



7. LuK Kolloquium

11./12. April 2002



Herausgeber: LuK GmbH & Co.
Industriestrasse 3 • D -77815 Bühl/Baden
Telefon +49 (0) 7223 / 941 - 0 • Telefax +49 (0) 7223 / 2 69 50
Internet: www.LuK.de

Redaktion: Ralf Stopp, Christa Siefert

Layout: Vera Westermann

Druck: Konkordia GmbH, Bühl
Das Medienunternehmen

Printed in Germany

**Nachdruck, auch auszugsweise, ohne
Genehmigung des Herausgebers untersagt.**

Vorwort

Innovationen bestimmen unsere Zukunft. Experten sagen voraus, dass sich in den Bereichen Antrieb, Elektronik und Sicherheit von Fahrzeugen in den nächsten 15 Jahren mehr verändern wird als in den 50 Jahren zuvor. Diese Innovationsdynamik stellt Hersteller und Zulieferer vor immer neue Herausforderungen und wird unsere mobile Welt entscheidend verändern.

LuK stellt sich diesen Herausforderungen. Mit einer Vielzahl von Visionen und Entwicklungsleistungen stellen unsere Ingenieure einmal mehr ihre Innovationskraft unter Beweis.

Der vorliegende Band fasst die Vorträge des 7. LuK Kolloquiums zusammen und stellt unsere Sicht der technischen Entwicklungen dar.

Wir freuen uns auf einen interessanten Dialog mit Ihnen.



Bühl, im April 2002

A handwritten signature in black ink that reads "Helmut Beier". The signature is written in a cursive, slightly slanted style.

Helmut Beier

Vorsitzender
der Geschäftsführung LuK Gruppe

Inhalt

1	ZMS – nichts Neues?	5
2	Der Drehmomentwandler	15
3	Kupplungsausrücksysteme	27
4	Der Interne Kurbelwellendämpfer (ICD)	41
5	Neueste Ergebnisse der CVT-Entwicklung	51
6	Wirkungsgradoptimiertes CVT-Anpresssystem	61
7	Das 500 Nm CVT	75
8	Das Kurbel-CVT	89
9	Bedarfsorientiert ansteuerbare Pumpen	99
10	Die temperaturgeregelte Schmierölpumpe spart Sprit	113
11	Der CO2 Kompressor	123
12	Komponenten und Module für Getriebebeschaltungen	135
13	Die XSG Familie	145
14	Neue Chancen für die Kupplung?	161
15	Elektromechanische Aktorik	173
16	Denken in Systemen – Software von LuK	185
17	Das Parallel-Schalt-Getriebe PSG	199
18	Kleiner Startergenerator – große Wirkung	213
19	Codegenerierung contra Manufaktur	227

Das Parallel-Schalt-Getriebe PSG

Doppelkupplungsgetriebe mit
Trockenkupplungen

Reinhard Berger
Rolf Meinhard
Carsten Bündler

Einleitung

Das Parallel-Schalt-Getriebe (PSG) ist eine Doppelkupplungsgetriebe-Variante.

Solche Getriebe sind seit langem bekannt. Beispielsweise war Ende der 80er Jahre das Porsche-Doppelkupplungs-Getriebe im Rennsport im Einsatz [1]. Zur Serienanwendung kam es jedoch nicht. Auf der Suche nach verbrauchsoptimalen Antriebssystemen erleben die Doppelkupplungsgetriebe jetzt eine Renaissance.

Als Mitglied der XSG Familie [2] verfügt das PSG über folgende Merkmale:

- Trockenkupplungen und elektromotorische Kupplungsaktoren,
- Vorgelegebauweise und Stirnradverzahnungen,
- synchronisierte Klauenschaltung mit elektromechanischer Aktorik und Active Interlock [4],
- gemeinsame Strategieelemente mit dem ASG.

Durch die Kombination dieser Merkmale hebt sich das PSG von anderen Doppelkupplungsgetriebe ab.

Die Anforderungen an ein PSG und seine Komponenten entsprechen hinsichtlich Funktionalität und Komfort denen, die auch an das Automatikgetriebe heutiger Bauart gestellt werden.

Die konsequente Einbindung des PSG in die XSG Familie ist besonders deshalb wichtig, weil eine ganze Reihe von Getriebeherstellern an modularen Getriebefamilien arbeitet, bei denen neben dem Handschalter auch verschiedene automatisierte Varianten über gleiche Fertigungseinrichtungen laufen sollen. Diesem modularen Ansatz trägt LuK bei seinen Komponenten, den Kupplungen und Aktoren, Rechnung. So kann z. B. in Verbindung mit dem Active Interlock-System der gleiche Getriebeaktor für ein ASG oder für ein PSG benutzt werden.

Der vorliegende Beitrag zeigt die Chancen, die sich durch den Einsatz von Trockenkupplungen in einem Doppelkupplungsgetriebe ergeben, aber auch die zu lösenden Knackpunkte. Des weiteren wird die Integration der in anderen Beiträgen [2], [3], [4], [5] vorgestellten Einzelkomponenten zum Gesamtsystem gezeigt. Dabei spielt auch das Thema Schwingungsisolierung mittels Schlupfregelung eine wichtige Rolle.

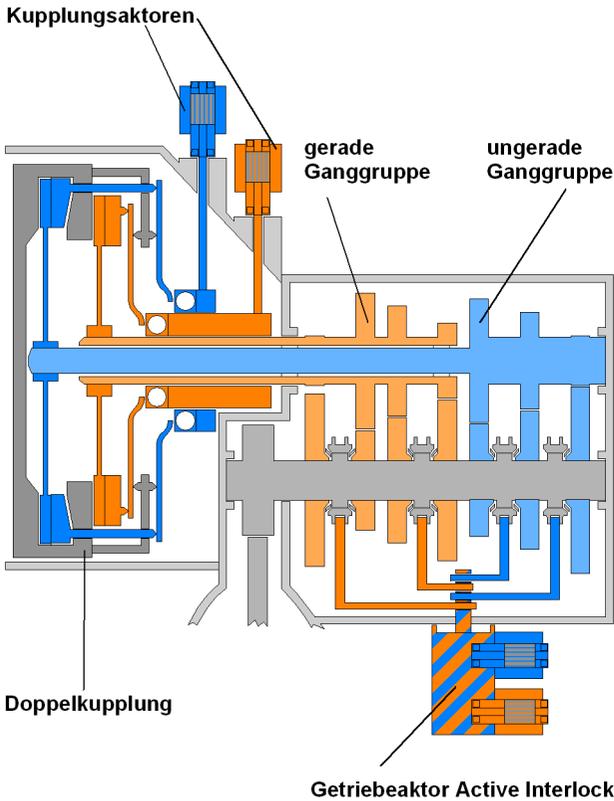


Bild 1: PSG - Prinzip

Chancen und Herausforderungen für die Trockenkupplung

Übersicht

LuK stellt im Jahr ca. 12 Mio. Trockenkupplungen und ca. 3 Mio. Lock-Up-Kupplungen für Wandler her. Für beide Varianten - trocken und nass - liegt also ein großes Know-how vor. Dies gilt auch für die Automatisierung, denn neben den ASG-Anwendungen mit Trockenkupplungen hatte LuK auch ganz entscheidenden Anteil an der Entwicklung der nassen Anfahrkupplung der multitronic® von Audi.

Die Präferenz für die Trocken-Doppelkupplung im PSG ergibt sich aus den folgenden Punkten:

- geringerer Kraftstoffverbrauch,
- Option für modulare Getriebefamilien (MT, ASG, PSG),
- viel häufigere Verwendung als Anfahr-element.

Dem stehen verschiedene Bedenken gegenüber, die immer wieder geäußert werden, wenn es darum geht, Wandlerautomaten durch Getriebe mit Trockenkupplungen zu ersetzen. Insbesondere sind dies:

- der Belag-Verschleiß,
- die Wärmekapazität und Missbrauchsfestigkeit,
- die Regelbarkeit,
- das Verhalten im Fehlerfall.

LuK kann heute zeigen, dass all diese Punkte zufriedenstellend gelöst werden können. Bei einigen bestehen sogar Vorteile für die Trockenkupplung im Vergleich zur Nasskupplung (Bild 2). Nachfolgend werden die wichtigsten Kriterien im einzelnen behandelt.

	Trocken- kupplung	Nass- kupplung
Verbrauch		
Überlastbarkeit Berganfahrten		
Option für modulare Familien		
Bauraum/ Gewicht		
Verhalten bei Ausfall		
Schaltqualität Regelbarkeit		

Bild 2: Trocken- oder Nasskupplung?

Getriebeverluste und Kraftstoffverbrauch

Das Handschaltgetriebe (MT) hat mit über 96% einen hervorragenden Volllastwirkungsgrad. In realen Fahrzyklen mit hohem Teillastanteil liegen jedoch schon die Verzahnungs-, Lager- und Schmierverluste im zweistelligen Prozentbereich [6]. Im Bild 3 sind die zusätzlich entstehenden Verluste in den Kupplungen und für die Getriebebetätigung dargestellt, während die oben genannten Basis-Verlustanteile über alle Varianten als gleich betrachtet und deshalb nicht gezeigt werden.

Diese Werte beschreiben die Verlustleistungsanteile im Bezug auf die im Verbrennungsmotor induzierte Energie. Bei einer Umrechnung in Verbrauchswerte kann es auf Grund des Motor-Verbrauchskennfeldes zu leichten Verschiebungen kommen.

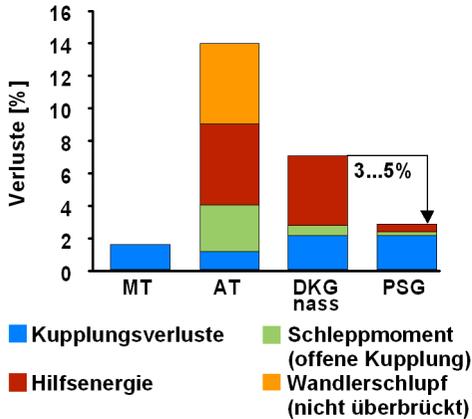


Bild 3: Kupplungsverluste und Betätigungs-Hilfsenergie

Beim Anfahren und Schalten entstehen Reibverluste in den Kupplungen. Für Wandlerrautomaten betrifft dies nur die Schaltungen, da über den Wandler und nicht über Kupplungen angefahren wird (Anfahrerenergie AT steckt im orangenen Balken). Durch die Lastschaltungen beim PSG und DKG nass fallen die Kupplungsverluste im Vergleich zum Handschaltgetriebe im NEFZ Zyklus um ca. 0,6% höher aus.

Weitere Verluste entstehen infolge von Schleppmomenten in den nicht aktiven Kupplungen. Hier zeigt sich ein deutlicher Vorteil für die Trockenkupplung. Die größten Schleppverluste treten im Automatikgetriebe der konventionellen Bauart auf, da dort permanent drei oder mehr Kupplungen bzw. Bremsen mit mehreren Lamellen lastfrei mitlaufen [7]. Beim PSG und DKG nass ist die lastfreie Kupplung während der Fahrt schlupffrei angelegt, solange kein Gang vorgewählt ist.

Auch beim Hilfsenergiebedarf für die Betätigung von Kupplungen und Schaltung ist ein Trockenkupplungssystem mit elektromechanischen Aktoren das Optimum. Der mittlere elektrische Leistungsbedarf wird mit 20 Watt abgeschätzt, beim heute in Serie befindlichen ASG sind es 12 Watt. Die permanent mitlaufende Ölpumpe, die Leckage des Drucköls, der Ölstrom durch Kühler und Filter verursachen beim AT bzw. DKG nass erheblich größere Verluste. Da im Fahren eine permanente Anpressung der Kupplung(en) vorliegt, würde

eine elektrische Ölpumpe die Situation nicht verbessern.

Vor dem Hintergrund der Selbstverpflichtung der Automobilindustrie, den Flottenverbrauch bis 2008 auf 140 g CO₂ pro gefahrenen Kilometer zu reduzieren, ist die Alternative mit den Trockenkupplungen die bestmögliche Lösung.

Lebensdauer von Trockenkupplungen

Seit der Einführung asbestfreier Kupplungsbeläge und selbstnachstellender Kupplungen mit erhöhter Verschleißreserve kommt es innerhalb eines normalen Autolebens praktisch nicht mehr zum verschleißbedingten Austausch der Kupplung. Bei automatisierter Kupplungsbetätigung steigt die durchschnittliche Lebensdauer noch weiter an. Dies liegt an der größeren Konstanz in der Betätigung der Kupplung, aber auch an den gegen Missbrauch implementierten Strategien.

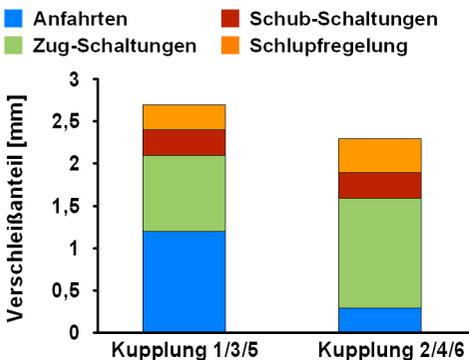
Dem gegenüber stellt sich beim PSG die berechtigte Frage: Wie verkraftet eine Trockenkupplung den zusätzlichen Energieeintrag infolge der Lastschaltungen? Schließlich muss die kommende Kupplung zunächst das volle Motormoment übernehmen und dann die Drehzahldifferenz abbauen.

Für Lebensdauerabschätzungen von Trockenkupplungen ist bei LuK ein gemischter Fahrzyklus entwickelt worden, der mit Feldergebnissen und Dauerlauferprobungen bei unseren Kunden sehr gute Übereinstimmung erzielt. Dieser Zyklus beinhaltet 50% Stadtfahrten, 30% Überlandfahrten, 18% Autobahnfahrten und 2% Bergfahrten. Insgesamt umfasst dieser Zyklus bei einer geforderten Fahrzeug-Lebensdauer von 240 000 km 240 000 Anfahrten und 1,5 Mio. Schaltungen.

Die Ergebnisse der Verschleißhochrechnung für ein Mittelklassefahrzeug zeigt Bild 4. Aus dem Diagramm geht hervor, dass ein Teil der Anfahrerenergie auch in der Kupplung des zweiten Ganges aufgenommen wird. Je nach Übersetzungsauslegung ist es einerseits

möglich, direkt im 2. Gang anzufahren (z. B. Teillastbetrieb) oder beide Kupplungen während einer Anfahrt einzusetzen.

Den in Bild 4 gezeigten Ergebnissen ist eine um 30% höhere mittlere Verschleißrate (im Vergleich zum Handschaltgetriebe heute) zugrunde gelegt worden, um einerseits den Eigenschaften der künftigen bleifreien Beläge Rechnung zu tragen und andererseits die tendenziell höhere Bauteiltemperatur zu berücksichtigen (höherer Energieeintrag durch Lastschaltung).



Fahrzeug 2000 kg
 Motor 400 Nm
 Kupplungen Durchmesser 250/220
 Lebensdauer 240 000 km

Bild 4: Lebensdauer Trockendoppelkupplung

Situationen mit sehr hohem Energieeintrag

Dauerkriechen, Schleichfahrt, Berganfahrten ohne und mit Hänger, Halten des Fahrzeuges am Berg - mit diesen Situationen verbinden sich die meisten Bedenken beim Einsatz einer Trockenkupplung in einem Automatikgetriebe. Jeder Fahrzeughersteller hat hier seine eigenen Tests, die zum Teil sehr unterschiedliche Akzente setzen.

Durch die Automatisierung der Trockenkupplung lassen sich die Situationen mit sehr hohem Energieeintrag besser beherrschen als beim Handschaltgetriebe. Dies zeigen die Er-

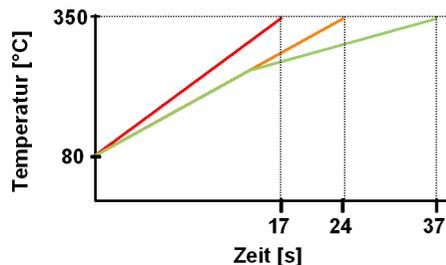
fahrungen mit der Mercedes A-Klasse (EKM) und dem Opel Corsa (ASG). Das PSG wiederum bietet noch mehr Potenzial als ein ASG, und zwar aus folgenden Gründen:

- Ein zu 100% automatisiertes Getriebe bietet mehr Freiheiten in der Übersetzungsauslegung des 1. Ganges als ein Add-on ASG. Eine größere Spreizung nach unten (1. und eventuell 2. Gang kürzer) führt nicht automatisch zu schlechterem Zyklusverbrauch, senkt jedoch die Reibleistungen bei Anfahrt oder Kriechen drastisch.
- Beim PSG kann die Reibwärme auf zwei Kupplungen und deren Gussmassen verteilt werden.

Im Bild 5 sind Temperatursimulationen für die Situation „Halten am Berg“ für verschiedene Optionen miteinander verglichen.

Man sieht, dass die Zeit, über die ein PSG-Fahrzeug, ohne die Kupplung zu zerstören, am Berg gehalten werden kann (Fall 3), fast doppelt so groß wird, wie bei einem Handschalter (Fall 1). Dies ist z. B. in Situationen wichtig, wo man aus einer Ausfahrt, z. B. aus einem Parkhaus, herausfahrend noch einige Fahrzeuge passieren lassen muss.

Ab einem bestimmten Punkt müssen aber auch beim PSG die Selbstschutzmechanismen der automatisierten Kupplung greifen [5]. Einige Lösungsmöglichkeiten zeigt Bild 6.



- Fall 1:** 1. Gang wie Handschalter
- Fall 2:** 1. Gang 20% kürzer
- Fall 3:** Anfahren über beide Kupplungen

Bild 5: Halten am Berg - Temperatursimulation

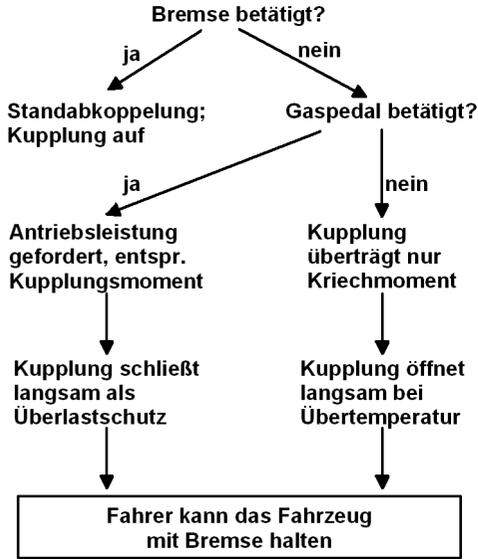


Bild 6: Halten am Berg – Kupplungsschutz

Dabei ist zu unterscheiden, ob der Fahrer auf dem Gaspedal steht und damit ausdrücklich einen Beschleunigungswunsch äußert oder ob er lediglich das Bremspedal losgelassen hat und in der Kupplung ein kleines Antriebsmoment aufgebaut wird. Im ersten Fall könnte die Kupplung nach einiger Zeit (einige Sekunden, siehe Bild 5) langsam per Rampe geschlossen werden, im anderen Fall müsste sie öffnen, siehe Bild 6. Beim Dauerkriechen beträgt aber die Zeitspanne, bevor der Selbstschutz greifen muss, wegen des geringen Moments mehrere Minuten.

Messungen zu den Kupplungsschutz Strategien, die im Fahrversuch positiv beurteilt wurden, finden sich in [5]. Für die Zukunft sind aber weiterführende, noch bessere Lösungen denkbar, nämlich dann, wenn die Getriebesteuerung bei einem aktiven Bremssystem einen Hillholder anfordern kann.

Notlaufverhalten

In diesem Abschnitt wird das Notlaufverhalten bei einem Totalausfall der Getriebesteuerung betrachtet. Dies ist aus Sicht der Getriebesteuerung sicherlich der schwerwiegendste Fall. Dabei gilt, wie auch bei jedem Teilausfall, dass es nicht zu sicherheitskritischen Zuständen, d. h. zu unmittelbarer Unfallgefahr und Gefahr für Leib und Leben von Personen, kommen darf.

Wie bei der Reaktion auf Prozessorfehler gezeigt wird [5], glaubt LuK auch hier, dass ein Beibehalten des aktuellen Zustandes beider Kupplungen im Moment des Ausfalles die bestmögliche direkte Reaktion ist, d. h. die Kupplungen sollten weder öffnen noch schließen (Bild 7).

Mit einem solchen Notlaufverhalten lässt sich z. B. die Unfallgefahr an der roten Ampel oder am Fußgängerüberweg vermeiden, weil die Kupplungen in der entsprechenden Situation

		Zustand bei Ausfall		
		Geschlossen	Zwischenstellung	Geöffnet
Reaktion	Schließen 	✓	⚡?	⚡⚡
	Öffnen 	⚡?	?	✓
	Stehen bleiben 	✓	✓	✓

Bild 7: Sicherer Kupplungszustand bei Totalausfall und laufendem Motor

offen sind und bleiben. Aber auch beim Fahren würde dieses Notlaufverhalten dem aktuellen Fahrerwunsch Rechnung tragen und somit gefährliche Situationen vermeiden, in dem die Kupplungen nicht plötzlich öffnen. Dies ist z. B. beim knappen Überholen oder der Bergfahrt wichtig. Beim PSG könnte der Fahrer das Fahrzeug selbst dann noch beschleunigen, wenn der Totalausfall der Getriebesteuerung während einer Überschneidungsschaltung passiert.

Trockenkupplungen mit selbsthaltenden elektromotorischen Aktoren zeigen beim Abschalten der Leistungsendstufen ein solches Verhalten. Bei Nasskupplungen hingegen müsste Zusatzaufwand betrieben werden, um den Zustand der Kupplungen einzufrieren.

Auf Kundenwunsch kann LuK auch mit elektromotorischen Aktoren selbsttätig öffnende Kupplungen darstellen. Dies würde ein hydrostatisches Ausrücker mit einem Notlaufventil und kraftfrei geöffneten Kupplungen erfordern.

Würde ein Ausfall von Getriebesteuerung und -betätigung mitten in einer Überschneidungsschaltung stattfinden, stellt sich die Frage, ob es zum Blockieren des Getriebes kommen kann. Immerhin ist in jedem Strang ein Gang eingelegt und beide Kupplungen übertragen Moment. Hier muss zunächst betont werden, dass beide Kupplungen in Summe nur das Motormoment übertragen, d. h. dass bei einer Überschneidungsschaltung simultan eine Kupplung geschlossen und die andere geöffnet wird. Dies lässt sich dank der bekannten Adaptionen für die Kupplungskennlinie (Tastpunkt, Gradient) [9] sowie durch die Momentennachführung bzw. Schlupfregelung sehr zuverlässig einstellen.

Käme es jetzt zum Notlauf, so würde eine Kupplung schlupfen, das Getriebe aber auf keinen Fall blockieren. Das Abtriebsmoment kann mit folgender Formel berechnet werden:

$$M_{ab} = i_1 \cdot \left[M_{mot} + \frac{i_2 - i_1}{i_1} \cdot M_{K2} \cdot \text{sign}(n_{mot} - n_2) \right]$$

- M_{ab} Abtriebsmoment
- M_{mot} Motormoment
- M_{K2} Moment der schlupfenden Kupplung
- n_{mot} Motordrehzahl
- n_2 Drehzahl Eingangswelle mit Schlupf
- i_1 Übersetzung haftende Kupplung
- i_2 Übersetzung schlupfende Kupplung

Das Abtriebsmoment wird also durch das Motormoment, das Moment der schlupfenden Kupplung sowie den Gangsprung bestimmt. Selbst nach Ausfall der Getriebesteuerung

kann der Fahrer die Beschleunigung noch mit dem Motor beeinflussen. In Bild 8 sind die Leistungsflüsse für den Fall, dass der Fahrer weiterhin beschleunigen möchte, dargestellt.

Erst wenn der Fahrer vom Gas geht, würde sein Wunsch nach Verzögerung etwas stärker als erwartet umgesetzt, Bild 9.

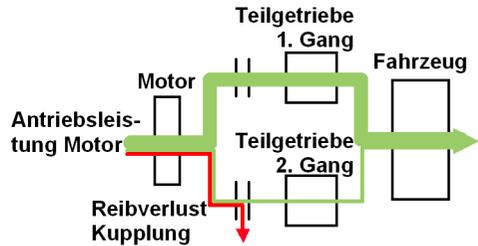


Bild 8: Leistungsflüsse im Zugbetrieb nach Getriebesteuerungsausfall während Überschneidung

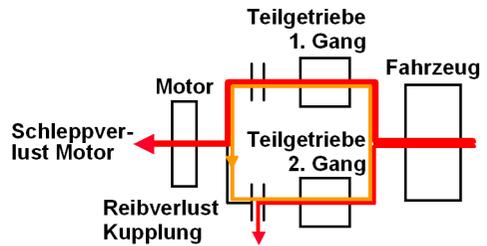
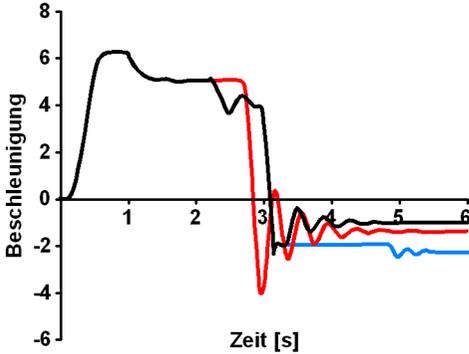


Bild 9: Leistungsflüsse im Schubbetrieb nach Getriebesteuerungsausfall während Überschneidung

Die Gefahr, dass dabei die Räder die Haftung verlieren, besteht nur, wenn alles zusammen (Ausfall beider Kupplungsaktoren während einer Überschneidung und Fahrer geht vom Gas) auch noch auf glatter Fahrbahn passiert. Unter solchen Straßenverhältnissen kann aber ein Zug-Schub-Lastwechsel bei jedem Getriebesystem zu einem Rutschen der Räder führen, auch ohne dass ein Fehler vorliegt.

Dies wird aus Bild 10 ersichtlich. In den Beschleunigungs-Zeitverläufen tritt die größte Verzögerung nach dem Lastwechsel im 1. Gang auf. Erst im eingeschwungenen Zustand ist die Verzögerung eines PSG größer, wenn zuvor während einer Schaltung das Getriebe ausgefallen ist und die Kupplungspositionen eingefroren wurden.



- 1. Gang: Zug -> Schub-Wechsel
- Ausfall bei 1 -> 2 Schaltung, danach Zug-Schub-Wechsel
- Ausfall bei 1 -> 2 Schaltung, danach Zug -> $M_{mot} = 0$ Nm

Bild 10: Lastenwechsel: Beschleunigungs-Zeit-Verläufe

Eine Motor-Schleppmomenten-Regelung kann in beiden Fällen ein Rutschen der Räder verhindern. Im Bild 10 ist das beispielhaft für einen Lastwechsel gezeigt, bei dem der Motor auf Nullmoment geht.

Durch einen geringfügigen Zusatzaufwand in der Fahrzeugverkabelung lässt sich die Verfügbarkeit der Getriebesteuerung eines PSG im Vergleich zum ASG erhöhen.

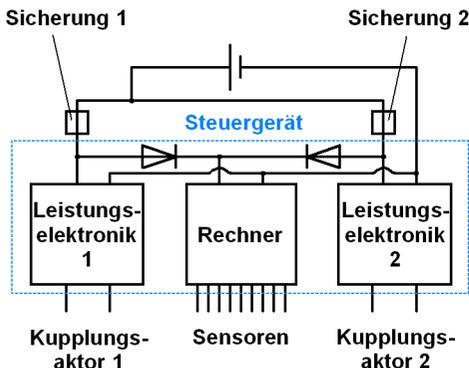


Bild 11: Redundante Absicherung der PSG-Getriebesteuerung

Man sichert einfach die unabhängigen Kupplungsaktoren getrennt ab, so dass z. B. beim Kurzschluss in einem Kupplungsaktor zwar die zugehörige Sicherung durchbrennt, die Getriebesteuerung und der andere Kupplungsaktor nach wie vor versorgt werden (Bild 11).

Das zuvor betrachtete Ausfallszenario, dass beide Kupplungen Moment übertragen und nicht mehr modulierbar sind, wird dabei in seiner Auftretenswahrscheinlichkeit minimiert, und es bedarf eines Doppelfehlers, dass es überhaupt auftritt.

Regelbarkeit

Für die Regelung einer Trockenkupplung gilt eine Moment-Weg-Kennlinie. Bei einer Nasskupplung beschreibt eine Kombination aus Moment-Volumen-Kennlinie und Moment-Druck-Kennlinie das Übertragungsverhalten (Bild 12). Diese Kombination ergibt sich, weil die Nasskupplung zunächst vorbefüllt werden muss (Volumen), bevor über den Druck eine Anpresskraft eingestellt werden kann.

Trockenkupplung und Nasskupplung haben eines gemeinsam: Das übertragene Kupplungsmoment hängt ganz wesentlich vom aktuellen Reibwert ab und der kann in beiden Systemen streuen. Die Reibwertänderungen beider Systeme zeigen folgende Besonderheiten:

- Kurzfristig kann sich der Reibwert einer Trockenkupplung stärker ändern als bei der Nasskupplung, was jedoch durch intelligente Adaptionalgorithmen [9] erfolgreich kompensiert werden kann.
- Über Lebensdauer erholt sich die Trockenkupplung normalerweise wieder, auch wenn sie kurzzeitig nach hohem Energieeintrag ihre Kennlinie stark verändert hat. Bei einer Nasskupplung kommt es zu einer irreversiblen Ölalterung, die sich in einem negativen Reibwertgradienten äußert (Bild 13). Durch einen Ölwechsel kann die ursprüngliche Reibwertcharakteristik wiederhergestellt werden.

Vom ASG her gibt es Erfahrungen, die diese Aussagen untermauern. Bei LuK existiert beispielsweise ein Programm zur objektiven Bewertung der Schaltqualität anhand gemessener Beschleunigungsverläufe. Dieses wird für die regelmäßige Beurteilung von Fahrzeugen im Dauerlauf benutzt. Die im Bild 14 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass sich die Schaltqualität eines ASG mit Trockenkupplung über Lebensdauer praktisch nicht ändert.

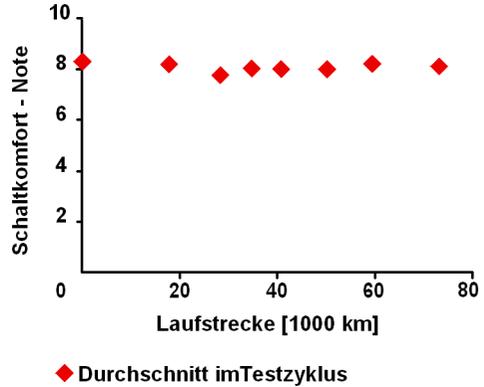


Bild 14: Trockenkupplung: Konstanz über Lebensdauer

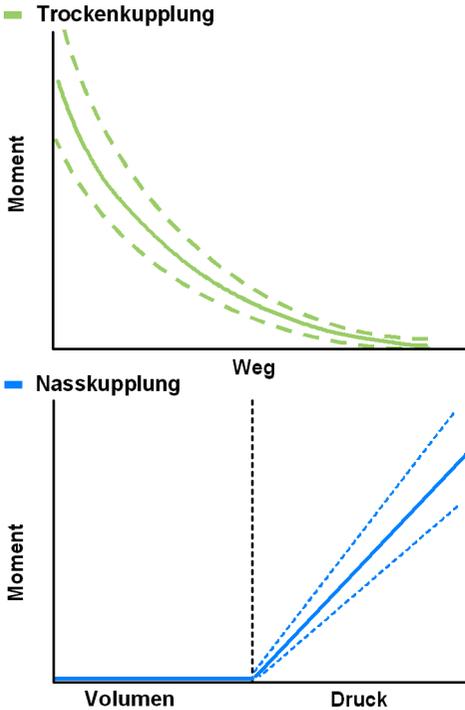


Bild 12: Kennlinien

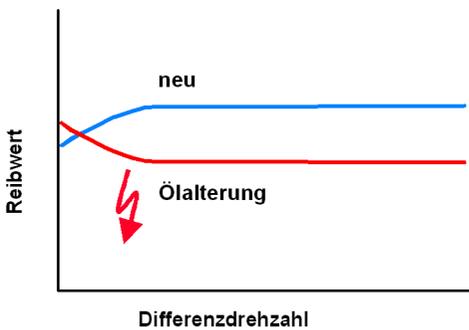


Bild 13: Nasskupplung: Ölalterung

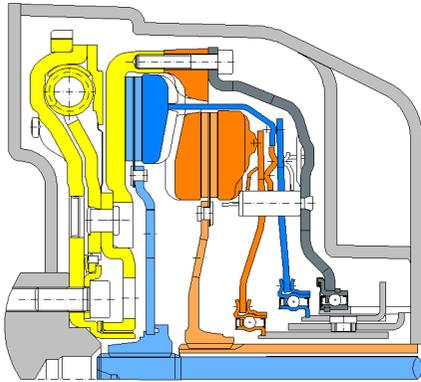
Ausführungsbeispiele

Trocken Doppelkupplung und Betätigung

Nachdem die funktionalen Aspekte beim Einsatz einer Trockenkupplung im PSG behandelt worden sind, werden nun konstruktive Ausführungen gezeigt. Im Zusammenbau müssen die Doppelkupplung, das Schwungrad, die Schwingungsdämpfer sowie die Kupplungsausrücker und Kupplungsaktoren so aufeinander abgestimmt sein, dass der knappe Bauraum optimal genutzt wird. Alle Komponenten sollen in der Kupplungsglocke bzw. am Getriebe ihren Platz finden. Dabei gibt es zwei besondere Herausforderungen:

- den axialen Bauraum in der Kupplungsglocke (insbesondere bei Front-quer-Anwendungen),
- das Package rund um das Getriebe für diejenigen Aktorikkomponenten, die nicht in der Kupplungsglocke untergebracht werden.

mit ZMS



mit Flexplate

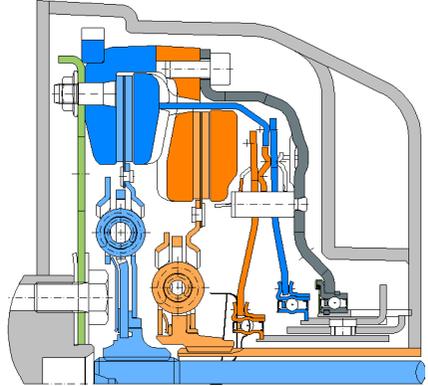


Bild 15: Beispiele Doppelkupplung

Im Bild 15 links ist eine Doppelkupplung mit vorgeschaltetem ZMS zu sehen, rechts eine Doppelkupplung mit Dämpfer-Kupplungsscheiben und einer Flexplate. Letztgenannte Variante hat wesentliche Vorteile beim axialen Bauraum (ca 20 mm) und der Massenträgheit (ca 0,1 kgm²). Dass sich daraus keine Nachteile bei der Schwingungsisolierung ergeben müssen, wird im nachfolgenden Abschnitt gezeigt.

Verschiedene Optionen für Ausrücksystem und Kupplungsbetätigung sind Gegenstand von [3] und [4]. Die Konstruktionsbeispiele im Bild 15 beinhalten einen doppelten Rampenmechanismus.

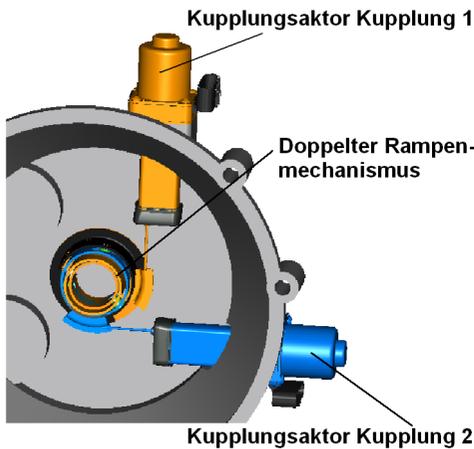


Bild 16: Ausrücksystem Doppelkupplung

Bild 16 zeigt ein Ausführungsbeispiel für die elektromotorischen Aktoren, die diesen doppelten Rampenmechanismus betätigen.

Hervorzuheben ist die deckelfeste Anbindung des Ausrücksystems an der Kupplung über ein Stützlager. Dies hat folgende Vorteile:

- Reduktion der im Ausrücksystem vorzuhaltenden Toleranzen,
- radiale Abstützung der Kupplungsmasse im Getriebegehäuse,
- Betätigungskräfte wirken nicht auf die Kurbelwelle, sondern werden intern abgestützt.

Kupplung und Ausrücksystem bilden eine Einheit und gehören zum Getriebe. So kann die Gesamtmontage und das Einlernen des kompletten PSG bereits im Getriebewerk erfolgen.

Dauerschlupf zur Schwingungsisolierung

Auch mit der vom Bauraum her günstigeren Doppelkupplungsvariante mit Dämpfer-Scheiben und Flexplate lässt sich der vom ZMS gewohnte, gute Geräuschkomfort im Fahrzeug erzielen. Zu diesem Zweck wird die Kupplung in den schwingungsempfindlichen Betriebsbereichen des geschlossenen Antriebsstrangs mit Dauerschlupf betrieben. Details zur Regelungsstrategie werden in [5] vorgestellt.

Die Torsionsdämpfer in den Kupplungsscheiben gewährleisten, dass man in weiten Drehzahlbereichen ohne Schlupf fahren kann [8]. In den Betriebsbereichen, in denen es beim geschlossenen Antriebsstrang Geräuschprobleme gäbe, bietet der gezielte Schlupf punktuell sogar eine bessere Isolation als ein ZMS. Auch bei Lastwechseln, sowohl von Schub nach Zug als auch von Zug nach Schub, lassen sich durch den definierten Schlupf Schwingungsanregungen im Triebstrang vermeiden [9].

Unter Dynamikgesichtspunkten bietet die Variante ohne ZMS ebenfalls Vorteile. Die Massenträgheit der Doppelkupplung ist etwa genauso groß wie die gesamte Massenträgheit eines ZMS und einer Einfachkupplung zusammengekommen, d. h. bezüglich der Massenträgheit gibt es kaum einen Unterschied zwischen Handschaltgetriebe bzw. ASG und dem PSG. Damit sind auch die Beschleunigungsleistungen und die Motordynamik vergleichbar. Bei einer Doppelkupplung mit ZMS müsste als zusätzliche Massenträgheit noch die Primärmasse hinzugenommen werden, die zur Beruhigung der Kurbelwelle notwendig ist. Diese liegt im Bereich von 0,1 bis 0,13 kgm² (Bild 17).

	ohne ZMS	mit ZMS
MT / ASG	0,2 kgm ²	0,25 kgm ²
PSG	0,25 kgm ²	0,35 kgm ²

Bild 17: Trägheitsmomente (inkl. Kurbelwelle)

Bei der Lösung mit Flexplate ist die primäre Schwungmasse des Verbrennungsmotors erheblich größer als bei der ZMS-Lösung, so dass die Kurbelwelle ohnehin schon ruhiger läuft. D. h. die motorseitigen Anregungen werden bei einem PSG mit trockener Doppelkupplung, Flexplate und Dämpfer-Kupplungsscheiben im Vergleich zu den anderen Getriebevarianten reduziert, auch im Vergleich zum Handschaltgetriebe (Bild 18).

Simulationsrechnungen und Versuche haben gezeigt, dass bereichsweiser Dauerschlupf zur Schwingungsisolierung nicht zu einem erhöhten Kraftstoffverbrauch führt und nur geringfügigen Mehrverschleiß der Reibbeläge bewirkt.

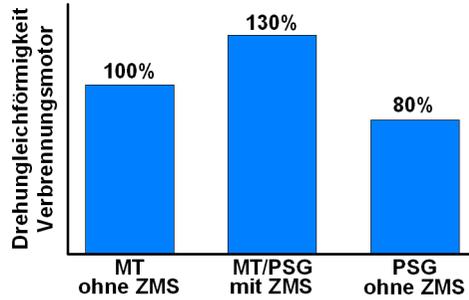


Bild 18: Drehleistungsfähigkeit

Auf den ersten Blick mag es unplausibel erscheinen, dass zusätzlicher Kupplungsschlupf den Kraftstoffverbrauch nicht erhöht. Die Begründung dafür liegt in der gegenüber der ZMS-Lösung geringeren Massenträgheit des Aggregates. Die zusätzliche Primärmasse des ZMS muss bei allen Beschleunigungsvorgängen mitbeschleunigt werden, so dass nicht nutzbare kinetische Energie in ihr gespeichert wird. Bei einer primären Massenträgheit von 0,1 kgm² entspricht das im europäischen Verbrauchszyklus einem Mehrverbrauch von ca. 0,5%. Für den bereichsweisen Dauerschlupf wurden Verluste in der gleichen Größenordnung berechnet, so dass sich die Einsparung infolge geringerer Massenträgheit und der Verlust durch Schlupf kompensieren (Bild 19).

	Mehrverbrauch	
	Manueller Modus	Automatik Modus
Optimierung Motorbetriebspunkt	± 0%	-5,0%
Reduktion Massenträgheit	-0,5%	-0,5% *
Schlupfregelung	+0,5%	+1,0%
Bilanz	± 0%	-4,5%

*beispielhafter Durchschnittswert

Bild 19: Verbrauchsbilanz PSG mit/ohne Schlupfregelung

Der geringe Mehrverschleiß von bis zu 0,4 mm pro Kupplung wurde bereits im Bild 4 gezeigt.

Active Interlock zur Getriebebetätigung

Mit dem von LuK entwickelten Active-Interlock-System [4] wird der Aufwand für die automatisierte Schaltbetätigung im Getriebe auf ein Minimum reduziert.

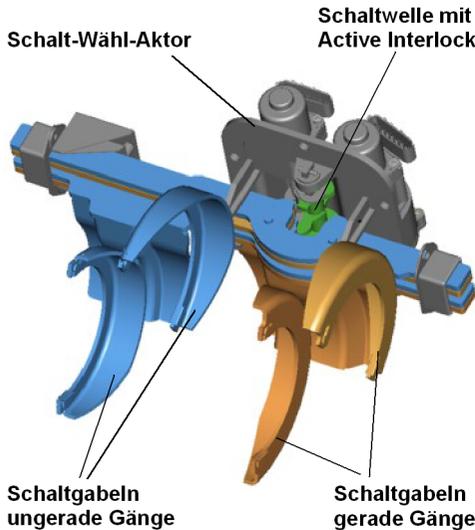


Bild 20: Active Interlock-Schaltssystem für PSG

Die Bauteile der Innenschaltung (Schaltgabeln, Schaltschienen, Führungsteile) entsprechen denen eines Handschaltgetriebes bzw. ASG (Bild 20). Für das zweite Teilgetriebe des PSG wird kein zweites Getriebeaktor benötigt (Bild 1). Es genügt, den ASG-Getriebeaktor an den Sperrelementen geringfügig zu modifizieren, um ihn zum Schalten beider Teilgetriebe des PSG einsetzen zu können.

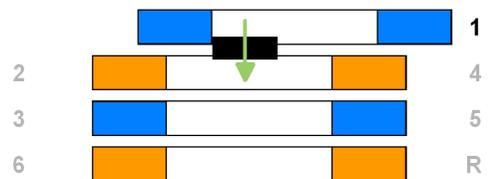
Für Getriebehersteller, die das PSG modular aus einer Handschaltgetriebefamilie ableiten, ist das Active Interlock-Schaltssystem wegen der großen Ähnlichkeit zum Handschalter/ASG besonders vorteilhaft. Selbst der Flansch für den Anbau des Getriebeaktors kann genauso ausgeführt sein wie beim Handschaltgetriebe der Flansch für das Schaltungsmodul [4].

Möglich wird der Verzicht auf den zweiten Getriebeaktor dadurch, dass in den Schaltstangen die Mäuler breiter sind als der Schaltfin-

ger, der über diese Mäuler die Schaltstangen betätigt. Somit können im PSG zwei Gänge gleichzeitig eingelegt werden, d. h. ein gerader und ein ungerader Gang zur gleichen Zeit (Bild 21).



1. Schritt: Gang 1 einlegen



2. Schritt: wählen



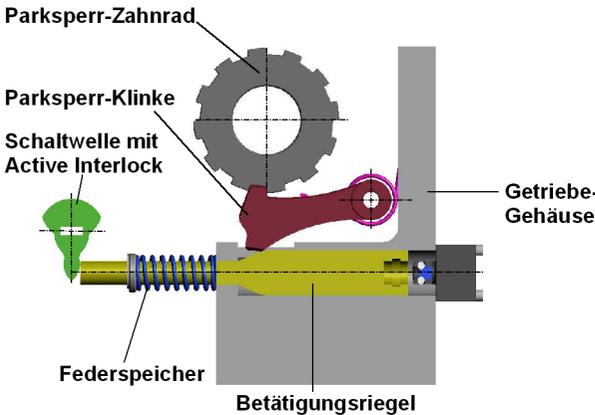
3. Schritt: zusätzlich Gang 2 einlegen

Bild 21: Schalten von zwei Gängen mit Active Interlock

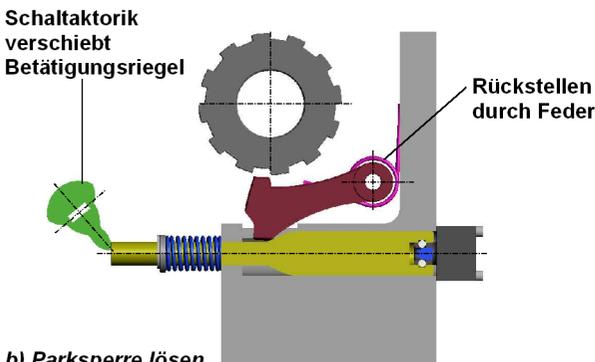
Außerdem gewährleistet das Active Interlock-System, dass niemals zwei ungerade oder zwei gerade Gänge gleichzeitig eingelegt werden können [4].

Integration der Parksperre

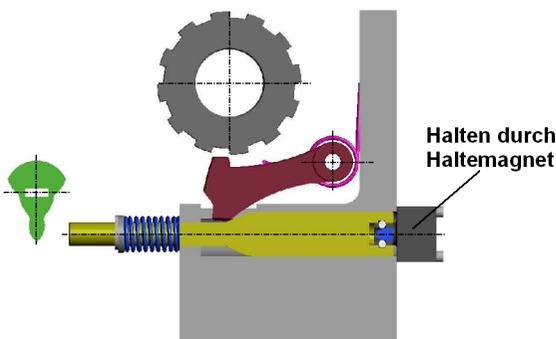
Das PSG soll nicht nur von der Funktion her sondern auch hinsichtlich der Bedienbarkeit ein vollwertiger Ersatz für heutige Automatikgetriebe sein. Das führt heute zur Forderung nach einer integrierten Parksperre, auch wenn diese Funktion in Zukunft vielleicht mit elektrischen Bremssystemen realisiert wird.



a) Parksperrung betätigt



b) Parksperrung lösen



c) Parksperrung offen halten

Für die aktuellen Projekte hat LuK nach Möglichkeiten gesucht, einerseits die Vorteile des Shift-by-Wire-Systems (Geräusch-entkoppelung zum Innenraum, Freiheiten beim Innenraumdesign) zu nutzen und andererseits Parksperr-Lösungen mit minimalem Zusatzaufwand zu entwickeln.

Die scheinbar einfachste Lösung wäre es, in jedem Teilstrang des Getriebes einen Gang einzulegen und beide Kupplungen und beide Kupplungen zu schließen. Allerdings wäre in diesem Zustand das Anlassen des Verbrennungsmotors in einer P-Stellung des Wählhebels nicht möglich, denn dafür müssten die Kupplungen geöffnet und somit die Wegrollsicherung aufgehoben werden. Dies würde dem Stand der Technik bei Automatikgetrieben mit Parksperrung widersprechen.

Die mechanische Parksperrklinke, wie sie in heutigen Automatikgetrieben zu finden ist, ist ein verhältnismäßig einfaches Bauteil. Die Parksperrklinke könnte auch durch den elektromotorischen Getriebeaktor des PSG betätigt werden. Dabei gibt es folgende Ideen:

- Die Parksperrklinke wird durch den Getriebeaktor aktiv ein- und ausgelegt.
- Das Einlegen der Parksperrklinke erfolgt mittels eines Federspeichers, das Lösen aktiv durch den Getriebeaktor. Beim Fahren wird die Parksperrung durch einen Haltemagneten offen gehalten.

Beide Lösungen sind gemäß dem aktuellen Stand der Technik praktikabel. Letzten Endes muss die Ausführung in Zusammenarbeit mit dem Fahrzeughersteller auf das favorisierte Bedienkonzept abgestimmt werden. Das Anliegen von

Bild 22: Konstruktionsbeispiel integrierte Parksperrung

LuK ist es, seinen Kunden einen Mehraufwand zu ersparen, indem bei der Konstruktion des Getriebeaktors die Option der Parksperrbetätigung berücksichtigt wird.

Bild 22 zeigt ein Ausführungsbeispiel für das Lösen der Parksperre mit dem elektromotorischen Getriebeaktor.

Zusammenfassung und Ausblick

Das Parallel-Schalt-Getriebe ist ein Automatikgetriebe mit trockener Doppelkupplung. Es ist Teil der XSG Familie und baut auf dem Know-how auf, welches LuK mit der Trockenkupplung und deren Automatisierung sowie der Automatisierung von Schaltgetrieben gewonnen hat. Das Hauptargument für den Einsatz von Trockenkupplungen ist die größtmögliche Verbrauchseinsparung, ohne dass dabei im Vergleich zum Wandlerautomaten Abstriche beim Fahrkomfort in Kauf genommen werden müssen.

Gegenwärtig wird bei LuK ein erstes PSG-Funktionsmuster aufgebaut. Darüber hinaus gibt es weitere sehr interessante Projekte mit verschiedenen Fahrzeug- bzw. Getriebeherstellern. Aus heutiger Sicht ist ein erster Serieneinsatz im Modelljahr 2006 denkbar.

Während das ASG eher für kleinere oder sportlichere Fahrzeuge und Motoren geeignet ist, kann das PSG in allen Fahrzeugklassen und Motorisierungen eingesetzt werden.

LuK möchte mit seinem Know-how und seinen Komponenten dazu beitragen, dem Kunden innovative, ökonomische und wettbewerbsfähige Getriebesysteme anzubieten.

Literatur

- [1] Flegl, H.; Wüst, R.; Stelter, N.; Szodfridt, I.: Das Porsche-Doppelkupplungs-(PDK)-Getriebe, ATZ 89 (1987) 9, S. 439 - 452.
- [2] Fischer, R.; Schneider, G.: Die XSG Familie – Trockenkupplungen und E-Motoren als Kernelemente zukünftiger Automatikgetriebe, 7. LuK Kolloquium 2002.
- [3] Reik, W.; Kimmig, K.-L.; Meinhard, R.; Elison, H.-D.; Raber, C.: Neue Chance für die Kupplung? 7. LuK Kolloquium 2002.
- [4] Pollak, B.; Kneißler, M.; Esly, N.; Norum, V.; Hirt, G.: Elektromechanische Aktorik – So kommen Getriebesysteme in die Gänge, 7. LuK Kolloquium 2002.
- [5] Küpper, K.; Werner, O.; Seebacher, R.: Denken in Systemen – Software von LuK, 7. LuK Kolloquium 2002.
- [6] Wagner, G.: Berechnung der Verlustleistung von Kfz-Vorgelegegetrieben, VDI Berichte 977, 1992, S. 175 - 198.
- [7] Wagner, G.; Bucksch, M.; Scherer, H.: Das automatische Getriebe 6HP26 von ZF-Getriebesysteme, konstruktiver Aufbau und mechanische Bauteile, VDI Berichte 1610, 2001, S. 631 - 654.
- [8] Fischer, R.; Berger, R.: Automatisierung von Schaltgetrieben, 6. LuK Kolloquium 1998.
- [9] Fischer, R.; Berger, R.; Salecker, M.: Anforderungen an die Verbrennungsmotor-Steuerung bei Automatisierung des Schaltgetriebes, 19. Internationales Wiener Motorensymposium, Mai 1998.