

## 6.5 Automatikgetriebe

Wie Doppelkupplungsgetriebe zählen auch Automatikgetriebe zu den voll-automatischen Lastschaltgetrieben. Dies bedeutet, dass dem Fahrer die Aufgaben sowohl der Gangwahl als auch der Schaltung und des Anfahrens abgenommen werden. Automatikgetriebe sind durch ihren konstruktiven Aufbau unter Verwendung mehrerer kraftschlüssig arbeitender Schaltelemente in der Lage, Schaltungen ohne Zugkraftunterbrechung auszuführen. Die Schaltqualität (Schaltrück und Schaltzeit) spielt dabei eine zentrale Rolle, sowohl in der Entwicklung als auch in der Kalibration (vgl. Abschn. 6.1.7).

Stufenautomatikgetriebe sind in den meisten Fällen mit einem Drehmomentwandler als Anfahrelement ausgestattet und zeichnen sich daher vor allem durch ihren **hohen Anfahrkomfort** aus. Durch den Drehmomentwandler besitzen Fahrzeuge mit Automatikgetriebe prinzipbedingt eine Kriechfunktion, da beim Lösen der Fahrzeugsbremse bei eingelegtem Gang ein Drehmoment an die Räder übertragen wird. Das Prinzip der Drehmomentüberhöhung beim Wandler ist in Abschn. 3.8 erläutert.

Zur Realisierung der einzelnen Gangstufen werden in den meisten modernen Automatikgetriebekonzepten Planetenradsätze verwendet. Diese ermöglichen eine hohe Leistungsdichte des Getriebes, schränken aber die Wahl der Übersetzungen ein (vgl. Abschn. 3.3).

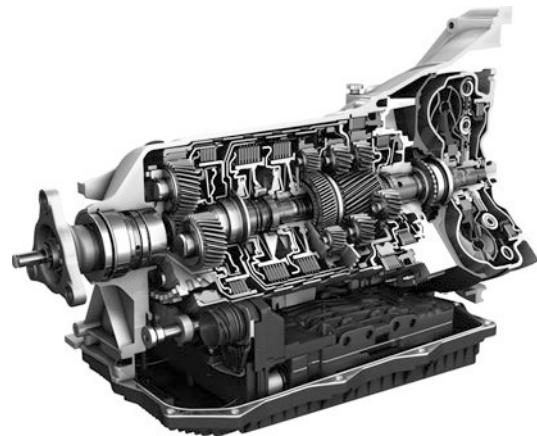
Die ersten Automatikgetriebe wurden bereits in den 1930er Jahren als 3-Gang-Automatikgetriebe entwickelt und in die Serie eingeführt. In den 1980er Jahren wurde die hydraulische Steuerung mit Elektronik kombiniert. Die entsprechenden Steuergeräte übernahmen die Aufgaben für Gangauswahl, Schaltablauf, Steuerung der Wandlerüberbrückungskupplung sowie die der Diagnose [37–40]. In den 1990er Jahren kamen bereits 5-Gang-Automatikgetriebe in Serie [41]. Stufenautomatikgetriebe besitzen von voll-automatischen Getriebesystemen die größte Marktdurchdringung. Insbesondere in Nordamerika und Japan dominiert diese Getriebeart den Markt. In der Luxusklasse sind sie meist die einzige angebotene Getriebearvariante, insbesondere in Kombination mit leistungsstarken Motoren.

### 6.5.1 Aufbau und Baugruppen

Stufenautomatikgetriebe mit hydrodynamischem Wandler als Anfahrelement besitzen generell folgende Baugruppen, die am Beispiel des 8HP-8-Gang-Getriebes der ZF Friedrichshafen AG in Abb. 6.20 gezeigt sind:

Der **Drehmomentwandler** (vgl. Abschn. 3.8) dient als Anfahrelement. Bei geringen Geschwindigkeiten ermöglicht der Drehmomentwandler durch die Drehmomentüberhöhung eine komfortable Kriechfunktion und ein komfortables Anfahrverhalten. Durch die hydraulische Leistungsübertragung werden Schwingungen des Motors nur reduziert an den Radsatz übertragen, was den Komfort zusätzlich erhöht. Aus Wirkungsgradgründen

**Abb. 6.20** 8-Gang-Automatikgetriebe 8HP der ZF Friedrichshafen AG



wird der Wandler in vielen Betriebszuständen durch die **Wandlerüberbrückungskupplung** aus dem Kraftfluss genommen. Oft kommt dabei eine Mikroschlupfregelung zum Einsatz, wodurch die NVH Eigenschaften verbessert werden.

Der **Radsatz** eines Automatikgetriebes besteht aus mehreren einfachen oder verschachtelten Planetengetrieben (vgl. Abschn. 3.3). Über ihn wird die Antriebsleistung zwischen der Turbinenseite des Wandlers und dem Getriebeausgang übertragen. In Abschn. 6.5.3 wird auf besondere Anforderungen an den Radsatz eingegangen.

**Schaltelemente** steuern den Leistungsfluss im Radsatz. Heutige Automatikgetriebe besitzen fünf und teilweise bis zu acht Schaltelemente. Dabei werden meist zwei bis drei Schaltelemente geschlossen, um den Leistungsfluss für einen Gang zu definieren. Im Allgemeinen ist man im Fahrbetrieb bestrebt, die Anzahl der offenen Schaltelemente möglichst gering zu halten, um die Schleppverluste zu minimieren. Als Schaltelemente dienen in Wandlerautomaten fast ausschließlich **nass laufende Lamellenkupplungen** und **-bremsen**. Vereinzelt sind Freiläufe und Bremsbänder zu finden. Letztere bieten Kostenvorteile und benötigen geringe Betätigungs Kräfte. Allerdings ist die Steuer- bzw. Regelbarkeit schlechter, insbesondere das Ansprechverhalten. Freiläufe benötigen kein Betätigungs system, sie übertragen Drehmoment nur in eine Richtung. Diese Eigenschaften sind im einigen Bereichen von Steuerung und Regelung hilfreich, aber auch Notlauf- und Fehlerstrategien können damit elegant und robust umgesetzt werden. Teilweise werden sie parallel zu einer nassen Kupplung oder einer Lamellenbremse eingesetzt.

Wie DCT besitzen auch Automatikgetriebe zur Verhinderung des ungewollten Wegrollens eine **Parksperre** auf der Getriebeausgangswelle (Abb. 6.20).

Das Mechatronikmodul mit hydraulischer Steuerung und elektronischem **Getriebe steuergerät** ist üblicherweise vollständig in das Getriebe integriert. Auch die Sensoren werden in das Modul integriert. Bei längs verbauten Automatikgetrieben ist die Mechatronikeinheit häufig unterhalb des Radsatzes im Ölsumpf platziert. Dazu sind die Anforderungen der Fahrzeugkonfiguration und insbesondere die Bodenfreiheit und das Crash Verhalten zu berücksichtigen. Kapitel 5 behandelt die Getriebesteuerung.

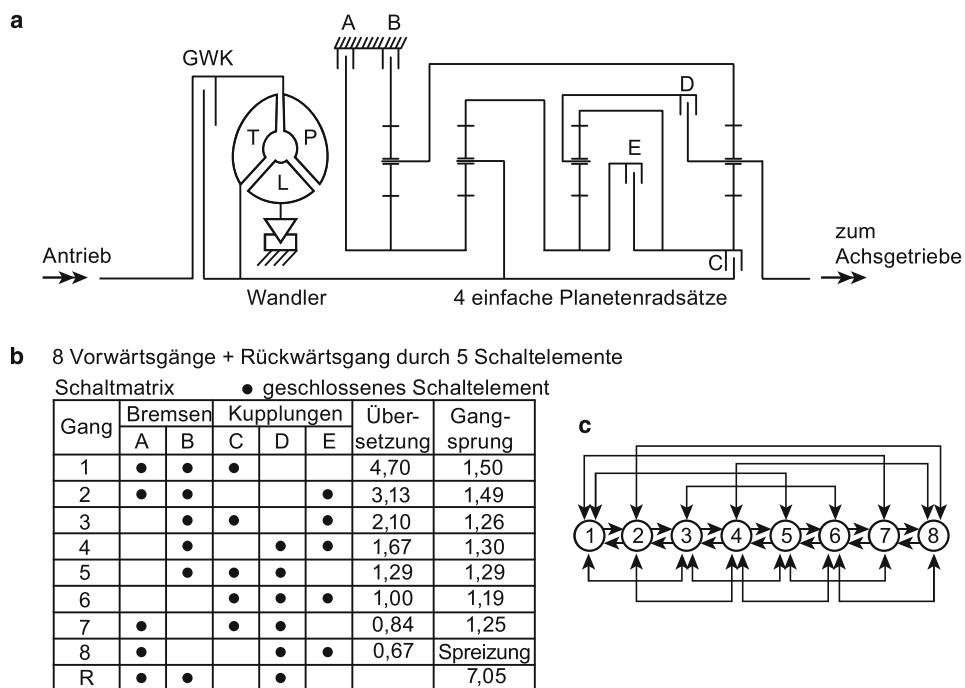
Neben diesen auch als Wandlerstufenautomaten bezeichneten Bauformen existieren weitere Varianten. So stellte Daimler im Jahr 2008 ein Stufenumatikgetriebe mit nass laufender Lamellenkupplung als Anfahrelement vor [42]. Honda baut, wie früher auch Daimler und General Motors, in kleinen Stückzahlen **Automatikgetriebe in Vorgelegebauart**, bei denen jeder Gang mit einer eigenen Kupplung in den Leistungspfad gebracht wird. Vorteil dieser Getriebbauart ist die freie Übersetzungswahl. Durch das Aufkommen der Doppelkupplungsgetriebe verliert diese Getriebbauart jedoch an Bedeutung.

### 6.5.2 Anforderungen an Automatikgetriebe

Die Hauptziele für die Entwicklung von Automatikgetrieben sind die Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und die Verbesserung des Komforts, wobei sowohl die Kostenziele als auch eine zunehmende Forderung nach Sportlichkeit berücksichtigt werden müssen. Die Anforderungen stellen Zielkonflikte dar. Die Maßnahmen zur Erreichung der Entwicklungsziele sind vielfältig. Im Hinblick auf den Kraftstoffverbrauch ist es die Getriebefizienz selbst, auf der Systemebene im Zusammenwirken mit der Verbrennungskraftmaschine ist es auch die Getriebespreizung und kleinere Gangsprünge, was zu einer höheren Anzahl von Fahrstufen führt. Sportlichkeits- und Effizienzziele profitieren oft von den gleichen Maßnahmen. Beispielsweise hilft die Reduktion der trägen Massen für beide Kriterien, verbessert die Spontanität und die Effizienz. Allerdings führen solche Maßnahmen oftmals zur Verminderung des Komforts. Auch sind leichtere Getriebe i. d. R. sensitiver in Bezug auf NVH, eine Anregung wirkt sich bei leichteren Getrieben stärker aus. Die neueren Getriebetechnologien DCT und CVT erhöhen den Druck auf die Getriebeentwicklung für Automatikgetriebe Sportlichkeit, Kraftstoffverbrauch und Komfort zu verbessern.

Insbesondere die steigende Anzahl von Fahrstufen und die höhere Spreizung ist eine Herausforderung für die Schaltstrategie bei Automatikgetrieben. Die optimale Fahrstufe für Verbrauch und diejenige für Fahrleistung sind nicht die gleichen (vgl. Kapitel 1). Somit wird die Möglichkeit direkter Mehrfachschaltungen zu einem Entwicklungsziel. Eine direkte Schaltung ist dadurch charakterisiert, dass lediglich ein Schaltelement geschlossen bzw. eingeschaltet und ein zweites geöffnet wird. Mehrfachschaltungen sind diejenigen, die als Zielgang nicht eine direkt benachbarte Fahrstufe haben, also von der sequentiellen Folge abweichen. Direkte Schaltungen erhöhen die Sportlichkeit eines Getriebes, weil sie gegenüber Schaltungen mit Beteiligung von mehr als zwei Schaltelementen (und damit von Zwischenstufen) deutlich schneller ausgeführt werden können. Schnelle Rückschaltungen ermöglichen die häufige und frühzeitige Nutzung der verbrauchsgünstigen oberen Gänge (insbesondere overdrive Gänge). Auch sind die Algorithmen für die Steuerung und Regelung von direkten Schaltungen einfacher und damit auch der Entwicklungs- und Kalibrationsaufwand geringer als für indirekte Schaltungen.

In Abb. 6.21a ist das Radsatzkonzept des 8HP-Getriebes dargestellt. Es ermöglicht 8 Vorwärts- und eine Rückwärtsstufe mit fünf Schaltelementen. In Abb. 6.21b ist die dazu-



**Abb. 6.21** Radsatz (a), Schaltmatrix (b) und Möglichkeiten der direkten Schaltungen (c) des ZF-8HP-Getriebes. GWK, geregelte Wandlerüberbrückungskupplung

gehörige Schaltmatrix des 8HP-Getriebes gezeigt. Die Tabelle zeigt anhand der Markierungen, in welchem Gang welche Schaltelemente geschlossen sind. Aus der Schaltmatrix lassen sich bereits die Möglichkeiten der direkten Mehrfachschaltungen ablesen. Dabei darf jeweils nur ein Schaltelement geöffnet und eines geschlossen werden. Das Ergebnis ist in Abb. 6.21c dargestellt.

Die Auslegung von Drehmomentwandler und Wandlerüberbrückungskupplung erfolgt unter Berücksichtigung von Fahrzeuggewichten und Anhängelasten. Im Rahmen der Übertragungskapazitäten wird der Leistungsanteil von der Getriebesteuerung definiert, die das jeweilige Element überträgt. Zwischen einer rein fluid-dynamischen Koppelung (nur der Drehmomentwandler) und einer vollständig reibschlüssigen Übertragung (nur die Wandlerüberbrückungskupplung) kann jede Aufteilung definiert werden. Im Hinblick auf NVH ist eine offene Wandlerüberbrückungskupplung günstiger, allerdings bringt das für den Kraftstoffverbrauch Nachteile (das gilt nur für geringe Drehzahlendifferenz im Wandler – also nicht für Anfahrvorgänge). Eine vollständig geschlossene Wandlerüberbrückungskupplung überträgt alle Anregungen von der Eingangsseite an den Radsatz. Im Rahmen der Entwicklung und Abstimmung wird der beste Kompromiss zwischen NVH und Kraftstoffverbrauch ermittelt. Dabei kommt häufig eine Mikroschlupfregelung für die

Wandlerüberbrückungskupplung zum Einsatz, die verwendeten Schlupfdrehzahlen liegen meist im Bereich von 40 bis 60 rpm. Damit werden die Anregungsamplituden, die an den Radsatz übertragen werden bereits signifikant reduziert (vgl. Abschn. 2.3).

Manchmal werden die Abstimmungen auf Basis identischer Hardware für unterschiedliche Märkte verschieden ausgeführt, manche stellen die Komfortansprüche eher in den Vordergrund, andere die Sportlichkeit. Im Hinblick auf das verwendete Fluid (AFT = automatic transmission fluid) sind insbesondere die Kriterien Lebensdauer, Temperatursensitivität und Effizienz im Fokus. Aufgrund der sich mit der Temperatur ändernden Viskosität des Fluids entsteht eine signifikante Beeinflussung des Betätigungssteuerungssystems und damit der Getriebesteuerung. In diesem Kontext und auch bezüglich der Verluste ist das Aufwärmen des Getriebes sorgfältig zu berücksichtigen.

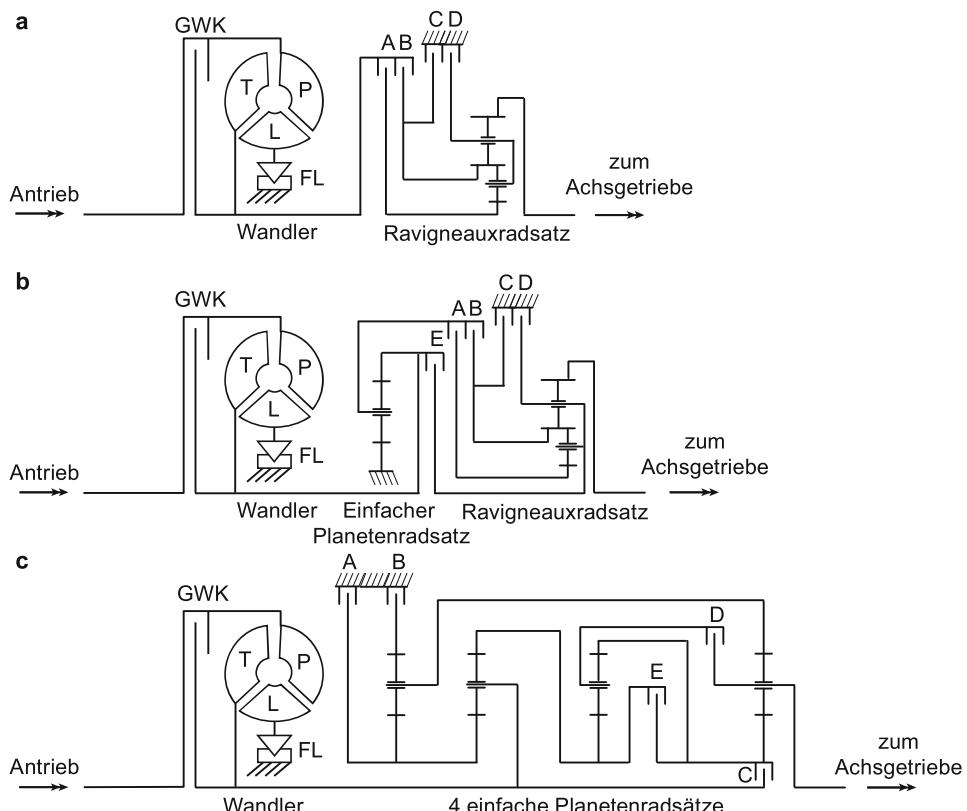
### 6.5.3 Auslegung von Automatikgetrieben

Bei der Auslegung von Automatikgetrieben sind zahlreiche Kriterien zu berücksichtigen [43]. Die Anordnung und Platzierung der Radsätze als Hauptkomponenten und deren Verbindung mit den Schaltelementen ist eine der Hauptaufgaben bei der Entwicklung von Automatikgetrieben. Im Hinblick auf die Eigenschaft der Leistungsverzweigung der Planetenradsätze ist eine ausreichende Anzahl von Schaltelementen in der Getriebekonstruktion vorzusehen, um einen definierten Momentenfluss durch das Getriebe zu gewährleisten. Oft sind mehr als die tatsächlich verwendeten Übersetzungsstufen möglich, aber diese haben für den Betrieb des Fahrzeugs keine Relevanz.

Kupplungen und Bremsen müssen mit ausreichendem Kühlvolumenstrom und adäquaten hydraulischen Drücken für die Betätigungssteuerung versorgt werden. Der gesamte Ölhaushalt und der Hydraulikkreislauf muss in das Getriebe integriert werden. Filter müssen platziert werden und der Ölsumpf muss ausgelegt werden. Besonderes Augenmerk gilt dem Ölstand im Getriebe, das Öl ist Beschleunigungskräften in Längs- und Querrichtung ausgesetzt und es ist sicherzustellen, dass die Pumpe in allen Betriebszuständen ausreichend versorgt wird. Das Ansaugen von Luft würde die hydraulische Steuerung negativ beeinflussen und unterbrochene Ölversorgung für Kühlung oder Schmierung kann zu sekundären Schäden führen.

Den einfachsten fahrzeugtauglichen Radsatz stellt, wie in Abschn. 3.3 erwähnt, der Ravigneaux-Radsatz dar. Mit ihm können bereits vier Vorwärtsgänge realisiert werden. Eine Weiterentwicklung des Ravigneaux-Radsatzes stellt der nach seinem Erfinder benannte Lepelletier-Radsatz dar, welcher den Ravigneaux-Radsatz um einen einfachen Planetenradsatz und eine Kupplung ergänzt. Mit diesem Prinzip können bereits sechs Vorwärtsgänge mit guter Gangabstufung dargestellt werden. Viele 6-Gang-Automatikgetriebe sind nach diesem Prinzip aufgebaut.

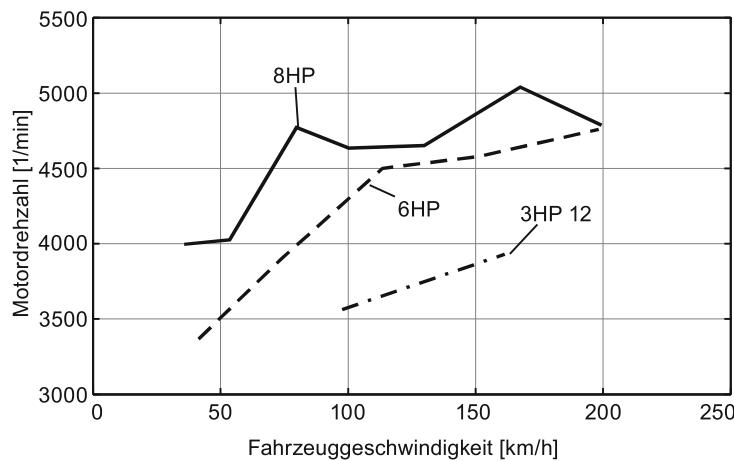
Ein interessantes Beispiel hinsichtlich des Radsatzkonzeptes ist das in Abb. 6.20 dargestellte 8-Gang-Getriebe der ZF Friedrichshafen AG. Die Besonderheit bei diesem Getriebe stellt die Schaltmatrix dar (vgl. Abb. 6.21): Das Radsatzkonzept ermöglicht in jedem



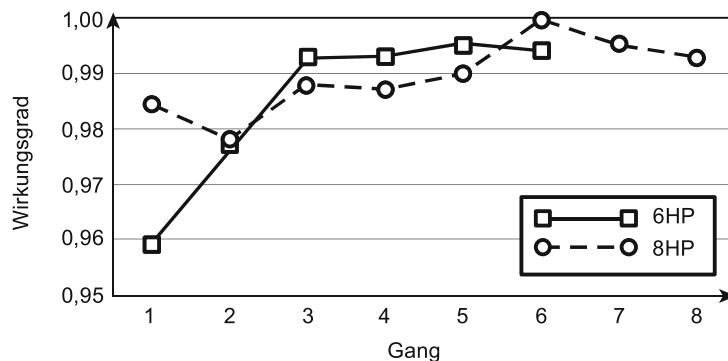
**Abb. 6.22** Ravigneaux-Radsatz (a), Lepelletier-Radsatz (b) und Radsatz des ZF-8HP (c). GWK, geregelte Wandlerüberbrückungskupplung

Gang das Schließen von drei Schaltelementen, wodurch nur jeweils zwei Elemente geöffnet bleiben müssen. Diese Eigenschaft reduziert die von offenen Lamellenkupplungen verursachten Schleppmomente (vgl. Abschn. 3.6) auf das bisher erreichbare Minimum. Bei älteren Konzepten sind mindestens jeweils drei Schaltelemente geöffnet. Das 8HP-Getriebe wurde mit Hilfe einer systematischen Analyse einer umfassenden Suchmatrix unter Berücksichtigung definierter Randbedingungen, wie erreichbarer Spreizung, der Anzahl realisierbarer Übersetzungen und der zulässigen Verlustleistung, abgeleitet [44].

Abb. 6.23 zeigt die Übersetzungsstufen dreier Getriebegenerationen. Die Motordrehzahlen sind über die Fahrzeuggeschwindigkeit für diejenigen Punkte aufgetragen, an denen in den nächst höheren Gang geschaltet wird, sobald die maximale Motordrehzahl im vorausgehenden Gang erreicht wird. Wie in Abschn. 1.5 erläutert, ist eine ideal progressive Auslegung der Übersetzungen angestrebt, die mit allen Radsätzen nur in Annäherung erreicht werden kann. Im Vergleich mit Vorgelegegetrieben ist die Umsetzung jedoch nicht ideal.



**Abb. 6.23** Beispielhafte Evolution der Gangsprünge mit Erhöhung der Anzahl der Gangstufen



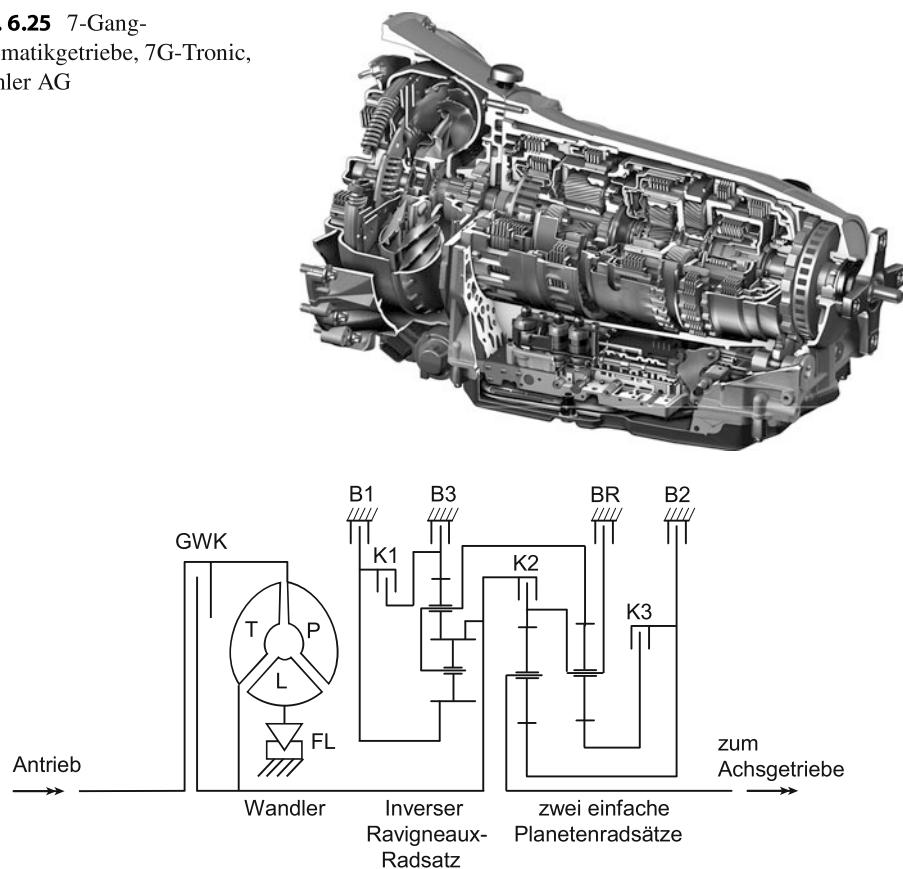
**Abb. 6.24** Wirkungsgradvergleich der Gangstufen des ZF-8HP und des ZF-6HP

Abb. 6.24 zeigt die Wirkungsgrade der einzelnen Gangstufen der 6HP- und der 8HP-Baureihe im direkten Vergleich nach [44]. Für das 8HP-Getriebe liegen die Wirkungsgrade aller Gänge, mit Ausnahme des zweiten Gangs, bei einem Wirkungsgrad von mehr als 98 %. Insbesondere im sechsten Gang, welcher als Direktgang ausgeführt ist und somit keine Verzahnungsverluste aufweist, wird ein vergleichsweise hoher Wirkungsgrad erreicht [44]. Im dritten, vierten und fünften Gang sind die Wirkungsgrade des 6HP-Getriebes größer als die des 8HP-Getriebes.

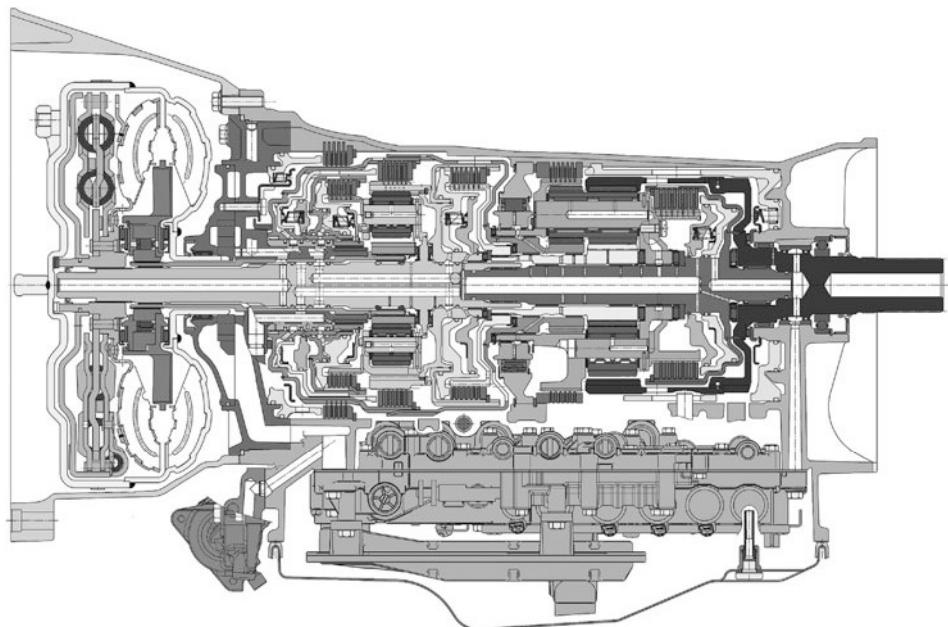
#### 6.5.4 Ausführungsbeispiele

Neben dem bereits eingeführten 8-Gang-Getriebe (Abb. 6.20) existieren noch weitere Beispiele. Stellvertretend soll an dieser Stelle das 7-Gang-Getriebe 7G-Tronic vorgestellt werden. Das 7G-Tronic-Getriebe ist ein Vertreter klassischer Wandlerstufenautomaten in Planetenbauweise (Abb. 6.25). Ein Drehmomentwandler mit integrierter, schlupfgeregelter Wandlerüberbrückungskupplung dient als Anfahrelement. Der Radsatz des 7G-Tronic besteht aus einem inversen Ravigneaux-Planetenradsatz und zwei einfachen Planetenradsätzen, die über drei Kupplungen und vier Bremsen geschaltet werden. Mit dieser Anordnung ist es möglich, sieben Vorwärtsgänge und zwei Rückwärtsgänge darzustellen. Die Spreizung des 7G-Tronic-Getriebes beträgt 6,02. Abb. 6.26 veranschaulicht den Radsatz des 7G-Tronic in einem Getriebeschema.

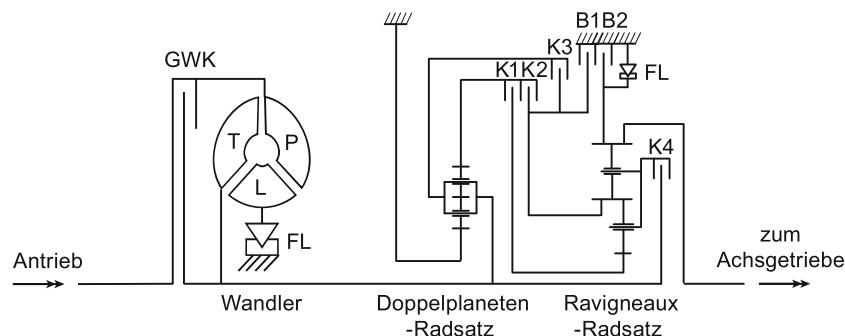
**Abb. 6.25** 7-Gang-Automatikgetriebe, 7G-Tronic,  
Daimler AG



**Abb. 6.26** Schema des 7G-Tronic-Getriebes, Daimler AG. GWK, geregelte Wandlerüberbrückungskupplung



**Abb. 6.27** 8-Gang-Automatikgetriebe, AL1000, Volkswagen AG



**Abb. 6.28** Schema des AL1000-Getriebes, Volkswagen AG

Ein weiteres Beispiel für einen Wandlerstufengesamtgetriebe stellt das 8-Gang-Getriebe der Volkswagen AG in Abb. 6.27 dar, welches ursprünglich von der japanischen Firma Aisin entwickelt wurde. Mit einer maximalen Drehmomentkapazität von 1000 Nm wird dieses Getriebe im Oberklasse-Segment sowie für Sports Utility Vehicles eingesetzt. Zwei Overdrive-Gänge tragen zu einem optimierten Verbrauch bei und ermöglichen eine Spreizung von 7,21. Abb. 6.28 zeigt das Getriebeschema des AL1000.

Eine Start-Stopp-Funktionalität ist auf Basis einer **elektrisch angetriebenen Ölzpumpe** vorgesehen. Ferner ist die Hybridisierung des AL1000 als **Parallelhybrid** durch einen