

Abb. 6.13 Schema des 7AMI550-Getriebes, GETRAG

einem zulässigen Gesamtgewicht (ohne und mit Anhänger) von 2450 kg bzw. 4350 kg ausgelegt. Das Gewicht beträgt 71 kg, die Installationslänge 714 mm.

Die Ganganordnung des vorgestellten Getriebes ist in Abb. 6.13 zu sehen. Da es sich bei dem 7AMI550-Getriebe um ein ausschließlich für AMT entwickeltes Konzept handelt, weist die Radsatzanordnung einige Besonderheiten auf. Anders als bei Varianten, die auf einem Handschaltgetriebe-Grundkonzept basieren und hinsichtlich der Anordnung der Gänge an das übliche Schaltschema gebunden sind, lassen sich die Übersetzungen des 7AMI550 so anordnen, dass aufeinander folgende Gänge – mit Ausnahme des sechsten und siebten Gangs – über unterschiedliche Synchroneinheiten betätigt werden. Erst durch diese Anordnung werden die vergleichsweise kurzen Schaltzeiten möglich, da die Betätigungen von Ist- und Zielgang unabhängig voneinander und mit einer Überschneidung aktuiert werden können. Lastschaltungen, wie sie in Abschn. 2.1 beschrieben sind, sind mit diesem Konzept dennoch nicht möglich.

6.4 Doppelkupplungsgetriebe

Typische Doppelkupplungsgetriebe (DCT) besitzen sechs bis sieben Gänge und sind in Vorgelegebauweise für Frontquer-, Frontlängs- oder Standardeinbau konzipiert. Spezielle Anwendungen unterstützen einen Einbau mit Mittelmotor bei einer Drehmomentkapazität von 1200 Nm und einer Motorleistung von ca. 735 kW. Es sind außerdem Varianten für die Transaxle-Anordnung bei heckgetriebenen Fahrzeugen bekannt.

DCT in Vorgelegebauweise ermöglichen ein Antriebssystem, das Fahrspaß mit Schaltqualität auf höchstem Niveau und optimaler Effizienz verbindet, wobei der Gesamtwirkungsgrad des Getriebes von verschiedenen Parametern, wie Reibung, Schleppmoment sowie Energiebedarf der Aktuatorik, abhängt [32]. Insbesondere die relativ flexible Anpassung der DCT an den Antriebsstrang in einer Vielzahl verschiedener Anwendungen,

wo außer auf die Fahrleistungen konsequent auf Wirtschaftlichkeit gesetzt werden muss, ist durch die Wahlfreiheit der Übersetzungsverhältnisse gegeben. Hier muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass die Achsabstände letztendlich die Übersetzungswahl reglementieren. DCT vereinen die Vorteile von manuellen Getrieben und Automatikgetrieben. Sie bieten:

- Fahrdynamik auch ohne manuelles Schalten (sportlich und komfortabel)
- Verbrauchseffizienz im Zyklus vergleichbar mit manuellen Getrieben
- zugkraftunterbrechungsfreie Schaltungen wie im Automatikgetriebe
- wenige Abhängigkeiten zwischen den Gangübersetzungen (Übersetzungen lassen sich mit geringem Aufwand ändern, wobei die Achsabstände reglementieren)
- Allrad-Anwendbarkeit
- Start-Stopp- und Hybridfähigkeit
- Verwendbarkeit und Erweiterbarkeit von bestehenden, für manuelle Getriebe eingerichteten Fertigungskapazitäten für viele Bauelemente (für die Doppelkupplung und die Mechatronik ist eine neue Fertigung notwendig)

6.4.1 Aufbau und Baugruppen

DCT lassen sich aus Handschaltgetrieben (Abschn. 6.2) ableiten, wobei die folgenden Baugruppen angepasst oder ergänzt werden:

Die **Synchronisationseinheiten** müssen an das entsprechende Lastkollektiv angepasst werden (vgl. Abschn. 3.7).

Zur Aktuierung der Kupplungen, der inneren Schaltung und der Parksperre wird ein **Betätigungssystem** benötigt (vgl. Kap. 4). Hierzu gehören z. B. das Hydrauliksystem und die Ölpumpe, welche eine hydraulische Betätigung ermöglichen.

Das **Gehäuse** muss durch entsprechende Gestaltungsmaßnahmen das Kühl- und Beölzungskonzept optimal unterstützen.

Die **Parksperre** muss die Auslegungskriterien hinsichtlich der sicherheitsrelevanten Funktionen erfüllen und bauraumoptimal in das Getriebe integriert werden.

Ein **integriertes Steuergerät** mit Mikrocontrollern übernimmt die Steuerung und Regelung der Aktuatoren in allen Betriebszuständen, wie z. B. bei Lastschaltungen oder Anfahrmanövern (vgl. Abschn. 5.1).

Das besondere Merkmal der DCT ist die **Lastschaltfähigkeit**, welche durch die Verwendung eines Kupplungspaares als Anfahr- und Schaltelement ermöglicht wird. Die **Doppelkupplung** ist mit den Getriebeeingangswellen verbunden, wobei je eine Kupplung jeweils einem Teilgetriebe zugeordnet ist. Zwischen VKM und Doppelkupplung befindet sich häufig ein Zweimassenschwungrad zur Dämpfung motorerregter Drehschwingungen. Es existieren Ausführungsformen mit trockenen und nass laufenden Kupplungen. **Trockene Kupplungen** besitzen eine geringere thermische Belastbarkeit als **nass laufende Kupplungen** in Verbindung mit einer Zwangskühlung, sind jedoch hinsichtlich des Wir-

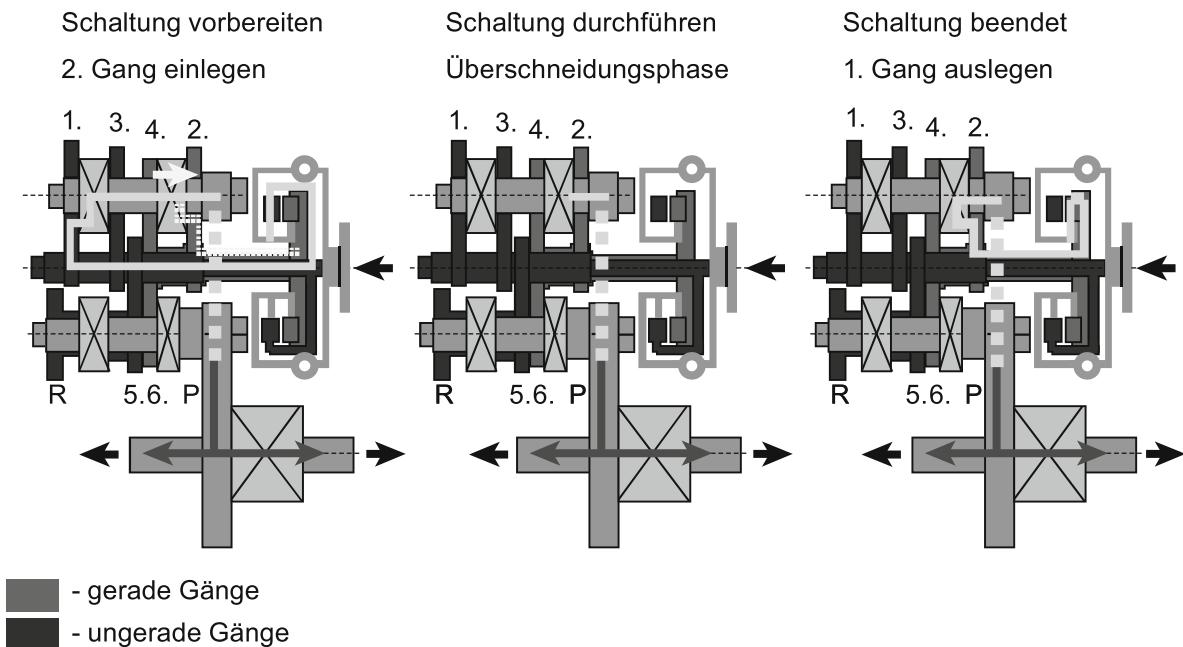


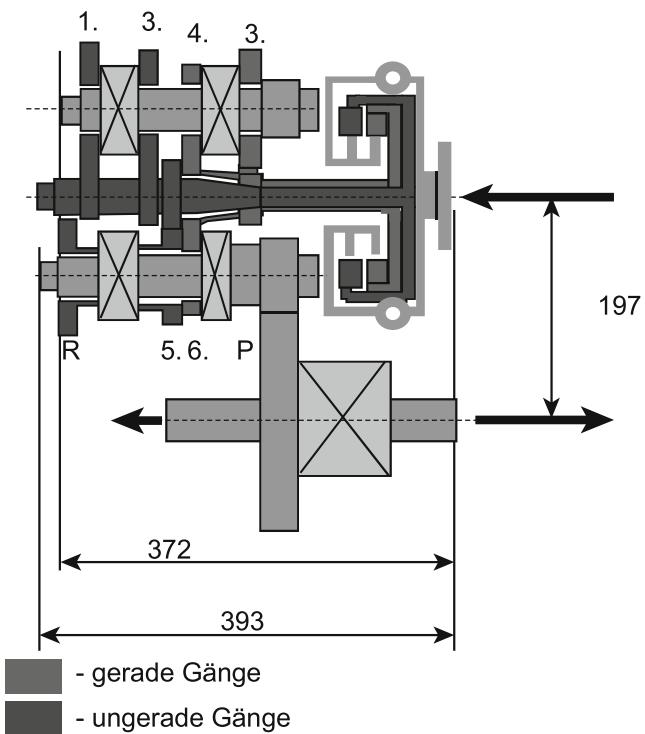
Abb. 6.14 Grundprinzip einer Lastschaltung

kungsgrades deutlich effizienter. Dies ist zum einen auf die höheren Schleppverluste nass laufender Doppelkupplungen und zum anderen auf die Verwendung einer relativ großen Pumpe zur Deckung des Kühlölbedarfs zurückzuführen. Bei hohen Energieeinträgen, wie sie z. B. bei häufigen Anfahrten an Steigungen auftreten, müssen die Kupplungsbeläge mit Hilfe von Software-Algorithmen vor Schäden geschützt werden. Zusätzlich tritt bei Trockenbelägen ein höherer Verschleiß auf, der die Lebensdauer der Kupplungen begrenzt.

Die Kupplungen eines DCT sind mit jeweils einem Teilgetriebe verbunden. Jedes Teilgetriebe umfasst die Losräder der Übersetzungen, wobei aufeinanderfolgende Gänge sich sinnvollerweise nicht auf der gleichen Welle befinden. Deshalb sind die geraden Gänge und die ungeraden Gänge in zwei unterschiedlichen Pfaden angeordnet. Diese Aufteilung erlaubt es, gleichzeitig zwei aufeinanderfolgende Gänge eingelegt zu haben. Die eigentliche Schaltung erfolgt **zugkraftunterbrechungsfrei** durch Öffnen der aktiven und gleichzeitiges Anlegen der bis dahin passiven Kupplung (vgl. Abschn. 2.1). In Abb. 6.14 ist dies schematisch anhand einer Lastschaltung dargestellt.

Die größte Verbreitung bzw. Marktdurchdringung haben DCT Anwendungen in Frontquer-Bauweise auf Basis eines Drei-Wellen-Konzepts. Häufig werden Gleichteile mit Handschaltgetrieben verwendet um Entwicklungs- und Erprobungsaufwand einzusparen bzw. Skaleneffekte zu nutzen. Varianten bei den Achsabständen und den Übersetzungen zum Differential (final drive) erlauben die Anpassungen der Übersetzungen an unterschiedliche Fahrzeugkonzepte und Plattformen. Bauraumvorgaben für unterschiedliche Fahrzeuge oder Plattformen üben oft Zwänge für die Wahl der Achsstände aus und reduzieren die freie Übersetzungswahl. Im Hinblick auf die Baulänge bei Front-Quer-Anwendungen ist die Integration der Doppelkupplung eine konstruktive Herausforderung

Abb. 6.15 Grundaufbau eines GETRAG-3-Wellen-DCT



und erfordert eine sehr kompakte Radsatzgestaltung. Abb. 6.15 zeigt den Grundaufbau eines 3-Wellen-DCT für den Frontquer-Einsatz.

6.4.2 Anforderungen an Doppelkupplungsgetriebe

Eine wesentliche Anforderung an Doppelkupplungen ist die thermische Belastbarkeit. Insbesondere bei trockenen Doppelkupplungen sind aufgrund der fehlenden Ölkühlung Maßnahmen erforderlich. Dazu gehört die ausreichende Dimensionierung von Druckplatten und Schwungrad um Konvektion und Wärmespeicherung zu ermöglichen. Damit werden Bauraumbedarf, Gewicht und Massenträgheit erhöht. Auch eine Belüftung der Kupplungsglocke und Optimierung der Luftführung in der Kupplungsglocke sind mögliche Maßnahmen. Dies widerspricht aber dem Wunsch die Kupplungsglocke zu kapseln, um Verschmutzung mit Staub, Feuchtigkeit, Partikel etc. zu verhindern, was potenziell Reibwertstabilität und Reibbelagverschleiß verschlechtert. Nasse Kupplungen verwenden eine höhere Anzahl von Lamellen (Reibflächen) und erzwungene Öl Kühlung. Dennoch wird weniger Bauraum benötigt und auch Gewicht und Trägheit der nassen Kupplung sind geringer. Entsprechend der Dimensionierung des Kühlvolumenstroms können nasse Kupplungen höhere Dauerschlupfleistungen ertragen.

Für die Schaltqualität gelten die gleichen Anforderungen wie für Automatikgetriebe. Bei trockenen Kupplungen muss die Reibwertvarianz infolge von Verschleiß und Temperatur bei Auslegung, Steuerungsentwicklung und Kalibration berücksichtigt werden. Im

Falle nasser Kupplung muss das Fluid stabile Reibwertverläufe insbesondere über seine Lebensdauer gewährleisten. Der Kalibrationsaufwand zum Erreichen der Schaltqualität entspricht dem, der auch bei Automatikgetrieben zu erwarten ist (vgl. Abschn. 6.1.7)

Eine entscheidende Anforderung an alle Getriebekonzepte ist die Möglichkeit zur **Hybridisierung**. DCT erfüllen diese Anforderung in besonderem Maße, da konstruktive Änderungen und andere Zusatzmaßnahmen in einem überschaubaren Rahmen bleiben. So können DCT beispielsweise durch den Einsatz eines koaxialen **Kurbelwellenstarter-generators** Start-Stopp-fähig gemacht werden, vorausgesetzt es gelingt die Herausforderungen bezüglich des Bauraums zu meistern. Eine weitere Möglichkeit zur Hybridisierung von DCT ist in [33] beschrieben. Mit Hilfe eines zum Getriebe achsparallel angeordneten E-Motors wird die Getriebeeingangswelle der geraden Gänge über eine bestehende Übersetzung angetrieben. Es ist keine zusätzliche Trennkupplung notwendig und die Basislänge – als kritische Größe bei Frontquer-Konzepten – bleibt erhalten. Alle Hybridfunktionen sind mit diesem Konzept darstellbar. Weiterführende Details zur Hybridisierung finden sich in Kap. 7.

Wie bei anderen Getriebekonzepten auch, spielen Anforderungen hinsichtlich der Reduzierung von Bauraum und Gewicht und der Verminderung der Geräuschentwicklung eine bedeutsame Rolle im Entwicklungsprozess von DCT. Der vergleichsweise hohe Wirkungsgrad von DCT offenbart weiteres Optimierungspotential. Bei einigen Konzepten trockener DCT ersetzt man z. B. die hydraulische Betätigung der Kupplungen durch kleinere und energieeffizientere elektromechanische Betätigungs vorrichtungen.

6.4.3 Auslegung von Doppelkupplungsgetrieben

Die Wichtigkeit der flexiblen Übersetzungswahl ist von den Handschaltgetrieben bekannt und wird in Tab. 6.3 verdeutlicht. Für dasselbe Fahrzeug sind verschiedene Diesel- und Benzinmotoren gegenübergestellt.

Tab. 6.3 Übersetzungen für verschiedene Anwendungen eines Basis-Doppelkupplungsgetriebe^a

Motor	M_{\max}	n_{\max}	i_1	i_6	φ	$v_{n=1000}$	$v_{n_{\max}}$
	(N m)	(1/min)	(–)	(–)	(–)	im 1. Gang	im 6. Gang
2.0-l-Benziner	180	7100	16,244	3,146	5,16	7,19	263,75
2.0-l-Turbo-Benziner	320	7100	15,08	2,605	5,79	7,75	318,52
2.0-l-Turbo-Benziner	360	7100	16,244	2,961	5,49	7,19	280,23
2.0-l-Turbo-Benziner	420	7600	14,849	3,148	4,72	7,87	282,14
2.0-l-Diesel	340	5100	14,572	2,293	6,35	8,02	259,93

^a Angenommener dynamischer Reifenhalbmesser $r_{\text{dyn}} = 0,31 \text{ m}$

Tab. 6.3 ist der unterschiedliche Spreizungsbedarf für gleichstarke Diesel- und Ottomotoren zu entnehmen. Um die bekannten Kriterien des Anfahrens, der Steigungsfähigkeit ohne und mit Anhänger sowie des Kriechverhaltens, z. B. im Stau, zu erfüllen, werden DCT mit relativ hohen **Anfahrübersetzungen** ausgelegt, da sie beim Anfahren keine Drehmomentüberhöhung, verglichen mit Wandlerautomaten, aufweisen. Die Auslegung hinsichtlich des letzten Ganges wird durch die **Drehzahlspreizung** des Motors bestimmt. Vergleichbare Höchstgeschwindigkeiten erreichen Fahrzeugvarianten mit Dieselmotoren bei deutlich niedrigeren Motordrehzahlen als jenen von Fahrzeugvarianten mit Ottomotor.

Die Anforderungen an die Auslegung der Zwischenübersetzungen bzw. Abstufung können jedoch sehr unterschiedlich sein. Sie reichen bis hin zu einer Forderung eines 6. Gangs, der als sogenannter **Schongang** (engl. *Overdrive*) ausgelegt ist. Ein weiterer Aspekt für die Abstufung ist das im Vergleich zum Handschaltgetriebe zusätzliche Optimierungspotential durch die automatisierte Wahl der Schaltpunkte. Dadurch können deutliche Verbesserungen der Fahrleistungen erreicht werden, ohne die sonst üblichen Kompromisse zu Gunsten des Kraftstoffverbrauchs eingehen zu müssen (vgl. Kap. 1).

Wie auch bei anderen Getriebetypen beeinflusst nicht alleine das maximale Motormoment die Dimensionierung eines Doppelkupplungsgetriebes. Das maximale Fahrzeuggewicht wird in die Lebensdauerbetrachtungen mit einbezogen. Die Achsabstände müssen sowohl bestehende als auch zukünftige Fahrzeugplattformen bedienen. Die Basis als Vorgelegegetriebe ermöglicht im Vergleich zu aktuellen Automatik- und auch Handschaltgetrieben neue Anordnungen in Fahrzeugen. Bei Sportwagen ist ein niedriger Schwerpunkt gefordert, und so wird ein Doppelkupplungsgetriebe in Serie angeboten, für das bei Standartbauweise die Vorgelegewelle oberhalb der Getriebeeingangswelle angeordnet ist, genau anders als üblich. Auch Transaxlegetriebe in längsbauweise für Supersportwagen erfüllen die Anforderungen nach niedrigen Schwerpunkten. Bei Standartbauweise wird meist anstatt der Eingangskonstante eine Ausgangskonstante verwendet. Damit wird das Drehzahlniveau im Getriebe erhöht, was beim Einsatz von hochdrehenden Sportmotoren noch verstärkt wird. Dies ist bei der Auslegung von Lagern, Dichtungen und der Beölzung zu berücksichtigen.

6.4.4 Ausführungsbeispiele

Am Beispiel des Getriebes 6DCT450 der GETRAG-Powershift-Familie wird ein DCT im 3-Wellen-Design vorgestellt. Das 6DCT450 in Abb. 6.16 stellt ein flexibles Getriebekonzept für Frontquer-Anwendungen dar, welches sich mit verschiedenen Motorkonzepten paaren lässt (vgl. Tab. 6.3), wobei u. a. die Radsätze an die entsprechende Motorisierung angepasst werden und sich jeweils andere Getriebespreizungen ergeben. Es existiert außerdem eine bauraumverkürzte Variante (6DCT470) in einer 2×2 -Wellen-Anordnung, welche insbesondere bei bauraumkritischen Anwendungen mit Fünf- und Sechs-Zylinder-Reihenmotoren eingesetzt werden kann [34]. Die schematischen Darstellungen beider Getriebevarianten sind in Abb. 6.17 gezeigt.

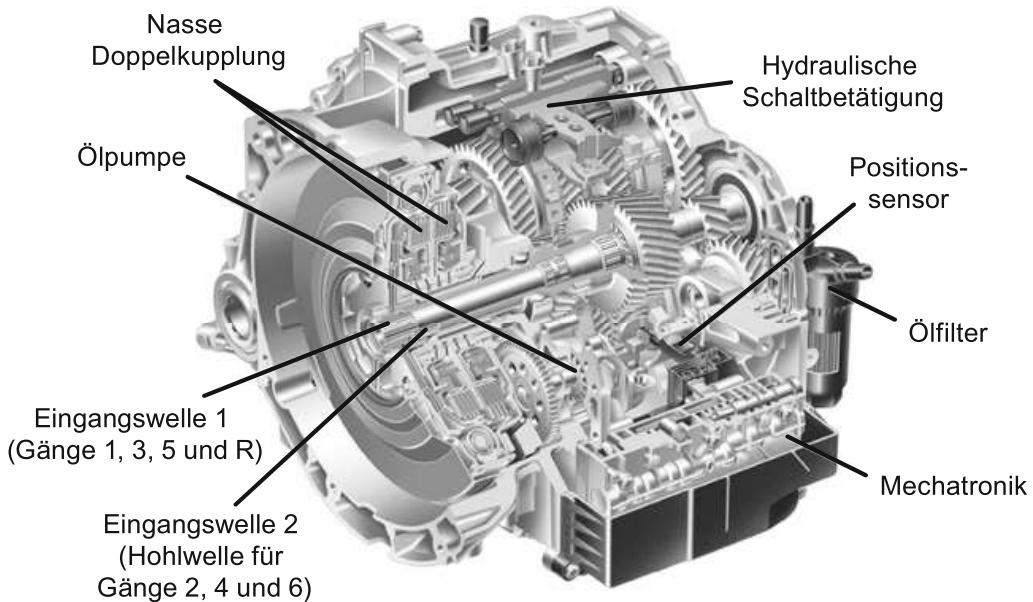


Abb. 6.16 6-Gang-DCT, 6DCT450, GETRAG

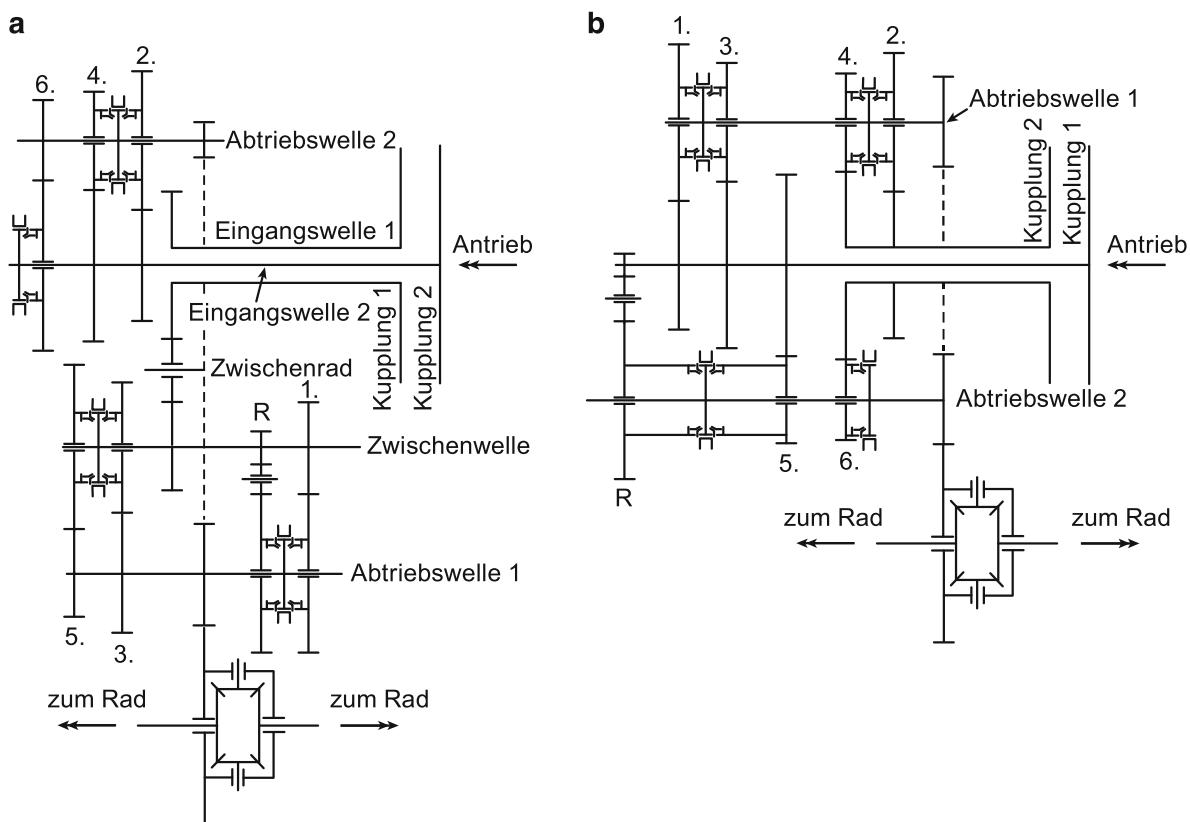


Abb. 6.17 Schemata des 6DCT470- (a) und des 6DCT450-Getriebes (b), GETRAG

Mit dem 6DCT450 lassen sich Fahrzeuge mit Front- und Allradantrieb im Kompakt-, Mittelklasse- und oberen Mittelklasse-Segment sowie sogenannte Sports Utility Vehicles ausrüsten. Bei dem 6DCT450 handelt es sich um ein Getriebe mit nasser Doppelkupplung,

wobei die beiden **Kupplungen parallel** angeordnet sind und eine Momentenkapazität von 450 Nm aufweisen. Ferner verfügt das 6DCT450 über sechs Vorwärtsgänge und einen Rückwärtsgang. Als vorteilhaft erweist sich die relativ einfache Erweiterungsmöglichkeit des 6DCT450 um eine Start-Stopp-Funktionalität. Hierzu kann ein Startergenerator über die Kupplung gesteckt werden. Der Startergenerator ist zwischen dem Außendurchmesser der Kupplung und der Gehäusewand angeordnet. In der Basisausführung ist an dieser Stelle der nasse Dämpfer angeordnet. Dieser Dämpfer wird für die Integration des Generators modifiziert. Im Idealfall ergibt sich so die Integration ohne eine Änderung der äußereren Getriebedimensionen.

Das Getriebesteuergerät des 6DCT450 ist gemeinsam mit hydraulischen Komponenten und der Sensorik für Drehzahl, Druck und Weg in einer mechatronischen Einheit integriert. Die Betätigung der beiden baugleichen Kupplungen und der inneren Schaltung erfolgt hydraulisch-mechanisch. Eine Ölpumpe versorgt die Mechatronik mit dem notwendigen Arbeitsdruck und die Doppelkupplung mit einem Kühlölvolumenstrom, welcher optional auf die jeweils aktive Kupplung gelenkt werden kann. Auf Grund des Sicherheitskonzepts sind beide Kupplungen als aktiv zu schließende (normally open) ausgeführt. Schraubenfederpakete ermöglichen ein automatisches Öffnen der Kupplungen im Falle eines Druckabfalls [34].

Seit dem Jahr 2008 befindet sich ein erstmals von der Volkswagen AG vorgestelltes trockenes DCT auf dem Markt [35]. Gleichzeitig ist es das erste 7-Gang-Getriebe für Frontquer-Anwendungen. Mit dreieinhalf Wellen werden sieben Vorwärts- und ein Rückwärtsgang dargestellt. Die ungeraden Gänge sind gesamthaft auf der inneren Eingangswelle angeordnet. Die hohle Eingangswelle bedient die geraden Gänge und den Rückwärtsgang. Insgesamt drei Ritzel kämmen mit dem Differentialrad. Auf zwei Vorgelegewellen sind die Vorwärtsgänge angeordnet, sie erstrecken sich über die gesamte Getriebelänge. Anstatt eines einfachen Rades mit Welle und Lagerung zur Drehrichtungs-umkehr kommt eine weitere, kürzere Vorgelegewelle zum Einsatz, die das dritte Ritzel zum Differential trägt. Sie wird entsprechend als halbe Welle gezählt, daher die Bezeichnung als Dreieinhalf-Wellen-Getriebe. Das Getriebe ist für 250 Nm ausgelegt, die maximale Spreizung beträgt 8,1. Das Gewicht beträgt etwa 70 kg. Abb. 6.18 zeigt ein Schnittmodell des DQ200-7F Getriebes.

Ein elektrohydraulisches Betätigungs system bedient die Doppelkupplung und sorgt für die Gangwechsel. Da keine Kupplungskühlung verwendet wird, kommt für das Betätigungs system ein separates Fluid zum Einsatz und nicht das Getriebeöl. Es ist für die Anforderungen des Betätigungs systems optimiert. Eine Mechatronikeinheit vereint die hydraulische und die elektronische Steuerung sowie die Sensoren. Insgesamt 8 Magnetventile steuern Kupplungen und Schiebermuffen an, die Steuerung und Regelung übernimmt das Getriebesteuergerät (TCU). Der hydraulische Druck wird mit einer elektrisch angetriebenen Zahnradpumpe erzeugt. Ein Druckspeicher unterstützt das Hydrauliksystem bei Bedarfsspitzen und ermöglicht den Einsatz einer kleineren Pumpe. Letztere arbeitet intermittierend, immer wenn der Druck eine Schwelle unterschreitet, schaltet die Pumpe ein und füllt den Druckspeicher. Dieses Hochdruckkonzept zusammen mit der

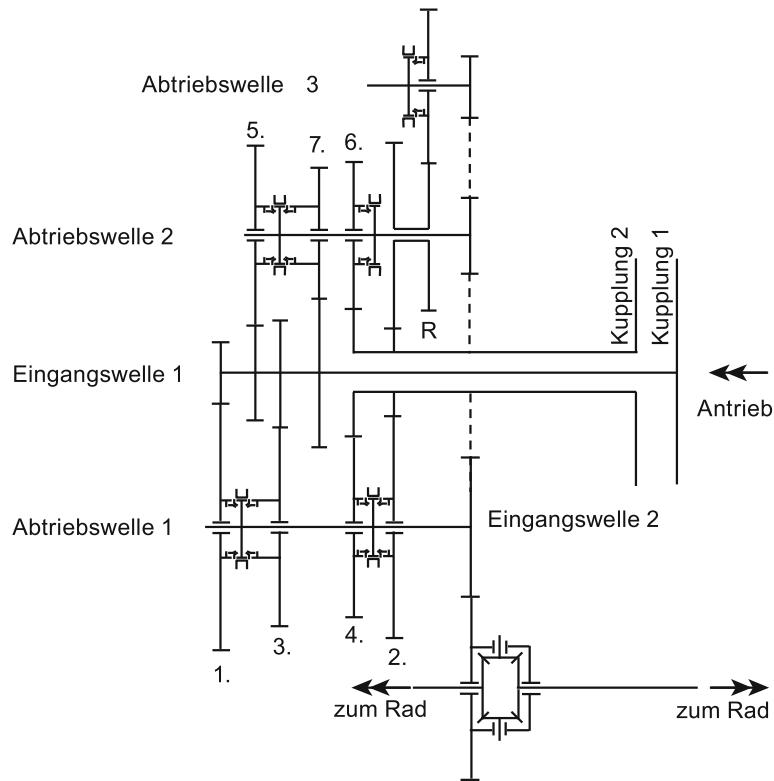


Abb. 6.18 Schema des DQ200-7F-Getriebes, Volkswagen AG

fehlenden Kupplungskühlung bringt große Effizienzvorteile im Vergleich zu anderen Ausführungen, z. B. dem DQ250-6F/A mit wasser Kühlung und vom Verbrennungsmotor angetriebener Pumpe [36].

Abb. 6.19 7-Gang-DCT,
DQ200-7F, Volkswagen AG

