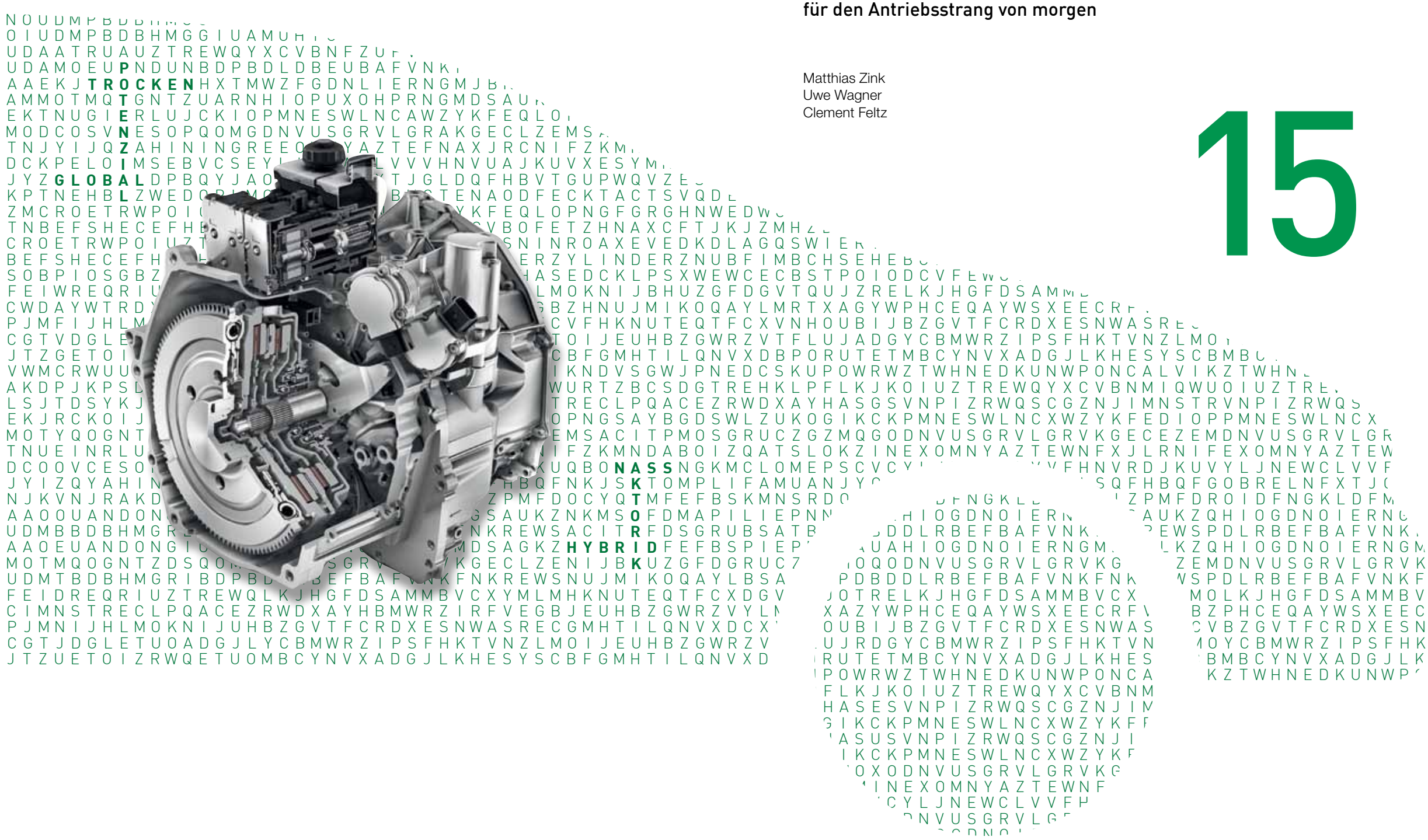

Doppelkupplungssysteme

Modular und höchst effizient für den Antriebsstrang von morgen

Matthias Zink
Uwe Wagner
Clement Feltz

15

Einleitung

Neben den etablierten Automatikgetrieben Stufenautomat (AT) und CVT haben vor allem die Doppelkupplungsgetriebe (DCT) in den zurückliegenden Jahren eine beachtliche Marktdurchdringung erreicht (Bild 1).

Insbesondere die Märkte Europa und China verzeichnen erhebliche Zuwächse, und heutigen Prognosen zufolge wird in 10 Jahren jedes fünfte Automatikgetriebe ein Doppelkupplungsgetriebe sein.

An ein Automatikgetriebe aktueller Definition werden folgende grundlegende Anforderungen gestellt:

- Maximaler Komfort durch Lastschaltfähigkeit kombiniert mit einem dynamischen Fahrerlebnis
- Ideale Spreizung und bestmöglicher Wirkungsgrad bei allen Betriebsarten
- Aktorik mit minimalen Verlusten und möglichst ohne Zusatzaufwand bei stehendem Verbrennungsmotor zu betätigen
- Hybridfunktion möglichst einfach und flexibel darzustellen

Ein Doppelkupplungsgetriebe, das alle diese Anforderungen inklusive einer integrierten Hybridfunktion erfüllt, wurde Ende 2013 unter dem Namen „i-DCD“ in Japan in Serie eingeführt. Bild 2 zeigt dieses Getriebe und die nasse Variante für die Anwendung „SH-AWD“ sowie den Schaeffler Lieferumfang – modular und höchst effizient!

Neben hocheffizienten, hydrostatisch (mit Concentric Slave Cylinder, CSC) betätigten Doppelkupplungen kommt in diesen Anwendungen ein neu entwickelter Aktor (Hydrostatischer Kupplungsaktor, HCA) mit integriertem Steuergerät sowie die Gangaktorik mit „Active Interlock“-Konzept zum Einsatz; mit „Power on Demand“-Aktorelementen dieser Bauart kann die Leistungsaufnahme der Getriebe- und Kupplungsbetätigung im NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus) auf Werte unter 20 W reduziert werden.

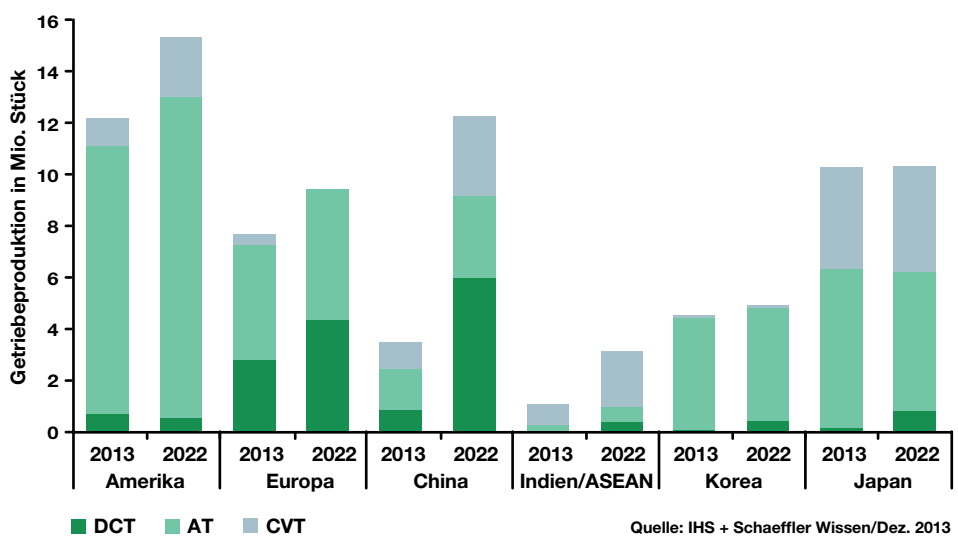

Bild 1 Produktionsvolumen verschiedener Automatikgetriebe (pro Region)

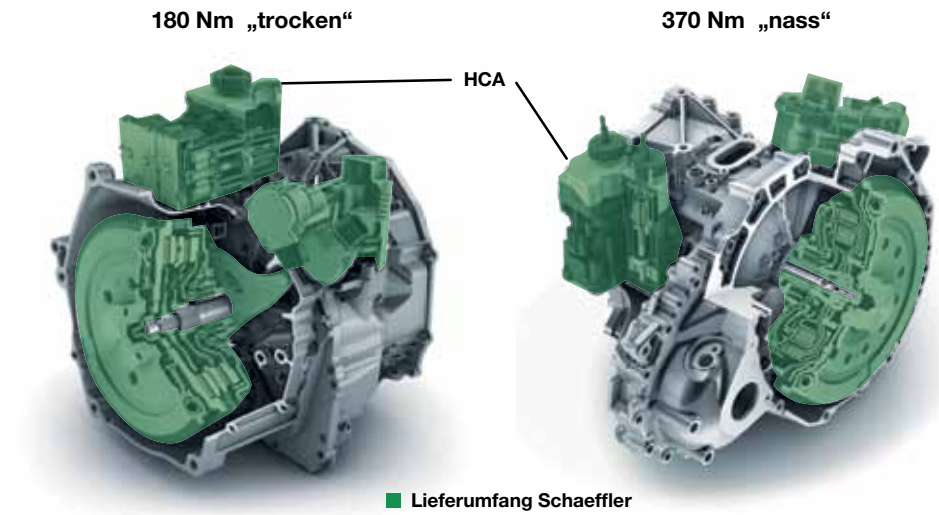

Bild 2 Trockenes Doppelkupplungsgetriebe „i-DCD“, nasse Variante für „SH-AWD“

Die Doppelkupplung: „trocken oder nass“ oder „trocken und nass“?

Nach wie vor kommt dem Doppelkupplungssystem in Bezug auf den Komfort beim Anfahren und Schalten entscheidende Bedeutung zu – und speziell beim Anfahren existiert hinsichtlich NVH, Komfort und Dynamik mit dem Drehmomentwandler ein starker, etablierter und sehr wachsamer Wettbewerber. Insbesondere die neue hochinnovative Bauart des Wandlers iTC [1] wird hier die Doppelkupplungssysteme in allen Disziplinen neu herausfordern.

Bereits 2006 wurde der Frage „trocken oder nass?“ im Rahmen des LuK Kolloquiums ein Kapitel gewidmet. Nach einer Vielzahl von realisierten Serienprojekten (Bild 3) zeigt sich, dass die Festlegung der Kupplungstechnologie in den jeweiligen Anwendungen dem seinerzeit beschriebenen technischen Rational der spezifischen Kupplungsbelastung folgt.

Hinsichtlich Effizienz ist die trockene Doppelkupplung nach wie vor die erste Wahl, wo immer es die Momentenkapazität zulässt. In Kombination mit elektromechanischer Aktorik bildet sie eine Systemlösung, die bezüglich des Wirkungsgrads Benchmark ist. Außerdem stellt diese Version der Doppelkupplung auch an die Getriebeperipherie die geringsten Anforderungen, da keine zusätzliche Ölkühlung für die Kupplung vorgesehen werden muss. So ist sie einfacher und tendenziell auch kostengünstiger zu realisieren.

Allerdings weist diese Kupplungsvariante auch spezielle Herausforderungen auf. So bedingt die Kühlung durch Konvektion an Luft eine Zwischenspeicherung der Reibwärme in den Anpressplatten, was Gewicht und Massenträgheit erhöht. Darüber hinaus ist die Steuerbarkeit bei trockenen Kupplungen tendenziell kritischer als bei nassen Systemen. Sie gestaltet sich speziell bei Kupplungen mit Verschleißnachstellung durch die aufwändigere Mechanik des inneren Aufbaus, aber auch generell durch die größere Reibwertvarianz der trockenen Beläge schwieriger. Das trockene Reibsystem muss über die komplette Lebensdauer der Kupplung voll funktionsfähig sein, ein

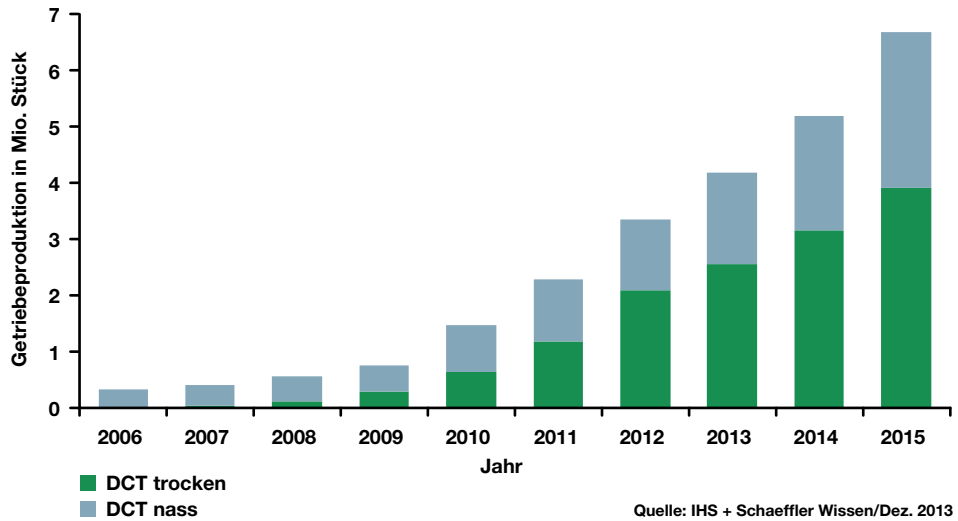

Bild 3 Produktionsvolumen verschiedener Doppelkupplungsgetriebe

Wechsel des Öls – und damit das Hinzufügen von frischen Additiven wie bei einer nassen Kupplung – ist bei der trockenen Kupplung nicht notwendig bzw. nicht möglich.

Vorrangige Entwicklungsziele liegen sowohl in der Reduktion der Massenträgheit als auch insbesondere in der Steuerbarkeit und damit dem Komfortverhalten der trockenen Doppelkupplung für den Anfahr- und Schaltvorgang. Die Reduzierung der inneren Reibung und die Kompensation geometrischer Drehschwingungsanregungen durch einen neuen konstruktiven Aufbau mit Direktbetätigung (MDD), die Optimierung der Genauigkeit der Einzelteile und neue Reibbeläge mit erheblich verbesserter Dämpfung bis hin zu Aktoren mit speziellen Regelalgorithmen zur Ausregelung von Rupf-Phänomenen (Anti-Rupf-Regler) werden ebenfalls das Komfortverhalten deutlich verbessern. Ausführlich dargestellt werden diese Maßnahmen in [2].

Für Anwendungen mit höherer spezifischer Kupplungsbelastung werden in der Regel nasse Doppelkupplungssysteme eingesetzt, da diese ölgekühlte Version gegenüber der trockenen Konkurrenz den Vorteil der höheren Kühlkapazität aufweist. Bei heutigen Anwendungen liegt dieser Übergang von trocken zu nass bei Antriebsmomenten zwischen 250 und 350 Nm. Außerdem ist die nasse Doppelkupplung auch bezogen auf ihre Übertragungsfähigkeit kleiner und leichter und weist bislang im allgemeinen einen einfacheren mechanischen Aufbau auf, da sie keine Vorrichtung zur Verschleißnachstellung benötigt.

Allerdings können heutige Nasskupplungssysteme den Gewichts- bzw. Massenträgheitsvorteil nicht wirklich nutzen, da sie für die geforderte Drehschwingungsisolation Zusatzmassen im Dämpfersystem benötigen. Außerdem stellt die Ölkühlung, die sich bezüglich der Leistungsfähigkeit positiv auswirkt, inklusive der dafür benötigten Peripherie auch einen nennenswerten konstruktiven und energetischen Zusatzaufwand dar, was negative Effekte auf Gewicht, Kosten und Wirkungsgrad nach sich zieht.

Optimierte nasse Doppelkupplungssysteme sollten daher auf jeden Fall in der Lage sein, die geringere Massenträgheit durch ein entsprechend leistungsfähiges Dämpfersystem auch nutzen zu können. Außerdem sollte auf eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit durch Reduktion der Schleppverluste sowie durch eine hocheffiziente Aktorik geachtet werden.

In Analogie zu den trockenen Doppelkupplungen werden aufgrund weiter steigender NVH-Herausforderungen moderner Antriebsstränge künftige Nasskupplungssysteme auch Konstruktionselemente zur Reduktion von geometrischen Anregungen, optimale Beläge sowie dynamische Aktorsysteme mit der Option „Anti-Rupfregelung“ beinhalten [3].

Aktorik

Die wesentliche Anforderung an die Aktorik für Doppelkupplungsgetriebe aus funktionaler Sicht ist sicherlich die Kombination aus ausreichender Dynamik und Leistungsfähigkeit einerseits und bestmöglichem Wirkungsgrad andererseits. Die Aktoren sollten also nicht nur ein Minimum an Energie zur Betätigung von Kupplung und Getriebe benötigen, sondern sollten zum Beispiel auch in der Lage sein, die oben erwähnte Anti-Rupfregelung zu unterstützen.

Ein modernes Aktorsystem darf daher auf jeden Fall nur dann Leistung abrufen, wenn sie benötigt wird („Power on Demand“). Des Weiteren muss das Aktorsystem auch zu betätigen sein, wenn der Verbrennungsmotor nicht läuft, um Start-Stopp- und Hybrid-Funktionen zu unterstützen. Für diese Betriebszustände muss dann besonders auf die Geräuschentwicklung geachtet werden, da die sonst maskierenden Geräusche des Verbrennungsmotors fehlen. In ihrer konstruktiven Ausführung sollte die Aktorik möglichst wenig Bauraum in Anspruch nehmen. Um die Kosten für unterschiedliche Applikationen zu reduzieren, kann ein modularer Aufbau von Vorteil sein.

Zukunftsweisende Ideen für die Funktionserweiterung solcher modularen Aktorsysteme bei gleichzeitiger Reduktion der Komplexität werden in [4] gezeigt.

Ausblick / Überleitung

Doppelkupplungsgetriebe haben alle Voraussetzungen und echtes Potenzial, die Basisarchitektur für den Antriebsstrang von morgen zu sein. Das seit 2013 in Serie produzierte i-DCD-Getriebe ist ein richtungsweisendes Beispiel eines modularen, hocheffizienten und sogar integrierten hybridisierten DKGs.

Die konsequente Nutzung und Einbeziehung der Hybridelemente in die Auslegung, z. B. für elektrisches Anfahren, wird die Position des Doppelkupplungsgetriebes im Wettbewerb mit den anderen Getriebekonzepten weiter stärken.

Literatur

[1] Lindemann, P.; Steinberger, M.; Krause, T.: iTC – Innovative Wandlerlösungen ebnen den Weg in die Zukunft. 10. Schaeffler Kolloquium, 2014

[2] Kimmig, K.: Höchster Komfort: Die trockene Doppelkupplung stellt sich der Herausforderung. 10. Schaeffler Kolloquium, 2014

[3] Englisch, A.; Götz, A.; Baumgartner, A.; Endler, T.; Lauinger, C.; Steinmetz, S.: Nasse Doppelkupplung: Denken in Systemen, 10. Schaeffler Kolloquium, 2014

[4] Müller, B.; Rathke, G.; Grethel, M.; Man, L.: Getriebeaktorik: Weniger Komplexität, mehr Funktionalität. 10. Schaeffler Kolloquium, 2014