

6MTT250 handelt es sich um ein Zwei-Wellen-Getriebe, welches mit einer Installationslänge von 399 mm eher lang baut, aber gegenüber Drei-Wellen-Getrieben der gleichen Momentenklasse insgesamt kompakter ist. Das maximal übertragbare Drehmoment liegt bei 250 Nm. Wie bei allen Getrieben für Frontquer-Anwendungen ist im 6MTT250 ein Achsgetriebe integriert. Die Synchronisationseinheiten für die Gänge 1 und 2 sind als Doppelkegel, die für die Gänge 3 bis 6 und den Rückwärtsgang als Einfachkegel ausgeführt. Die äußere Schaltung des 6MTT250 ist durch Seilzüge realisiert. Die Spreizung von 6 liegt in einem für Handschaltgetriebe üblichen Bereich. Abb. 6.9 zeigt eine schematische Darstellung des 6MTT250.

6.3 Automatisierte Handschaltgetriebe

Automatisierte Handschaltgetriebe (AMT) haben heute in Nutzfahrzeugen sowie in Klein- und Sportwagen ihren Einsatz und verbinden den hohen Wirkungsgrad von Handschaltgetrieben mit dem Bedienkomfort von Automatikgetrieben. Geht es primär um Kraftstoffeffizienz und Bedienkomfort, so bietet sich der Einsatz von AMT an. Bei besonderen Anforderungen an die Sportlichkeit sind spezielle AMT-Konzepte mit verkürzten Schaltzeiten geeignet (vgl. Abschn. 6.3.4).

6.3.1 Aufbau und Baugruppen

Bei AMT handelt es sich um Handschaltgetriebe in Vorgelegebauweise, welche entweder durch **Zusatzkomponenten** als sogenannte Add-on-Lösung (z. B. Ford Fiesta, Opel Corsa, Alfa Romeo) oder durch eine vollkommen **integrierte Aktuatorik** automatisiert werden. Beispiele für die letztgenannte Bauweise finden sich in den Fahrzeugen BMW M5, Smart Fortwo und diversen Nutzfahrzeugen. Zusätzlich zu den Baugruppen eines Handschaltgetriebes besitzt ein AMT Aktuatorik und die dafür notwendigen Komponenten zur Energieversorgung. Die Aktuatorik kann dabei elektromechanisch, pneumatisch oder hydraulisch realisiert sein (vgl. Kap. 4).

Ein Vergleich von AMTs mit MTs zeigt, dass drei zusätzliche Funktionen bzw. Baugruppen für ein AMT benötigt werden: **Kupplungsbetätigung**, **Betätigung für Gassen- und Gangwahl** und **Getriebesteuergerät** (vgl. Abschn. 5.1).

Add-on-Lösungen zeichnen sich dadurch aus, dass sie einen hohen Anteil an Gleichteilen mit dem manuellen Getriebe besitzen. Bei einer nachträglichen Automatisierung eines bestehenden Getriebes entfallen die Entwicklungs- und Erprobungsumfänge in Bezug auf das Basisgetriebe. Die Adaption der Betätigungssysteme an die bei einem Handschalter erforderlichen Schnittstellen erfordert besonderes Augenmerk und Aufwand. Einige Komponenten bedürfen gegebenenfalls einer Ertüchtigung, da die Schalthäufigkeit gegenüber Handschaltgetrieben erhöht ist. Die Integration der Betätigungssysteme in ein

neu zu entwickelndes AMT ermöglicht eine kompaktere Bauweise und die Reduktion von einigen Anforderungen insbesondere aus missbräuchlichem Gebrauch, der bei AMT durch die Getriebesteuerung ausgeschlossen werden kann. Wie oben beschrieben, wird die Automatisierung von Handschaltgetrieben durch den Einsatz zusätzlicher Komponenten ermöglicht: die automatische Kupplungsbetätigung, die automatisierte Betätigung für Gassen- und Gangwahl und das integrierte Steuergerät für Schaltpunktwahl und Schaltablauf.

6.3.2 Anforderungen an automatisierte Handschaltgetriebe

Da bei der Entwicklung von AMTs Wert auf einen hohen Anteil an Gleichteilen mit den manuellen Getrieben gelegt wird, werden in der Regel Kupplungssysteme verwendet, die ohne Zuführung von Energie geschlossen sind (Normally-closed-Systeme). Ein weiterer Vorteil dieser Auslegung ist die Verhinderung des Wegrollens beim Abstellen des Fahrzeugs ähnlich einer Parksperrre.

Für die Getriebeauslegung ergeben sich damit folgende Unterschiede:

- Entfall der äußeren Schaltung
- Ankopplung von Betätigungssystemen für Gangwechsel und Kupplung
- Schnittstellen am Getriebegehäuse für die zusätzlichen Komponenten und Subsysteme
- Integration von Sensoren und Verkabelung derselben
- Getriebesteuergerät und elektrisches Bedienelement als Fahrerschnittstelle

Aus der Automatisierung abgeleitete Belastungsanalysen zeigen laut [29]:

- eine Verdopplung der Schalthäufigkeit
- eine deutliche Erhöhung des Kraftniveaus während des Synchronisierungsvorgangs [30] (entsprechende Änderung von Synchronmaterialien bei harten Schaltvorgängen und Anpassung des Lastkollektivs kommen als Maßnahmen in Frage)
- keine nennenswerte Änderung der Kupplungslebensdauer, allerdings ist belegt, dass die Varianz der Kupplungslebensdauer bei einem AMT deutlich geringer ist als bei MTs (ein Grund ist der geringere Wärmeeintrag bei Anfahrten unter hoher Last (Beladung und/oder Steigung) im Vergleich zu durchschnittlichen Fahrern bei MTs).

Abb. 6.10 zeigt die Integration einer Getriebesteuerung im Fahrzeug. Das Zusammenspiel der gezeigten Komponenten kann anhand des automatisierten Gangwechsels veranschaulicht werden [31].

Schaltvorgänge werden in Abhängigkeit von Fahrzeug- und Umweltparametern innerhalb der Getriebesteuerung ausgelöst. Das Getriebesteuergerät übernimmt dabei die Steuer- und Regelfunktionen der Gangsteller und der Kupplung, wobei hierzu Magnet-

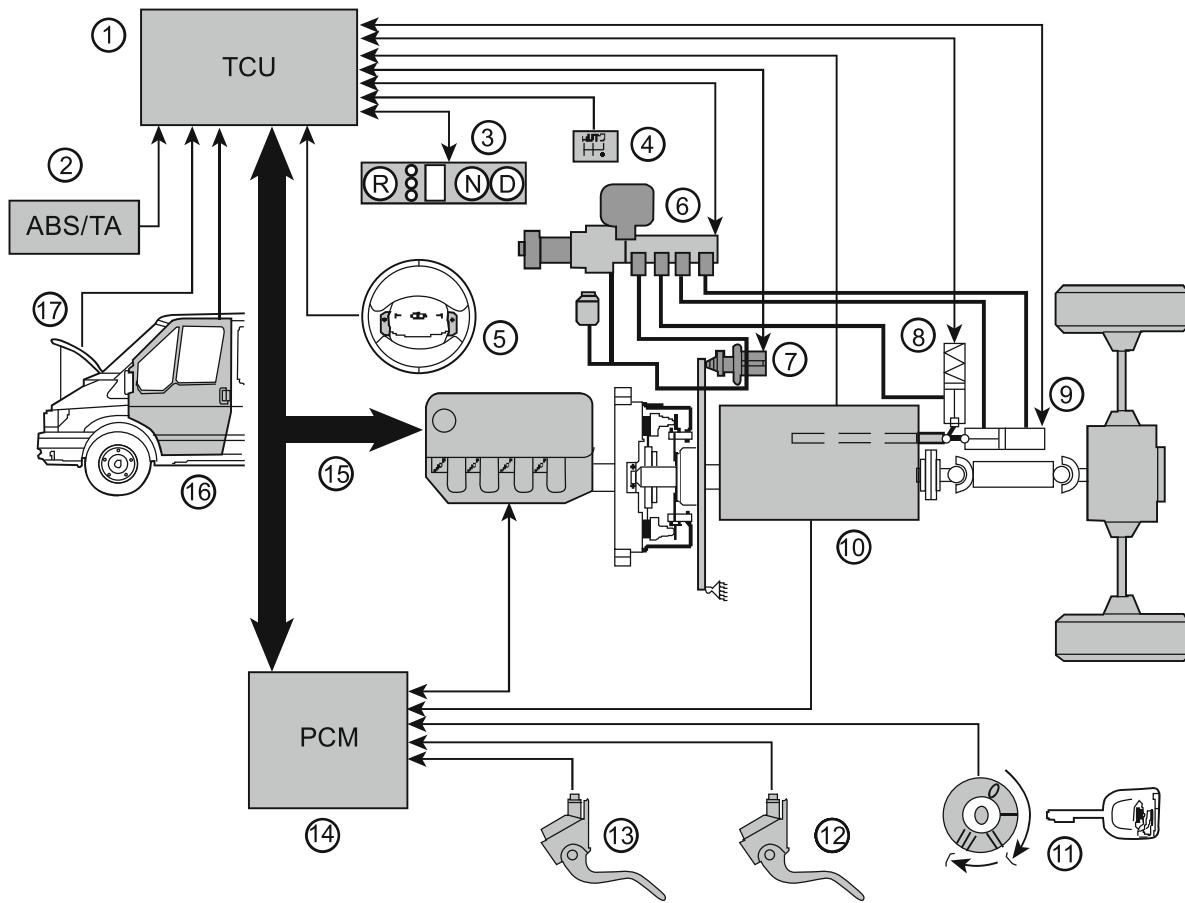


Abb. 6.10 Integration einer Getriebesteuerung im Fahrzeug. 1) Getriebesteuerung, 2) Antiblockier- bzw. Traktionssystem, 3–4) Anzeigeelemente im Cockpit, 5) Lenkwinkel vom Lenkrad, 6) Ventile und Relais zur Bereitstellung hydraulischer Drücke für Betätigung, 7) Kupplungszylindersensor, 8) Wählzylindersensor, 9) Schaltzylindersensor, 10) Drehzahlsensor, 11–13) Bedienelemente, 14) Steuergerät für gesamten Antriebsstrang, 15) CAN-Bus, 16) Sensor „Tür offen/geschlossen“, 17) Sensor „Motorhaube offen/geschlossen“

ventile und Relais angesteuert werden, um die entsprechenden hydraulischen Drücke für die Betätigung bereitzustellen. In dem dargestellten Beispiel wird neben der Getriebesteuerung ein weiteres Steuergerät für den gesamten Antriebsstrang verwendet, welches übergeordnete Funktionen zur Koordination der Drehmomente unter Berücksichtigung des Fahrerwunsches bereitstellt. Über den CAN-Bus werden Daten zwischen den Steuergeräten ausgetauscht.

Die Getriebesteuerung in Abb. 6.10 verarbeitet Motor-, Getriebe-, Sicherheitssignale und den Fahrerwunsch, welcher durch den Fahrereingriff an den Bedienelementen definiert ist. Die Erfassung der Fahrzeugparameter erfolgt mit Hilfe von Sensoren und Signalen, die wiederum von anderen Steuergeräten, wie z. B. dem Motorsteuergerät, bereitgestellt werden. Sensorsignale für die Positionen des Kupplungszylinders, des Wählzylinders, des Schaltzylinders sowie Drehzahlen werden im Beispiel in Abb. 6.10 an die Getriebesteuerung übermittelt.

6.3.3 Auslegung von automatisierten Handschaltgetrieben

Die Auslegung des Basisgetriebe eines AMT ist konzeptbedingt sehr ähnlich zu der von Handschaltgetrieben. Wesentliche Unterschiede ergeben sich beispielsweise für die Auslegung der Synchronisationseinheiten. Bei Handschaltgetrieben spürt der Fahrer die Schaltkräfte am Schalthebel und bewertet unharmonische Kraftverläufe negativ. Durch die Automatisierung des Schaltablaufs bei AMT rückt der Betätigungszeitverlauf jedoch in den Hintergrund. Da die Elastizitäten der äußeren Schaltung und der Anbindung an den Wählhebel fehlen, ist eine sorgsame Betrachtung der Elastizitäten der inneren Schaltung und des Betätigungssystems notwendig. Zusammen mit den Trägheiten ist eine ausgewogene Konstruktion zu finden, die präzise und wiederholbare Gangwechsel gewährleistet. Insbesondere ist darauf zu achten, dass für die initiale Ausrichtung des Sperrings ausreichend Zeit zur Verfügung steht, um die Sperrwirkung sicher zu erreichen und bis zur Drehzahlgleichheit aufrecht zu erhalten. Beim Erreichen des Endanschlags beim Durchschalten ist sicherzustellen, dass die Schiebemuffe nicht derart zurückprallt, dass der Gang wieder ausgeschaltet wird. In Abhängigkeit von der Art der Betätigungs- systeme (mechanisch oder hydraulisch) kommen unterschiedliche Auslegungsstrategien zur Anwendung, einige Applikationen verwenden spezielle Schaltelastizitäten.

Eine entscheidende Größe bei der Beurteilung des Schaltkomforts von AMT ist die dabei entstehende **Zugkraftunterbrechung**. Um diese möglichst kurz zu halten, ist der Gangwechsel mit hohen Kräften und kurzen Synchronisationszeiten durchzuführen. Genauso in der Beschleunigungsphase, bei der meist in einem Bereich von hohem Motordrehmoment geschaltet wird, fällt die Zugkraftunterbrechung unangenehm auf, weil der Fahrer nicht wie beim Handschaltgetriebe von der Betätigung des Schalthebels und der Kupplung abgelenkt wird. Um eben diese Phase der Zugkraftunterbrechung so kurz wie möglich zu halten, wird beim automatisierten Getriebe der Schaltvorgang extrem forciert, wobei die Synchronisierung stark belastet wird. Die Synchronisationseinrichtung ist eine wichtige Getriebekomponente, deren einwandfreie Funktion über die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs sichergestellt werden muss. Details zur Auslegung von Synchronisationseinheiten sind in Abschn. 3.7 gegeben.

Prinzipiell erfolgen die Beurteilung und die Optimierung der Schaltqualität (Schalttruck und Schaltzeit) ähnlich wie bei Doppelkupplungs- und Automatikgetrieben (vgl. Abschn. 6.5).

Abb. 6.11 zeigt einen typischen Kraft-Zeit-Verlauf eines AMT gemessen an der Schalt- schwinge.

6.3.4 Ausführungsbeispiel

Abschließend werden anhand eines 7-Gang-Getriebes (Abb. 6.12) Besonderheiten und Hauptmerkmale vorgestellt. Das dargestellte Getriebe ist in Inline-Bauweise für Fahrzeuge mit Standardantrieb konzipiert. Bei der Auslegung wurde auf optimierten Wirkungs-

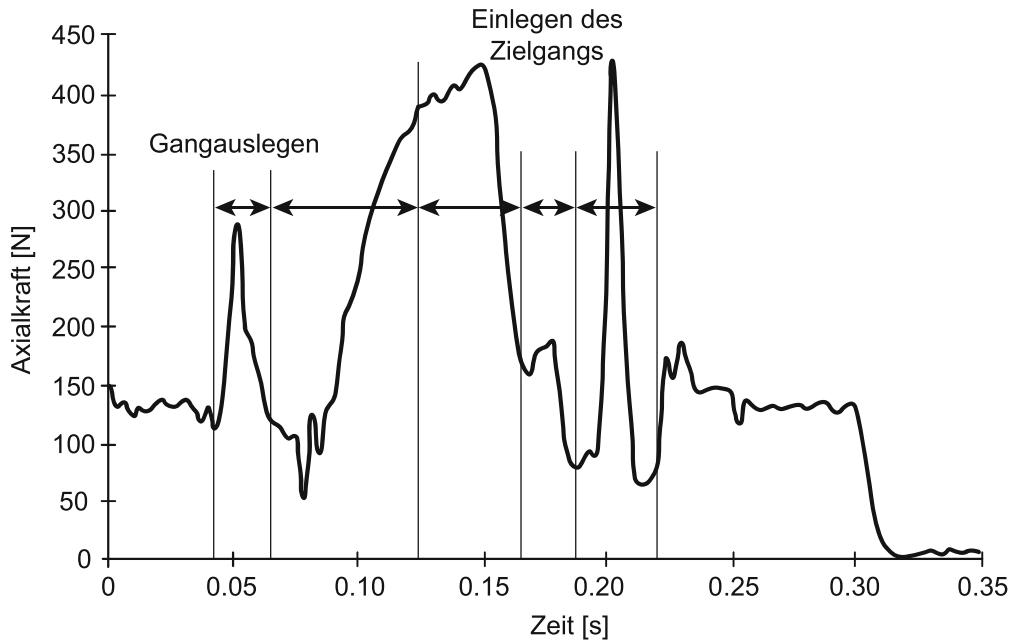


Abb. 6.11 Kraft-Zeit-Verlauf am Beispiel einer 2-3-Hochschaltung mit AMT unter Vollast

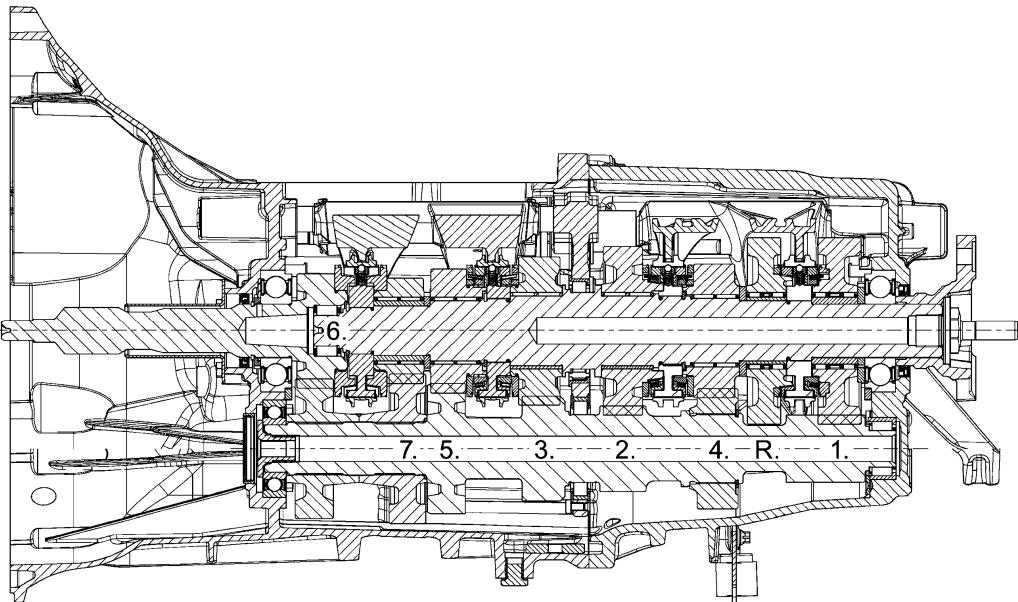


Abb. 6.12 Automatisiertes 7-Gang-Handschaltgetriebe, 7AMI550, GETRAG [28]

grad und hohen Komfort bei gleichzeitig schnellen und sportlichen Schaltungen geachtet. Die Schaltzeitoptimierung erlaubt durch spezielle Radsatz- und Schaltungsanordnungen Schaltzeiten bis 0,065 s. Hierzu sind die Gänge 6, 7 und R mit Einfachsynchrosierungen ausgestattet, die Gänge 1, 3, 4 und 5 mit Doppelkegelsynchronisierungen und der 2. Gang sogar mit einer Dreifachkegelsynchronisierung. Die Betätigung der Kupplung und der Schalteinrichtungen erfolgt hydraulisch. Das Getriebe besitzt eine Übersetzungs spreizung von $\varphi_S = 4,78$, ist für maximal 550 Nm Eingangsmoment und Fahrzeuge mit

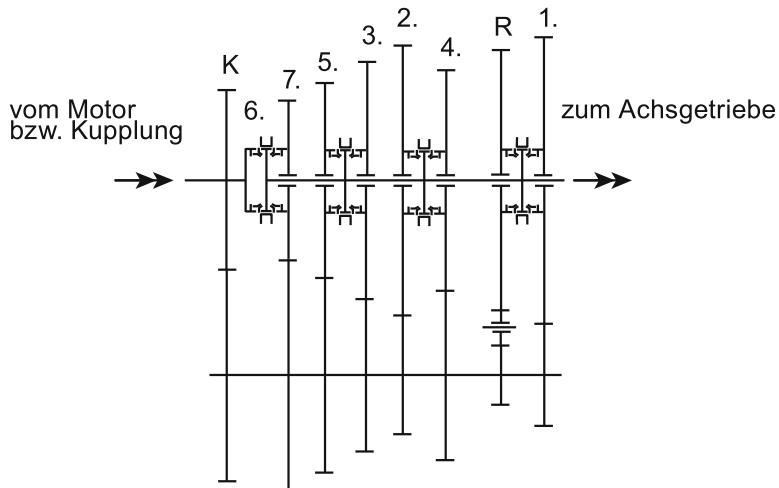


Abb. 6.13 Schema des 7AMI550-Getriebes, GETRAG

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,