Das Kupplungs-Komfort-Programm

Vom Zulieferprodukt zum Ausstattungskriterium

[¬]NVUSGRVLG

Jürgen Freitag Dr. Martin Häßler Steffen Lehmann Christoph Raber Michael Schneider Christoph Wittmann

BEFSH SOBPI FEIWR CWDAY PJMII CGTZD JTZTE AKDGJ

Einleitung

Der Kauf eines neuen Autos zählt für Privathaushalte in der Regel zu den größten Einzelinvestitionen. Entsprechend hoch sind die damit verbundenen Emotionen und Erwartungen. Dass die Anforderungen einer steten Änderung unterworfen sind, zeigt ein Blick in die Vergangenheit: Zunächst waren die Verbraucher froh, mit Fahrzeugen wie dem Messerschmitt Kabinenroller, dem Opel Laubfrosch oder dem Goggomobil überhaupt individuell mobil sein zu können. Als dieses zur Selbstverständlichkeit geworden war, stiegen die Anforderungen hinsichtlich der Transportqualität in Form von Zuverlässigkeit, Leistungsvermögen und Komfort. In einem nächsten Schritt gelangten Verkehrssicherheit, geringer Kraftstoffverbrauch und niedrige Emissionen an die Spitze der Kundenwünsche, wobei von den

Verbrauchern vorausgesetzt wird, dass auch Entwicklungen in anderen Themenfeldern fortgesetzt werden.

Da sich technische Entwicklungen regelmäßig gegenseitig beeinflussen, führen Innovationen an einer Komponente meist zu Entwicklungsbedarf an weiteren Systemen. Dies gilt auch für die Kupplungstechnik, die maßgeblich zum Fahrkomfort beiträgt. So führen zum Beispiel Drehmoment- oder Zünddruckerhöhungen im Motor zu stärkeren Axialschwingungen der Kurbelwelle. Damit als Folge davon das Fahrvergnügen nicht durch starke Pedalvibrationen, eine zu hohe Pedalkraft oder Geräusche getrübt wird, müssen die Kupplungssysteme entsprechend angepasst werden. Bild 1 zeigt den anzustrebenden Zielbereich für möglichst komfortable Pedalkräfte sowie eine Auswahl verschiedener Kupplungstypen, mit denen sich die jeweiligen Zielbereiche je nach Motormoment erreichen lassen.

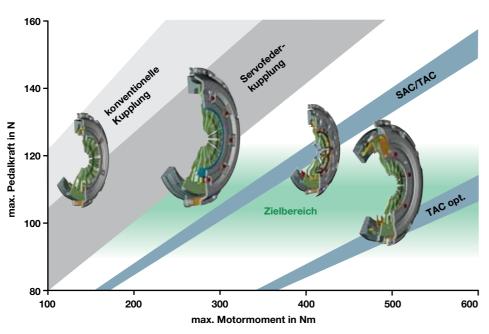


Bild 1 Auszug aus dem Produktportfolio der Kupplungsdruckplattentypen

Komfort

Neben dem Komfort beim Betätigen des Kupplungspedals müssen in der Kupplungsentwicklung weitere Kriterien beachtet werden. Dazu zählen Vibrationen, Geräusche, Schaltkräfte beim Einlegen des Gangs sowie das Ertragen extremer Belastungen. Einen mindestens ebenso hohen Stellenwert nimmt die Umweltverträglichkeit ein. Zu den jüngeren Entwicklungen zählen ein geeignetes Start-Stopp-System sowie Kupplungen für hybride oder elektrische Antriebsstränge. Über die klassischen Bereiche hinaus bietet Schaeffler nun auch Neuerungen im Bereich der Motorradkupplungen an.

Betätigungskomfort

Die aktuellen Bemühungen der Automobilhersteller, durch Downsizing, Downspeeding, höhere Ladedrücke und reibungsoptimierte Getriebe die CO_2 -Emissionen zu reduzieren, erfordern ein Kupplungssystem, das noch robuster gegenüber axialen Anregungen der Kurbelwelle ist. Neben der erforderlichen Stabilität der Pedalkraftkennlinie rücken damit Themen wie Pedalvibrationen, Rupfen und Anfahrrattern immer weiter in den Vordergrund.

Durch die Entwicklung einer Kupplung mit weggesteuerter Verschleißnachstellung (Travel Adjusted Clutch, nachfolgend TAC abgekürzt) [1] als Alternative zur bewährten Kupplung mit kraftgesteuerter Verschleißnachstellung (Self Adjusting Clutch, nachfolgend SAC abgekürzt) kann neben der notwendigen Reaktion auf veränderte Fahrzeugbedingungen auch der Wunsch bedient werden, trotz höherer Drehmomente der Motoren geringere Pedalkräfte zu realisieren.

Die TAC bietet eine freiere Auswahl hinsichtlich der Kennliniencharakteristik und

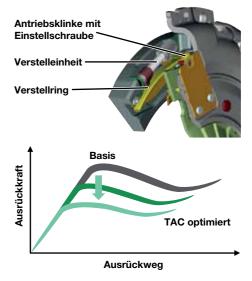


Bild 2 Kupplung mit weggesteuerter
Verschleißnachstellung und deren
Optimierungspotenzial

eine sehr hohe Kennlinienstabilität. Durch die Robustheit gegen axiale Anregungen ermöglicht die TAC zudem, die vorgehaltene Übertragungssicherheit der Kupplung abzusenken, so dass bei gleichem maximalem Drehmoment eine geringere Anpresskraft und somit auch geringere Ausrückund Pedalkräfte erforderlich sind.

Aufgrund der hohen Nachstellgenauigkeit der TAC bietet sich darüber hinaus die Möglichkeit, zum Beispiel mit gezielten Kennlinienoptimierungen im Zusammenspiel des Gesamtsystems mit der Pedalanlage oder durch Einsatz zusätzlicher Elemente die erforderliche Betätigungskraft um bis zu 40 % zu reduzieren (Bild 2).

Aufgrund des verwendeten Nachstellsystems bleiben die Zungenhöhe und damit auch der Arbeitsbereich der Kupplung konstant. Dadurch ist die TAC ein idealer Partner für die Kombination mit einem deckelfesten Zentralausrücker (nachfolgend DFA abgekürzt) [2]. Im Zusammenspiel dieser

beiden Komponenten lässt sich das Geräusch- und Vibrationsverhalten (NVH) deutlich verbessern. Der DFA beseitigt die Pedalvibration und das Anfahrrattern. da sich das Gesamtpaket von Kupplung und Ausrücker nicht länger getriebefest abstützt, sondern frei in der Getriebeglocke schwingen kann, so dass die Axialschwingungen des Motors und des

Adapter

CSC

Standarddesign integrierter DFA

Bild 3 Kupplung mit weggesteuerter Verschleißnachstellung und deckelfestem Zentralausrücker

Kupplungsgesamtsystems nicht in eine Modulation der Kupplung umgesetzt werden.

Die Ausführung des DFA als einfach zu adaptierendes Zusatzelement hat den Charme, dass in der Entwicklungsphase zunächst mit einer TAC in Kombination mit einem konventionellen Ausrücksystem begonnen werden kann. Sollte sich dann wie es oftmals geschieht - kurz vor SOP herausstellen, dass unerwünschte Geräusche beseitigt werden müssen, kann die TAC mit geringeren Anpassungen auf den DFA umgestellt werden. So entsteht eine ganz neue Dimension der Flexibilität. Dies umso mehr, da die Ausführung des DFA als Zusatzelement modular aufgebaut ist. Dadurch kann der DFA auch für andere Kupplungsgrößen der TAC eingesetzt werden (Bild 3).

Um den Betätigungskomfort zu steigern, kann alternativ auch eine Servofederkupplung eingesetzt werden. Diese Entwicklung schließt die Lücke zwischen konventionellen und selbstnachstellenden Systemen. Normalerweise erhöht sich die Ausrückkraft einer konventionellen Kupplung aufgrund der Tellerfedercharakteristik mit zunehmendem Belagverschleiß. Dem wirkt die Servofederkupplung mittels einer

zusätzlichen Servofeder entgegen. Sie überlagert die Kennlinie der Haupttellerfeder so, dass zwischen Neuzustand und Verschleiß ein geringerer Kraftunterschied als herkömmlich entsteht.

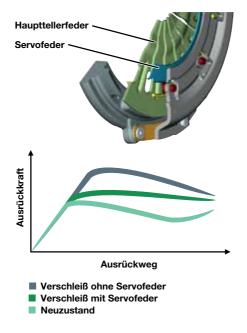


Bild 4 Kupplung mit Servofederunterstützung

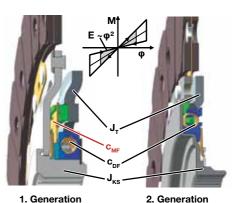
Dadurch wird das maximale Ausrückkraftniveau im Vergleich zu einem konventionellen System ohne Zusatzfeder reduziert und die erforderliche maximale Pedalkraft über die gesamte Lebensdauer um bis zu 20 % verringert (Bild 4). Servofederkupplungen eignen sich besonders für Anwendungen, bei denen eine konventionelle Kupplung die Ansprüche an den Komfort nicht mehr vollends erfüllen kann, eine selbstnachstellende Kupplung jedoch schon über die gewünschten Anforderungen hinausreicht.

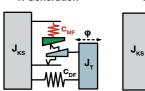
Anfahrkomfort

Um den Anfahrkomfort zu verbessern, ist seit 2011 in verschiedenen Pkw-Antriebssträngen ein in die Kupplungsscheibe integrierter Rupftilger im Serieneinsatz. Kennzeichnend für dieses Produkt ist neben der richtigen Abstimmung auf die Eigenfrequenz die zum Verdrehwinkel proportionale Reibung zwischen Tilgermasse und zu betilgender Masse. Dadurch wird die quadratisch mit der Getriebedrehzahlschwankung zunehmende Schwingungsenergie optimal gedämpft [3].

In den heutigen Serienausführungen stellen tangential wirkende Druckfedern die Torsionssteifigkeit des Rupftilgers dar. Ein Rampenmechanismus zwischen der Tilgermasse und einem Reibelement erzeugt die zum Verdrehwinkel proportionale Reibung. Die Kraft einer separaten Membranfeder bewirkt im Kontakt der Rampen und der axialen Abstützung der Tilgermasse das verdrehwinkelproportionale Reibmoment.

Alternativ zu diesem Aufbau ist es auch möglich, die vorhandenen tangential wirkenden Druckfedern direkt für die Erzeugung des verdrehwinkelproportionalen Reibmoments zu nutzen. Bei einem solchen Rupftilger der zweiten Generation entfällt somit die Membranfeder. So werden bei





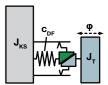


Bild 5 Rupftilger der ersten Generation (links) und der zweiten Generation (rechts)

gleicher Funktion weniger Teile und ein geringerer Einbauraum benötigt. Um dies zu ermöglichen, wird der bislang parallel zu den Druckfedern angeordnete Rampenmechanismus in Reihe zu diesen geschaltet. Beim Auslenken der Tilgermasse gegenüber der Kupplungsscheibe - mit entsprechender Einfederung der in Umfangsrichtung wirkenden Druckfedern - erzeugt deren Kraft über einen keilförmigen Kontakt eine Axialkraft, deren Höhe vom Keilwinkel abhängt. Diese Axialkraft bewirkt in den Kontakten der axialen Abstützungen ein Reibmoment, das sich proportional zum Torsionsmoment verhält und sich abhängig von der Bewegungsrichtung zu diesem addiert oder von diesem subtrahiert. Bild 5 zeigt Rupftilger der ersten und der zweiten Generation im Vergleich.

Schwingungsisolation

Störende Geräusche zählen zu den häufigsten Reklamationsgründen bei neuen Fahrzeugen. Oft ist es schwierig, diese Geräusche zu lokalisieren, weil sie vielerlei Ursachen haben können. Im Bereich des Antriebsstrangs kann es beispielsweise durch Drehungleichförmigkeiten des Verbrennungsmotors zur Anregung von Torsionsschwingungen kommen. Vor allem bei Resonanzdurchgängen und niedrigen Motordrehzahlen werden diese Schwingungen als störende Geräusche wahrgenommen.

Torsionsdämpfer in Kupplungsscheiben in Kombination mit starrem Schwungrad reduzieren durch ihre Reibungsdämpfung die Schwingungsamplituden in der Resonanz, ermöglichen jedoch wegen dieser nur bedingte Schwingungsisolation in anderen Drehzahlbereichen.

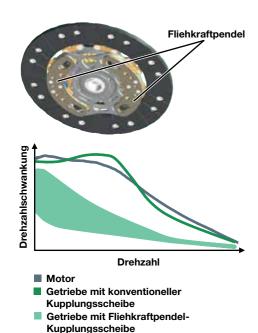


Bild 6 Kupplungsscheibe mit Fliehkraftpendel

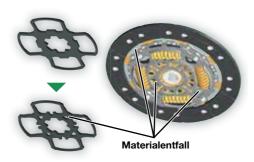
Ein neuer Ansatz besteht in der konsequenten Optimierung des Fliehkraftpendelprinzips für die Anwendung auf der torsionsgedämpften Kupplungsscheibe (Bild 6). Simulationen und Fahrzeugerprobungen zeigen, dass über einen weiten Drehzahlbereich Schwingungsisolation erreicht werden kann. Anstelle der Wärmeerzeugung durch Reibungsdämpfung reduzieren die phasenrichtig wirkenden Massenkräfte des Fliehkraftpendels die Drehzahlschwankungen effektiver und energetisch günstiger.

Weitere Details zu dieser Innovation werden in [4] erläutert.

Schaltkomfort

Der Betätigungskomfort beim Schalten ist ein bedeutendes Qualitätsmerkmal moderner Schaltgetriebe. Dabei stehen die Entwickler regelmäßig vor dem Zielkonflikt, dass Zusatzelemente wie Fliehkraftpendel oder Rupftilger zwar den NVH-Komfort verbessern, gleichzeitig aber auch das zu synchronisierende Massenträgheitsmoment erhöhen. Höhere Belastungen der Getriebesynchronisierungen, größere Schaltkräfte und längere Schaltzeiten wären die Folge. Daher ist eine konsequente Optimierung aller Bauteile der Kupplungsscheibe mit dem Ziel eines möglichst geringen Massenträgheitsmoments erforderlich.

Als Ansatzpunkt dafür dienen in erster Linie konstruktive Optimierungen. Bislang erfolgt die Gestaltung der Blechteile von Kupplungsscheiben hauptsächlich nach funktionsbestimmenden Gesichtspunkten. Bereiche mit schlechter Materialausnutzung, die noch Potenzial zur Massenreduzierung bieten, sind deshalb durchaus zu finden. Mit Hilfe der Finite Element-Analyse können diese Bauteile nach Aspekten der Bionik derart optimiert werden, dass keine Materialbereiche mehr



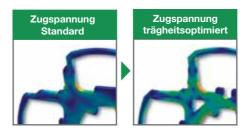


Bild 7 Kupplungsscheibe mit reduziertem Massenträgheitsmoment

vorliegen, die nicht zur Funktion beitragen oder nur sehr gering belastet sind (Bild 7). Eine weitere Reduzierung des Massenträgheitsmoments ermöglicht ein Belagfederungssystem mit Einzelsegmenten aus dünnem Federstahl. Die allein dadurch schon dünner ausführbaren Beläge können im Rahmen der tatsächlich benötigten Verschleißreserve beziehungsweise der erforderlichen Festigkeit weiter optimiert werden. Darüber hinaus sind Maßnahmen an Fliehkraftpendel oder Rupftilger selbst möglich.

Die Summe aller dieser Optimierungen ermöglicht es, das Massenträgheitsmoment einer Kupplungsscheibe mit Fliehkraftpendel oder Rupftilger auf dem Niveau heutiger Kupplungsscheiben zu halten. Ohne diese zusätzlichen Dämpfungselemente ist sogar eine Reduzierung unter das heutige Niveau darstellbar (Bild 8).

Ertragen extremer Belastungen

Bei Fahrten auf Gebirgspässen lässt sich beobachten und manchmal auch riechen, dass Extremsituationen wie zum Beispiel wiederholte Anfahrten mit Anhängelast an Steigungen oder Fehlbedienung zu kritischem Aufheizen der Kupplung führen können. Die dadurch hervorgerufenen thermischen Verformungen von Schwungrad und Anpressplatte setzen den effektiven Reibradius herab und sorgen für lokale Temperaturspitzen.

Es versteht sich von selbst, dass die Kupplung einer bestimmten Anzahl dieser Extremsituationen standhalten muss, bevor es durch einen zu starken Reibwertabfall (Fading) zum Durchrutschen und Zersetzen des Reibbelags kommt. Eine bessere thermische Robustheit kann mit Systemen erzielt werden, die den Reibradius und den Reibwert unter den genannten Bedingungen möglichst lange konstant halten. Dazu wurde eine Belagfederung mit hohem Ausgleichsvermögen entwickelt.

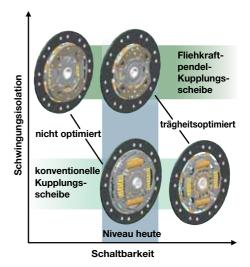
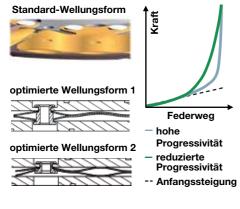


Bild 8 Potenziale zur Massenreduzierung an Kupplungsscheiben



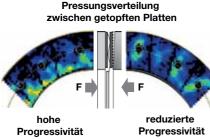


Bild 9 Belagfederung mit hohem Ausgleichsvermögen

Die zunehmende Empfindlichkeit von Fahrzeugen gegenüber Momentschwankungen aus der schlupfenden Kupplung (Rupfen) erfordert eine Belagfederungskennlinie mit geringer Anfangssteigung. Dazu werden bislang Federelemente aus möglichst dünnem Federstahl eingesetzt. Diese sind bereits bei Kräften unterhalb der maximalen Anpresskraft komplett flach gedrückt und haben in diesem Bereich eine hohe Progressivität, also so gut wie keinen Federweg mehr. Dadurch können sie bei thermischen Verformungen von Schwungrad und Anpressplatte kaum noch ausgleichend wirken. Messungen der Pressungsverteilung bei Belastung mit verformter Anpressplatte verdeutlichen dies.

Die Entwicklung spezifischer Wellungsformen für die dünnen Belagfederelemente löst den Zielkonflikt zwischen notwendiger geringer Anfangssteigung und möglichst hohem Ausgleichsvermögen. Die Wellungsformen sind derart ausgeführt, dass ab einem bestimmten Federweg zusätzliche Wellungen mit deutlich höherem Energieinhalt aktiviert werden, so dass sich die Kräfte der nun gemeinsam wirkenden Wellungen addieren. Dies erzeugt für den Bereich bis zur maximalen Anpresskraft eine Kennlinie mit deutlich geringerer Progressivität und ein höheres Ausgleichsvermögen. Dies lässt sich in Messungen der Pressungsverteilung bei Belastung mit verformter Anpressplatte erkennen: Der Reibradius bleibt nahezu konstant. Ergebnisse realer Berganfahrtests bestätigen das Potenzial dieses Konzepts.

Ohne zusätzlichen Platzbedarf oder erhöhtes Massenträgheitsmoment verbessern die Belagfederelemente mit hohem Ausgleichsvermögen die thermische Robustheit und Übertragungssicherheit der Kupplung (Bild 9).

Zur Erhöhung der Belastbarkeit und des Anfahrkomforts in den beschriebenen Anfahrsituationen entwickelt Schaeffler derzeit auch neue, organisch gebundene Reibmaterialien für gewickelte Beläge. Das Entwicklungsziel für diese sogenannten Constant-u-Beläge besteht weniger in einem möglichst hohen, sondern vielmehr in einem möglichst konstanten Reibwert (Bild 10).

Hintergrund ist die Überlegung, dass eine geringere Reibwertveränderung des Belags

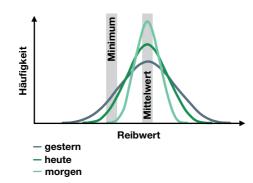


Bild 10 Constant-µ-Belag

über alle Betriebsbedingungen hinweg bei einem unveränderten Mittelwert einen höheren Mindestreibwert bedeutet. Dies erhöht zum einen die Übertragungssicherheit, erlaubt gleichzeitig aber auch niedrigere Anpresskräfte. Bei einer gegebenen Kupplungsabmessung und gleicher Übertragungssicherheit lassen sich so niedrigere Ausrückkräfte realisieren. Alternativ ist auch die Auslegung einer kleineren Kupplung denkbar.

Darüber hinaus begrenzt ein geringerer Maximalreibwert das maximal übertragbare Moment und setzt damit Belastungsspitzen im Antriebsstrang bei hohen dynamischen Momenten herab. Und für automatisierte Kupplungssysteme erleichtert ein konstanterer Reibwert die Regelbarkeit hinsichtlich des Momentaufbaus über den Ein- beziehungsweise Ausrückweg.

Umweltverträglichkeit

Im aktuellen Umfeld ist für die Fahrzeughersteller jede Möglichkeit zur CO₂-Einsparung von hoher Bedeutung. Im Bereich der Kupplung kann vor allem durch die Reduzierung von Massen und Massenträgheiten zu diesem übergeordneten Entwicklungsziel beigetragen werden.

So gibt es Anwendungen, bei denen eine Reduzierung der Anpressplattenmasse denkbar wäre. Limitierender Faktor dabei sind jedoch die bislang eingesetzten Gusswerkstoffe. Um Kriterien wie Berstfestigkeit, thermische Robustheit und nicht zuletzt die Herstellbarkeit sicherzustellen, kann die Anpressplattenmasse oftmals nicht auf das theoretisch mögliche Minimum reduziert werden.

Eine leichte Verschiebung dieser Grenzen ist mit dem Einsatz höherwertiger Gusswerkstoffe möglich. Ein noch größeres Potenzial bietet der Einsatz von Anpressplatten, die aus Walzstahl geformt werden. Mit dem Einsatz solcher Stahlanpressplatten ergeben sich neue Möglichkeiten in der Auslegung, da aufgrund geringerer Toleranzen, dünnerer



aus Guss



Anpressplatte

Anpressplatte aus umgeformten Blech



Massenträgheit Berstfestigkeit Masse

mit Anpressplatte aus Guss mit Anpressplatte aus Blech

Bild 11 Anpressplatte aus umgeformtem Blech im Vergleich zur Gussausführung

Querschnitte sowie einer höheren Robustheit der Bauraum effizienter genutzt werden und gleichzeitig die Masse und die Massenträgheit reduziert werden können (Bild 11).

Komfort beim Motorstart

Die zunehmende Ausstattung von Neufahrzeugen mit Start-Stopp-Systemen erfordert von der Kupplungsentwicklung Lösungen, die zu einem möglichst kurzen Wiederstart des Motors beitragen. Dazu wurde bereits beim letzten Schaeffler-Kolloquium das Konzept eines Klemmkörperfreilaufs für einen permanent eingespurten Starter (nachfolgend PES abgekürzt) vorgestellt [5]. Vorteil dieses Konzepts ist, dass das Einspuren des Starterritzels entfällt. Dies ermöglicht ein schnelleres, geräusch- und verschleißärmeres Starten des Verbrennungsmotors sowohl aus dem Stillstand als auch bei auslaufendem Motor. Das konzeptimmanente fliehkraftgesteuerte Abheben der Klemmkörper nach Motorstart bedeutet im gesamten Betriebsbereich Reibungsfreiheit. Dadurch kommen die CO₂-Potenziale eines Start-Stopp-Systems voll zur Geltung.

Mittlerweile wurde die Wirkung anhand von Fahrzeugdemonstratoren untersucht und das System weiterentwickelt: Durch eine optimierte Wirkrichtung der das Abheben steuernden Feder konnte die während des Gleitvorgangs bei Freilaufüberholung wirkende Kontaktkraft reduziert werden. Darüber hinaus wurden das nutzbare Verschleißvolumen der Klemmkörper erhöht und die Verschleißeigenschaften der Reibpartner verbessert. Die Summe dieser Maßnahmen ermöglicht rund eine Million Starts. Dies wurde an einem realen Verbrennungsmotor (2,0-I-Diesel) verifiziert. Auch der positive Effekt des Konzepts auf den Verschleiß des Anlasserzahnkranzes hat sich bestätigt. Bei entsprechendem Bedarf der Fahrzeughersteller ist der Einsatz des PES sowohl in Start-Stopp-Systemen als auch in Wiederstart-Systemen von Hybridanwendungen denkbar (Bild 12).

Elektrifizierung

Im Zuge der Elektrifizierung des Antriebsstrangs wird derzeit an einer elektrisch schaltbaren Kupplung entwickelt. Ein Ziel dabei lautet, die Betätigungsenergie so gering wie möglich zu halten. Die grundsätzliche Funktionsweise dieser sogenannten Electrical Integrated Actuator Clutch (eIAC) basiert auf dem Boosterprinzip [1] mit einer Aufteilung in Vorsteuer- und Hauptkupplung (Bild 13).

Bei Boosterkupplungen wird die Anpresskraft durch ein geringes Vorsteuermoment, das durch ein Kugelrampensystem in eine axiale Kraft übersetzt wird, erzeugt. Dabei kann das Vorsteuerelement durch eine kleine konventionelle Kupplung oder elektrisch erzeugt werden; beispielsweise durch eine Magnetkupplung oder eine Wirbelstrombremse. Die erforderliche Energie zum Schließen der Kupplung kann dem Antriebsstrang entnommen werden.

Die elAC soll in Zukunft bei Fahrzeugen mit Hybridantrieb zum Einsatz kommen.

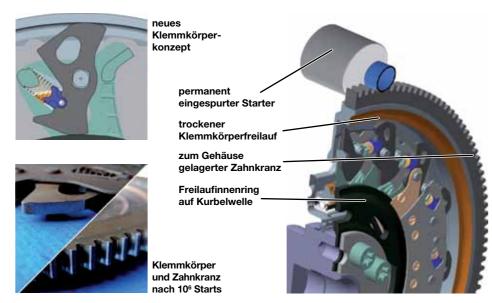


Bild 12 Freilauf für permanent eingespurten Starter (PES)

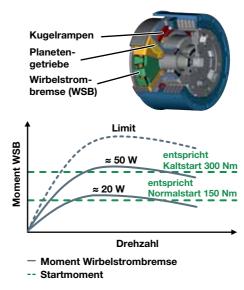


Bild 13 Zuschaltkupplung mit elektrischer Ansteuerung

Dabei dient die Kupplung, die im Inneren eines ringförmigen Elektromotors sitzt, dazu, den Verbrennungsmotor bei Bedarf mit dem Antriebsstrang zu verbinden.

Im elektrischen Fahrbetrieb soll die eIAC den Verbrennungsmotor möglichst verlustfrei vom Antriebsstrang trennen. Um dies zu gewährleisten, ist sie als "normally open" ausgelegt.

Für einen Start des Verbrennungsmotors über die E-Maschine kann die elAC in kürzester Zeit über eine Wirbelstrombremse aktiv geschlossen werden. Da die Wirbelstrombremse verschleißfrei arbeitet, kann das übertragbare Moment für die gesamte Lebensdauer der Kupplung exakt und reproduzierbar geregelt werden.

Um bei laufendem Verbrennungsmotor dessen Moment energiefrei in den Antriebsstrang zu übertragen, wird ein Freilauf als Vorsteuerelement genutzt. Ein Teil des Moments vom Verbrennungsmotor wird über den Freilauf zum Schließen der Kupplung genutzt.

Zu den Vorteilen der Electrical Integrated Actuator Clutch zählt eine exakte Regelung von Schubmomenten mit einer kurzen Reaktionszeit durch den Einsatz der Wirbelstrombremse. Dies kann über die gesamte Lebensdauer gewährleistet werden, da die Wirbelstrombremse verschleißfrei arbeitet. Zudem wird für den elektrischen Fahrzustand und den Betrieb mit Verbrenner keine Energie zur Betätigung der Kupplung benötigt, wodurch die Bedingungen einer "normally stay"-Kupplung erreicht werden.

Durch die Wahl geeigneter Vorsteuerelemente kann die elAC auch bei anderen Anwendungsgebieten zum Einsatz kommen, dazu zählen

- die Zuschaltung eines alternativen Antriehs
- die Zuschaltung einer weiteren Antriebsachse.
- die Antriebskraft-Verteilung (Torque Vectoring) sowie
- die Zu-/Abschaltung zusätzlicher Aggregate.

Motorradkupplungen

Allein in Deutschland sind derzeit knapp vier Millionen Krafträder zugelassen. Jährliche Neuzulassungszahlen im unteren sechsstelligen Bereich zeugen von der ungebrochenen Attraktivität dieser Form der individuellen Mobilität. Dies gilt auch für viele andere regionale Märkte, wobei es durchaus Unterschiede in den Anforderungen an die Krafträder gibt.

So wird hierzulande von einem Motorrad ein ähnlich hoher Komfort wie beim Pkw erwartet. Auch die technischen Trends unterscheiden sich nur wenig vom Automobil. Eine stetige Zunahme der Leistungsdichte, die kontinuierliche Auseinandersetzung mit dem Thema Masse und nicht zuletzt das Bestreben, die teilweise inakzeptabel hohen Betätigungskräfte zu reduzieren, stehen dafür als Beispiel. Anders stellt sich die Situati-

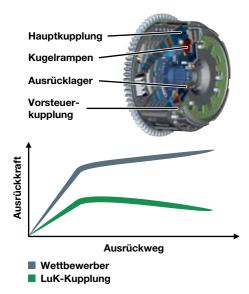


Bild 14 Motorradkupplung zur Steigerung des Betätigungskomforts

on zum Beispiel in den südostasiatischen Regionen dar. Dort handelt es sich bei Motorrädern um weithin übliche Verkehrsmittel, von denen vor allem eine gute Alltagstauglichkeit erwartet wird. Vor diesem Hintergrund gestaltet sich die Entwicklung von Motorradkupplungen fast ähnlich vielseitig wie beim Pkw. Mit geeigneten technischen Lösungen bietet sich jedoch die Chance zum Einstieg in ein neues technisches Umfeld.

Um die notwendigen Betätigungskräfte einer Motorradkupplung deutlich reduzieren zu können, bietet sich zum Beispiel eine Übertragung der Prinzipien der elektrisch ansteuerbaren Zuschaltkupplung in eine Mehrscheiben-Kupplung an. Ein modularer Aufbau im Sinne eines Baukastensystems ermöglicht eine schnelle Anpassung und den Einsatz in verschiedenen Motorvarianten (Bild 14).

Aufgrund des Aufbaukonzepts in der Kupplung kann zusätzlich eine Funktion realisiert werden, die das Motorbremsmoment im Schubbetrieb nur noch im begrenzten Maß an das Hinterrad weiterleitet. Mit dieser als "Anti-Hopping" bezeichneten Funktion wird die Fahrsicherheit deutlich erhöht, da das mit dem englischen Wort "Hopping" beschriebene Hüpfen oder auch Stempeln des Hinterrads, was unweigerlich zum vollständigen Verlust der Haftung führt, verhindert werden kann. Entscheidend ist hierbei, dass die Motorbremswirkung begrenzt wird, die bei einem aufgrund der dynamischen Radlastverteilung entlasteten Hinterrad beim harten Abbremsen und gleichzeitigem schnellen Herunterschalten zum Blockieren führen kann.

Ein anderer Entwicklungsansatz liegt in der Vereinfachung der Verstärkungsfunktion in einer Mehrscheiben-Kupplung, mit der sich die notwendigen Betätigungskräfte deutlich reduzieren lassen. Derzeit sind im Markt bereits Kupplungen verfügbar, die eine solche Kraftverstärkung über Gleitrampen realisieren. Die Probleme dieser Bauform zeigen sich in der Funktionsweise, da die Reibwertänderungen (Haft-, Gleitreibung) in Kombination mit den Gleitrampen zu Schwankungen in dem übertragbaren Moment führen.

Eine Neuentwicklung von Schaeffler umgeht solche reibwertabhängigen Effekte, in-

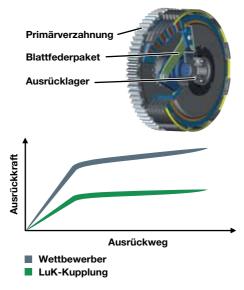


Bild 15 Bedienkraftreduzierung mittels Verstärkungsfunktion

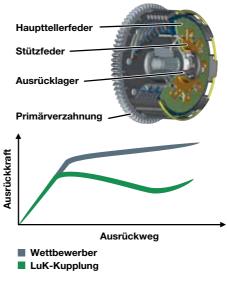


Bild 16 Konzept einer Motorradkupplung für den asiatisch-pazifischen Raum

dem das Moment, das sich durch die anliegende Anpresskraft am Innenkorb ergibt, über Blattfedern an die Innennabe übertragen wird. Da diese Blattfedern einen Aufstellwinkel besitzen, wird wie bei einem Kniehebel je nach Winkel quasi reibungsfrei eine Kraftverstärkung oder -reduzierung erzeugt. Zusätzlich zentrieren die Blattfedern den Innenkorb und erzeugen die Anpresskraft.

Das Konzept ist bewusst einfach aufgebaut, erfordert einen vergleichsweise geringen Bauraum und kann durch den modularen Aufbau schnell an verschiedene Motorvarianten angepasst werden. Auch die Integration einer "Anti-Hopping"-Funktion ist möglich (Bild 15).

In eine andere Richtung geht die Entwicklung einer Motorradkupplung für den asiatisch-pazifischen Raum, die konsequent auf Funktions- und Kostenoptimierung durch den Einsatz der Fertigungskompetenzen im Schaeffler-Konzern rund um die Stanz- und Umformtechnik ausgelegt ist. Durch die Verwendung einer Tellerfeder anstelle von Druckfedern als Kraftspeicher kann die Ausrückkraft und Haltekraft im Neuzustand ge-

senkt werden. Gleichzeitig verbessert sich dadurch die Fliehkraftstabilität.

Außerdem ist in der Kupplung ein zusätzlicher Zwangsabhub zwischen den Lamellen integriert. Dieser Zwangsabhub sorgt für ein gleichmäßiges Lüften der Lamellen und somit für geringe Schleppmomente. Ihr modularer Aufbau macht die Kupplung universell einsetzbar, insbesondere, weil der Aufbau zu Gewichts- und Bauraumvorteilen führt (Bild 16).

Ausblick

Trotz ihrer über 100-jährigen Entwicklungsgeschichte bietet die Kupplung noch immer ein vielfältiges Potenzial für Weiterentwicklungen. Das breit aufgestellte Portfolio von Schaeffler rund um die Kupplungstechnik bietet Lösungen für vielerlei Aufgabenstellungen in der Automobil- und Motorradentwicklung. Auch künftige Innovationen werden sich an Kriterien wie Komfort, CO₂, Effizienz und Kundennutzen orientieren.

Literaturverzeichnis

- Freitag, J.; Gerhardt, F.; Hausner, M.; Wittmann, C.: Das Kupplungssystem der Zukunft.
 Schaeffler Kolloquium, 2010
- [2] Welter, R.; Wittmann, C.; Hausner, M.; Kern, A.; Ortmann, S.: Deckelfester Zentralausrücker für Kupplungen. VDI-Bericht, 2013, Nr. 2206, S. 67-79
- [3] Hausner, M.; Häßler, M.: Kupplungsscheibe mit Frequenztilger gegen Rupfschwingungen. ATZ 114, 2012, Nr. 1, S. 64-69
- [4] Kooy, A.: Isolation in the drive train. 10. Schaeffler Kolloquium, 2014
- [5] Zink, M.; Hausner, M.: LuK-Kupplungssysteme und Torsionsdämpfer. 9. Schaeffler Kolloquium, 2010