen.

Dieses Verfahren hat mehrere Nachteile:

- Es ist umweltschädlich und macht das Entfernen der Chemikalien für Teilereinigung und Klebung schwierig.
- Der Prozess ist schwer zu steuern, weil das Reibverhältnis zum Beispiel von der Aushärtezeit des Papiers während des Klebens beeinflusst ist. Der Klebstoff und das Papier müssen deshalb genau aufeinander abgestimmt werden.
- Mehrere Bearbeitungsschritte sind bis zum Endergebnis erforderlich.

Eine Verbesserung ist möglich, wenn der Klebstoff durch eine mechanische Verbindung zwischen Reibbelag und Stahl ersetzt wird. Ein Beispiel dieser Bauweise ist in Bild 11 dargestellt.

Für eine solche Verbund-Reibscheibe werden zwei dünne Stahlplatten beidseitig in einen Papierring gepresst. Die Stahlplatten beinhalten die Verzahnung am Innendurchmesser und eine Reihe von Löchern in der Mitte des Papierrings. Bei jedem Loch werden die Stahlplatten ähnlich wie beim Stanznieten zusammengepresst. Die so entstehenden gepressten Rillen erzeugen eine mechanische Verbindung für die Momentübertragung von der Innenverzahnung zum Papier und erlauben gleichzeitig einen Öldurchfluss zur Kühlung.



Bild 11 Ausführung einer Verbund-Reibscheibe

Diese Auslegung beseitigt die meisten Probleme des bisherigen Produktionsverfahrens. Da kein Klebstoff mehr erforderlich ist, entfällt auch das Säurebad für die Stahlvorbehandlung. Die Herstellung kann zu einem einzigen Prozessschritt reduziert werden, bei dem die Stahlplatten ins Papier gepresst werden, wodurch das Papier verdichtet, geprägt und flachgedrückt wird. Das neue Verfahren ist auch viel schneller als der Klebprozess, da die Zeit für das Fließen und Aushärten des Klebstoffs entfällt.

Zu den weiteren Vorteilen zählt eine Reduzierung von Masse und Trägheit der Reibscheibe. Durchschnittlich 0,5 kg könnten in einer typischen Automatikgetriebeanwendung eingespart werden. Da bei dieser Methode verschiedene Papiersorten verwendet werden können, gleicht das Leistungsspektrum dem von geklebten Belägen. In manchen Fällen ist die Leistung sogar höher, da das Papier bis zu dreimal dicker sein kann, als in den Klebverfahren. Es erlaubt eine Verbind-

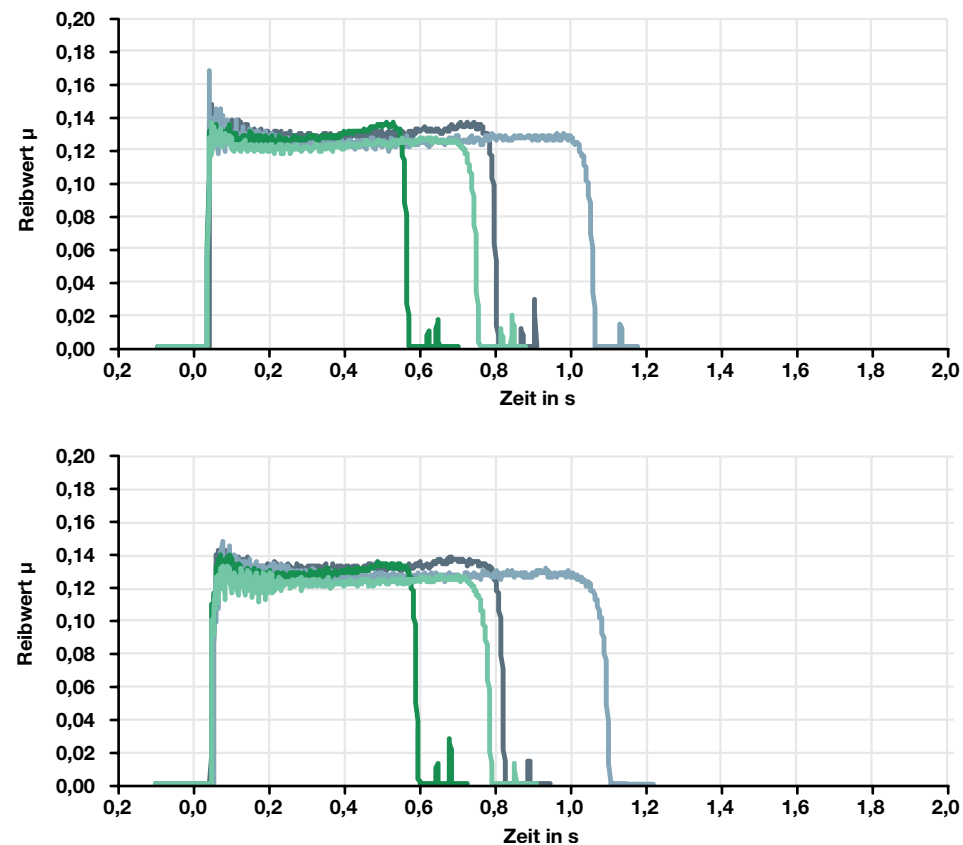


Bild 12 Vergleich des Reibungsverhaltens einer Verbundscheibe (obere Kurve) und des geklebten Belags (110C, 2700/3500 min⁻¹, SAE J2490 Prüfprofil)

dung aus Weichheit und Steifigkeit und weist eine höhere Beständigkeit gegenüber Öladditiven auf. Bild 12 zeigt den Vergleich der Reibleistung einer Verbund-Lamelle mit der Reibleistung einer Lamelle mit geklebtem Belag, wobei Papier und Papierstärke identisch sind. Verschiedene Rillenmuster sind möglich. Die Rillengeometrie ist eigentlich eine Profilierung ohne die aufwendige Herstellung, die normalerweise dafür erforderlich ist. Schließlich ist das Konzept auch für die vorher beschriebene Ausführung der Scheibentrennung geeignet.

Fazit

Neue Automatikgetriebe und steigende Kundenanforderungen lassen auch die Ansprüche an Kupplungen weiter steigen. Diese neuen Bedingungen können erfüllt werden, wenn die bisherigen Auslegungsrichtlinien von Lamellenkupplungen überdacht werden:

- Die Einführung einer zweistufigen Betätigung ermöglicht eine bessere Regelbarkeit und größere Luftspalte.

- Eine integrierte Scheibentrennung steigert die Vorteile der größeren Spalte.
- Eine Substitution des Klebens schafft ein umweltschonendes Herstellungsverfahren und reduziert gleichzeitig Masse und Trägheit.

Zusammengenommen führt dies auch fahrzeugseitig zu deutlichen Verbesserungen. Dazu zählen:

- 1 bis 2 % weniger Kraftstoffverbrauch
- rund 0,5 kg weniger Masse
- Bauraumeinsparung (siehe Bild 13)
- bis zu 100 ms verbesserte Betätigungszeiten bei gleichzeitig verringertem Schaltruck-Empfinden

Diese Vorteile sind nicht nur in Planetengetrieben nützlich, sondern können auch in CVT- und DCT-Kupplungen mit nassen Kupplungsscheiben zur Geltung kommen. Auch eine 80 Jahre alte Technologie kann durch neue Ideen innovative Funktionen erfüllen und so dabei helfen, die wachsende Nachfrage nach einer kraftstoffeffizienten Mobilität zu befriedigen.

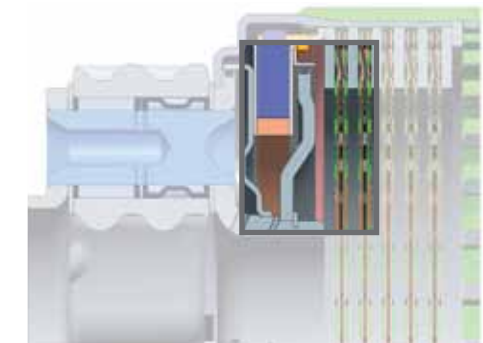


Bild 13 Verbesserte Ausführung der Lamellenkupplungsbetätigung im Vergleich mit einer konventionellen Betätigung

Literatur

- [1] Gott, P.: Changing Gears – The Development of the Automatic Transmission, SAE International, 1991
- [2] SAE Transmission/Axle/Driveline Forum Committee: Design Practices: Automatic Transmissions, 1994