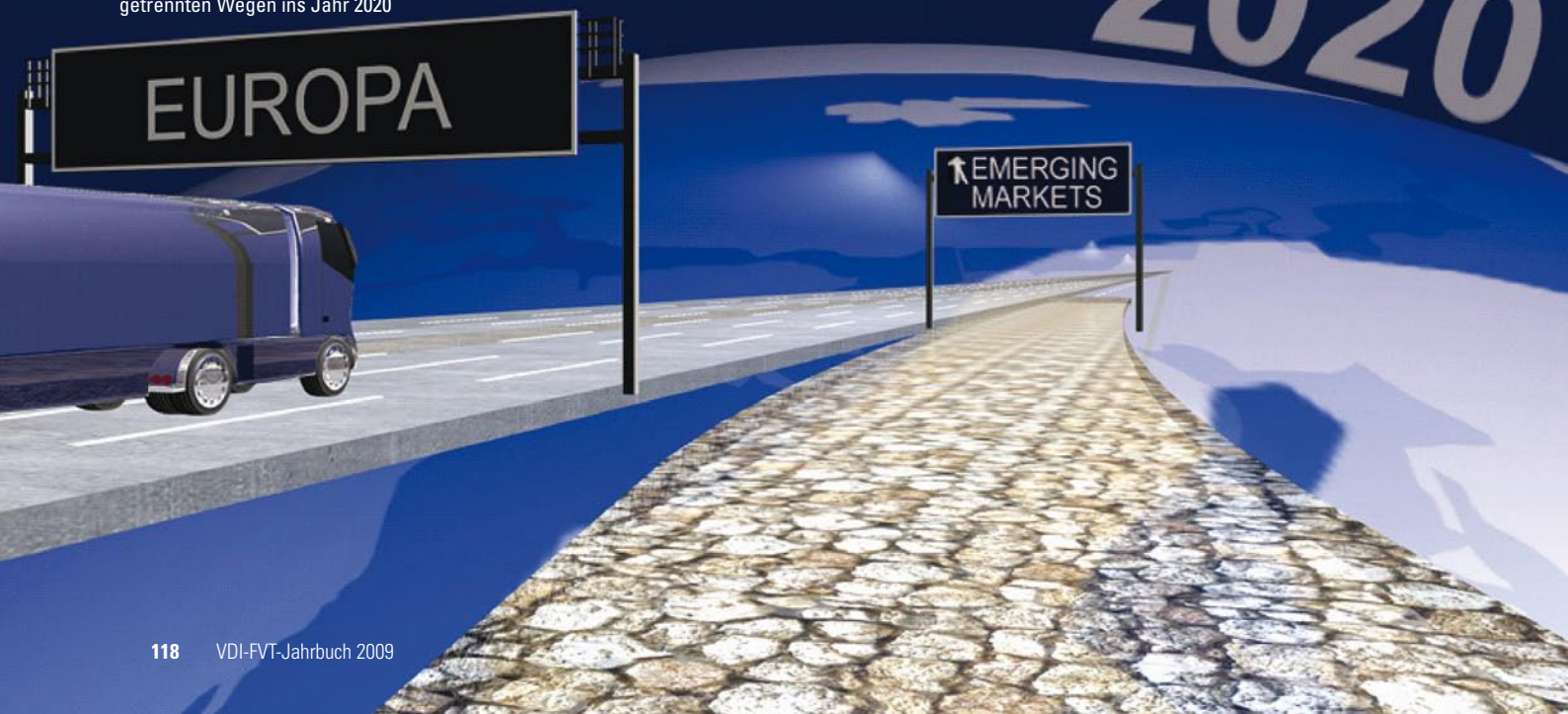


# Antriebskonzepte für Nutzfahrzeuge

## Merkmale, Erfahrungen und Weiterentwicklungen

In diesem Beitrag der ZF Friedrichshafen AG werden vielstufige Handschaltgetriebe und automatische Getriebe beschrieben. Auch besonders robuste Getriebekonzepte für bestimmte Märkte werden vorgestellt, ebenso vollautomatische Wandler-Lastschaltgetriebe und hydrodynamische, integrierte Retarder (Intarder). Außerdem werden alternative Antriebskonzepte für verschiedene Nutzfahrzeuge bewertet und deren Merkmale und Anwendungsgrenzen herausgearbeitet: Doppelkupplungsgetriebe, stufenlose Getriebe (CVT), Powershift-Getriebe sowie teilautomatische X-by-Wire-Lösungen. Auch der Einsatz von Hybridsystemen für den Stadtbus- und Verteilerverkehr sowie für Fernverkehr-Lkws wird untersucht.

Europa und Emerging Markets auf  
getrennten Wegen ins Jahr 2020



## 1 Einleitung

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Fahrzeuge sind heute das beherrschende Thema. Obwohl von den CO<sub>2</sub>-Fahrzeuganteilen in Deutschland 13 % auf Pkw und nur 5 % auf Lkw entfallen, besteht auch für Lkw-Getriebehersteller die Notwendigkeit und auch Chance, die Emissionen zu reduzieren. Zum Beispiel durch die Reduzierung des Getriebe-Gewichts, durch ein optimales Zusammenspiel von Fahrzeug und Getriebe, durch eine intelligente Fahrstrategie sowie eine noch weitere Optimierung des schon extrem hohen Getriebe-Wirkungsgrads von zirka 99 %, im direkten Gang von Handschalt- und Automatik-Getrieben.

Ein Einsparpotenzial besteht in der Applikation eines kompakten und effizienten automatischen Schaltgetriebes der Baureihe AS Tronic, Abkürzungen siehe **Tabelle**. Diese Getriebe bieten durch ihr geringes drehmomentspezifisches Gewicht und ihre intelligenten Fahrfunktionen zirka 3 bis 5 % Kraftstoffeinsparung im Vergleich mit einem Handschaltgetriebe. Ein konzentrierter, gut ausgebildeter Fahrer kann auch mit einem Handschaltgetriebe gute Ergebnisse erzielen. Aber im Durchschnitt einer Flotte und von Montag früh bis Freitag spät ist das automatische Getriebe stets „konzentriert“ und liefert konstant gute Ergebnisse. Die Fahrer im hektischen, stressbetonten Straßenverkehr werden entlastet. Die Getriebe bieten einen Komfort, der dem Pkw nahe kommt. Sie liefern somit auch einen Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit.

Potenziale zur Reduzierung von Kraftstoff und CO<sub>2</sub> ergeben sich auch durch die Vergrößerung der Gesamtspreizung

des Getriebes (moderne Getriebe für einen 40-t-Lkw haben eine Spreizung von zirka 17:1 oder größer). ZF bietet generell neben den sogenannten Overdrive-Getrieben Varianten im Directdrive an. Im Fernverkehr wird der höchste Gang in 90 % aller Zeitanteile gebraucht. Durch den direkten Durchtrieb im höchsten Gang werden zusätzlich zirka 0,4 bis 0,5 l Kraftstoff pro 100 km gespart. Zur Minimierung des Verbrauchs ist es wichtig, eine ausreichende Anzahl von Gängen zu haben, um stets im verbrauchsoptimalen Betriebspunkt des Motors zu fahren. Der Lkw ist hier Vorreiter, er hat bereits zwölf oder sechzehn Gänge. In den vergangenen Jahren wurde diskutiert, das zulässige Lkw-Gesamtwicht von 40 auf 60 t anzuheben. Dies ergäbe massive Einsparungen an Kraftstoff und CO<sub>2</sub>, weil damit der spezifische Verbrauch um 10 bis 20 % sinken würde [1]. Aufgrund von aktuellen politischen Entscheidungen ist dies zurzeit noch nicht zulässig [2].

## 2 Getriebebauformen

In **Bild 1** ist der Aufbau eines modernen Handschaltgetriebes (HS) für schwere Lkw dargestellt. Die Getriebe der Baureihe Ecosplit haben sich bewährt in den effizienten 16-Gang-Ausführungen. Der Verbrennungsmotor treibt über eine Trocken-Trennkupplung das Getriebe an. Das 2x4x2-Konzept ist realisiert über einen vorgeschalteten Splitter (GV), ein viergängiges Grundgetriebe (HG) und eine nachgeschaltete Planetengruppe (GP). Die wirkungsvolle Servo-Einrichtung sorgt für einen hohen Schaltkomfort. Die Handkraft wirkt

**Tabelle:** Erläuterungen der Abkürzungen

<b>AFS</b>	Abfallsammelfahrzeug
<b>AS</b>	Automatisches Schaltgetriebe (zum Beispiel AS-Tronic-Baureihe)
<b>AT</b>	Wandlerautomatikgetriebe (zum Beispiel Ecomat-Baureihe)
<b>AVS</b>	Automatische Vorwahlschaltung
<b>BRIC</b>	Brasilien, Russland, Indien, China
<b>CVT</b>	Stufenloses Getriebe (continuously variable transmission)
<b>HS</b>	Handschaltgetriebe (manuelles Getriebe)
<b>WSK</b>	Wandler-Schaltkupplung

## Die Autoren



Dipl.-Ing.  
**Wilhelm Härdtle**  
ist Leiter Produktentwicklung Getriebe für Nutzfahrzeuge bei der ZF Friedrichshafen AG in Friedrichshafen.



Dr.-Ing.  
**Frank-Detlef Speck**  
ist Leiter Vorentwicklung für Nutzfahrzeuge der ZF Friedrichshafen AG in Friedrichshafen.



Dr.-Ing.  
**Christoph Rüdhardt**  
ist Projektleiter Produktentwicklung für schwere Nutzfahrzeuge der ZF Friedrichshafen AG in Friedrichshafen.



Dipl.-Ing. (FH)  
**Philipp Schneider**  
ist Projektleiter Getriebe-Lokalisierung bei der ZF do Brasil Ltda. in Sorocaba (Brasilien).



Dipl.-Ing. (FH)  
**Walter Keller**  
ist Leiter Versuch schwere Nutzfahrzeuggetriebe der ZF Friedrichshafen AG in Friedrichshafen.



Dipl.-Ing. **Karl-Fritz Heinzelmann**  
ist Leiter Konstruktion Basisentwicklung Nutzfahrzeuge der ZF Friedrichshafen AG in Friedrichshafen.

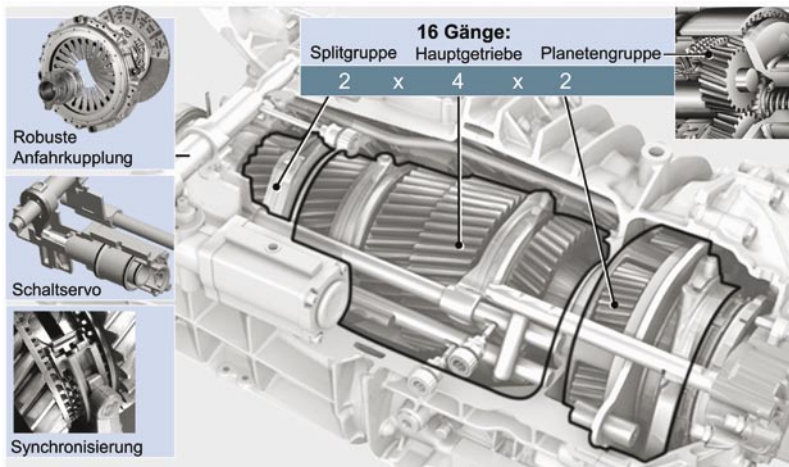


Bild 1: Ecosplit-Baureihe für schwere Lkw

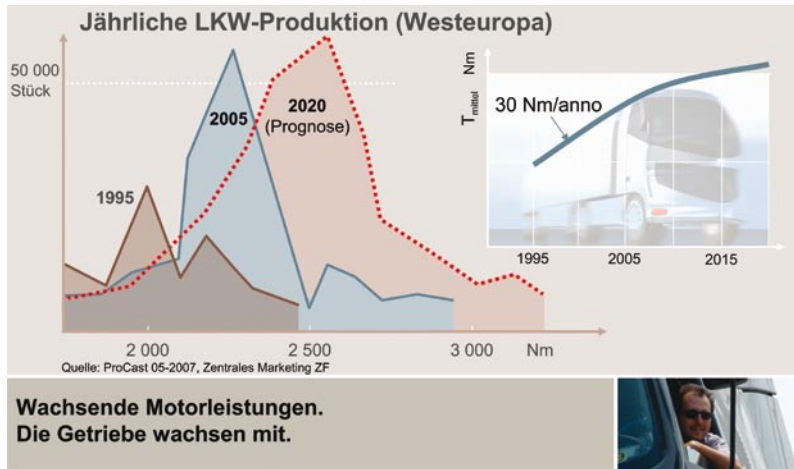


Bild 2: Wachstum des mittleren Antriebs-Drehmoments

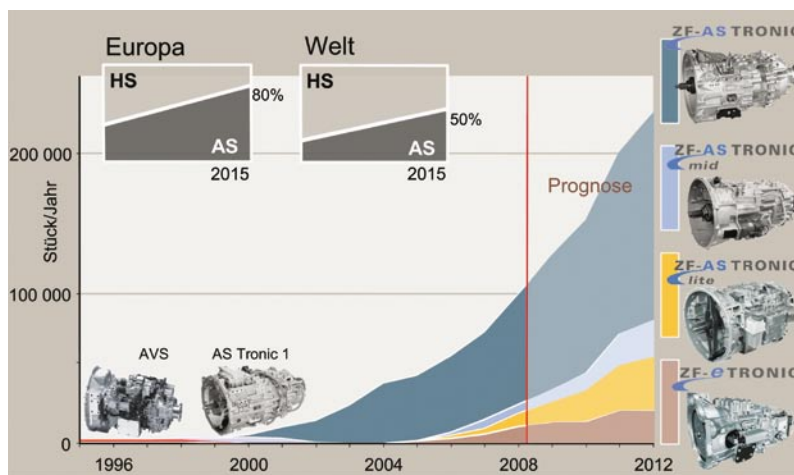


Bild 3: Stückzahlentwicklung AS-Getriebe

tungsstarke Ecosplit-12-Gang-Baureihe. Damit sind Getriebe bis zu 2800 Nm in der Kraftstoff sparenden Direct-Drive-Variante verfügbar.

Die Leistungsdichte konnte mit neuen Getriebekonzepten erheblich gesteigert werden, zum Beispiel durch den Einsatz moderner Gehäuse aus Aluminium. Heute werden Bauteile integriert, die früher angebaut wurden und zu einem höheren Gewicht führten. Bei Getrieben ab einem Drehmoment von 2000 Nm ist es günstiger, diese in einer Zwei-Vorgelegewellen-Bauweise auszuführen, was zu einer kompakteren Bauweise und einem niedrigeren Gewicht führt. In den automatischen Getrieben der Baureihe AS Tronic sind keine Synchronisierungen im Hauptgetriebe erforderlich; sie wurden durch robuste und einfachere Klauen ersetzt. Ermöglicht wurde dies durch die elektronische Synchronisierung inklusive Motoreingriff. 12-Gang-Getriebe sind für viele Anwendungen geeignet. Bei diesen 2x3x2-Getrieben kann ein Radsatz komplett entfallen; das geringere Gewicht bringt Verbrauchsvorteile und erhöht die Nutzlast.

Ein anderer Vorteil dieser Getriebe ist das lange Ölwechsel-Intervall. ZF hat für die unterschiedlichsten Getriebe-Anwendungen ein vollsynthetisches Öl entwickelt, das Ecofluid M. Durch eine umfassende Komponenten-, Prüfstands- und Felderprobung können Ölwechsel-Intervalle von über 500.000 km geboten werden.

Wie Bild 2 zeigt, wächst das mittlere Antriebsmoment aufgrund von Fortschritten in der Lkw-Motorenteknologie stetig. Aus dem gleichen Hubraum wird mehr Drehmoment und Leistung erzielt. Infolge des steigenden Transportaufkommens und des Drucks auf die Transporteffizienz steigen auch die möglichen Geschwindigkeiten. Dies treibt die Antriebsdrehmomente nach oben. Das mittlere Drehmoment steigt je nach Region und Anwendung um 20 bis 30 Nm pro Jahr. Dieser Trend wird sich – allerdings abflachend – weiter fortsetzen.

### 3 Einsatz automatischer Getriebe

Wie aus Bild 3 ersichtlich, sind automatische Getriebe seit einigen Jahrzehnten in Serie. Vom 1989 eingeführten halbautomatischen Getriebe AVS wurden zirka

über pneumatische Verstärkung auf die Synchronisierungen im Getriebe. Von dieser Bauart sind mittlerweile zirka

zwei Millionen Getriebe im weltweiten Einsatz. ZF liefert ab 2009 eine speziell für den Fernverkehr entwickelte, leis-

15.000 Getriebe. Die AS Tronic ist seit 1997 verfügbar. Mittlerweile sind rund 300.000 Getriebe erfolgreich im Einsatz. Seit 2005 wird die eTronic geliefert, eine elektromechanische Variante für Vans. Die AS-Tronic-lite-Baureihe ist eine vollautomatische, elektrohydraulische Bauform, die sich in Fahrzeugen bis zirka 24 t bewährt. Die Kunden können aus einer durchgängigen Baureihe automatischer Getriebe für Lkw wählen. Dies sind 6-, 12- und 16-Gang-Getriebe bis 3100 Nm Antriebsmoment [3, 4, 5].

**Bild 4** zeigt eine anspruchsvolle Anwendung in einem Abfall-Sammelfahrzeug (AFS). Früher waren in diesen Fahrzeugen entweder Handschaltgetriebe (HS) oder bei sehr hohen Ansprüchen Lastschalt-Wandlerautomatikgetriebe (AT) im Einsatz. Seit 2002 / 2003 sind zirka 3000 AFS mit AS-Tronic-Getrieben im Einsatz. Die Fahrer schätzen die komfortable, Kraftstoff sparende automatische Fahrweise im Stop-and-go-Verkehr, bei dem für diese Getriebe ein gänzlich anderes Lastkollektiv auftritt als im Fernverkehr. Obwohl die Verzahnungen und Lager aufgrund der geringeren Gesamtaufleistung genügend Reserven haben, ist dieser Einsatz für alle Schaltelemente eine extreme Herausforderung. Während im Fernverkehr zirka 1 bis 1,5 Schaltungen pro km auftreten, sind es im Abfall-Sammelfahrzeug 20 bis 27 Schaltungen pro km, und das überwiegend in den unteren Gängen.

Zu den Fahrzeugen, die mit AS-Tronic-Getrieben ausgestattet sind, gehören Lkw, Überland- und Reisebusse, Baustellen- und Kranfahrzeuge sowie leichte Schienenfahrzeuge. Natürlich hat der Einsatz dieser Getriebe auch Grenzen, **Bild 5**. Dazu gehören Anwendungen in Fahrzeugen mit extrem hohen Komfortansprüchen wie etwa im Stadtbus. Dort gibt es viele Situationen mit niedriger Geschwindigkeit, mit Kriechfahrten und Anfahrvorgängen. In europäischen Stadtbussen mit zum Teil stehenden Fahrgästen wird dieser Komfort mit Wandler-Lastschaltautomatikgetrieben (AT) mit integrierten Primär-Retardern erreicht. Konzeptbedingt wird Zugkraftunterbrechung vermieden. Die Überschneidungs-Steuerung mit dem aufbauenden und abbauenden Moment zweier Lamellen-Kupplungen leistet dies.

Ein weiterer typischer Einsatzbereich, der AT erfordert, besteht bei

**Extreme Anforderungen:**

- Hohe Anfahr- und Schalthäufigkeit
- Geringere Laufleistung (km/a)

Manuelle Getriebe (HS)

**AS Tronic, im Einsatz bewährt**

Wandler - Automatgetriebe (AT)

- **AS Tronic: Robustheit nachgewiesen. Extreme Schaltungstests.**



**Bild 4:** Getriebe für Abfallsammelfahrzeuge

„Dumpfern“ verschiedener Bauart, die mit sehr hohem Gesamtgewicht in extrem schwierigem Gelände fahren. Bei Antriebskonzepten mit Zugkraftunterbrechung besteht die Gefahr, dass die Dumper bei Schaltungen zum Stillstand kommen und häufige, kupplungsschädigende Anfahrten notwendig werden.

Getriebesysteme in Nutzfahrzeugen sind heute oft mit Retarder-Systemen ausgestattet. Im **Bild 6** sind die wesentlichen Merkmale und der Nutzen dieser verschleißfreien hydrodynamischen Zusatzbremse aufgelistet.

Im Lkw hat sich das integrierte System des ZF-Intarders mit einem maximalen Bremsmoment bis 4000 Nm und Bremsleistungen bis zu 600 kW durchgesetzt. Die Bremsenergie wird über ei-

nen Wärmetauscher an das Fahrzeug-Kühlsystem weitergeleitet. Durch die hohe Integration des Intarders in das Getriebe ergibt sich ein Aggregat mit großer Leistungsdichte. Analysen zeigen, dass zwischen 80 und 95 % [6] aller Bremsvorgänge ohne Zuhilfenahme der Fahrzeug-Betriebsbremse durchgeführt werden können. Hier bietet ein sekundärseitig angeordneter Retarder Sicherheits- und Leistungsvorteile. Durch den Einsatz der Intarder werden die Bremsbeläge geschont, so dass sich eine Amortisation nach wenigen Jahren ergibt. Auch die Staubemission wird durch verminderten Bremsabrieb reduziert. Die Bremsbeläge bleiben relativ kühl, wodurch das gefährliche Fading vermieden wird. Die Systeme leisten somit einen Beitrag zur Ver-



**AT**



**Stadtbus**

- Hoher Kriechanteil
- Konstante Anfahrbeschleunigung
- Häufiges Anfahren
- Primärretarder
- Höchste Komfortansprüche

**AS**



**Dumper**

- Extremes Gelände
- Hoher Rollwiderstand
- Abrupter Geschwindigkeitsverlust bei Schaltungen
- Schalten ohne Zugkraftunterbrechung erforderlich

**AT**

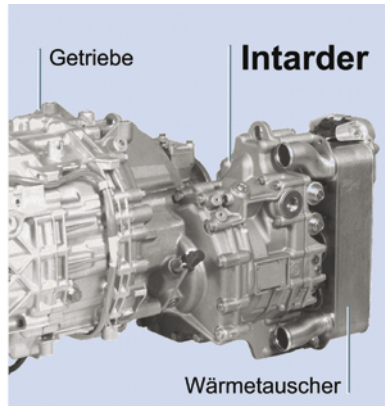
**Bild 5:** Einsatzgrenzen von AS-Getrieben

**Merkmale**

- Hydrodynamische Dauerbremse
- Bremsleistung bis 600 kW
- Hoher Integrationsgrad

**Kundennutzen**

- Sicherheit durch Entlastung der Betriebsbremse
- Höhere Durchschnittsgeschwindigkeit möglich
- Kosteneinsparung durch reduzierten Bremsenverschleiß



**Mehr als 500 000 Intarder erfolgreich im Einsatz**

**Bild 6:** Integriertes sekundäres Retardersystem

kehrssicherheit. Trotz der Verfügbarkeit von Motorbremsen nimmt die Verbreitung dieser Systeme noch immer zu. Gerade in Verbindung mit Motorbremsen bieten Sekundärretarder optimale verschleißfreie Bremsungen über den gesamten Geschwindigkeitsbereich.

Bei typischen Stadtbus-Anwendungen werden leistungsfähige AT eingesetzt, **Bild 7**. Bei dieser Getriebefamilie, zum Beispiel dem Ecomat und den Weiterentwicklungen Ecomat 2 plus und Ecomat 4, wurden die Anforderungen von modernen Motoren und Fahrzeugen berücksichtigt. Um besonders wirtschaftlich zu fahren, erfolgt der Antrieb über kompakte Drehmomentwandler mit Überbrückungskupplung. In diesen Getrieben sind primärseitige Retarder wegen der überlegenen Bremsleistung bei den für Stadtbusse typischen niedrigen Geschwindigkeiten von Vorteil. Ausführungen mit Winkeltrieben runden die Vielzahl der Einbau-Konfigurationen ab. Ab 2008 steht die neue Baureihe EcoLife und damit zuverlässige, robuste und komfortable Getriebe für den Einsatz mit Euro-5- und Euro-6-Motoren bereit. Über diese Getriebe-Bauart wurde ausführlich berichtet [7, 8]. Kombinationen mit Hybriden sind in der Entwicklung.

Alle Getriebekonzepte müssen zunächst für europäische Ansprüche ausgelegt sein und sich bewährt haben. Bei Einsätzen in den Emerging Markets sind die Bedingungen häufig wesentlich härter. **Bild 8** zeigt Beispiele von Anwendungen mit extremer Topografie. Die Steigungsanteile sind oft viel größer, die

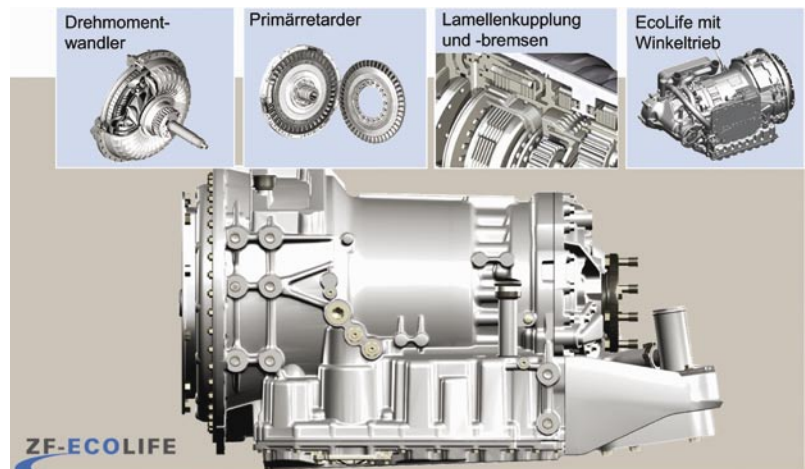
Straßenoberflächen häufig sehr schlecht, die Geschwindigkeiten höher, die Lastkollektive deutlich anspruchsvoller als beispielsweise in Deutschland. Hinzu kommen große Temperaturschwankungen und die hohe Staubbelastung durch meist abrasive Stäube. Gerade in den BRIC-Staaten (Brasilien, Russland, Indien, China) sind die Fahrer oft wenig qualifiziert, was bei HS-Getrieben zu Missbrauch und zusätzlichen Belastungen führt, insbesondere von Kupplung und Synchronisation.

Die Frage ist, wie alle diese Anforderungen erfüllt werden können. Die Lösung liegt zwischen den zwei folgenden Extremen: Erstens, es gibt ein „Weltgetriebe“. Auslegung und Konzeption müssen so gestaltet sein, dass mit einem Getriebe pro Leistungsklasse alle Anforde-

rungen weltweit abgedeckt werden können. Zweitens, es wird auf der Basis von feinen Differenzierungen für jede Anwendung die exakt passende Lösung entwickelt. Die Lösung von ZF liegt in einem Baukasten, der es erlaubt, mit modularem Aufbau verschiedene Anforderungen durch intelligente Kombinationen zu generieren. Für manche Emerging Markets sind spezifische Lösungen notwendig. Dies gilt besonders in den sogenannten BRIC-Staaten. Auf der Basis eines so genannten Downspecing, also reduzierte Anforderungen in der Spezifikation, werden niedrigere Produktkosten über das technische Konzept erreicht. Zusätzlich muss auf lokal verfügbare Technologien Rücksicht genommen werden. Technische Anpassungen daran müssen erprobt werden.

**Bild 9** gibt einen Überblick über die ZF-Seriengetriebe, Entwicklungsprojekte und Studien. Manuelle Getriebe werden in nahezu allen Fahrzeugen nach wie vor eingesetzt. In Europa werden sie zwar sukzessive durch AS-Getriebe verdrängt; in besonders preiswerten Fahrzeugen wird das manuelle Getriebe aber noch auf längere Sicht Standard bleiben, ausgenommen bei Stadtbussen, wo die Bedeutung des manuellen Getriebes gering ist. Der Schwerpunkt liegt bei AT. Anders in den Schwellenländern, dort dominieren manuelle Getriebe in allen Anwendungen. Daran wird sich mittelfristig aus Kostengründen wenig ändern.

Die Bedeutung von AS-Getrieben nimmt stetig zu. Demnächst wird ein AS-Getriebe für Stadtbusse zur Verfügung



**Bild 7:** Automatikgetriebe für Bus- und Sonderanwendungen

stehen, das für Schwellenländer entwickelt wurde und dort manuelle Getriebe ersetzt wird. Auf dem europäischen Markt dagegen besteht weniger Aussicht auf Durchdringung wegen den damit verbundenen Einbußen bei Komfort und Fahrleistung gegenüber den marktbeherrschenden ATs. Bei den Hybridantrieben gibt es bei ZF Entwicklungsprojekte für Fahrzeuge im Stadt- und Verteilerverkehr. Fernverkehrsanwendungen werden in Studien untersucht. Stufenlose Getriebe werden heute noch nicht für Nutzfahrzeuge eingesetzt. Auch ein solcher Einsatz wird untersucht.

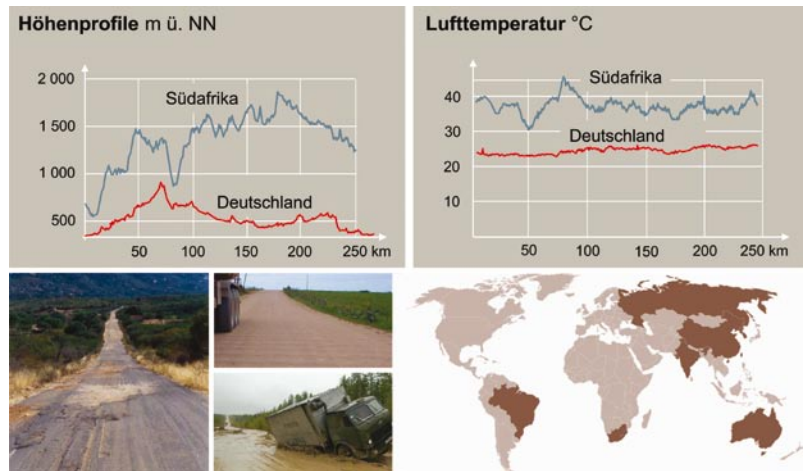


Bild 8: Herausforderungen in neuen Märkten: Umfeld

#### 4 Alternative Getriebekonzepte und Hybrid-Systeme

Die Suche nach alternativen Getriebekonzepten hat zu einer Vielfalt und zu einem Wettstreit der Konzepte, Bild 10, und einem Innovationsschub geführt. Manche Pkw-Getriebealternativen, besonders Doppelkupplungsgetriebe und stufenlose Getriebe (CVT), werden zunehmend auch für Nkw-Anwendungen diskutiert.

Doppelkupplungsgetriebe sind eine Alternative zu klassischen AT in Wandler-Planetenbauweise. Sie können mit nass laufender oder trockener Doppelkupplung ausgeführt werden, woraus sich unterschiedliche Vor- und Nachteile ergeben. Für Nutzfahrzeuganwendungen wesentlich ist, dass man nur mit einem trockenen Doppelkupplungsgetriebe die Chance hat, an den sehr guten Kraftstoffverbrauch des AS-Getriebes heranzukommen. Bei der nassen Ausführung entsteht immer ein Mehrverbrauch, bedingt durch die zusätzlichen Schleppverluste und die für die Ölversorgung erforderliche Pumpe. Theoretisch kann man diesem Mehrverbrauch einen Einspareffekt durch die fehlende Zugkraftunterbrechung entgegen rechnen, da kein Beschleunigungsverlust entsteht und ein Abfall der Turboladerdrehzahl verhindert wird. Dieser Effekt spielt aber nur im Stadtverkehr eine Rolle. Im Fernverkehr ist die Auswirkung zu gering.

Gegenüber einem AS-Getriebe bietet das Doppelkupplungsgetriebe Vorteile hinsichtlich Komfort und Performance, so dass gerade das trockene Doppelkupplungsgetriebe den guten Kraftstoffver-

brauch eines AS-Getriebes mit Vorteilen des Lastschaltgetriebes vereinigt. Allerdings werden diese Vorteile durch deut-

liche Mehrkosten und Mehrgewicht erkauft, da besonders Aufwendungen für die zweite Kupplung, für deren Betäti-

		Lkw			Bus	
		Fernverkehr	Verteiler	Baustelle	Stadtbus	Reisebus
Manuelles Getriebe		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Automatische Getriebe	AS	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	AT	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	CVT	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hybrid		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

In Serie     In Entwicklung     Studien

Bild 9: Getriebekonzepte für Lkws und Busse

	Verbrauch	Komfort	Fahrleistung	Produktkosten	Gewicht
HS	+	○	+	+++	+
HS by-wire	+	○	+	++	++
AS	++	+	+	++	++
AT	○	++	++	○	○
DKG, trocken	++	++	++	-	-
DKG, nass	○	++	++	○	○
CVT	++	+++	++	--	-

Bild 10: Vergleich der Getriebetechnologien

gung und für die Betätigung des zweiten Teilgetriebes entstehen. Auch ist eine trockene Doppelkupplung technisch schwerer zu beherrschen als eine nasse. Eine Minderung der Qualität der Lastschaltung ist möglich. Daher werden Doppelkupplungsgetriebe zunächst als mögliche Alternative in Nkw-Anwendungen gesehen, in denen heute Lastschaltgetriebe eingesetzt werden. Allerdings ist das klassische Wandler-Planetengetriebe in der Regel kostengünstiger. Es hat auch Vorteile bei Bauraum und Gewicht.

Stufenlose Getriebe können in Reibrad- oder Umschlingungstechnologie ausgeführt werden. Sie sind, unter Ausnutzung von Leistungsverzweigung, auch für Nutzfahrzeuanwendungen geeignet, als Mehrbereichsgetriebe sogar in schweren Fahrzeugen. Fernverkehrs- und Stadtverkehrsanwendungen führen zu unterschiedlichen Ausführungsvarianten. Während das stufenlose Getriebe in Stadtbussen mit dem AT konkurriert, muss es sich bei Fernverkehrs-Lkw und Reisebussen an dem sehr guten Kraftstoffverbrauch eines AS-Getriebes messen lassen. Zugkraftunterbrechungen sind hier zulässig. Der Vorteil von stufenlosen Getrieben liegt in der optimalen Anpassung an den Verbrennungsmotor, so dass durch die bessere Kennfelderschließung eine Kraftstoffeinsparung möglich ist. Dem gegenüber steht der schlechtere Wirkungsgrad, der auf die reibschlüssige Drehmomentübertragung zurückzuführen ist. Unter Berücksichtigung der immer flacher werdenden Verbrauchskennfelder moderner Nutzfahrzeugmotoren führt dies dazu, dass ein stufenloses Getriebe kaum einen Verbrauchsvorteil erschließen kann.

Andererseits lassen sich mit diesem Konzept der beste Komfort und die beste Performance erreichen, was in bestimmten Anwendungen ein Vorteil sein kann, sofern man bereit ist, dafür Mehrkosten in Kauf zu nehmen. So kann ein stufenloses Getriebe im Stadtbus eine Alternative sein; in den anderen Anwendungen sind die Vorteile gegenüber den Nachteilen zu gering. Durch die Fortschritte in der Automatisierungstechnologie besteht auch die Möglichkeit, ein By-wire-Handschaftgetriebe zu konzipieren, das durch Shift-by-Wire und Clutch-by-Wire betätigt wird. Es entsteht so ein Getriebetyp zwischen manuellem Getriebe (HS)

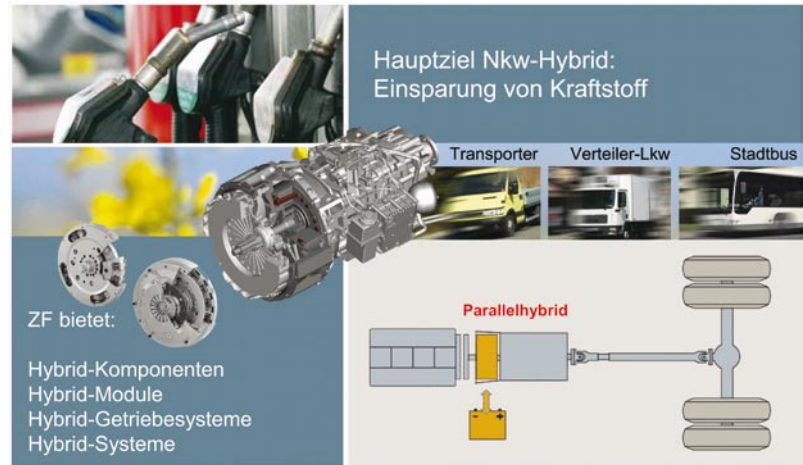


Bild 11: Hybridantriebe für Nutzfahrzeuge

und AS-Getriebe. Durch den Entfall des Fahrereinflusses können einige Vorteile des AS-Getriebes erreicht werden. Allerdings fehlt der wesentliche Vorteil einer automatischen Schaltstrategie. Kraftstoff-Einsparungen sind somit nicht erreichbar. Für den Erfolg dieses Getriebekonzeptes ist sicher entscheidend, ob die gleichen Kosten wie bei einem Handschaftgetriebe erreicht werden können.

Insgesamt ist festzustellen, dass keines der alternativen Getriebekonzepte so entscheidende Vorteile besitzt, dass eine Ablösung der bestehenden HS- und vor allem AS-Technologien zu erwarten ist. Spezifische Vor- und Nachteile können je nach Anwendung und Randbedingungen entstehen.

Eine interessante Zukunftstechnologie ist der Hybridantrieb. Er ermöglicht einen wesentlich effizienteren, verbrauchs- und emissionsreduzierten Antriebsstrang, Bild 11. Die Kraftstoffeinsparung wird hauptsächlich durch Rekuperation von Bremsenergie und Start-Stopp-Betrieb des Verbrennungsmotors erreicht. Diese Effekte wirken besonders im Stadtverkehr. Der Einspar-effekt ist dort somit am größten. Daher konzentriert sich ZF zunächst auf Fahrzeuge, die bevorzugt im Stadtverkehr eingesetzt werden, wie Stadtbus, Verteiler-Lkw und Transporter. Für diese Fahrzeuge kann sich ein Hybridantrieb bei entsprechender Gestaltung schon unter heutigen Randbedingungen lohnen, was besonders für Stadtbusse gilt. Im Fernverkehr sind die Einspareffekte geringer. Jedoch ist der jährliche Kraft-

stoffverbrauch dieser Fahrzeuge so hoch, dass auch geringe prozentuale Einsparungen lohnend sein können. Bedingt durch das Mehrgewicht des Hybridantriebs könnte allerdings bei bestimmten Einsatzprofilen auch ein Mehrverbrauch entstehen.

Bei der Entwicklung wirtschaftlicher Hybridsysteme mit hohem Kosten-Nutzen-Verhältnis ist die Wahl der Hybridarchitektur ein entscheidender Faktor [9]. Beim Parallelhybrid gibt es aufgrund der freien Dimensionierbarkeit der Elektromaschine deutliche Vorteile. Diese muss nur so groß sein, wie es für eine gute Kraftstoffeinsparung erforderlich ist. Auch die Verwendung von bewährten Komponenten und das Synergiepotenzial aus vielen Anwendungen sprechen für den Parallelhybrid. Lediglich bei Stadtbusanwendungen kann der serielle Hybrid, je nach Kundenanforderung, eine Alternative sein, sofern ein möglichst hoher Zusatznutzen erwünscht ist wie etwa maximale Emissionsreduzierung, Technologieverwandtschaft zum Brennstoffzellenantrieb oder ein mehrachsiger Antrieb bei einem Gelenkbus. Allerdings geht dies zu Lasten der Wirtschaftlichkeit.

ZF hat sich zum Ziel gesetzt, komplette Hybridsysteme zu liefern. Dies ist im Nutzfahrzeugmarkt aufgrund der hohen Bedeutung der Wirtschaftlichkeit besonders wichtig, da die Bündelung der Aktivitäten bei einem Systemlieferanten dazu beiträgt, Produktkosten und Entwicklungsaufwendungen zu senken. Je nach Kundenanforderung

bietet ZF aber auch Teile des Gesamtsystems an: Hybridgetriebesysteme, Hybridmodule und -komponenten. Dies ist möglich, weil mit ZF Sachs die Kompetenz zur Entwicklung und Produktion von elektrischen Antrieben im Konzern vorhanden ist.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend ergibt sich ein Bild von mindestens zwei parallelen Welten der Antriebe für Nutzfahrzeuge, **Bild 12**. In Europa liegt der Fokus auf Leistung, Effizienz, Technologie und Zuverlässigkeit. Der Trend zu steigenden Drehmomenten geht weiter. Angestoßen auch durch gesetzliche Abgasnormen, ergibt sich eine hohe Innovationsgeschwindigkeit. Zusätzlich zu Maßnahmen zur Verbrauchsminimierung kommen immer intelligenteren Fahr- und Bremsfunktionen: vorausschauende Fahrstrategien, selbstlernende oder adaptive Systeme, schnellere Schaltungen bis hin zum Life-time-Monitoring der Getriebe-Systeme.

In den Emerging Markets dagegen sind hauptsächlich einfache Konzepte mit hoher Robustheit gefragt. Das Downgrading bezieht sich zum Beispiel darauf, dass in China 9-Gang-Getriebe auch in schweren Fahrzeugen eingesetzt werden. Vergleichbare Fahrzeuge in Europa setzen mindestens 12- oder oft 16-Gang-Getriebe ein. Weitere Kosteneinsparungen werden auch durch Einschränkungen in Komfort-Baugruppen

erreicht. Auch die Gesamt-Lebensdauerforderung ist oft im Vergleich zu Europa noch geringer.

Hinsichtlich der Antriebskonzepte für Nkw im Jahr 2020 ergibt sich folgendes Grundmuster: Es werden viele bewährte Konzepte nebeneinander bestehen. Neue Technologien bieten zum Teil großen zusätzlichen Kundennutzen, insbesondere im Bereich der Life-cycle-Costs. Es führen also mehrere Straßen in die Zukunft der Antriebskonzepte. Und die Zahl der Spuren nimmt zu. Zu den Getrieben HS, AS und AT kommen insbesondere Hybridvarianten. Auch stecken in serienbewährten Konzepten noch deutliche Weiterentwicklungspotenziale. Die europäischen Märkte und die der Emerging Markets nähern sich an. In beiden Märkten besteht eine enorme Dynamik. Im Premium-Bereich in weiteren Schritten bei Komfort, Technologie und der Erweiterung der Leistungsmerkmale. Im Basis-Bereich in Weiterentwicklungen bei Robustheit, Einfachheit und moderat wachsenden Leistungsmerkmalen. Gemeinsam bei allen Konzepten bleibt jedoch die Bedeutung von Zuverlässigkeit und niedrigen Betriebskosten.

### Literaturhinweise

- [1] Lange, B.; Pflug, H.-Ch.; Richter, F.; Riebeck, L.: EuroCombi – ein Ansatz für einen effizienten Straßengütertransport der Zukunft. VDI-Tagung 2007, Berichte 1986
- [2] Quellen für Verteilung und Entwicklung der Transportleistung. Bild 1: DIW, Berlin; ifo, München;

Statistisches Bundesamt Wiesbaden; Prognos/ProgTrans, Basel und Berechnungen des Bundesverband Logistik und Entsorgung (BGL) e. V.

- [3] Ebner, O.; Erb, M.; Gansohr, M.; Jäger, Th.; Keller, R.; Rossmann, M.; Rüdhardt, Ch.; Thüncher, G.: ASTronic lite, die neue AS-Getriebebaureihe der ZF für das mittlere Nutzfahrzeugsegment. VDI-Tagung Getriebe in Fahrzeugen 2004, VDI-Berichte 1827
- [4] Raeder, M., Rüdhardt, Ch., Speck, F.-D.: Die ZF-AS-Tronic-Familie, Automatische Getriebe für alle Nutzfahrzeugklassen. In: ATZ 106 (2004) Nr. 9, S. 772–783
- [5] Hägele, J.; Lamke, M.; Speck, F.-D.: Modulare Nkw-Getriebefamilie von Handschalt- bis zu Hybridausführung. VDI-Tagung Getriebe in Fahrzeugen, Friedrichshafen 2008
- [6] Grupp, B.; Trcka, K.-H.: Retarder – Stand der Entwicklung und Perspektiven. Nutzfahrzeugantriebe, München, Juni 2000
- [7] Foth, J.; Schilha, W.; Wunderlich, P.: EcoLife – The Development of a Modern Powershift Transmission for City Buses. EAEC 11<sup>th</sup> European Automotive Congress, Budapest 2007
- [8] Foth, J.; Schilha, W.; Wunderlich, P.: EcoLife – Entwicklung eines neuen Lastschalt-Automatgetriebes für Stadtbusse. 6. CTI-Symposium Innovative Fahrzeug-Getriebe, Berlin 2007
- [9] Roske, M.; Speck, F.-D.: Hybridantriebe für Nutzfahrzeuge. 4. CTI-Symposium Innovative Fahrzeug-Getriebe, Berlin 2005



**Bild 12:** Europa und Emerging Markets – dynamische Entwicklungen in zwei Welten