

- Statistische Versuchsplanung (DoE – Design of Experiments) zur Reduktion der erforderlichen Erprobungs- und Validierungsumfänge
- Verlagerung der Straßenversuche auf Prüfstände und Abbildung der veränderlichen Umgebungsbedingungen (z. B. Kalterprobung) am Prüfstand
- Automatisierte Getriebekalibration am Rollenprüfstand [23]
- Aufbau detaillierter Simulationsumgebungen zur Unterstützung der Kalibrationsaktivitäten und Vorbedatung auf Basis virtueller Fahrbarkeitsbewertungen (SiL – Software in the Loop und HiL – Hardware in the Loop) [24, 25]

6.2 Handschaltgetriebe

Handschatlgetriebe, auch manuelle Schaltgetriebe genannt, besitzen aufgrund ihrer geringen Herstellkosten und des hohen Wirkungsgrades in Europa sowie weltweit auf vielen wichtigen Märkten die größte Kundenakzeptanz. Sowohl das Schalten eines Ganges als auch die Betätigung der Kupplung werden bei Handschaltgetrieben manuell vom Fahrer ausgeführt. Handschaltgetriebe werden anhand der Anzahl Übersetzungsstufen sowie der Anzahl und Anordnung der Wellen kategorisiert.

6.2.1 Aufbau und Baugruppen

Bei manuellen Schaltgetrieben handelt es sich um Stirnradgetriebe. Auf mindestens zwei parallel verlaufenden Wellen sind dabei die Zahnradpaarungen für die jeweiligen Gangstufen angeordnet, die aus jeweils einem Festrad und einem Losrad bestehen. Das Festrad ist drehfest mit der einen Welle verbunden, während sich das Losrad auf der anderen Welle frei drehen kann. Erst wenn ein Gang geschaltet wird, werden Losrad und Welle durch eine Schalteinrichtung verbunden.

Abb. 6.5a zeigt den Aufbau eines manuellen Schaltgetriebes für Inline-Anwendungen: Das Drehmoment wird vom Eingang durch eine konstante Übersetzung auf die sogenannte Vorgelegewelle übertragen. Je nach geschalteter Gangstufe erfolgt schließlich die Übertragung des Drehmoments auf die koaxial zur Eingangswelle angeordnete Ausgangswelle und von dort zum Achsgetriebe. Eine Besonderheit stellt der fünfte Gang dar, der als sogenannter Direktgang¹ ausgelegt ist, da die Leistung direkt von der Eingangswelle auf die Ausgangswelle übertragen wird. Der Rückwärtsgang ist über ein zusätzliches Zwischenrad realisiert, welches die Drehrichtungsumkehr bewirkt.

Abb. 6.5b zeigt den Aufbau eines Getriebes für Queranwendungen. Im Unterschied zum Inline-Getriebe erfolgt die Realisierung der gangabhängigen Übersetzung direkt von der Eingangswelle auf die Vorgelegewelle, welche gleichzeitig die Ausgangswelle dar-

¹ Je nach Anwendungen können auch andere Gänge statt des fünften Gangs als Direktgang ausgeführt sein.

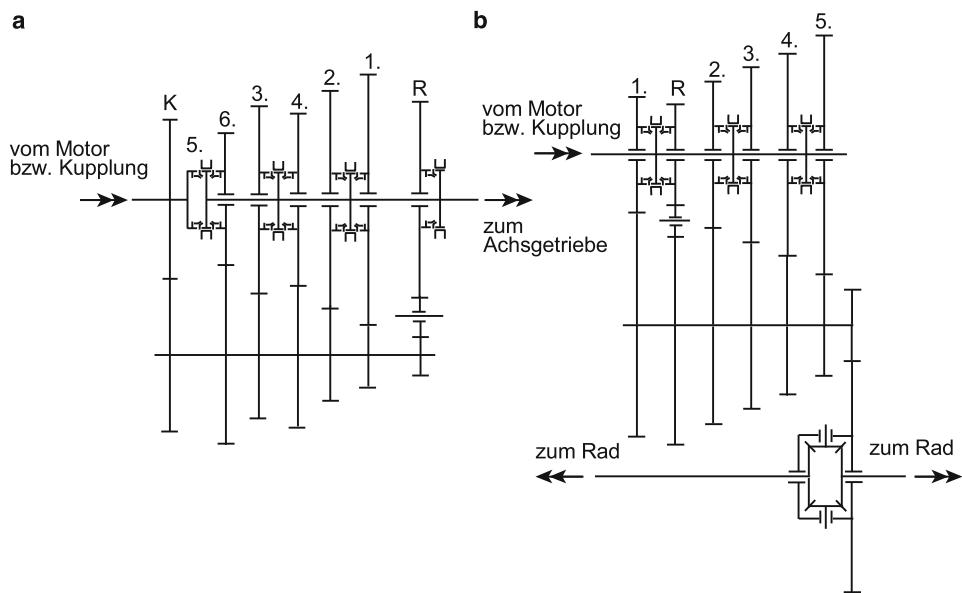


Abb. 6.5 Aufbau von Handschaltgetrieben

stellt. Von dort wird das Drehmoment auf das integrierte Achsgetriebe übertragen. Da der axiale Bauraum insbesondere bei quer eingebauten Motoren knapp ist, ist man bestrebt, die Getriebe möglichst kurz zu bauen. Aus diesem Grund werden häufig sogenannte **Mehrwellenkonzekte** eingesetzt, bei denen mehrere Vorgelegewellen verwendet werden, die das Drehmoment von der Eingangswelle erhalten und über eigene Achsgetriebeübersetzungen an das Differential weitergeben.

Durch ihren einfachen Aufbau und die geringe Anzahl der verwendeten Bauteile erweisen sich Handschaltgetriebe als kostengünstig und verlustarm. Zusätzlich sind durch die verwendete Vorgelegebauweise die Übersetzungen zumindest bei längs verbauten Getrieben weitestgehend frei wählbar, was sich ebenfalls als günstig erweist. Für quer verbaute Getriebe gelten Einschränkungen hinsichtlich der Achsabstände.

Um die verschiedenen Übersetzungsstufen einzustellen ist eine innere Schaltung integriert und eine äußere Schaltung angebaut. Zusammen bewegt das Schaltungssystem die Schiebemuffen der Synchronisationseinheiten.

Über die **äußere Schaltung** erfolgt die Gangwahl durch den Fahrer. Die äußere Schaltung setzt dabei die Bewegungen des Wählens (Gasse) und des Schaltens (Gang) durch ein Schaltgestänge oder durch Seilzüge bis zur inneren Schaltung um. Der Begriff äußere Schaltung umfasst alle Bauteile, die sich außerhalb des Getriebes befinden und zur Umsetzung der Fahrervorgabe notwendig sind.

Die **innere Schaltung** überträgt die Schaltbewegungen von der äußeren Schaltung auf jeweiligen Synchronisationseinheiten oder bei nicht synchronisierten Getrieben z. B. Klauenkupplungen entsprechend der Fahrervorgabe (vgl. Abschn. 4.2.3).

6.2.2 Anforderungen an Handschaltgetriebe

Vom Kunden wahrnehmbare Charakteristika der Qualität eines Handschaltgetriebes betreffen die Getriebeakustik (vgl. Abschn. 2.3) sowie die Schaltbarkeit. Diese wird definiert von der Dosierbarkeit der Kupplung auf der einen Seite (vgl. Abschn. 3.5) und den Bewegungen und Kräften am Schalthebel andererseits. Automobilfirmen und Getriebehersteller gleichermaßen versuchen daher, das **Schaltgefühl**, also die Krafteinwirkung des Schaltknaufes auf die Hand des Fahrers, möglichst agil, präzise, komfortabel und angenehm zu gestalten. Der Schaltkomfort selbst wird nicht allein durch die äußere Schaltung und das Getriebe beeinflusst, sondern auch durch den Antriebsstrang und das Fahrzeug.

Schon die Definition eines angenehmen Schaltgefühls gestaltet sich nicht trivial und ist äußerst aufwendig zu ermitteln. Das subjektive Komfortempfinden eines Fahrers muss hierbei in objektive, messtechnisch zu erfassende Größen übersetzt werden [26, 27]. Umfangreiche Kundenbefragungen werden beispielsweise auf Basis der QFD-(Quality-Function-Deployment-)Methode in Konstruktionsparameter übersetzt. Messungen verschiedenster Einflussgrößen, Reaktionskräfte und Bewegungen werden anschließend katalogisiert. Hieraus definiert man einen Anforderungskatalog sowohl für die Schaltungselemente außerhalb des Getriebes (Schalthebel, Schaltmassen, Schaltungszug, Schaltungsgestänge) als auch die Schaltungselemente innerhalb des Getriebes (Schaltstangen, Schaltgabeln, Synchronisationseinheiten).

Die herstellerspezifische Definition der Schaltbarkeit umfasst dann

- die Schaltknaufkräfte (in x - und y -Richtung) in Form eines Kraft-Zeit-Verlaufes
- die Schaltarbeit (Schaltkraftintegral aus Schaltkraft und Schaltweg)
- den Kupplungspedalweg
- die Steifigkeiten aller Schaltungselemente
- die Spiele an den Einzelementen
- die Dämpfungseigenschaften der Schaltung und
- ergonomische Parameter

Die konstruktive Umsetzung geschieht mit Hilfe von Mehrkörper-Simulationen, wobei häufig reine Drehschwingungsanalysen eine ausreichende Detaillierung der meisten Effekte ermöglichen. Die Schaltqualität wird anschließend versuchstechnisch bestätigt, wobei sowohl dynamische Aspekte beim Schalten (gegenseitiger Einfluss von Getriebe, Antriebsstrang und Fahrzeug) ermittelt werden, wie

- generelles Schaltgefühl,
- Kratzen, Hochschalt-Kratzen,

- Hakeligkeit,
- Klacken oder andere Schaltungsgeräusche,
- zweiter Druckpunkt (engl. *second peak*),
- Krachen,
- Blockierungen,
- Schwirren oder Schlagen,

als auch statische Eigenschaften der Schaltung (z. B. die Geometrie der Synchronisierung wie Kegelwinkel, Anspitzung) gemessen werden:

- Schaltwahl (Gassenwahl, Gangwahl),
- Präzision bei der Gangwahl,
- Endanschläge und Steifigkeiten,
- Schaltgeräusch.

6.2.3 Auslegung von Handschaltgetrieben

Zunächst ist die Antriebsstrangkonfiguration festzulegen. Die wichtigsten Eingangsgrößen für die grobe Dimensionierung sind das maximale Motormoment, die Anzahl der Gangstufen und das maximale Gespanngewicht. Bauraumdaten mit der Position des Kurbelwellenflansches werden benötigt. Im Falle von Transaxle-Getrieben sind die Positionen der Räder bzw. Radachsen erforderlich. Mit einer vorläufigen Definition der Achsabstände werden grobe Berechnungen für die Verzahnungsbreiten durchgeführt. Es wird dann entschieden, ob zur Lagerung der Losräder Gleit- oder Wälzlager eingesetzt werden. Die Identifikation von Komponenten, die von anderen oder älteren Getrieben übernommen werden können (Baukastenansatz, Gleichtteileansatz) ist ein nächster Schritt. Sorgfältig muss die Auswahl der Synchroneinheiten erfolgen, da diese signifikanten Einfluss auf die Schaltbarkeit haben. Mit Lagern und Dichtungen wird die vorläufige Konstruktion ergänzt. Auf dieser Basis kann dann die detaillierte Verzahnungsberechnung und die Analyse der Wellendurchbiegung erfolgen. In den folgenden Optimierungsschleifen wird die Getriebekonstruktion vervollständigt.

6.2.4 Ausführungsbeispiele

Handschatgetriebe werden insbesondere in Inline- oder in Querbauweise ausgeführt (vgl. Abb. 6.5); für beide Bauformen ist in diesem Abschnitt jeweils ein Ausführungsbeispiel dargestellt.

Das 6MTI300-6-Gang-Getriebe von Getrag ist für Inline-Anwendungen im Standardantriebsstrang konzipiert und überträgt ein maximales Drehmoment von 300 Nm (Abb. 6.6). Das Getriebe ist in Vorgelegebauweise ausgeführt und verfügt je nach Ausführung über ein oder zwei Overdrive-Gänge. Mit einem Gewicht von 32 kg (trocken)

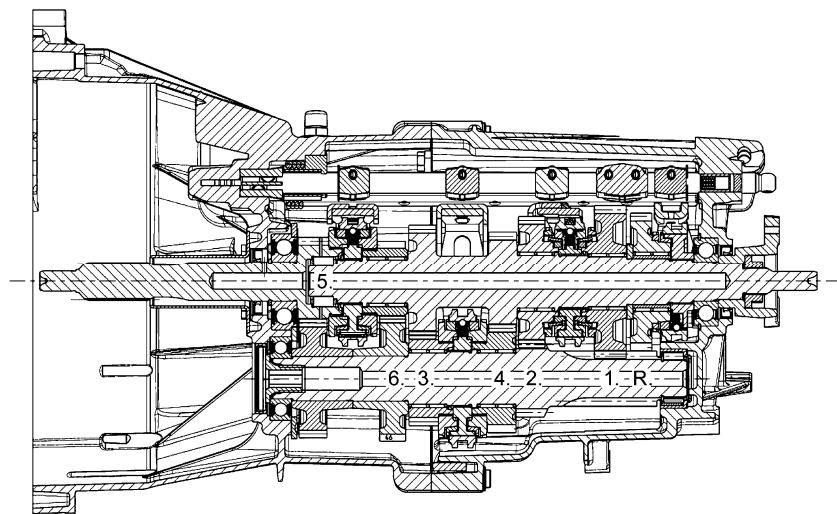


Abb. 6.6 6-Gang-MT in Inlinebauweise, 6MTI300, GETRAG [28]

unterscheidet es sich deutlich von den automatisch schaltenden Getrieben. Die Schaltung erfolgt über eine zentrale Schaltwelle, die wiederum Synchronisationseinheiten betätigt, die für den 1. und 2. Gang als Doppelkegel und für die Gänge 3 bis 6 als Einfachkegel ausgeführt sind. Der Rückwärtsgang ist ebenso als Einfachkegel ausgeführt. Radsatzvarianten mit einer Spreizung von bis zu 6,2 sind in Serie ausgeführt.

Für das 6MTI300-Getriebe existieren unterschiedliche Ausführungen für Otto- und Dieselmotoren (Abb. 6.7), da die Getriebespreizung, bedingt durch das Motorkonzept, angepasst werden muss. Der wesentliche Unterschied besteht dabei in der Auslegung des Direktgangs. Während für die Ottomotor-Variante der fünfte Gang als Direktgang ausgeführt ist, wird bei der Dieselmotor-Variante der vierte Gang als Direktgang verwendet (Abb. 6.7). Dies macht entsprechende Änderungen an der Anordnung des Radsatzes und an der inneren Schaltung notwendig [28].

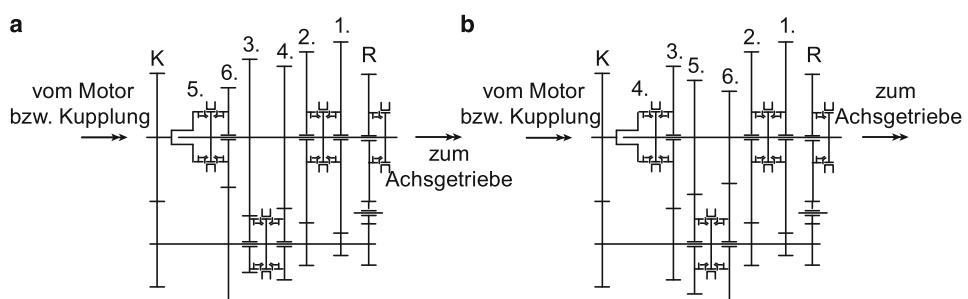
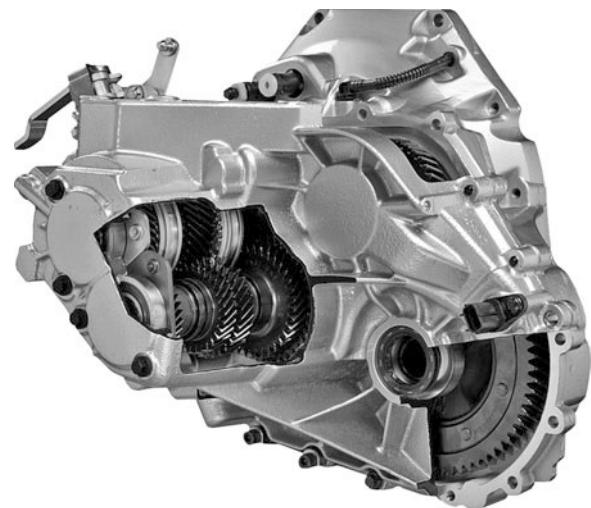


Abb. 6.7 Schema des GETRAG-6MTI300-Getriebes für Otto- und Dieselmotoranwendungen

Abb. 6.8 6-Gang-MT für Frontquer-Anwendungen, 6MTT250, GETRAG



Für frontquer angetriebene Fahrzeuge ist das Ausführungsbeispiel in Abb. 6.8 gegeben. Hierbei handelt es sich um ein 6-Gang-Getriebe, welches für Fahrzeuge mit Frontantrieb im Kleinwagen- und Kompaktklasse-Segment eingesetzt wird. Bei dem Getriebe

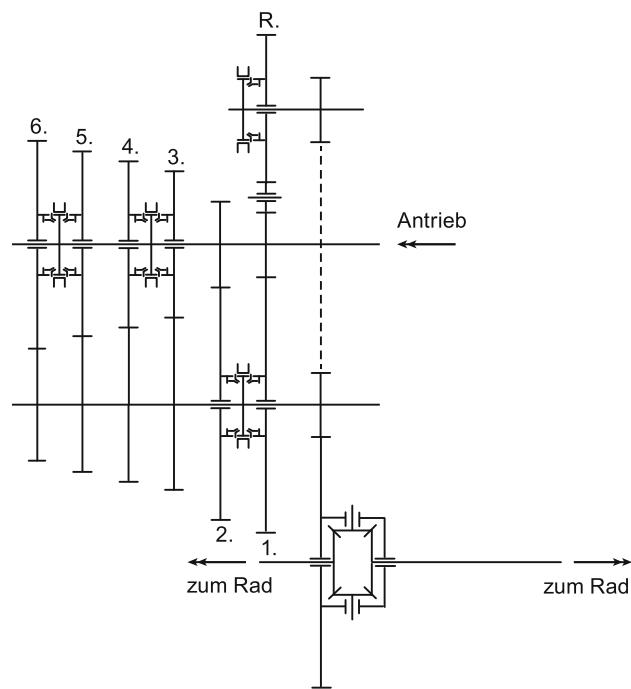


Abb. 6.9 Schema des 6MTT250-Getriebes, GETRAG

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 Gassee- 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 Betätigungsstysteme 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 Betätigungsstysteme in ein