

Emissionsarmer Hydraulik-Hybridantrieb für Personenwagen

Zwei neue Technologien, das „Floating Cup“-Prinzip und ein neuer hydraulischer Transformator, ermöglichen die vollständige Substitution des mechanischen Antriebsstrangs eines Pkw durch ein seriell hydraulisch-hybrides Getriebe. Der neue „Hybrid“-Antriebsstrang von Innas und RWTH Aachen reduziert den Kraftstoffverbrauch eines Mittelklasse-Pkw um mehr als 50 %. Die CO₂-Emissionen werden mit 82 g/km auf Werte weit unterhalb der EU-Grenze für das Jahr 2012 (120 g/km) reduziert.

1 Einleitung

Innovationen werden häufig durch Veränderungen der wirtschaftlichen und gesetzlichen Rahmenbedingungen vorangetrieben. Stark ansteigende Kraftstoffpreise, neue Grenzen für CO₂-Emissionen und anhaltender Kostendruck stellen die Automobilindustrie vor die umfangreichsten Veränderungen ihrer Geschichte und erfordern neue Antriebslösungen, an denen bereits mit Hochdruck entwickelt wird. Die Anforderungen an neue Antriebslösungen stellen teils widersprüchliche Herausforderungen dar. Um den Kraftstoffverbrauch und die CO₂-Emissionen zu reduzieren, konzentrieren sich die Hoffnungen auf elektrisch-hybride Antriebe mit dem vollelektrischen seriellen Hybrid als ultimative Lösung. Das elektrisch-hybride Getriebe stellt dabei die mit Abstand teuerste Lösung zur Verringerung der CO₂-Emissionen dar und führt somit zu geringer Akzeptanz am Markt [3]. Aktuelle Studien schätzen das Potential elektrisch-hybrider Fahrzeuge auf weniger als 10 % der Verkaufszahlen für das Jahr 2035 [1, 2].

Parallele hybride Konzepte werden zusätzlich zu mechanischen Getrieben installiert und erhöhen auf diese Weise Gewicht, Komplexität und Kosten eines Fahrzeugs. Trotz Massenproduktion sind elektrische Antriebskomponenten weiterhin um eine Größenordnung zu teuer für den Einsatz in Fahrzeugen [4, 5]. Des Weiteren führen die geringen Wirkungsgrade von Batterien und elektrischen Motoren zur Verringerung der Kraftstoffeinsparungen.

Der Ersatz mechanischer Getriebe durch hydrostatische Getriebe mit hydro-pneumatischen Speichern stellt jedoch eine vielversprechende Lösung dar. Speicher ermöglichen dabei ein flexibles Leistungsmanagement, das die Rückgewinnung der kinetischen Energie während des Bremsens erschließt. Dieses serielle hydraulisch-hybride Fahrzeug (Hydrid) besitzt die gleiche Grundstruktur wie ein serieller elektrisch-hybrider Antriebsstrang, **Bild 1**. Verglichen mit elektrischen Batterien, Motoren und Steuerungen sind hydraulische Antriebskomponenten extrem robust und ermöglichen deutlich höhere Leistungsdichten sowie geringere Herstellkosten. Daher wird nachfolgend davon ausgegangen,

dass die hydraulischen Antriebskomponenten mit ähnlichen Kosten und Gewicht im Vergleich zum mechanischen Getriebe hergestellt werden können. Die Einführung hydraulischer Transformatoren für die Steuerung der Leistungsflüsse ist grundlegend für den Erfolg des Systems. Darüber hinaus wird für die hydraulischen Einheiten (Pumpe, Transformator, Motoren) ein neues Funktionsprinzip mit einer hohen Anzahl Kolben verwendet, um Schallabstrahlung, Schwingungen und Ungleichförmigkeiten (NVH) zu reduzieren. Simulationen des neuen Antriebsstrangs haben aufgezeigt, dass der Kraftstoffverbrauch mit dem Hydrid um mehr als 50 % reduziert werden kann. Der durchschnittliche Wirkungsgrad hydrostatischer Getriebe liegt selbstverständlich nicht so hoch wie der mechanischer Getriebe. Durch die Wirkungsgradvorteile, die durch das Leistungsmanagement und die Energierückgewinnung erreicht werden, wird dieser Effekt jedoch deutlich überkompensiert.

Obwohl es sich um ein hydraulisches Konzept handelt, können auch elektrische System könnte somit auf die mittlere Leistungsanforderung des Fahrzeugs abgestimmt und damit im Vergleich zu aktuellen elektrisch-hybriden Systemen kleiner ausgelegt werden. Im Hydrid ermöglichen kleine Speicher mit Volumina bis zu 20 l die Rückgewinnung der Bremsenergie sowie die stark variierenden Leistungsflüsse und Zugkräfte des Fahrzeugs.

2 Erhaltung der Leistungsfähigkeit

Der Antriebsstrang eines Fahrzeugs wird für Spitzenleistungen, wie zum Beispiel das Befahren von Bergpässen mit Anhängern oder schnelles Beschleunigen von 0 auf 100 km/h, ausgelegt. Diese Spitzenanforderungen unterscheiden sich deutlich von den durchschnittlichen Fahrzuständen, **Bild 2**.

Der Motorbetrieb hat maßgeblichen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch. Während der Beschleunigung und konstanter Fahrten im FTP-Zyklus beträgt die maximale Radleistung mit 32 kW weniger als ein Drittel der installierten Motorleistung. Innerhalb 80 % der Zykluszeit

Die Autoren



Dr.-Ing. Peter Achten
ist Geschäftsführer der Innas BV in Breda (Niederlande).



Dipl.-Ing. Georges Vael
ist Projektleiter bei der Innas BV in Breda (Niederlande).



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hubertus Murrenhoff
ist Institutsleiter des IFAS der RWTH Aachen.



Dr.-Ing. Torsten Kohmäscher
ist ehemaliger Mitarbeiter des IFAS der RWTH Aachen und heute bei Sauer-Danfoss (US), Ames (USA).



Dipl.-Ing. Martin Inderelst
ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am IFAS der RWTH Aachen.

ATZ Peer Review

Das Gütesiegel für wissenschaftliche Beiträge in der ATZ. Von Experten aus Forschung und Industrie begutachtet.

Eingegangen 17. Dezember 2008

Geprüft 17. Dezember 2008

Angenommen 11. Februar 2009



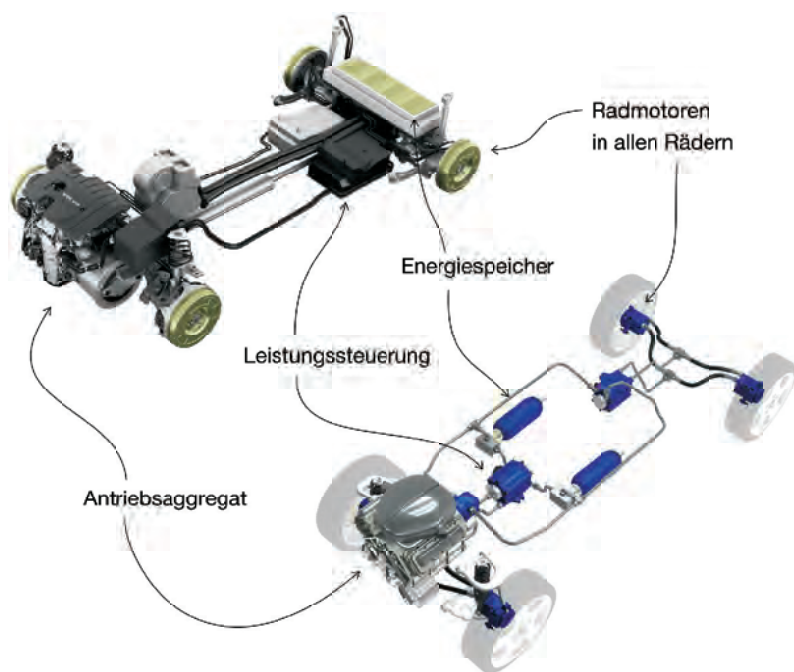


Bild 1: Vergleich von seriellem elektrisch-hybriden (links) mit seriellem hydraulisch-hybriden Antriebsstrang (rechts)

beträgt die Radleistung weniger als 11 kW und für die Hälfte der Zeit sogar weniger als 5 kW. In diesen Leistungsbereichen weist der Motor sehr schlechte Wirkungsgrade auf, wodurch die hohen Verbräuche von Pkw vor allem im Stadtverkehr verursacht werden.

Zur Vermeidung der Betriebspunkte mit geringen Lasten am Verbrennungsmotor kann ein System zur Energiespeicherung in den Antriebsstrang integriert werden. Durch die Integration einer solchen Energiespeicherung entstehen mehrere Vorteile. Der Motorbetrieb wird deutlich verbessert, ohne dass die maximale Leistung von Fahrzeug oder Motor eingeschränkt wird. Vielmehr ermöglicht die gespeicherte Energie einen Start-Stop-Betrieb und verhindert so Leerlaufverluste des Motors. Darüber hinaus kann kinetische Energie während des Bremsens zurück gewonnen und gespeichert werden. Die meisten Bremsaktionen erfordern eine Kapazität von zirka 30 Wh und somit weniger als die Kapazität einer durchschnittlichen Starterbatterie. Die Leistungsanforderungen an ein solches System sind jedoch sehr hoch, Bild 2. Diese müssen insbesondere für den Einsatz in Pkw in der Lage sein, hohe und stark variierende Leistungslevel zu

steuern. Daher ist vor allem eine hohe Leistungsdichte (Hydraulik) erforderlich, während auf eine hohe Energiedichte (Elektrik) verzichtet werden kann.

3 Ersetzen des mechanischen Getriebes

Hydro-pneumatische Speicher erfüllen diese Anforderungen. Ein Speicher besteht grundsätzlich aus einer Druckkammer mit integriertem Stickstoffvolumen.

Einströmendes Öl komprimiert diesen Stickstoff und erhöht auf diese Weise den Druck von Öl und Stickstoff. Solche Speicher sind extrem widerstandsfähig und obwohl ihr Energieinhalt deutlich unterhalb dessen von Batterien liegt besitzen sie eine herausragende Leistungskapazität von mehr als 20 kW/kg. Hydraulische Speicher besitzen einen begrenzten Druckbereich. Sie sind für den Einsatz in Pkw aufgrund von Restriktionen hinsichtlich Gewicht und Kosten mit Volumina zwischen 10 bis 30 l auszuliegen.

Im Hybrid werden Speicher mit dem Drucknetz verbunden, Bild 3, welches auch als Common Pressure Rail (CPR) bezeichnet wird. Der Verbrennungsmotor ist nicht mehr mechanisch mit den Rädern gekoppelt, sondern treibt eine hydraulische Pumpe an. Bei der Pumpe handelt es sich um eine Verdrängereinheit, bei der sich das erforderliche Drehmoment M proportional zur Druckdifferenz Δp ergibt:

$$M = \frac{\Delta p \cdot V}{20 \cdot \pi} \quad \text{Gl. (1)}$$

Hydraulische Konstantmotoren in den vier Radnaben, erzeugen das erforderliche Antriebsmoment direkt am Rad. Das Antriebsmoment wird durch gezielte Veränderung der Druckdifferenz zwischen Ein- und Auslass dieser Motoren gesteuert. Wird die Druckdifferenz umgekehrt, arbeiten die Motoren als Pumpen, bremsen das Fahrzeug und speisen die kinetische Energie zurück in die hydraulischen Speicher. Das vorge-

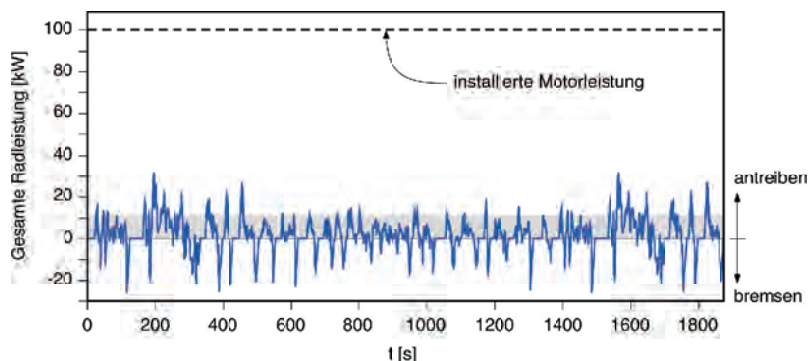


Bild 2: Erforderliche Antriebsleistung für einen Mittelklasse Pkw mit einem Leergewicht von 1450 kg beim Durchfahren des US FTP-Zyklus im Vergleich zur installierten Motorleistung. Während 80% des Zyklus ist die erforderliche Radleistung weniger als 11 kW (im Diagramm durch das graue Band markiert)

stellte hydrostatische Getriebe ermöglicht einen Allradantrieb mit verstellbarem Antriebsverhältnis zwischen Vorder- und Hinterachse sowie die Energierückgewinnung an allen vier Rädern, Bild 3.

Unter der Annahme eines Verdrängungsvolumens V der Pumpe von 60 cm^3 kann berechnet werden, dass Pumpen- und Motormoment zwischen 191 und 382 Nm liegen werden. Daher arbeitet der Verbrennungsmotor immer unter hohen Belastungen und bei hohen Wirkungsgraden und wird nur aktiviert, um ein bestimmtes Druckniveau der hydraulischen Leistungsverorgung im Hochdruckspeicher zu erhalten. Große Teillastanteile werden auf diese Weise vermieden. Muss der Speicher nicht aufgeladen werden, wird der Motor ausgeschaltet und somit Leerlaufverluste vermieden.

4 Ein neues hydrostatisches Prinzip

Bei konventionellen Antriebssträngen stehen Zugkraft und Geschwindigkeit des Fahrzeugs in direkter Beziehung mit Drehzahl und Drehmoment des Motors. Der vorgestellte Hybrid entkoppelt die Leistungsquelle und das Rad, an welchem die Zugkraft direkt erzeugt wird. Auf diese Weise kann das Fahrzeug sehr schnell auf Fahrerwünsche reagieren, jedoch bestehen auch hohe Anforderungen an die Radmotoren. Diese müssen alle extremen Anforderungen des Fahrzeugs, wie zum Beispiel die großen Drehzahl- und Drehmomentbereiche, erfüllen. Dabei muss das maximale Moment bei geringen Fahrgeschwindigkeiten geliefert werden. In diesen Betriebspunkten verursachen konventionelle hydraulische Motoren jedoch hohe Reibungsverluste. Zusätzlich stellen Schallabstrahlung, Schwingungen und Ungleichförmigkeit kritische Faktoren für die Auslegung eines Pkw dar. Die direkte Ankopplung der hydraulischen Motoren an die Räder verhindert den Einsatz von Dämpfern und Schwungrädern, um das Drehmoment zu stabilisieren. Daher müssen die Motoren über dem Drehwinkel ein konstantes Drehmoment erzeugen. In den letzten Jahren wurde ein neues hydrostatisches Prinzip entwickelt, das diese Anforderungen erfüllt [8]. Die Haupteigenschaften des „Floating-Cup“-Prinzips, Bild 4, sind:

- Konstruktion mit 24 Kolben
- gespiegelter Aufbau zur Reduktion der hydrostatischen Lagerlast
- direkte Umwandlung von hydrau-

- lischem Druck in Drehmoment (und umgekehrt) mit sehr geringen Reibungsverlusten
- Abstimmung auf kostengünstige Mas-

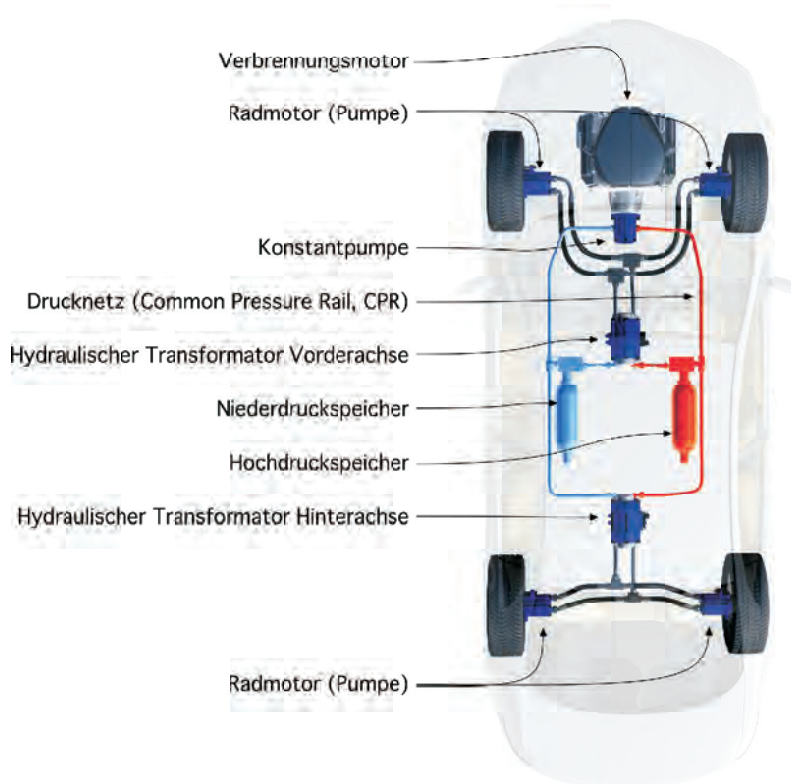


Bild 3: Auslegung des Hybrids als serielles hydraulisch-hybrides Getriebe

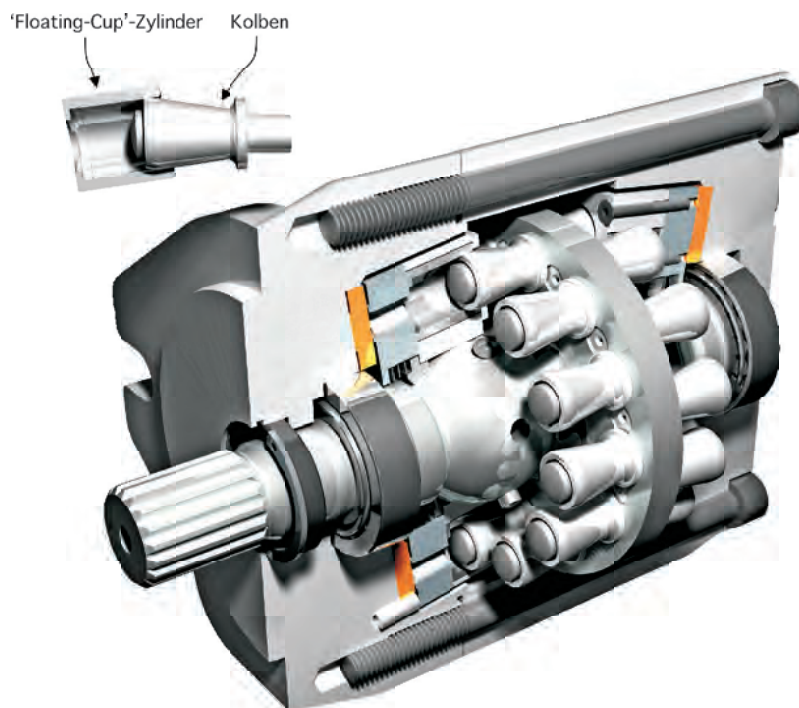


Bild 4: Querschnitt einer konstanten „Floating-Cup“-Einheit (Pumpe/Motor)

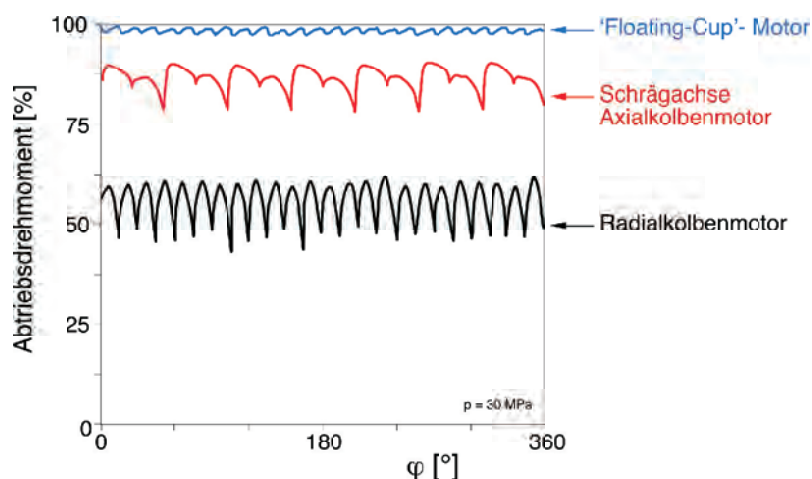


Bild 5: Messung des Ausgangsmoments von drei unterschiedlichen hydraulischen Motoren; relativ zum theoretischen maximalen Ausgangsmoment. Die Messungen wurden bei 300 bar und Drehzahlen unterhalb von 1 U/min durchgeführt

senproduktionstechnologien, wie zum Beispiel Tiefziehen, Sintern sowie Feinstanzen.

Bild 5 zeigt einen Vergleich der gemessenen Drehmomente von drei unterschiedlichen hydraulischen Motoren relativ zum theoretischen Maximalmoment für Drehzahlen nahe null. Lediglich der „Floating-Cup“-Motor zeigt nahezu keine Verluste durch Reibung bei diesen Betriebsbedingungen. Gleichzeitig ist zu erkennen, dass die Ungleichheit in den Drehmomenten der konventionellen hydraulischen Motoren für den Einsatz als Radmotoren in Pkw nicht akzeptabel ist. Diese Ungleichförmigkeit kann nur durch eine deutliche Erhöhung der Kolbenanzahl auf ein akzeptables Maß reduziert werden.

„Floating-Cup“-Einheiten können in einem weiten Bereich betrieben werden. Durch die hohen maximalen Drücke von bis 500 bar können bereits kleine Motoren relativ hohe Momente erzeugen. „Floating-Cup“-Motoren mit Schluckvolumen von 56 cm³ liefern Radmomente von bis zu 446 Nm. Mit vier Radmotoren kann somit eine Steigfähigkeit von 44 % oder eine Beschleunigung von 0 auf 100 km/h in 9 s erreicht werden.

5 Der hydraulische Transformator

Das Druckniveau im Hochdruckspeicher variiert mit seinem Ladezustand und unterscheidet sich deutlich von dem Druck,

der erforderlich ist, um das geforderte Drehmoment am Rad zu erzeugen. Der Druck steigt an, wenn Bremsenergie zurück gewonnen wird oder die Motor-Pumpen-Einheit im Betrieb ist.

Bild 6 zeigt die berechneten Drücke des US-FTP-Zyklus, wobei positive Druckdifferenzen den Antriebsmodus des Fahrzeugs und negative Druckdifferenzen den Bremsvorgang kennzeichnen. In der Simulation wurde das Fahrzeug von zwei Radmotoren angetrieben. Die Lücke zwischen den zwei dargestellten Druckdifferenzen wird beim Hybrid mit Hilfe eines hydraulischen Transformators überbrückt. Als hydraulisches Äquivalent zum elektrischen Umrichter wandelt er - ohne konzeptbedingte Verluste - Druck und Volumenstrom anstelle von Spannung und Strom:

$$(\Delta p \cdot Q)_{\text{ein}} = (\Delta p \cdot Q)_{\text{aus}} \quad \text{GL. (2)}$$

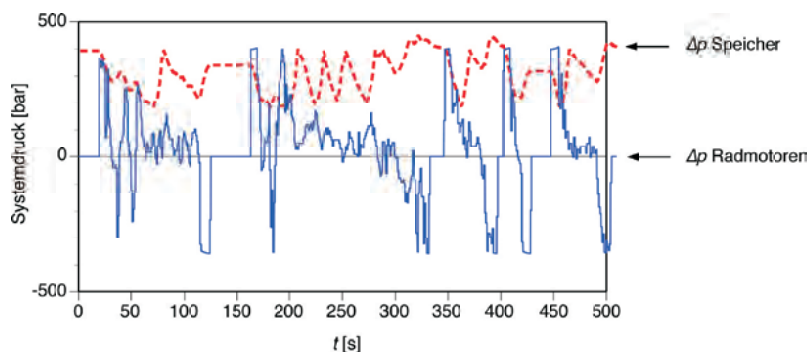


Bild 6: Druckdifferenz zwischen Hoch- und Niederdruckspeicher und die Druckdifferenz an den Radmotoren während der ersten 500 s des US FTP-Zyklus

Auf Basis des „Floating-Cup“-Prinzips wurde ein hydraulischer Transformator entwickelt, um die Anforderungen von automotiven Getrieben zu erfüllen [9]. Dieser ermöglicht einen Betrieb in 4 Quadranten (vorwärts bzw. rückwärts antreiben sowie vorwärts bzw. rückwärts bremsen). Eine wesentliche Eigenschaft des Transformators ist die Fähigkeit zur Druckverstärkung, die vor allem zur Erfüllung der Anforderungen hinsichtlich Steigfähigkeit, Beschleunigungsleistung und Elastizität notwendig ist, wenn das erforderliche Antriebsmoment deutlich oberhalb der Werte für den New European Driving Cycle (NEDC) und den FTP-Zyklus liegt.

Durch den hydraulischen Transformator können robuste und effiziente Konstantmotoren für den Radantrieb verwendet werden. Die Motoren können klein gehalten werden, da der Transformator den Druck auf bis zu 500 bar verstärken kann; selbst wenn der Speicherdruck bei 200 bar liegt. Ohne den Transformator müssten verstellbare Motoren eingesetzt werden, um die veränderlichen Drehmomentforderungen am Rad zu erfüllen. Zusätzlich würde das maximale Drehmoment des Verstellmotors durch den Druck im Hochdruckspeicher bestimmt. Der Vorteil der Druckerhöhung ginge ebenfalls verloren, so dass die Größe der Verstellmotoren um mehr als den Faktor zwei oberhalb der konstanten Motoren mit Transformator liegen müsste. Nur so wäre das maximale Moment bei reduziertem Hochdruck, wie zum Beispiel 200 bar, erreichbar. Neben dem höheren Gewicht und den höheren Kosten der Verstellmotoren, füh-

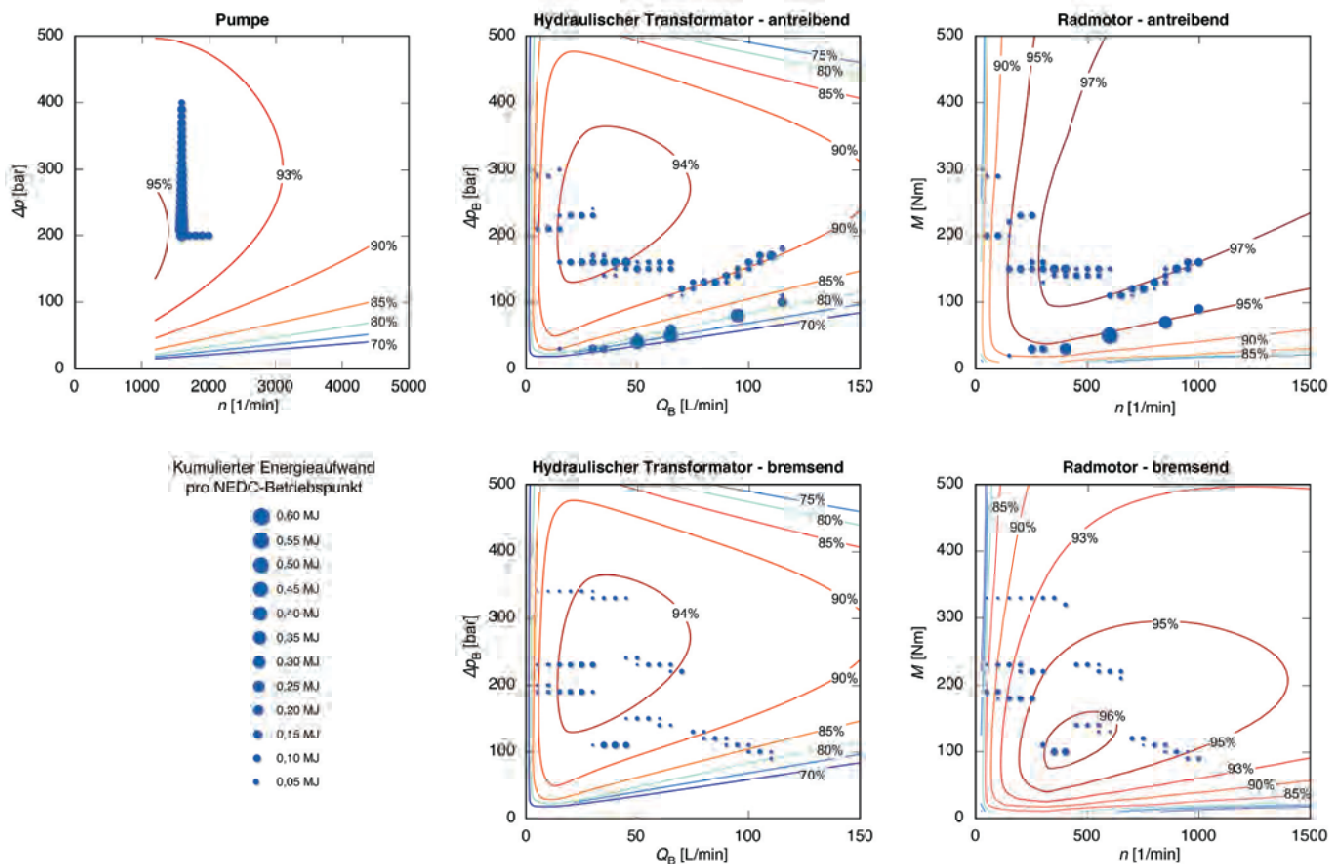


Bild 7: Wirkungsgradkennfelder der Hauptkomponenten im Hybrid unter Berücksichtigung der NEDC-Betriebspunkte

ren die großen Einheiten zu geringeren Auslastungen und somit zu geringeren Wirkungsgraden während normaler Betriebsbedingungen.

6 Kraftstoffverbrauch und CO₂-Emissionen

Am Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen (IFAS) der RWTH Aachen wurden Simulationen in DSHplus zu Kraftstoffverbrauch und CO₂-Emission des Hybrids durchgeführt. Auf Basis realer Messungen wurden Wirkungsgradkennfelder für Pumpe, Motoren und Transformatoren abgeleitet, **Bild 7**.

Die Kennfelder wurden in das Simulationsmodell eines europäischen Mittelklasse Pkw integriert, das zudem die Verluste in Ventilen, Speichern und hydraulischen Leitungen berücksichtigt. Dessen Spezifikation ist in der **Tabelle** aufgeführt. Der Kraftstoffverbrauch wurde sowohl für den NEDC als auch für den US-FTP-Zyklus berechnet.

Die Leistungsflüsse in einem Getriebe mit Energierückgewinnung sind zumeist komplexer als in Getrieben ohne Rückgewinnung. **Bild 8** zeigt die berechneten zu Energien aufsummierten Leistungsflüsse für den NEDC. Die Verluste im mechanischen Antriebsstrang können nahezu vernachlässigt werden und sind deutlich geringer als die Verluste im hydraulischen Antriebsstrang. Dabei wird ein Teil der Verluste im hydrostatischen Getriebe durch die begrenzte Kapazität des Hochdruckspeichers verursacht. Beim Hybrid wird der Bremsvorgang über die Radmotoren durchgeführt, die währenddessen als Pumpen arbeiten und den Speicher füllen. Die kinetische Energie des Fahrzeugs wird bis zum Erreichen des Maximaldrucks vom Hochdruckspeicher aufgenommen, der Rest der kinetischen Energie wird über ein Druckbegrenzungsventil abgedrosselt und geht verloren. Insgesamt können 55 % (NEDC) bis 76 % (FTP) der Bremsenergie zurück gewonnen werden.

Die gesamten hydraulischen Verluste werden in Wärme umgewandelt. Aus

den Untersuchungen ergibt sich eine erforderliche Kühlleistung von zirka 1,6 kW. Konzeptbedingt besteht der Vorteil, dass das hydraulische Medium den Komponenten bereits die Wärme entzieht und einer zentralen Kühlstelle zuführen kann. Anders als bei elektrischen Komponenten ist kein zusätzliches Kühlsystem erforderlich.

Die Menge der Energie, die während des Zyklus vom Verbrennungsmotor erzeugt werden muss, ist für beide Getriebe nahezu gleich. Das hydrostatische Getriebe verursacht höhere Verluste als das mechanische Getriebe. Aber diese Verluste werden durch die zurück gewonnene kinetische Bremsenergie ausgeglichen, die beim mechanischen Getriebe vollständig verloren geht. Es besteht ein großer Unterschied im berechneten Kraftstoffverbrauch für beide Antriebsstränge. Dieser resultiert aus den unterschiedlichen Betriebsbedingungen für den Verbrennungsmotor und deren Einfluss auf dessen Wirkungsgrad. Für den Hybrid wird der Motor ein- und ausge-

Tabelle: Pkw Spezifikation in der Simulation – Hybrid

Leergewicht	1450 kg
Max. Zugkraft	5700 N (Allrad)
Max. Geschwindigkeit	190 km/h
Frontfläche	2,26 m ²
c _w -Wert	0,26
Raddurchmesser	0,63 m
Beiwert Rollwiderstand	0,008
Dieselmotor	100 kW
Speichervolumen	20 Liter
Speicherdruck	200-420 bar
Schluckvolumen Pumpe	56 cm ³ /U (konstant)
Schluckvolumen Transformator	56 cm ³ /U
Schluckvolumen Radmotoren	56 cm ³ /U (konstant)
Max. Druckdifferenz Δp Radmotoren	500 bar

schaltet und wird lediglich während 10 % der NEDC-Zeit betrieben. Während dieser Zeit läuft der Motor stets unter hoher Last von 170 bis 350 Nm, **Bild 9**, so dass ge-

ringe Lasten am Verbrennungsmotor im Unterschied zum mechanischen Antriebsstrang beim Hybrid vollständig vermieden werden. Dieser Start-Stop-Betrieb

führt zu einer Reduktion des Kraftstoffverbrauchs von 6,6 l/100km des Referenzfahrzeugs auf 3,1 l/100km für den Hybrid. Gleichmaßen sinken die CO₂-Emissionen von 174 auf 82 g/km. Der Start-Stop-Betrieb des Motors sowie die Verschiebung der Betriebspunkte haben Einfluss auf den Ausstoß von Verbrennungsrückständen, NO_x und anderen gesetzlich relevanten Abgasemissionen. Dies betrifft jedoch sämtliche Hybridfahrzeuge, deren Motor in verschiedenen Arbeitspunkten betrieben wird und, sofern möglich, abgeschaltet wird. Letzten Endes ist zu erwarten, dass die Motorsteuerung und auch ihr Aufbau geändert werden muss, um das System Verbrennungsmotor bezüglich hybrider Antriebsstränge anzupassen und zu optimieren.

7 Zusammenfassung

Zwei neue Technologien, das „Floating-Cup“ Prinzip und ein neuer hydraulischer Transformator, ermöglichen die vollständige Substitution des mechanischen Antriebsstrangs eines Pkw durch ein serielles hydraulisch-hybrides Getriebe. Dieser neue Hybrid Antriebsstrang reduziert den Kraftstoffverbrauch eines Mittelklasse Pkw um mehr als 50 %. Die CO₂-Emissionen werden mit 82 g/km auf Werte weit unterhalb der von der EU für das Jahr 2012 vorgegebenen Grenze (120 g/km), reduziert. Diese Reduktionen werden hauptsächlich dadurch erreicht, dass der Verbrennungsmotor optimiert bei hohen Lasten betrieben wird. Befindet sich der Hochdruckspeicher im geladenen Zustand wird der Motor zusätzlich ausgeschaltet.

Ein weiterer Kernpunkt für das Potential des vorgestellten hydraulischen Antriebsstrangs sind die hervorragenden Teillastwirkungsgrade der eingesetzten hydraulischen Komponenten. Das gleiche serielle Antriebskonzept könnte mit elektrischen oder konventionellen hydraulischen Einheiten aufgebaut werden. Diese Systeme würden jedoch aufgrund der schlechteren Teillastwirkungsgrade einen großen Teil der Reduktion einbüßen.

Der Hybrid Antriebsstrang erreicht die Einsparungen, ohne die Leistungsfähigkeit des Fahrzeugs negativ zu beeinflussen. Darüber hinaus können elektrische

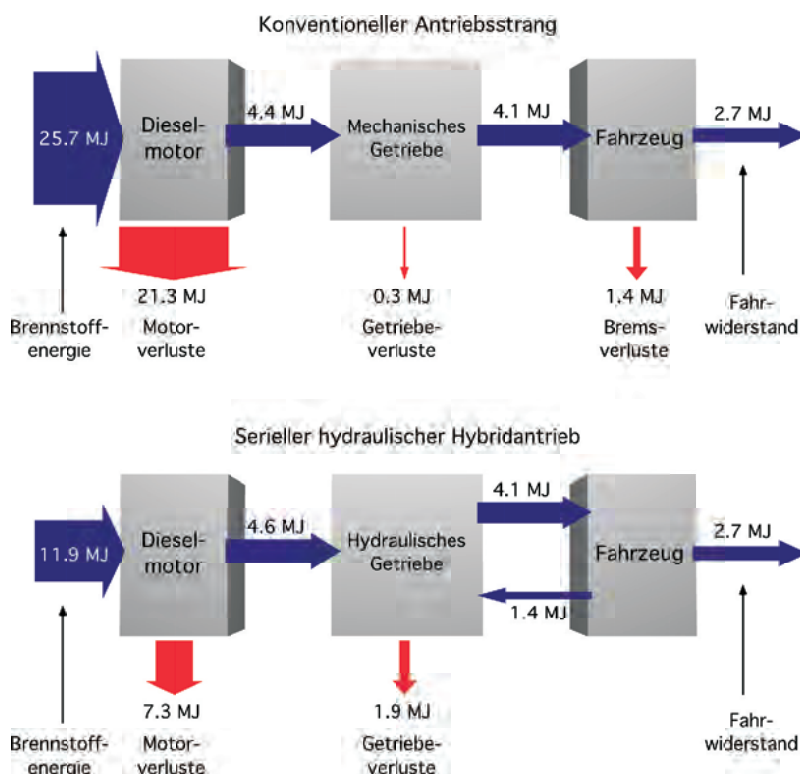


Bild 8: Berechnete Energien für ein konventionelles mechanisches Getriebe (Sechsgang, Handschaltung, Allradantrieb) und den neuen Hybrid Antriebsstrang im NEDC

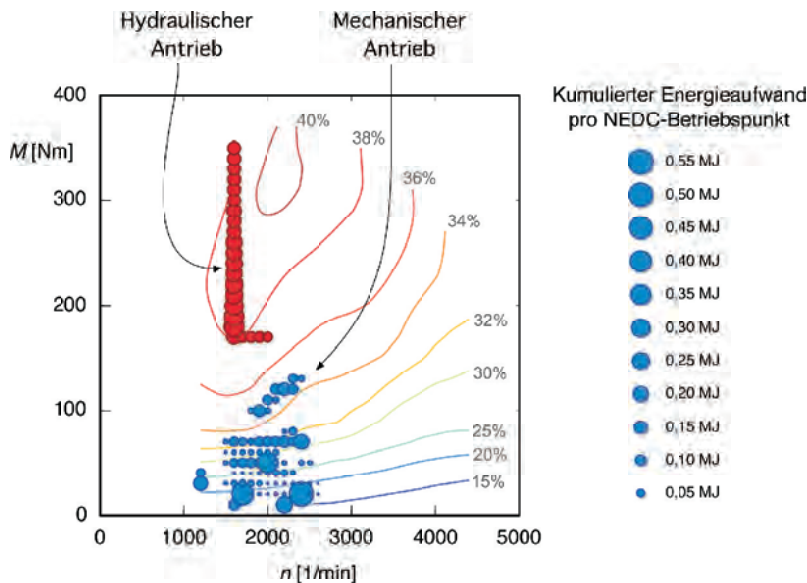


Bild 9: Betriebspunkte des Verbrennungsmotors für ein konventionelles Fahrzeug mit mechanischem Getriebe und einem Fahrzeug mit Hybrid Antriebsstrang, eingetragen in das Wirkungsgradkennfeld des Dieselmotors. Der Durchmesser der Kreise steht für die Energiemenge, die der Motor an dieser Stelle erzeugt

Energiequellen eingesetzt werden, ohne dass die Schwäche der geringen Leistungsdichte zu Nachteilen hinsichtlich Kosten, Gewicht oder Leistungsfähigkeit führt.

Literaturhinweise

- [1] Bandivadekar, A. et al: On the road in 2035. In: Report No. LFEE 2008-05 RP, MIT, 2008, Boston, USA
- [2] Pickett, J.: Sustainable biofuels – prospects and challenges. In: The Royal Society, 2008, ISBN 978 0 85403 662 2
- [3] Vahlenkamp, T.: Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland. McKinsey & Company, Inc. 2008
- [4] Rogers, S.: Advanced power electronics and electric motors (APEEM) R&D 2008
- [5] Fessler, R.: Electrical and electronics technical team roadmap, FreedomCar USA 2006
- [6] Achten, P. et al: Energy efficiency of the Hybrid. In: 6.IFK, Dresden, Volume II, 2008
- [7] Kohmäscher, T. et al: Hybrid – ein Weg aus der Emissionsfalle. In: Automobil Konstruktion 3/2008
- [8] Palmen, A. et al: Wirkungsgraduntersuchung an einer Floating Cup-Axialkolbenpumpe. IFAS RWTH Aachen, 2007
- [9] Achten, P. et al: The Innas Hydraulic Transformer – The Key to the Hydrostatic Common Pressure Rail. In: SAE2000-01-2561

Download des Beitrags unter
www.ATZonline.de

ATZ
online

ATZ

Read the English e-magazine.
Order your test issue now:
SpringerAutomotive@abo-service.info