

7

Die Zukunft kommt automatisch

Effiziente Automatikgetriebe als Basis für
hybridisierbare Antriebsstränge

Uwe Wagner
Dierk Reitz

Einleitung

Die zentrale Frage, die Getriebeentwickler heute beschäftigt, ist nicht, ob ein Umbruch in der Antriebstechnik kommen wird, sondern wie schnell und in welcher Form dieser stattfinden wird. Die dafür verantwortlichen Randbedingungen sind hinreichend bekannt und fehlen in kaum einer Veröffentlichung zum Thema Antriebsstrang:

- Zunehmende globale Bedeutung der CO₂-Emissionen aufgrund drohender Klimaveränderungen
- Zunehmende Urbanisierung der individuellen Mobilität und damit auch zunehmende Bedeutung der lokalen Emissionen
- Divergenz zwischen Verbrauch und Verfügbarkeit fossiler Brennstoffe
- Weltweites Bevölkerungswachstum und gleichzeitig stark wachsende neue Märkte wie China, Indien und auch Russland

Entscheidendes Kriterium für die Umsetzung des technisch Machbaren aber ist und bleibt das Verhältnis des Preises, den der Endkunde für

neue Technologien wie Hybrid, Range Extender oder E-Fahrzeug bezahlen muss, und der Einsparungen, die er durch die reduzierte CO₂-Emission erzielen kann. Es ist heute für den Autofahrer noch deutlich günstiger, ein Gramm CO₂ zu emittieren als es durch solche Technologien einzusparen. Hauptgrund hierfür sind bekanntermaßen die enormen Kosten für die Batterien. Ihre Entwicklung hinsichtlich Preis und Leistungsfähigkeit wird in den nächsten Jahren maßgeblich die Elektrifizierung des Antriebsstrangs bestimmen.

Außerdem werden staatliche Förderungen eine ganz wesentliche Rolle spielen. Die Bundesregierung hat den ehrgeizigen Plan definiert, dass bis 2014 zunächst 100 000 und bis 2020 dann 1 000 000 Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen fahren sollen. Dazu sind staatliche Fördermaßnahmen infrastruktureller und finanzieller Art vorgesehen. Neben dem Besteuerungskonzept sind die Berechnung der Flottenverbräuche und die Strafzahlungen bei Nichterreichen der gesetzten Ziele von wesentlicher Bedeutung. Da die E-Mobilität laut Regierungsbeschluss aus erneuerbaren Energien gespeist wird, sind die Elektro-

fahrzeuge als Null-Emissionsfahrzeuge anrechenbar, und das in den Jahren 2012 bis 2015 sogar mehrfach.

Die Auswirkungen dieser Randbedingungen auf die Getriebe-Roadmaps der Automobilhersteller sind klar zu erkennen. Zwar sind in der Gewichtung der verschiedenen Technologien und der zeitlichen Planung Unterschiede bei den verschiedenen Herstellern erkennbar, der rote Faden aber ist fast überall derselbe. Zunächst müssen die verbrennungsmotorischen Antriebsstränge weiter optimiert werden. Für die Getriebesysteme bedeutet das weitere Verbesserungen von Wirkungsgrad, Spreizung, Gangzahl und auch der Dämpfer, da weitestgehend ohne Schlupf gefahren werden soll (Schritt 1). Auch die Stopp-Start Systeme werden sich in vielen Fahrzeugsegmenten zum Standard entwickeln (Schritt 2). Danach wird die Hybridisierung (Schritt 3) mit zunehmendem Plug-in Anteil bis hin zum Range Extender oder E-Fahrzeug entwickelt (Schritt 4).

Während die Maßnahmen für die Umsetzung der ersten beiden Schritte schon relativ klar umrissen sind, bleiben hinsichtlich der weiteren Elektrifizierung des Antriebsstrangs noch viele Fragen offen. Ganz entscheidend aber ist, dass der Verbrennungsmotor für die nächsten 10 Jahre immer noch als die dominierende Antriebsquelle gesehen wird. Vor diesem Hintergrund wird das Automatikgetriebe weiter an Bedeutung gewinnen, da es neben den hervorragenden Komforteigenschaften auch exzellente Voraussetzungen für diese schrittweise Elektrifizierung des Antriebsstrangs mitbringt.

Die Stückzahlprognosen für Automatikgetriebe bis 2018 sind in Bild 1 dargestellt. Neben dem überdurchschnittlichen Wachstum von ca. 25 % bis 2012 und nochmals ca. 23 % bis 2018 zeigt sich, dass die unterschiedlichen Getriebetechnologien in den verschiedenen Märkten auch deutlich unterschiedlich wachsen werden. Während das DKG in Europa das stärkste Wachstum zeigt, legt das Stufenautomatikgetriebe in Nordamerika am stärksten zu, und in Japan schließlich kann das CVT das stärkste Wachstum vorweisen.

Welchen Beitrag Schaeffler zu dieser Entwicklung der Automatikgetriebe vor dem Hintergrund des schrittweisen Wechsels hin zu neuen Antriebsstrangkonzzepten leisten kann, soll nun im Folgenden gezeigt werden.

Schritt 1: Getriebeoptimierungen

Trotz der sehr heterogenen Verteilung der Getriebetechnologien auf den verschiedenen Märkten ergibt sich angesichts des hohen Potenzials, das dem Getriebe hinsichtlich des Verhältnisses von CO₂-Effizienz und Kosten zugeschrieben wird (siehe z. B. [1]), ein sehr homogenes Bild für die Anforderungen an künftige Automatikgetriebe:

- Weitere Verbesserung der Leistungsfähigkeit und des Komforts
- Verbesserung des Wirkungsgrads
- Erhöhung der Spreizung und bei gestuften Getrieben auch der Anzahl der Gänge
- Reduzierung von Gewicht, Bauraum und Kosten
- Stopp-Start Fähigkeit
- Hybridisierbarkeit

Das Doppelkupplungsgetriebe mit trockenen Kupplungen und elektromotorischer Aktorik bringt hierfür schon die besten Voraussetzungen mit. Es bietet einerseits durch die trockenen Kupplungen einen idealen Wirkungsgrad und kann andererseits durch die Aktorik, die nicht vom Verbrennungsmotor angetrieben werden muss, relativ einfach für einen Stopp-Start Betrieb oder zum Hybridsystem erweitert werden. Das erste trockene Doppelkupplungssystem ging 2008 mit dem VW DQ200 Getriebe und einer Doppelkupplung von LuK in Serie. Weitere Anwendungen mit trockenen LuK Doppelkupplungssystemen folgen in 2010 [13] mit dem Getrag Getriebe 6DCT250 [2] bei Renault und Ford und mit dem Fiat-Getriebe C635 [3]. Aktuelle Weiterentwicklungen bei LuK sind die trockenen Doppelkupplungssysteme für Drehmomente unter 200 Nm und nass laufende Doppelkupplungssysteme mit elektromotorischer Aktorik [14].

Angesichts der hervorragenden Eigenschaften derartiger Doppelkupplungsgetriebe ist es für die Stufenautomatikgetriebe in Planetenbauweise von enormer Bedeutung, gerade hinsichtlich des Wirkungsgrads das maximale Potenzial auszuschöpfen. Daher sollte der Drehmomentwandler idealerweise unmittelbar nach dem Anfahren überbrückt und bis kurz vor Leerlaufdrehzahl auch überbrückt gehalten

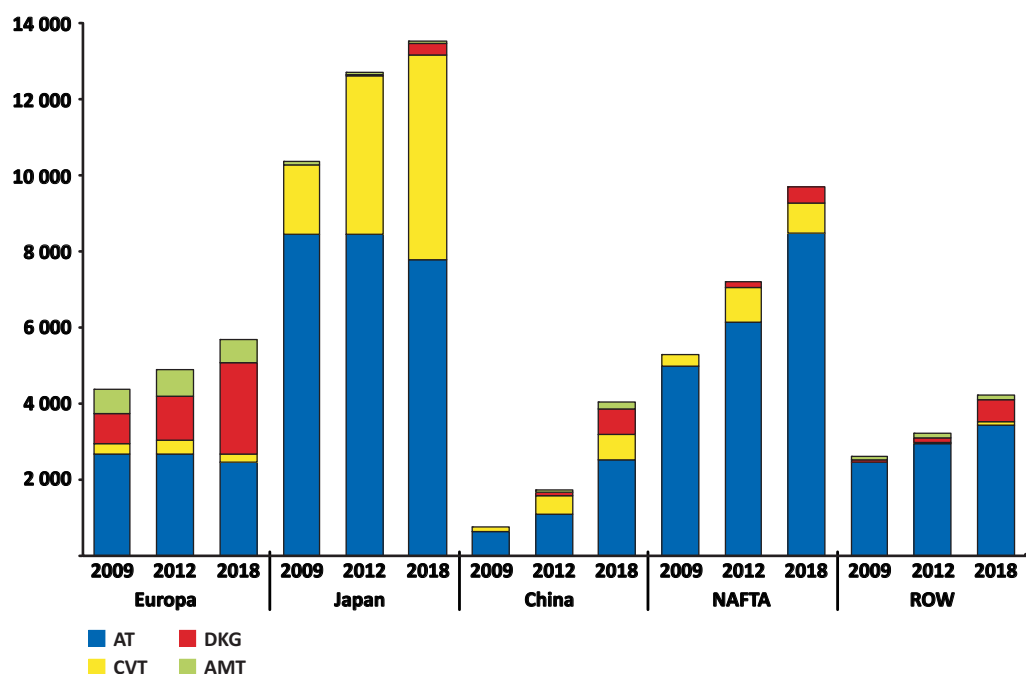


Bild 1 Stückzahlprognose für Automatikgetriebe weltweit (Quelle: CSM)

werden. Auch hinsichtlich der Leistungsfähigkeit bietet eine solche Überbrückungskupplung Vorteile, da sie dann auch bei Schaltungen nicht geöffnet werden muss und damit eine Anbindung ähnlich einem Doppelkupplungsgetriebe erzielt werden kann. Dies kann gerade bei zunehmender Anzahl der Gänge ein wichtiges Kriterium werden. Da allerdings die Anregung durch die Drehungleichförmigkeit moderner, aufgeladener Motoren in gleichem Maße steigt wie die Ansprüche an den Geräuschkomfort, ergibt sich ein Zielkonflikt, der nur mit erheblich leistungsfähigeren Dämpfersystemen für die Überbrückungskupplungen gelöst werden kann. Wie ein Baukasten für solche Dämpferkonzepte bis hin zum Fliehkraftpendeldämpfer für den Einsatz in Drehmomentwandlern aussehen kann, wird in [15] gezeigt.

Aber auch bei den CVT-Getrieben wächst die Forderung nach besserem Wirkungsgrad und höherer Spreizung. Obwohl das CVT heute bezüglich des Komforts aus Kundensicht gerade auf dem japanischen Markt sicherlich unschlagbar ist, gerät es durch die oben beschriebenen Verbesserungen bei Doppelkupplungsgetrieben und Stufenautomatikgetrieben in Planetenbauweise hinsichtlich des Verbrauchs doch zunehmend unter Druck. CVT-Variatoren auf Basis der Laschenkette von LuK bieten diesbezüglich ein enormes Potenzial, wie verschiedene Anwendungen bei leistungsstarken Applikationen zeigen. Doch auch für kleine Getriebe unter 200 Nm bietet dieser Variortyp eine sehr leistungsfähige Basis, auf der bei entsprechender Gesamtkonzeption eine kostengünstige Lösung dargestellt werden kann [16].

Schritt 2: Stopp-Start

Die in Schritt 1 beschriebenen Maßnahmen dienen ausschließlich dazu, das Getriebe als mechanischen Kennungswandler im Antriebsstrang so zu optimieren, dass die antriebsseitige Motorleistung hinsichtlich Spreizung, Stufung, Dynamik, Komfort und Wirkungsgrad bestmöglich in die abtriebsseitig geforderte Fahrleistung umgewandelt werden kann. Der nächste Schritt zur Reduzierung des Verbrauchs und damit der CO₂-Emissionen ist die konsequente Nutzung einer Stopp-Start Funktion. Das dadurch erreichbare Verbrauchseinsparungspotenzial liegt bei ca. 4 % im NEFZ, weshalb diese Maßnahme auch fester Bestandteil der Roadmaps der Fahrzeughersteller ist.

Getriebeseitig erfordert die Realisierung eines Stopp-Start Systems, dass das Getriebe beim Wiederstart des Motors sofort in der Lage ist, die Antriebsleistung des Motors auf die Räder weiterzuleiten. Die Doppelkupplungskonzepte, die im Rahmen dieses Kolloquiums gezeigt werden, erfüllen diese Anforderungen, da sie durch die elektromotorische Aktorik völlig autark vom Motor betätigt werden können. Dadurch kann sowohl die Gangwahl als auch die Ansteuerung der Kupplung in idealer Weise auf den Wiederstart des Motors abgestimmt werden. Eine weitere sehr elegante Lösung wurde bei dem CVT System von LuK umgesetzt. Lediglich durch Verringerung der Leckage in der hydraulischen Steuerung ist es möglich, das Getriebe im Stopp-Start Modus zu betreiben. Bei Stufenautomatikgetrieben mit Drehmomentwandlern reichen solche Maßnahmen aber im Allgemeinen nicht aus. Dort muss eine zusätzliche Vorrichtung für die Druckversorgung vorgesehen werden. Diese Funktion kann z. B. ein Druckspeicher übernehmen [4]. Einen anderen Lösungsansatz stellt das sogenannte „Schnappventil“ dar [15]. Dabei wird die Funktion des Druckregelventils der 1. Gang-Kupplung um eine Schließposition erweitert, in die der Schieber „einschnappen“ und somit den Druck in der Kupplung für einen Wiederstart halten kann. Je nach Anwendung aber kann das benötigte Ölvolumen so groß werden, dass eine zusätzliche elektrische Pumpe eingesetzt werden muss. Ein solches „Power Pack“ ist in Bild 2 dargestellt. Der konstruktive Aufbau des Power Pack weist eine Ölübergabefläche am Pumpenkopf auf und erlaubt somit sowohl die getriebeintegrierte Ver-

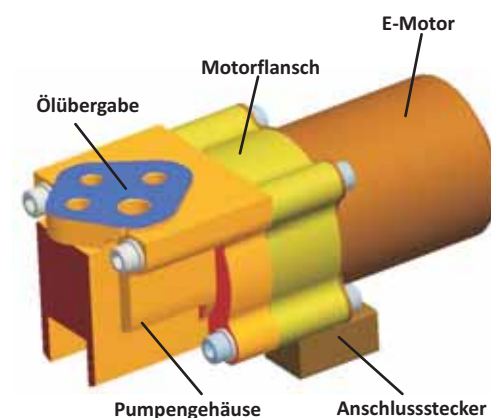


Bild 2 Power Pack für Automatikgetriebe mit Stopp-Start Funktion

wendung als auch die Verwendung als externes add-on Modul. Der Antrieb erfolgt mittels eines bürstenlosen Elektromotors mit einer mittleren elektrischen Leistungsaufnahme von ca. 100 W. Er treibt eine Pumpe mit einer Drehzahl von 3000 1/min an, um getriebeinterne Leckageverluste im Stillstand von bis zu 3 l/min. nachfordern zu können. Der Aufbau bietet aber auch die Flexibilität, die Bereitstellung der hydraulischen Energie an die jeweiligen Bedarfe anderer Getriebetypen anzupassen. Die Auslegung kann damit auch so gewählt werden, dass das Power Pack im Fahrbetrieb zur Abdeckung von Bedarfsspitzen im Volumenstrom eingesetzt wird. Dies erlaubt eine kleinere Auslegung der Hauptpumpe und damit eine Verbesserung des Getriebewirkungsgrads.

Motorseitig liegt die Herausforderung natürlich darin, den Wiederstart so schnell ablaufen zu lassen, dass der Fahrer keine unangenehme Verzögerung empfindet. Zu diesem Zweck gibt es die Möglichkeit, den Starter permanent eingespart zu lassen und ihn dann über einen Freilauf zu überrollen, sobald der Motor die entsprechende Drehzahl erreicht. Ausführungsbeispiele für derartige Lösungen sind in [15] und [17] gezeigt.

Sind diese getriebe- und motorseitigen Anforderungen erfüllt, so kann beim Einsatz eines Automatikgetriebes der Stopp-Start Betrieb grundsätzlich in jeder Situation aktiviert werden, sofern die relevanten Eingangsgrößen wie z. B. der Ladezustand der Batterie oder die Motortemperatur dies zulassen.

Anders sieht das bei manuellen Getrieben aus. Da dort der Fahrer für die Betätigung von Kupplung und Getriebe verantwortlich ist, liegt es auch maßgeblich an ihm, wie oft der Stopp-Start Betrieb aktiviert wird. Um die Stoppfunktion des Motors zu aktivieren, muss bei heutigen Systemen der Gang ausgelegt werden und das Kupplungspedal unbetätigt sein, damit bei einem erneuten Anfahr-

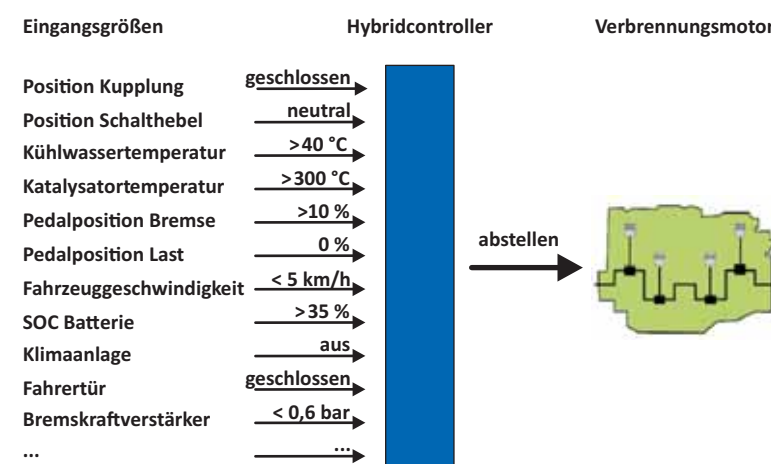


Bild 3 Eintrittsbedingungen für die Stoppfunktion des Verbrennungsmotors

wunsch eine ausreichende Zeitspanne für den Motorstart gewährleistet werden und der Fahrer über das Kupplungspedal den Startvorgang nicht „abwürgen“ kann. Bild 3 zeigt die notwendigen Eintrittsbedingungen.

Dies ändert sich auch durch den Einsatz eines Clutch by Wire Systems [5] nicht grundlegend. Obwohl dadurch technisch eine „Übersteuerung“ des Fahrers möglich ist, kann diese nur in Grenzen eingesetzt werden. So kann sicherlich ein Abwürgen des Motors durch entsprechend verzögertes Einkuppeln verhindert werden, ohne dass der Fahrer dadurch eine Störung empfindet. Grundsätzlich aber bleiben die Anforderungen an die Eingangsgrößen „Position Kupplung“ und „Position Schalthebel“ dieselben. Erst die Vollautomatisierung der Kupplung bei komplettem Entfall des Kupplungspedals wäre ein ganzheitlicher Lösungsansatz. Die Kupplung kann dann entsprechend den Anforderungen des Stopp-Start Betriebes angesteuert werden, ohne dass der Fahrer dadurch eine „Übersteuerung“ seines Kupplungswunsches erfährt.

Dieses elektronische Kupplungsmanagement (EKM) wurde von LuK bereits vor über zehn Jahren zur Serienreife entwickelt und in der Mercedes A-Klasse eingesetzt. Der Markterfolg blieb allerdings aus, da sich der Nutzen als Teilautomatisierung zwischen rein manuellem Getriebe und Automatikgetriebe für den Endkunden nicht so recht erklären ließ. Ganz anders könnte das allerdings im Zusammenhang mit einem Stopp-

Start System aussehen, speziell auch in neuen Märkten wie China oder Indien. In einem solchen System wäre ein Smart-Aktor, wie er in [14] gezeigt wird, zur Ansteuerung der Kupplung einsetzbar.

Schritt 3: Hybridisierung

Mildhybride

Hybridantriebe mit einer elektrischen Leistung von 10 - 15 kW, meist als Mildhybrid bezeichnet, stellen aktuell den wirtschaftlich besten Kompromiss aus erzielbarer Verbrauchsreduzierung und notwendi-

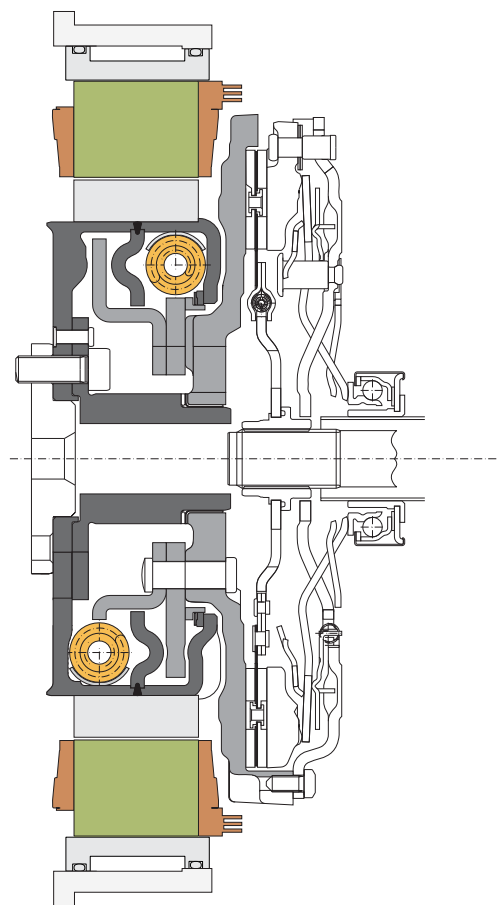


Bild 4 Zweireihiger, rotorintegrorierter Bogenfederdämpfer für P1-Hybrid

gem Hybridisierungsaufwand dar (Verbrauchspotenzial ca. 10 %). Im Allgemeinen ist die E-Maschine direkt an die Kurbelwelle angebunden, ohne eine zusätzliche Trennkupplung („P1-Hybrid“), wodurch allerdings ein elektrisches Fahren im Allgemeinen nicht möglich ist. Da der Stopp-Start Modus auch ein wesentlicher Bestandteil des Mildhybrid-Konzepts ist, gilt für das manuelle Getriebe auch hier das zuvor Gesagte. Erst eine Automatisierung der Anfahrkupplung mit Entfall des Kupplungspedals würde einen Mildhybridbetrieb für manuelle Getriebe zulassen, der nicht wesentlich vom Verhalten des Fahrers beeinflusst wird.

Um bei einem P1-Hybrid die durch die Integration der elektrischen Maschine notwendige Triebstrangverlängerung auf ein Minimum zu begrenzen, kann der Dämpfer des ZMS radial in den Rotor integriert werden. Damit bei dem reduzierten Wirkradius eine hinreichende Federkapazität erzielt werden kann, kommen zwei parallel angeordnete Bogenfedern zum Einsatz, die je nach Länge des Rotors vollständig integriert sind. Der bisher benötigte Bauraum des Basisdämpfers wird frei für den Stator. Bild 4 zeigt die Konstruktion für ein Handschaltgetriebe. Der Dämpfer, der sich durch einen sehr niedrigen Fliehkrafteinfluss auszeichnet, ist für Doppelkupplungsgetriebe bereits erprobt.

Eine konzeptionell andere Ausführung des Mildhybrid-Antriebs wurde bereits im LuK Kolloquium 2006 vorgestellt [6]. Es handelt sich dabei um ein bei LuK aufgebautes Demofahrzeug auf Basis eines Doppelkupplungsgetriebes mit trockener Doppelkupplung und achsparallel angebrachter E-Maschine, elektrisches Schaltgetriebe genannt (ESG). Die maximale Dauerleistung der E-Maschine wurde auf ca. 10 kW begrenzt. Damit ist komfortabler Stopp-Start Betrieb möglich, und der größte Anteil der Bremsenergie kann durch das Abkoppeln des Verbrennungsmotors zurück gewonnen werden. Die Funktion „elektrisches Fahren“ wurde wegen der relativ kleinen E-Maschine nicht aktiviert.

Vollhybride

Das oben beschriebene Konzept des ESG wird heute in mehreren Projekten weiter entwickelt. Erste Serienstarttermine für solche Projekte sind in 2013 vorgesehen. Die Basisfunktionen entsprechen denen des in [6] gezeigten Fahrzeugs, allerdings sind die E-Maschinen so dimensioniert, dass elektri-

sches Fahren möglich ist. Es handelt sich hier also um Vollhybridantriebe. Durch die erweiterte Funktionalität sowie die Nutzung von Downsizing des Verbrennungsmotors können Verbrauchseinsparungen bis zu ca. 25 % realisiert werden.

Ein anderes Vollhybridsystem mit LuK-Komponenten wird in 2010 als „P2-Hybrid“ in der VW Colorado Plattform in Serie gehen. Basis für die Anwendung im VW Touareg bildet ein 3,0 l 440 Nm Kompressor-Benzinmotor in Verbindung mit einem 8-Gang Stufenautomatikgetriebe. Für die Erweiterung zum Hybrid wird zwischen Kurbelwelle und Drehmomentwandler eine Einheit, bestehend aus einer elektrischen Maschine mit einer Leistung von ca. 34 kW und der für P2-Hybride notwendigen Trennkupplung, integriert. Durch diese Kupplung wird die vollständige Hybridfunktionalität wie das Abkoppeln des Verbrennungsmotors im Schub, die Stopp-Start Funktion sowie das rein elektrische Fahren ermöglicht.

Eine der kritischsten Fahrsituationen für die Akzeptanz des Gesamtkonzepts P2-Hybrid stellt der Wiederstart des Verbrennungsmotors aus dem elektrischen Fahren nach einem „tip in“ dar. Aus diesem Startablauf leiten sich wichtige Anforderungen an die Trennkupplung ab. Zunächst wird nach dem Startbefehl die Kupplung mit hoher Dynamik auf das zum Anschleppen des Verbrennungsmotors notwendige Drehmoment von ca. 100 Nm gesteuert. Hieraus resultiert die Anforderung einer hohen Schließdynamik bei gleichzeitig guter Regelbarkeit der Kupplung in diesem Drehmomentbereich. Weiterhin muss das Massenträgheitsmoment der Kupplungskomponenten bestmöglich reduziert werden, um die zum Beschleunigen der Kurbelwelle notwendige Leistung zu minimieren. Der erreichte Wert liegt für den oben beschriebenen Antrieb mit kleiner 0,1 kgm² (Schwungrad und Kupplung) im Bereich der Primärseite aktueller Serien-ZMS.

Die Kupplungsscheibe der Trennkupplung zeichnet sich durch die Besonderheit eines integrierten Bogenfederdämpfers aus. Dieser dient zunächst zur Verschiebung der mit der E-Maschine und der Trennkupplung neu entstehenden Resonanzstellen in den unkritischen Bereich von ca. 400 1/min. Weiterhin wird in Kombination mit dem zweiten, wandlerintegrierten Dämpfer ein Isolationsverhalten erreicht, das den Vollastbetrieb ohne Schlupf in der Wandlerüberbrückungskupplung ab einer Drehzahl von 900 1/min ermöglicht. Diese Einzel-

maßnahme führt zu einer Verbrauchsreduzierung von ca. 2,5 % im NEFZ.

Um mit den 1,2 Mio. Anschleppvorgängen über Lebensdauer das Axiallager der Kurbelwelle nicht zu beschädigen, wird in diesem Antrieb erstmals ein direkt an die Kupplung angebundener, deckelfester Ausrücker [17] eingesetzt.

Zusammenfassend sind die Haupteigenschaften der Trennkupplung aufgelistet:

- Sehr kleines Massenträgheitsmoment der Kupplungskomponenten
- Hohe Dynamik beim Schließen der Kupplung
- Gute Regelbarkeit im Drehmomentbereich 50 – 150 Nm
- Niedriges Schleppmoment bei geöffneter Kupplung
- Ausrückkräfte werden nicht auf der Kurbelwelle abgestützt
- Ermöglichen von Anschleppvorgängen bis 3000 1/min
- Kupplungssystem „normally closed“ (fail safe)

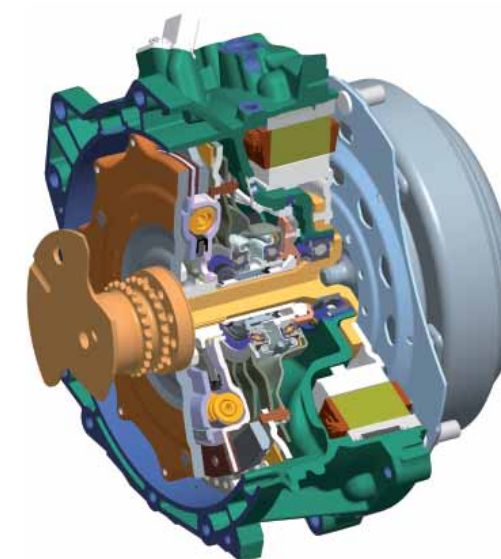


Bild 5 P2-Hybridmodul des VW Touareg Hybrid

Bild 5 zeigt den Schnitt des Hybridmoduls mit der Flexplate als Anbindung für den Wandler des Stufenautomatikgetriebes.

Für die Entwicklung der nächsten Generation des P2-Hybrid ist die weitere Reduzierung des not-

wendigen Bauraums für das Gesamtsystem eine der wichtigsten Anforderungen. Grundsätzlich ist es möglich, entweder das Dämpfungssystem oder die Trennkupplung in den Rotor zu integrieren. Nach einer Bewertung der verschiedenen Anforderungen und Bauräume erscheint es attraktiver, die Trennkupplung für die Integration in den Rotor auszulegen. Wichtig bei der Auslegung der Kupplung ist zunächst das Verfahren, wie der Verbrennungsmotor gestartet wird. Der sogenannte Direktstart, bei dem das Gemisch im Brennraum bei noch stehender Kurbelwelle entzündet wird, ist bei der Auslegung berücksichtigt worden. Die Kupplung muss die Kurbelwelle nicht mehr auf die gewünschte Zieldrehzahl der E-Maschine anschleppen, sondern dient durch einen ersten Momentenimpuls nur dem Sicherstellen des Hochlaufes. Dies führt zu reduzierten Anforderungen an die Leistung des elektrischen Systems, da das zum Anschleppen des Motors bisher benötigte Drehmoment von ca. 80 - 100 Nm und gleichzeitig die Zeitdauer, in der die Kupplung schlupfend betrieben wird, reduziert werden können. Damit entfällt die vorzuhaltende Momentenreserve der E-Maschine nahezu. Weiterhin wird eine kompaktere Konstruktion der Kupplung wegen der kleine-

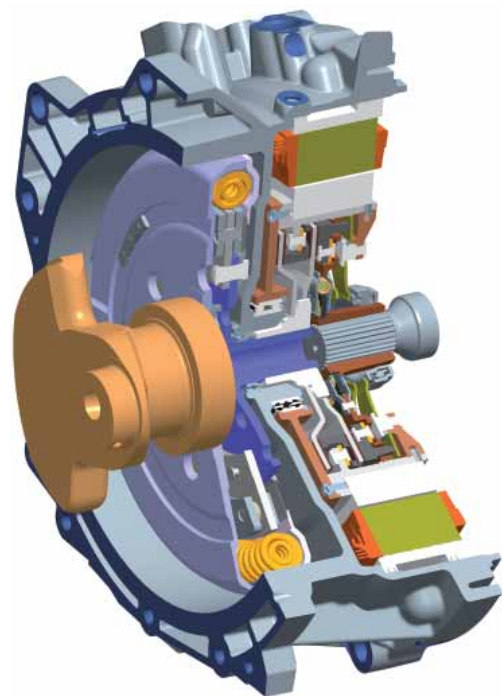


Bild 6 P2-Hybridmodul mit rotorintegrierter trockener Trennkupplung

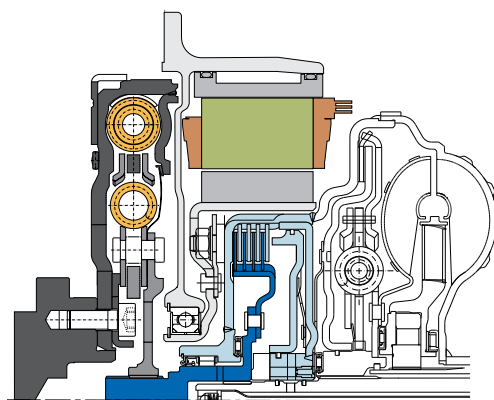


Bild 7 P2-Hybridmodul mit rotorintegrierter nasser Trennkupplung

ren Reibenergien während des Starts bei Erhalt der bisherigen hohen Dynamik ermöglicht. Die gute Regelbarkeit der Kupplung im unteren Drehmomentbereich wird beibehalten. Die Ausrückkräfte der Kupplung werden auch bei dieser Konstruktion nicht auf der Kurbelwelle abgestützt. Die Lagerung von Kupplung und Rotor sowie die Betätigung der Kupplung erfolgt, wie in Bild 6 dargestellt, getriebeseitig. Das Hybridmodul wird an das Getriebegehäuse vormontiert. Das Fügen von Motor und Getriebe wird über eine spielbehaftete Axialverzahnung zwischen Dämpferausgang und Kupplungsscheibe realisiert. Alternativ kann die Kupplung, wie in Bild 7, dargestellt auch nass ausgeführt werden.

Eine weitere Reduzierung des Bauraums könnte dadurch erzielt werden, dass sowohl der Dämpfer als auch die Kupplung in den Rotor integriert werden [15]. Die Umsetzbarkeit hängt hier in hohem Maße davon ab, ob für die jeweilige Applikation in dem begrenzten Bauraum eine ausreichende Dämpferkapazität realisiert werden kann.

Ein technisch ganz anderes Konzept verfolgen die Firmen GM, Chrysler, BMW und Daimler bei der Realisierung des „two mode“ Getriebes [7]. Um für dieses neuartige Getriebekonzept einen Dämpfer zu entwickeln, der in allen Betriebsbereichen eine hinreichende Isolation gewährleisten kann, waren umfangreiche Simulationen des gesamten Antriebs notwendig. So mussten sowohl die dynamischen Abläufe wie Stopp-Start, Start aus dem elektrischen Fahren, Übergänge in die Rekuperation, Bereichumschaltungen als auch die Wechsel in die festen Fahrstufen abgebildet werden, um die Komponenten gesamthaft optimieren zu können. Das

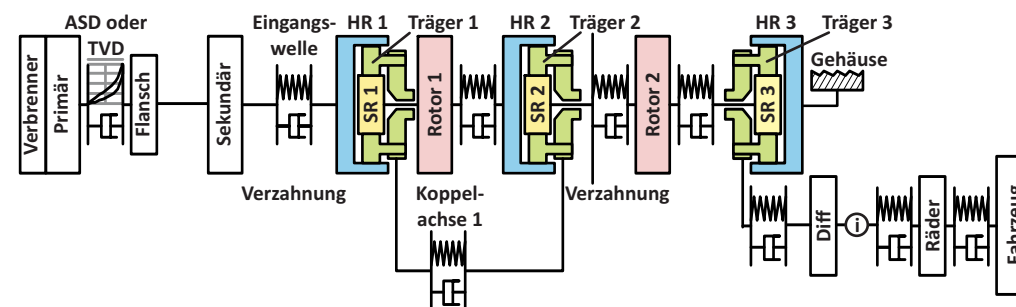


Bild 8 AHS-C Getriebe im BMW X6 [7] und zugehöriges Drehschwingungsmodell für den Gesamtantrieb

Ergebnis sind Dämpfer, die sich trotz des für die Fahrzeuge immer gleichen Grundgetriebes hinsichtlich des Typs (trocken oder nass), der Massenträgheiten sowie der Kennlinien deutlich voneinander unterscheiden. Bild 8 zeigt den Schnitt des Getriebes [7], sowie das Modell zur Bewertung und Optimierung von Triebstrangeigenformen und der Längsdynamik.

Schritt 4: Range Extender und E-Antriebe

Die in Schritt 3 gezeigten Hybridsysteme sind bislang so konzipiert, dass sie zwar zwei Antriebsquellen – Verbrennungsmotor und E-Motor – aber nur eine von außen nachfüllbare Energiequelle – im Allgemeinen Diesel oder Benzin – an Bord haben. Die elektrische Energie wird weitgehend rekuperativ erzeugt und zur Erhöhung des Antriebsstrangwirkungsgrads verwendet. Die Batterie eines solchen Systems ist auf ca. 1 - 2 kWh ausgelegt, ein echtes elektrisches Fahren über größere Distanz ist dadurch nicht möglich. Wird nun die Batterie ver-

größert und ein „Betanken“ mit elektrischer Energie aus dem elektrischen Netz („Plug-in“) ermöglicht, so ergibt sich im ersten Schritt eine „Range Extension“ des verbrennungsmotorischen Betriebs. Legt man das System dann aus wie in [8] beschrieben, so drehen sich die Verhältnisse um, und es ergibt sich der „Pure Range Extender“ [8], bei dem die Reichweite des elektrischen Fahrens durch zusätzliches Betanken mit Diesel oder Benzin erweitert wird. Der Begriff des „Range Extenders“ im eigentlichen Wortsinne umfasst also ein weites Spektrum an technischen Umsetzungsmöglichkeiten, die wesentliche Eigenschaft ist die zusätzliche Möglichkeit der „Betankung“ aus dem elektrischen Netz. Dadurch stellt der Range Extender den fließenden Übergang zwischen dem rein verbrennungsmotorischen und dem rein elektrischen Antrieb dar.

Wie gut aber sind solche Antriebskonzepte im Vergleich zu den in den vorangegangenen Schritten gezeigten Antriebssträngen? Hierdurch sollen die Range Extender- und E-Antriebsstränge nicht grundsätzlich in Frage gestellt werden. Dass sie Antriebskonzepte der Zukunft sind, ist angesichts der aktuellen Umwelt- und Rohstoffdiskussion unbestritten. Aber ein solcher Vergleich kann einen Eindruck vermitteln, wie

schnell sich solche Konzepte durchsetzen können und von welchen Faktoren das abhängt. Die drei Kriterien, mit denen eine mögliche Beantwortung der Frage zumindest annäherungsweise erfolgen soll, sind der Wirkungsgrad, die CO₂-Emission und die Kosten. Dabei werden die Effekte durch Rekuperation nicht berücksichtigt, da dieser Effekt bei Hybridsystemen mit und ohne Plug-in Betrieb als gleichwertig angenommen wird. Der Kostenvergleich wird nur grob auf Basis veröffentlichter Daten erstellt.

Wirkungsgradvergleich von verbrennungsmotorischem und elektrischem Antrieb

Die folgenden Analysen wurden für verschiedene Fahrzeugklassen durchgeführt. Beispielhaft soll hier das Ergebnis für ein Fahrzeug der unteren Mittelklasse gezeigt werden.

Für den verbrennungsmotorischen Antrieb wird ein aufgeladener 0,7 l 3-Zylinder Benziner mit Turboaufladung und einer Leistung von 70 kW in Verbindung mit einem manuellen 5-Gang Getriebe angenommen. Die Verluste des Getriebes werden ebenso wie die Verluste des im Folgenden beschriebenen Getriebes der E-Maschine für die vergleichenden Betrachtungen nicht berücksichtigt, da diese als gleich groß angenommen werden kön-

nen. Der Bereitstellungswirkungsgrad für Ottokraftstoffe schwankt in der Fachliteratur sehr stark zwischen 6 und 18 %. In den im Folgenden gezeigten Vergleichen wird dieser einheitlich mit 10 % angenommen.

Das Kennfeld des Elektrofahrzeugs ergibt sich aus einem Elektromotor als permanent erregte Synchronmaschine inkl. Leistungselektronik. Die Übertragung des Drehmoments auf die Räder erfolgt über ein wie auch beim verbrennungsmotorischen Antrieb als verlustfrei angenommenes 1-Gang Getriebe mit einer Übersetzung von 7. Der Wirkungsgrad des Energiespeichers wird für den Ladevorgang konstant (langsame Nachladung) sowie für das Entladen aus dem Verlustmodell entsprechend der elektrischen Leistung berücksichtigt. Der Bereitstellungswirkungsgrad für elektrische Energie aus dem öffentlichen Netz wird anhand des für Deutschland in 2008 geltenden Wertes [9] mit 38 % angenommen.

Um zu veranschaulichen, in welchen Betriebsbereichen die Wirkungsgradvorteile des jeweiligen Antriebskonzepts liegen, werden die beiden Kennfelder einander in einem Differenzkennfeld überlagert (Bild 9). Dabei zeigt sich, dass über einen sehr großen Kennfeldbereich der Vorteil für das Elektrofahrzeug mit 2 - 5 % eher gering ausfällt. Lediglich bei sehr kleinen Leistungen wird der Vorteil des E-Antriebs deutlich. Auch

für zyklusrelevante Betriebspunkte (NEFZ stationär: rot, NEFZ beschleunigt: blau) zeigt sich, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den Antrieben besteht. Auf Basis dieses relativ geringen Vorteils für ein Elektrofahrzeug wäre die Verbreitung solcher Antriebe eher unwahrscheinlich.

Verändert man den Bereitstellungswirkungsgrad für die elektrische Energie, so zeigt sich der dominante Einfluss dieser Größe auf das Kennfeld. Für das Jahr 2020

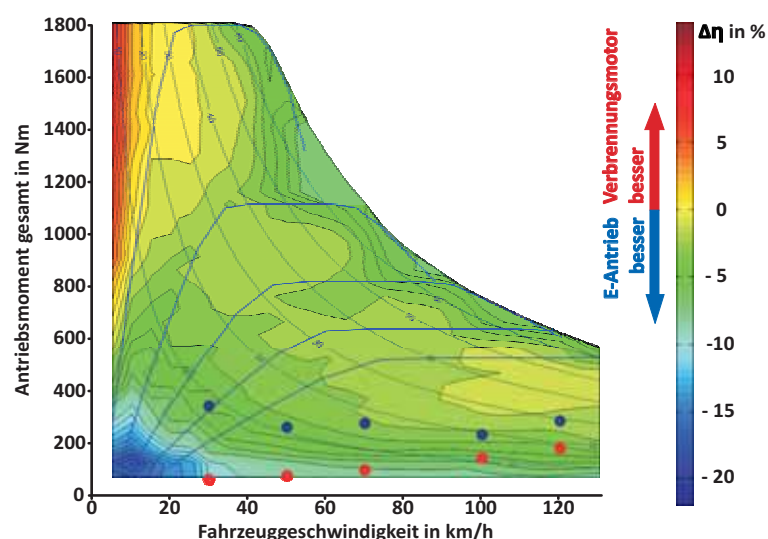


Bild 9 Eta Differenzkennfeld von verbrennungs- zu elektromotorisch angetriebenem Fahrzeug mit einem Bereitstellungswirkungsgrad der Elektrizität von 38 % für 2008 [9]

wird in Deutschland ein Wert von 45 % prognostiziert. Damit ergibt sich eine entsprechende Verschiebung zugunsten des Elektrofahrzeugs (Bild 10). In den meisten Betriebspunkten liegen die Vorteile nun bei über 7 %.

Noch deutlicher fällt der Vergleich aus, wenn man vom Wirkungsgrad eines Kombikraftwerks (Blockheizkraftwerk mit Kraft-Wärme-Koppelung) ausgeht, der bei annähernd 60 % liegt, also unter Berücksichtigung der Verteilungsverluste nochmals 10 % besser als der in Bild 10 zugrunde gelegte Kraftwerkswirkungsgrad. Dieser Vergleich ist für die Zukunft des Verbrennungsmotors von ganz entscheidender Bedeutung, weil dadurch die Frage, ob der Kraftstoff aus fossilen oder regenerativen Quellen stammt, für den Vergleich von verbrennungsmotorischem und elektrischem Antrieb irrelevant wird. Aus der reinen Sicht des Wirkungs-

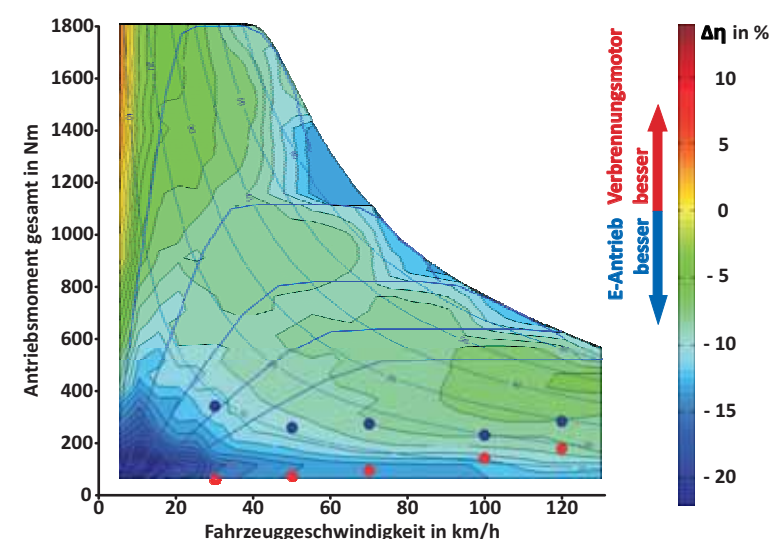


Bild 10 Eta Differenzkennfeld von verbrennungs- zu elektromotorisch angetriebenem Fahrzeug mit einem Bereitstellungswirkungsgrad der Elektrizität von 45 % als Prognose in 2020

grads und der CO₂-Emissionen ist ein Verbrennen des Kraftstoffs in Kombikraftwerken und Umwandlung in elektrische Energie die bessere Lösung.

CO₂-Emissionsvergleich von verbrennungsmotorischem und elektrischem Antrieb

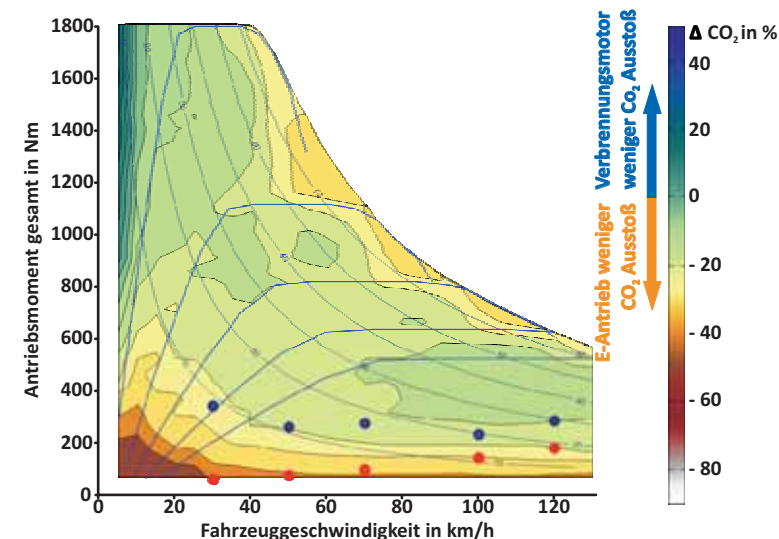


Bild 11 CO₂-Differenzkennfeld von verbrennungs- zu elektromotorisch angetriebenem Fahrzeug

Vergleicht man die beiden Antriebe analog bezüglich der CO₂-Emission, so ergibt sich bereits heute ein deutlicher Vorteil für das Elektrofahrzeug. Für die Bereitstellung der elektrischen Energie wird der für Deutschland in 2008 geltende Wert von 590 gCO₂/kWh übernommen [9]. Über einen großen Kennfeldbereich beträgt der Vorteil ca. 20 %, in den unteren Konstantfahrpunkten des NEFZ sogar bis zu 38 % (Bild 11).

Vergleich von verbrennungsmotorischem Antrieb und Range-Extender

Für das Generieren der elektrischen Leistung werden im folgenden Vergleich der bereits oben beschriebene Verbrennungsmotor (3-Zylinder Benzinmotor mit Turboaufladung) und eine E-Maschine (PSM = permanent erregte Synchronmaschine) zu einem wirkungsgradoptimierten Range-Extender kombiniert. Dieses Modul wird so dimensioniert, dass die für den Fahrantrieb definierte, maximale Leistung bereit gestellt werden kann. Die mit diesem Range Extender erzeugte Leistung wird dann entsprechend dem jeweiligen Kennfeldpunkt des ebenfalls bereits oben verwendeten elektromotorischen Fahrantriebs überlagert. So entsteht ein elektromotorisches Zugkraftdiagramm unter Berücksichtigung des jeweils bestmöglichen Erzeugungswirkungsgrads, welches man ohne einen Energiespeicher auch als stufenloses elektrisches Getriebe oder E-CVT betrachten kann. Erst durch die Integration einer Batterie in das Gesamtsystem entsteht ein serieller Hybridantrieb.

Bildet man nun das Differenzkennfeld für den Wirkungsgrad zwischen dem E-CVT Antrieb und dem rein verbrennungsmotorischen Zugkraftdiagramm, so zeigt sich erwartungsgemäß in nahezu allen Kennfeldpunkten ein Nachteil für das E-CVT. Lediglich im Bereich sehr kleiner Antriebsleistungen bis ca. 2 kW ergibt sich ein Wirkungsgradvorteil für das E-CVT.

Wird das E-CVT um eine Batterie als Zwischenspeicher ergänzt, so verschiebt sich das Differenzkennfeld zu Gunsten dieses als Seriellhybrid genannten Antriebs. Durch die Erzeugung der elektrischen Energie nahe dem Bestpunkt des Range Extenders bei

einer Leistung von ca. 20 kW und der Zwischenspeicherung im Energiespeicher wird der Bereitstellungswirkungsgrad deutlich erhöht. Für die Leistungen darüber macht aus Sicht des Wirkungsgrads eine Zwischenspeicherung keinen Sinn, da die verbrennungsmotorische Effizienz abnimmt und gleichzeitig die steigenden Lade- und Entladeverluste der Batterie zu einer weiteren Reduzierung des Gesamtwirkungsgrads führen.

Dieses Verhalten spricht aus Sicht des Gesamtsystems auch gegen einen 2-Punkt Betrieb (bester Wirkungsgrad und maximale Leistung). In diesem Kennfeldbereich sollte immer nur genau die Leistung erzeugt werden, die im Fahrantrieb aktuell benötigt wird. Da außerdem für die betrachtete Auslegung mit direktem Durchtrieb auf Maximalgeschwindigkeit die absoluten Wandlungsverluste (mechanisch → elektrisch → mechanisch) ab einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 105 km/h (Konstantfahrt) größer werden als der Vorteil durch die Kennfeldverschiebung im Range Extender Betrieb, sollte die verbrennungsmotorisch erzeugte Leistung des Seriellhybriden oberhalb dieser Geschwindigkeit effizienter direkt mechanisch auf die Räder geführt werden.

Im Vergleich zu dem rein verbrennungsmotorischen Antrieb ist der Seriellhybrid nun bis zu einer Antriebsleistung von ca. 6 kW vorteilhaft, wie in Bild 12 gezeigt wird. Das bedeutet aber auch, dass

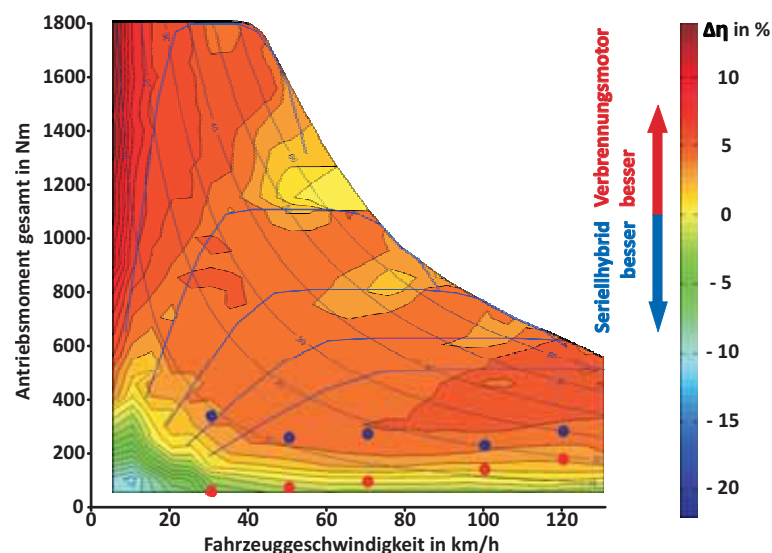


Bild 12 Eta Differenzkennfeld von verbrennungsmotorischem Antrieb und Seriellhybrid-Antriebsstrang ohne Berücksichtigung von Rekuperation und Stopp-Start Funktion

der verbrennungsmotorische Antrieb ab einer Geschwindigkeit von ca. 70 km/h bei Konstantfahrt immer noch das effizientere Antriebskonzept darstellt. Auch für diesen Vergleich ist die Nutzung von Rekuperation oder Stopp-Start als vergleichbar zu setzen und muss daher nicht mit berücksichtigt werden. Da in beiden Antrieben Ottokraftstoff als Primärenergie zugeführt wird, gilt oben Beschriebenes in gleichem Maße auch für die CO₂-Betrachtung.

Aus diesen Ergebnissen wird ersichtlich, weshalb die Range Extender Konzepte in der Ausführung als Seriellhybrid nur mit einem hohen Plug-in Anteil, also einer weitgehenden Nutzung des Fahrzeugs mit Energie aus dem elektrischen Netz, beim Wirkungsgrad und in der CO₂-Bilanz einen wirklichen Vorteil ergeben.

Kostenvergleich

In [10] werden die reinen Betriebskosten eines E-Fahrzeugs mit denen eines Fahrzeugs mit verbrennungsmotorischem Antrieb verglichen. Betrachtet werden die Kraftstoff- und Abschreibungskosten über einen Zeitraum von vier Jahren. Dabei ergibt sich für 2008 noch ein Vorteil von ca. 5 ct pro km für das rein verbrennungsmotorisch betriebene Fahrzeug. Bis 2020 aber wird sich das unter der Annahme einer Halbierung der Batteriekosten bei einem jährlichen Anstieg der Energiekosten für Treibstoff und elektrische Energie von 6 % in einen Vorteil von ca. 5 ct für das E-Fahrzeug umwandeln. Berücksichtigt man allerdings eine äquivalente Besteuerung für die mobil genutzte elektrische Energie, so ergibt sich auch in 2020 wiederum ein Nachteil für das E-Fahrzeug von ca. 2 ct pro km.

Ein weiterführender Ansatz wird in [11] gewählt. Dort wird für ein „wendiges Stadtfahrzeug“ eine Vollkostenbewertung durchgeführt, bei der auch zusätzliche Faktoren wie z. B. Aufpreisbereitschaft und sonstige Anreize wie Fahrverbot in Innenstädten berücksichtigt werden. Dabei ergibt sich für eine Umsetzung bis 2014 eine Kostenlücke von lediglich 3000 bis 5000 EUR für die kumulierten Betriebskosten über vier Jahre. Nimmt man weiterhin an, dass sich laut [8] für einen Range Extender in einem Stadtfahrzeug bei einer elektrischen Reichweite von ca. 100 km ein einmaliger Kostenvorteil von knapp 5000 EUR gegenüber einem E-Fahrzeug ergibt, so könnte schon in absehbarer Zeit ein solches Stadtfahrzeug auf Basis eines Range Extenders als eine echte Großserienlösung Wirklichkeit werden.

Diese einfache Dreisatzrechnung basiert allerdings auf sehr unsicheren Annahmen und zeigt lediglich, dass das Hauptproblem dieser Antriebskonzepte die Kosten sind. Und da hängt es, wie bereits eingangs gesagt, ganz wesentlich von den Fördermaßnahmen der Regierungen und von der Kostenentwicklung der Batterien ab, ob bzw. wie schnell eine solche Kostenrechnung Vorteile für den E-Antrieb ergibt. Außerdem spielt der Anteil der regenerativen Energien am Energiemix eine wesentliche Rolle. Nimmt dieser weiterhin zu, so nehmen auch die Anforderungen an die Flexibilität der restlichen Kraftwerke zu, da sie die starken Schwankungen des regenerativen Anteils ausgleichen müssen. Und genau das bringt die großen Kraftwerke in Schwierigkeiten. Dabei kann es für sie billiger sein, ihren Strom zu verschenken oder für die Abnahme gar noch etwas zu bezahlen, als die Kraftwerksleistungen zu stark schwanken zu lassen. Hierfür wären E-Fahrzeuge, deren Batterien über Nacht aufgeladen werden, willkommene Abnehmer.

Schlussfolgerungen

Für Range Extender, die nicht nur als „Notaggregat“ mitgeführt werden, sondern einen nennenswerten verbrennungsmotorischen Fahranteil haben werden, ergeben sich aus obigen Betrachtungen zwei wesentliche Schlussfolgerungen:

1. Ein Verbrennungsmotor kann aus Sicht der Wirkungsgradbetrachtung auch als Range Extender nicht im 2-Punkt Betrieb gefahren werden. Daher wird ein solcher Motor auch weiterhin eine gewisse Variabilität benötigen.
2. Ein direkter Durchtrieb des Verbrennungsmotors ist bei Konstantfahrt ab ca. 105 km/h sinnvoll (siehe auch [8] und [12]). Für die hierfür benötigte Kupplung bietet sich z. B. ein elektromotorischer Aktor an, wie er in [13] oder [14] gezeigt wird.

Aber auch der „Pure Range Extender“ [8] und das E-Fahrzeug sind Antriebskonzepte, deren Umsetzung nach obiger Betrachtung durchaus auch in absehbarer Zeit nicht unwahrscheinlich ist. Die heute nur leichten Wirkungsgradvorteile des E-Antriebs werden sich mit dem zukünftigen Kraftwerksmix weiter verbessern. Betrachtet man nur den Wirkungsgrad moderner Kombikraftwerke, so wäre es heute schon effizienter, den Kraftstoff zentral zu verbrennen und in elektrische Energie umzuwandeln. Auch ein zunehmender Anteil regenerativer Kraft-

stoffe aus Biomasse ändert daher an dieser Aussage nichts. Bei der CO₂-Betrachtung ist die Sachlage noch eindeutiger. Dort hat der E-Antrieb schon bei der heutigen Betrachtung klare Vorteile, die sich in Zukunft dann natürlich noch weiter vergrößern werden. Im Wesentlichen sind es die Kosten und die Leistungsfähigkeit der Batterien und die noch unvollständig ausgebaute Infrastruktur, die heute noch gegen den E-Antrieb sprechen.

Um diese Antriebskonzepte weiter untersuchen zu können, wurden bei Schaeffler zwei Erprobungsfahrzeuge aufgebaut, der „Schaeffler Plug-in Hybrid“ auf Basis eines Opel Corsa und das in [18] gezeigte „Schaeffler Elektrofahrzeug“ auf Basis eines Skoda Octavia.

Das Antriebskonzept des Schaeffler Hybrid gliedert sich in einen Hybridantrieb auf der Vorderachse sowie einen rein elektrischen Antrieb für die Hinterachse. An die Vorderräder des Fahrzeugs ist eine permanenterregte Synchronmaschine über ein automatisiertes 2-Gang Stufengetriebe koppelbar. Diese E-Maschine ist achsparallel angeordnet und über eine Zahnkette mit der Getriebeeingangswelle verbunden. Mittels einer automatisierten Trennkupplung kann ein 3-Zylinder Benzinmotor zugeschaltet werden. Die Hinterräder werden jeweils durch einen permanenterregten Radnabenmotor angetrieben. Damit ist auf der Vorderachse ein Parallelhybridbetrieb und bei Neutralstellung des Getriebes in Kombination mit dem E-Antrieb auf der Hinterachse ein Seriellhybridbetrieb als Range Extender möglich. Bei gleichzeitiger Aktivierung der beiden Betriebsarten ist auch ein Allradmodus darstellbar. Darüber hinaus ermöglichen die Radnabenmotoren eine Zugkraftauffüllung während der Schaltungen. Das gesamte Radmoment im elektrischen Fahrbetrieb beträgt maximal 2100 Nm. In Bild 13 sind der Gesamtantrieb sowie beispielhaft die Betriebsstrategie

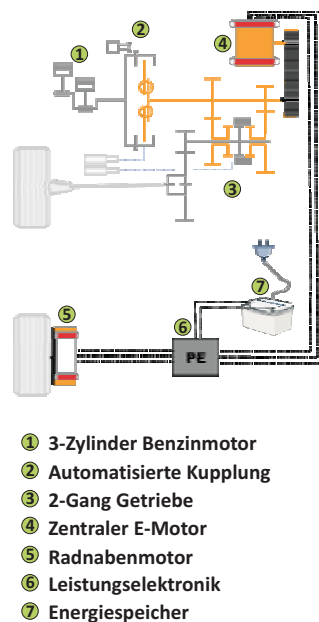


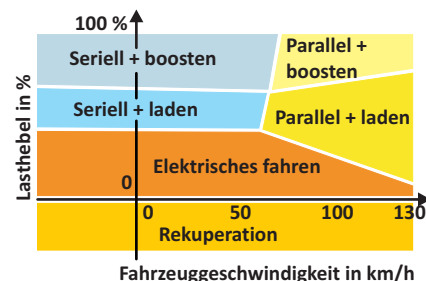
Bild 13 Konzeptfahrzeug Schaeffler Hybrid

für einen niedrigen Ladezustand des Energiespeichers dargestellt.

Dabei stehen zunächst die folgenden Entwicklungsschwerpunkte im Vordergrund:

- Aktive Schwingungsdämpfung
- Elektromotorische Zugkraftauffüllung während der Schaltung
- Verhalten des „Range Extender Betriebes“
- Akustik beim E-Fahren
- Fahrbarkeit der ungedachten Massen bei Radnabenmotoren bzw. radnahem Antrieb
- Zugkraftverteilung auf Vorder- und Hinterachse
- Bewertung der realen Batteriekapazität
- Aktives Torque Vectoring auf Vorder- und Hinterachse

Ein weiterer Punkt, der mit Hilfe des Konzeptfahrzeugs analysiert werden soll, ist die Frage nach der Notwendigkeit eines 2-Gang Getriebes für den E-Antrieb. Simulationen zeigen bei einer konstanten Schaltdrehzahl einen Verbrauchsvorteil (als Energieentnahme aus der Batterie) von 3 %, bei einer kennfeldoptimalen Schaltung ohne Schalthysterese einen Vorteil von bis zu 6,4 %, je



nach möglicher Getriebebespreizung. Diese wiederum ist maßgeblich abhängig von den folgenden Einflussgrößen:

- Maximales Radmoment
- Gesamtantriebsleistung
- Maximale Fahrzeuggeschwindigkeit
- Notwendige Schalthysterese
- Leistungsabfall der E-Maschine im Bereich der maximalen Drehzahl

Neben dem o. g. Einfluss auf den Energieverbrauch stellt die Getriebebespreizung gleichzeitig die Größe dar, um die der Elektromotor kleiner dimensioniert werden kann und somit das Abwägen von reduzierten Kosten für das elektrische System im Vergleich zu den Zusatzkosten für den zweiten Gang ermöglicht.

Für Fahrzeuge des A/B Segments mit heute üblichen Fahreigenschaften und einer Antriebsleistung von 30 - 80 kW erscheint der Einsatz eines lastschaltenden 2-Gang Getriebes sinnvoll und wirtschaftlich vorteilhaft. Darum wurde nach einfachen Strukturen gesucht, mit denen die Anforderungen an das Getriebe möglichst kostengünstig erfüllt werden. Die sowohl im genera-

torischen als auch motorischen Betrieb sehr gute Regelbarkeit der E-Maschine sowie ihre kurzzeitige Überlastfähigkeit sind Voraussetzungen für die Ausführung des Getriebes, wie in Bild 14 dargestellt.

Das Getriebe besteht aus einem eingangsseitigen Planetensatz, dessen Hohlrund entweder über eine Bremse gegen das Gehäuse blockiert oder über eine Nasskupplung überbrückt wird. Entsprechend ergeben sich in Verbindung mit einer konstanten Stirnradabtriebsstufe die Gesamtübersetzungen 13,5 und 5,6 für ein Fahrzeug mit 70 kW Antriebsleistung. Die Regelung der Lastschaltung erfolgt ausschließlich über die Kupplung. Die Bremse wird als kostengünstiges „schwarz-weiß“ Stellglied ausgeführt. Das Differenzial wird als Leichtbaudifferenzial in Planetenbauweise [19] dargestellt, wodurch sich deutliche Bauraumvorteile in der Gesamtlänge des Antriebs ergeben.

Zusammenfassung

Angesichts der Forderungen nach weniger Verbrauch und reduzierten CO₂-Emissionen bei gleichzeitig wachsendem Wunsch nach mehr Komfort ist zu erwarten, dass die Marktanteile des Automatikgetriebes in Zukunft überproportional wachsen werden. Wesentliche Voraussetzungen hierfür sind aber weitere Verbesserungen bei Wirkungsgrad, Spreizung, Gewicht, Bauraum und Kosten. LuK hat mit den Konzepten für trockene und nasse DKG-Systeme, leistungsfähigen Dämpferlösungen für Wandlerautomaten und neuen Ideen für CVTs die entsprechenden Komponenten entwickelt, um für die verschiedenen Getriebetechnologien die geforderten Ziele erreichen zu können.

Um weitere Reduzierungen bei Verbrauch und CO₂-Emissionen zu erzielen, werden sich die Stopp-Start Systeme flächendeckend durchsetzen. Daraus leiten sich für künftige Automatikgetriebe die Forderungen ab, sie auch im Stillstand unabhängig vom Motorbetrieb betätigen und den Motor in möglichst kurzer Zeit wiederstarten zu können. Hierzu wurden von LuK verschiedene Systemlösungen für DKG, CVT und auch Wandlerautomaten erarbeitet.

Ideale Voraussetzungen für die Hybridisierung bietet das Doppelkupplungsgetriebe mit elektromotorischer Aktorik. Ein solches Fahrzeug wurde von LuK als

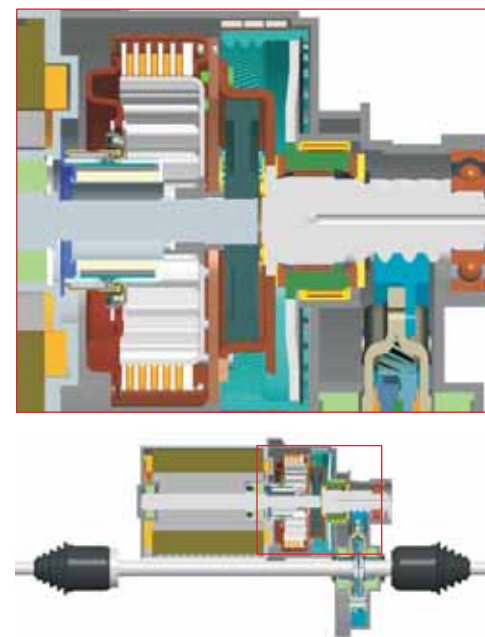


Bild 14 2-Gang Lastschaltgetriebe für Elektrofahrzeuge

Mildhybrid aufgebaut und schon beim LuK Kolloquium 2006 gezeigt. Das Konzept wird heute in mehreren Projekten als Vollhybrid weiterverfolgt, erste Serienanwendungen sind ab 2013 zu erwarten. Alternative Vollhybridsysteme sind der P2-Hybrid, der bei VW auf Basis der Colorado Plattform in 2010 mit einem Trennkupplungssystem von LuK in Serie geht, und die leistungsverzweigten two mode Getriebe, in denen Dämpfer von LuK zur Lösung der anspruchsvollen Isolationsaufgaben zum Einsatz kommen.

Ein Vergleich zwischen verbrennungs- und elektromotorischem Antrieb zeigt, dass der E-Antrieb hinsichtlich der CO₂-Emissionen heute schon die deutlich bessere Antriebsart darstellt. Beim Wirkungsgrad ist das Ergebnis des Vergleichs nicht so eindeutig, die Entwicklungen der Kraftwerkstechnologien aber zeigen, dass auch diesbezüglich der E-Antrieb in Zukunft in weiten Betriebsbereichen die bessere Alternative sein wird. Daher ist angesichts der sich verschärfenden öffentlichen Umwelt- und Energiediskussion zu erwarten, dass der Anteil der Plug-in Technologien stark wachsen wird. Einzige echte Hürde für eine schnelle Verbreitung dieser Antriebskonzepte sind heute noch die zu niedrige Leistungsdichte und die zu hohen Kosten der Batterien. Aktuelle Kostenprognosen und Entwicklungen bis hin zu „offenen“ Batteriesystemen zeigen aber, dass sich das bis 2020 ändern wird. Daher wurden bei Schaeffler als Entwicklungsplattform für neue Antriebskonzepte das Schaeffler Hybrid Fahrzeug und das Schaeffler E-Fahrzeug aufgebaut. Auf Basis solcher Komplettsysteme werden bei Schaeffler die Getriebe- und E-Motortechnologien für die Mobilität von morgen entwickelt.

Literatur

- [1] Liebl, J.: Elektromobilität – Der nächste Schritt bei BMW EfficientDynamics?, 8. Internationales CTI Symposium „Innovative Fahrzeug-Getriebe“, 2009
- [2] Pollak, B.: Wie viel Getriebe wird für die Elektrifizierung oder Hybridisierung benötigt?, 8. Internationales CTI Symposium „Innovative Fahrzeug-Getriebe“, 2009
- [3] Vafidis, C.: FPTs trockenes Doppelkupplungsgetriebe für hohe Drehmomentdichte (HTD-DDCT), 8. Internationales CTI Symposium „Innovative Fahrzeug-Getriebe“, 2009
- [4] Bek, M.; Schiele, P.: Der hydraulische Impulsspeicher – ein Beitrag der ZF-Automatgetriebe zur CO₂-Reduzierung, 29. Internationales Wiener Motorensymposium 2008
- [5] Küpper, K.; Seebacher, R.; Werner, O.: Denken in Systemen – Software von LuK, 7. LuK Kolloquium, 2002
- [6] Reik, W.; Reitz, D.; Vornehm, M.: Welt der Hybride, 8. LuK Kolloquium, 2006
- [7] Braun, H.; Krauß, M.; Rattei, F.; Bohne, W.; Engelmann, M.; Deuke, U.; Di Pierro, M.: Der Vollhybridantrieb im ActiveHybrid X6 von BMW, ATZ 11/2009
- [8] Fischer, R.; Fraidl, G.; Hubmann, C.; Kapus, P.; Kunzemann, R.; Sifferlinger, B.; Beste, F.: Range-Extender-Modul - Wegbereiter für elektrische Mobilität, ATZ Bericht 10/2009
- [9] FG I 2.5: Strommix 2007, Umweltbundesamt
- [10] Diez, W.: Zurück in die Zukunft? – Hochspannung! Das Comeback des Elektroantriebes, Automotive Agenda 01, 2008
- [11] McKinsey & Company: Roads toward a low-carbon future: Reducing CO₂ emissions from passenger vehicles in the global road transportation system, March 2009
- [12] Erjawetz, K.: Antriebe für Elektrofahrzeuge und „Range Extended“ Elektrofahrzeuge, 8. Internationales CTI Symposium „Innovative Fahrzeug-Getriebe“, 2009
- [13] Kimmig, K.; Bührle, P.; Henneberger, K.; Ehrlich, M.; Rathke, G.; Martin, J.: Mit Effizienz und Komfort zum Erfolg – Die trockene Doppelkupplung etabliert sich auf dem Automatikmarkt, 9. Schaeffler Kolloquium, 2010
- [14] Müller, B.; Kneissler, M.; Gramann, M.; Esly, N.; Daikeler, R.; Agner, I.: Kleiner, Flexibler, Intelligenter – Weiterentwickelte Komponenten für Doppelkupplungsgetriebe, 9. Schaeffler Kolloquium, 2010
- [15] Lindemann, P.; Krause, T.; Swank, M.; George, P.; Hemphill, J.; Marathe, B.: Drehmomentwandler – Aufbruch zu neuen Herausforderungen, 9. Schaeffler Kolloquium, 2010
- [16] Englisch, A.: CVT – Hochwertig und leistungsstark, 9. Schaeffler Kolloquium, 2010
- [17] Zink, M.; Hausner, M.: LuK Kupplungssysteme und Torsionsdämpfer – Schlüsselemente für effiziente Antriebsstränge, 9. Schaeffler Kolloquium, 2010
- [18] Smetana, T.; Biermann, T.; Höhn, B.-R.; Kurth, F.: Schaeffler's aktives Elektrodifferenzial – Das Getriebe für den Antrieb der Zukunft, 9. Schaeffler Kolloquium, 2010
- [19] Biermann, T.; Smetana, T.; Höhn, B.-R.; Kurth, F.: Schaeffler Leichtbaudifferenziale – Eine Differenzialfamilie mit reduziertem Bauraum und Gewicht, 9. Schaeffler Kolloquium, 2010