

► Getriebegeschichte(n) 1

Benz-Patent-Motorwagen 1886 mit Riemen- und Kettenantrieb

Als Daimler, Maybach und Benz ihre ersten Straßenfahrzeuge zum Laufen brachten, hatten Pioniere der Antriebstechnik die dafür notwendigen Maschinenelemente zur Kraftübertragung bereits beachtlich entwickelt. Dabei spielten Namen wie z. B. Leonardo da Vinci, Dürer, Galileo, Hooke, Bernoulli, Euler, Grashof und Bach eine wichtige Rolle.

Eine Kraftübertragung im Automobil muss die Funktionen des Anfahrens sowie der Drehzahl- und Drehmomentwandlung für das Vorwärts- und Rückwärtsfahren gewährleisten. Dafür sind Stellglieder und Schaltelemente erforderlich, die in den Leistungsfluss eingreifen und die Wandlung vornehmen.

Der erste fahrbereite Benz-Patent-Motorwagen stand im Jahr 1886 auf den Rädern. Es war das *erste Dreiradfahrzeug*, das in seiner Gesamtheit speziell für den motorisierten Straßenverkehr konzipiert war. Es verfügte wohl über einen Gang, aber über keine Anfahrkupplung. Und um überhaupt zum Laufen zu kommen, musste der Wagen angeschoben oder mit dem Schwungrad von Hand angeworfen werden.

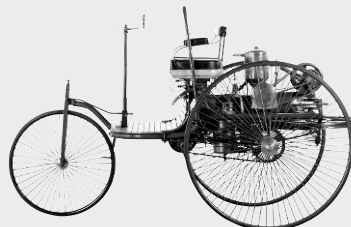
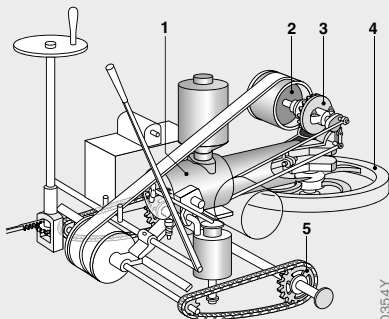
Ein Einzylinder-Viertaktmotor mit einem Hubraum von 984 cm³ und einer Leistung von 0,88 PS (0,65 kW) diente als Antriebsaggregat dieses Dreiradfahrzeugs von Benz.

Um die Antriebskraft seines Motors auf die Straße zu bringen, benutzte Benz folgende Maschinenelemente:

Das Ende der Kurbelwelle des Motors trug das Schwungrad, das für einen gleichmäßigeren Lauf des Motors sorgte und mit dem der Motor auch angeworfen werden konnte. Da der Motor liegend über der Hinterachse angeordnet war, lenkte ein rechtwinklig angeordnetes Kegelradgetriebe die Kraftübertragung auf kleinem Raum zu einem Riementrieb um, der die Drehzahl geringfügig auf eine Zwischenwelle untersetzte. Die weitere Untersetzung zur Antriebsachse übernahm schließlich ein Kettentrieb.

Der Riemen- und Kettenantrieb aus den Anfängen des Automobils wurde allmählich vom Zahnradgetriebe abgelöst. Aber er erlebt in unseren Tagen mit dem stufenlosen Umschlingungsgetriebe (CVT) eine neue Anwendung. Das CVT-Getriebe besteht aus einem Variator mit zwei Kegelscheiben und einem flexiblen Stahlgliederband. Sobald der Druck des Getriebeöls die beweglichen Kegelscheibenhälften verschiebt, ändert sich die Lage des Stahlgliederbandes zwischen den beiden Kegelscheiben und damit auch die Übersetzung. Diese Technik ermöglicht eine kontinuierliche Verstellung des Übersetzungsverhältnisses ohne Unterbrechung der Kraftübertragung sowie den Betrieb des Motors in seinem günstigsten Leistungsbereich.

► Benz-Patent-Motorwagen von 1886 mit seinen Maschinenelementen (Quelle: Daimler Classic)



(Quelle: DaimlerChrysler Classic)

- 1 Motor
- 2 Riementrieb zur Zwischenwelle
- 3 Kegelradgetriebe
- 4 Kurbelwelle mit Schwungrad
- 5 Kettentrieb zur Antriebsachse

Anforderungen an Getriebe

Jedes Kraftfahrzeug stellt ganz bestimmte Anforderungen an sein Getriebe. Dementsprechend unterscheiden sich die jeweiligen Getriebeausführungen in ihrem Aufbau und den damit verbundenen Eigenschaften voneinander. Die Zielrichtungen bzw. Schwerpunkte bei der Entwicklung von Getrieben lassen sich gliedern in

- Komfort,
- Kraftstoffverbrauch,
- Fahrbarkeit,
- Bauraum und
- Herstellungskosten.

Komfort

Wichtige Anforderungen an den Komfort sind neben einem ruckfreien Gangwechsel ohne Drehzahlsprünge auch komfortable Schaltungen unabhängig von Motorlast und Betriebsbedingungen sowie ein niedriges Geräuschniveau. Außerdem soll über die gesamte Lebensdauer kein Komfortverlust auftreten.

Kraftstoffverbrauch

Folgende Merkmale eines Getriebes sind Voraussetzung für einen möglichst geringen Kraftstoffverbrauch:

- Hohe Spreizung des Übersetzungsbereichs,
- hoher mechanischer Wirkungsgrad,
- „intelligente“ Schaltstrategie,
- geringe Leistung für Steuerung,
- geringes Gewicht sowie
- stand-by control, Wandlerkupplung, geringe Planschverluste (Widerstand des Getriebeöls beim Durchziehen der Zahnräder) usw.

Fahrbarkeit

Folgende Getriebefunktionen gewährleisten eine gute Fahrbarkeit:

- An die jeweilige Fahrsituation angepasste Schaltpunkte,
- Erkennen des Fahrertyps,
- hohes Beschleunigungsvermögen,
- Motorbremswirkung bei Bergabfahrt,
- Unterdrücken des Gangwechsels bei schneller Kurvenfahrt und
- Erkennen von winterlichen Straßenbedingungen.

Bauraum

Je nach Ausführung des Antriebs gibt es unterschiedliche Vorgaben für den verfügbaren Bauraum:

So soll das Getriebe für den Heckantrieb einen möglichst geringen Durchmesser und für den Frontantrieb eine möglichst geringe Baulänge aufweisen. Zudem gibt es genau definierte Vorgaben zum Erfüllen der Anforderungen bei einem „Crash-Test“.

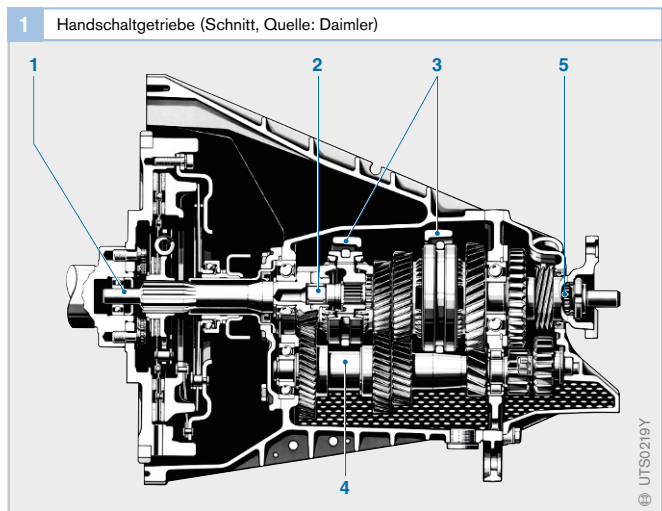
Herstellungskosten

Die Voraussetzungen für möglichst geringe Herstellungskosten sind:

- Produktion in hohen Stückzahlen,
- einfacher Aufbau der Steuerung und automatisierbare Montage.

Bild 1

- 1 Antriebswelle
- 2 Hauptwelle
- 3 Schaltelemente
- 4 Vorgelegewelle
- 5 Abtriebswelle



Handschaltgetriebe

Anwendung

Handschaltgetriebe sind die einfachsten und für den Autofahrer (Endkunden) preiswertesten Getriebe. Sie bestimmen deshalb in Europa immer noch den Markt.

Wegen steigender Motorleistungen und höherer Fahrzeuggewichte bei gleichzeitig sinkenden c_w -Werten lösten seit Beginn der 1980er-Jahre 5-Gang-Handschaltgetriebe die bis dahin dominierenden 4-Gang-Handschaltgetriebe ab. Nun ist das 6-Gang-Getriebe nahezu schon Standard.

Diese Maßnahme ermöglichte einerseits ein sicheres Anfahren und eine gute Beschleunigung und andererseits niedrigere Motor-drehzahlen bei höheren Geschwindigkeiten und damit einen geringeren Kraftstoffverbrauch.

Aufbau

Der Aufbau eines Handschaltgetriebes (Bilder 1 und 2) gliedert sich in

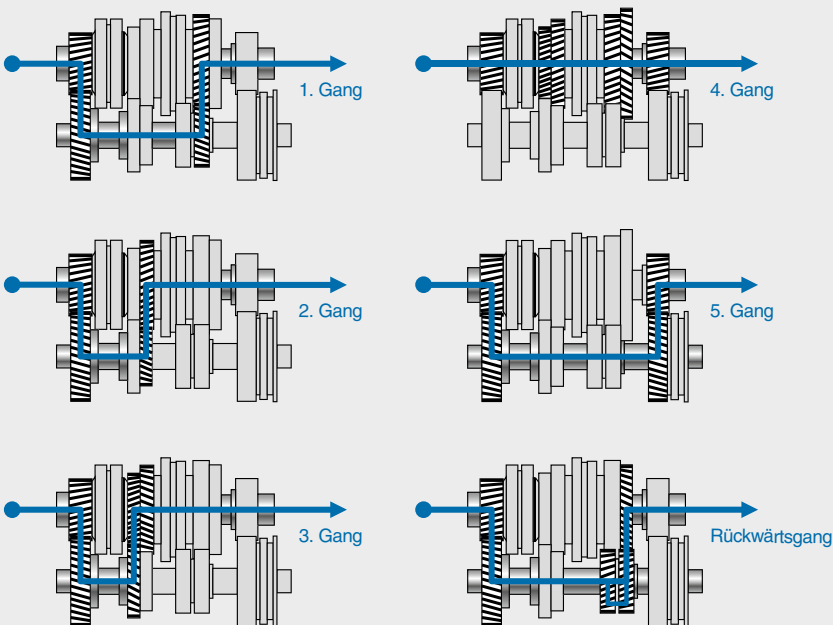
- Einscheiben-Trockenkupplung als Anfahelement und zur Kraftflussunterbrechung bei Gangwechseln,
- Zahnräder, gelagert auf zwei Wellen,
- formschlüssige Kupplungen als Schaltelemente, betätigt über Sperr-synchronisierung.

Eigenschaften

Die wesentlichen Eigenschaften des Handschaltgetriebes sind:

- hoher Wirkungsgrad,
- kompakte, leichte Bauweise,
- kostengünstige Herstellung,
- keine komfortable Bedienung (Kupplungspedal, manuelle Gangwechsel),
- vom Fahrer abhängige Schaltstrategie,
- Zugkraftunterbrechung beim Schaltvorgang.

2 Kraftflussverlauf beim Standardantrieb (5-Gang-Getriebe)



Automatisierte Schaltgetriebe (AST)

Anwendung

Automatisierte Schaltgetriebe (engl.: Automated Shift Transmission [AST] oder auch Automated Manual Transmission [AMT]) tragen zur Vereinfachung der Getriebebedienung und zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit bei. Sie stellen eine „Add on“-Lösung normaler Handschaltgetriebe dar. Die zuvor manuellen Schaltvorgänge erfolgen nun pneumatisch, hydraulisch oder elektrisch. Bosch favorisiert die nachfolgend beschriebene elektrische Lösung (Bild 1).

Aufbau und Arbeitsweise

Der Realisierung des AST dient ein Elektronisches Kupplungsmanagement (EKM), ergänzt um zwei Stellmotoren (Wähl- und Schaltmotor) für das Wählen und Schalten. Die dafür notwendigen elektrischen Steuerungssignale können dabei je nach System direkt von einem vom Fahrer betätigten Schalthebel oder von einer zwischengeschalteten Elektroniksteuerung ausgehen.

Mit den elektromotorischen Stellern des AST-Konzepts lässt sich ohne großen Aufwand eine Automatisierung und damit verbunden eine Komfortsteigerung erreichen. Wesentliches Argument für die Getriebehalter ist hierbei die Weiterverwendung bereits bestehender Fertigungseinrichtungen.

Beim einfachsten System ersetzt eine Fernschaltung lediglich das mechanische Gestänge. Der Schalthebel (Tipphebel oder Schalter mit H-Schaltschema) gibt nur noch elektrische Signale ab. Anfahrvorgang und Kuppeln erfolgen wie beim Handschaltgetriebe, teilweise gekoppelt mit einer Schaltempfehlung.

Bei vollautomatischen Systemen sind Getriebe und Anfaherelement automatisiert. Ein Hebel- oder Tastschalter bildet das Bedienelement für den Fahrer. Mit einer Manuellstellung bzw. mit +/--Tasten kann der Fahrer die Automatik überspielen. Um ein vielläufiges Getriebe automatisch zu steuern, bedarf es einer komplexen Schaltstrategie, die auch den aktuellen Fahrwiderstand berücksichtigt (bestimmt durch Beladung und Straßenprofil).

Zur Unterstützung des Synchronisationsvorgangs bei der Zugkraftunterbrechung während des Schaltens nimmt eine elektronische Motorregelung (je nach Schaltungsart) automatisch kurzzeitig Gas weg.

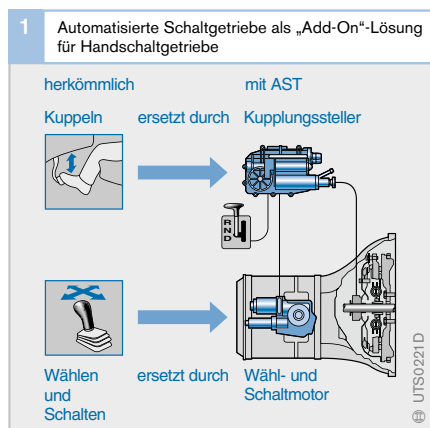
Folgende Merkmale charakterisieren den Aufbau automatisierter Schaltgetriebe:

- Prinzipieller Aufbau wie bei Handschaltgetrieben,
- Betätigung von Kupplung und Gangwechsel durch Steller (pneumatisch, hydraulisch oder elektromotorisch) und
- elektronische Steuerung.

Eigenschaften

Die wesentlichen Eigenschaften des automatisierten Schaltgetriebes sind:

- Kompakter Aufbau,
- hoher Wirkungsgrad,
- Anpassung an vorhandene Getriebe möglich,
- kostengünstiger als Stufenautomaten oder stufenlose CVT-Getriebe,
- vereinfachte Bedienung,
- geeignete Schaltstrategien, um einen optimalen Kraftstoffverbrauch bzw. beste Verbrauchswerte zu erzielen und
- Zugkraftunterbrechung beim Schalten.



Serienbeispiele für AST**AST elektromotorisch**

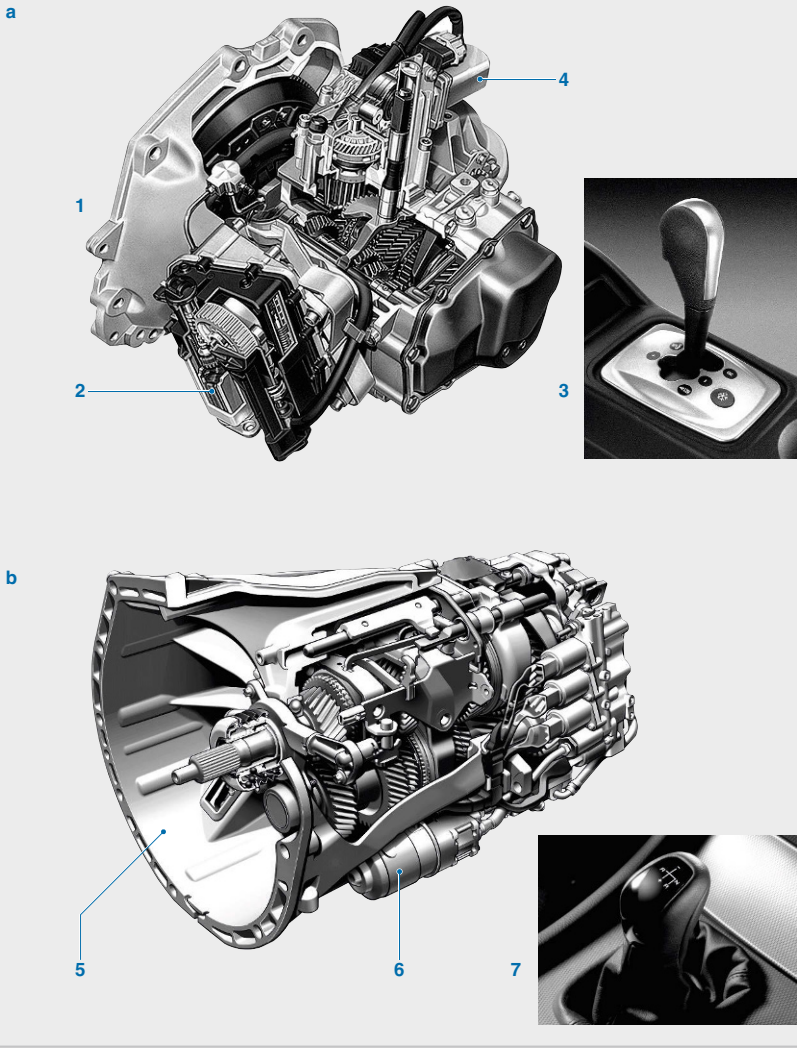
Opel Corsa (Easytronic, Bild 2a),
Ford Fiesta (Dunashift).

AST mit elektromechanischem**Schaltwalzengetriebe**

Smart.

AST elektrohydraulisch

DaimlerChrysler Sprinter
(Sequentronic, Bild 2b),
BMW-M mit SMG2,
Toyota MR2,
Ford Transit.
VW Lupo,
Ferrari, Alfa,
BMW 325i/330i.

2 Serienbeispiele für AST (Quellen: Opel, Daimler)**Bild 2**

- a Easytronic
(Opel Corsa)
- b Sequentronic
(Daimler)
- 1 Quergetriebe
- 2 Kupplungssteller
mit integriertem
Steuergerät
- 3 Tippebel
- 4 Schalt-/Wählmotor
- 5 Längsgetriebe
- 6 Schalt-/Wählmotor
- 7 Schalthebel

Bild 3

- Überwachungs-rechner
- Flash-Speicher
- Mikrocomputer (16 Bit)
- Kontakte Wegsensor
- DC-Wandler
- Endstufe für Elektromotoren
- Brückentreiber

AST-Komponenten

Die Komponenten eines AST müssen hohen Beanspruchungen bezüglich Temperatur, Dichtheit, Laufzeit und Vibration standhalten. Die Tabelle 1 führt die wichtigsten Anforderungen auf.

Kupplungssteller

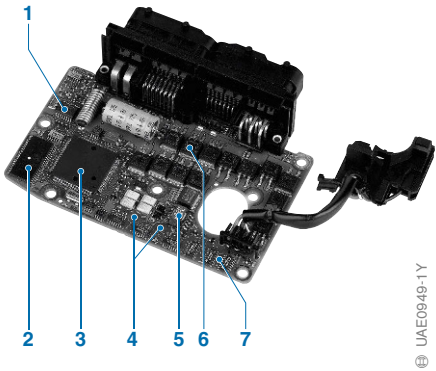
Der Kupplungssteller (Bilder 4 und 5) mit integriertem Steuergerät (Bild 3) dient zur Ansteuerung der Kupplung. Ebenso beinhaltet die Elektronik die gesamte AST-Funktion. Der Kupplungssteller besteht aus

- integriertem Steuergerät,
- Gehäuse mit Kühlfunktion,
- Gleichstrommotor,
- schrägverzahntem Getriebezahnrad,
- Stößel und
- Rückstellfeder.

| 1 Anforderungen an die AST-Komponenten | |
|--|---|
| Temperatur | 105 °C dauernd 125 °C kurzzeitig Wicklung und Kommutierungssystem |
| Dichtheit | Dampfstrahl Schwallwasser Getriebeöl |
| Lebensdauer | 1 Million Schaltzyklen |
| Vibrationen | 7...20 g Sinus Ankerlagerung Elektrische / Elektronische Bauelemente Elektronik-Leiterplatte |

Tabelle 1

3
Integriertes Steuergerät (Ansicht)



UAE0949-1-Y

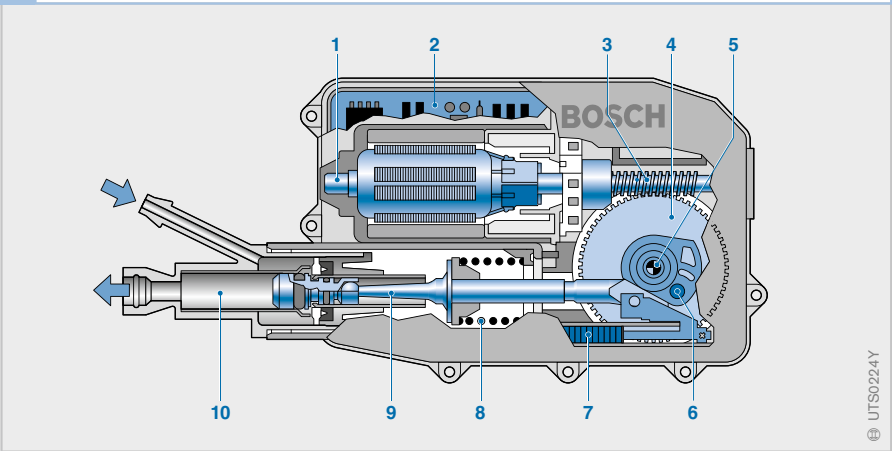
DC-Motoren für Gangauswahl und Gang einlegen

Die DC-Motoren für AST gibt es in zwei Ausführungsformen (Bilder 5 und 6):

- Der Wählmotor hat eine kurze Reaktionszeit und
- der Schaltmotor eine hohe Drehkraft.

Die Getriebetypen für den Wählmotor und für den Schaltmotor können spiegelsymmetrisch (links und rechts) aufgebaut sein, ebenso sind unterschiedliche Befestigungsbohrungen möglich. Die Anordnung des 6-poligen Steckers ist wählbar.

4
Kupplungssteller (Schnitt)



UTS0224Y

Bild 4

- Aktormotor
- Steuergerät
- Schnecke
- Schneckenrad
- Schneckenradwelle
- Bolzen
- Positionssensor
- Kompensationsfeder
- Stößel
- Geberzylinder

5 Kupplungssteller mit integriertem Steuergerät und DC-Motoren für Gangauswahl und Gang einlegen (Ansicht)

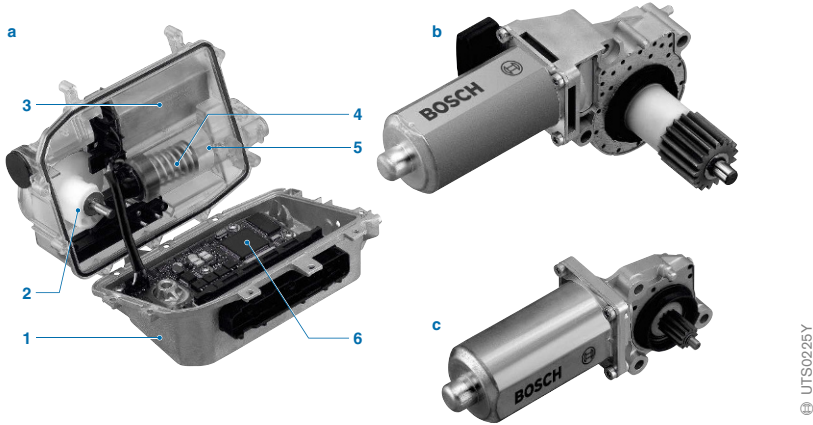


Bild 5

- a Kupplungssteller mit integriertem Steuergerät
- b Schaltmotor
- c Wählmotor
- 1 Gehäuse mit Kühlfunktion
- 2 schrägverzahntes Getriebezahnrad
- 3 Gleichstrommotor
- 4 Rückstellfeder
- 5 Stößel
- 6 Integriertes Steuergerät

Die Motoren mit einem Gehäuse aus Aluminiumspritzguss sind direkt am Getriebe angebaut. Sie verfügen über einen Bürstenhalter mit integriertem Stecker. Dieser enthält auch einen integrierten Doppel-Hall-Sensor (IC), dessen Auflösung 40 Inkremente pro Motorumdrehung beträgt. Ein Hall-Sensor mit Ausgangskanälen für den Rotorwinkel (Querimpuls) und die Richtung (high und low) kann die Position der Ausgangswelle erkennen.

Ein 20-poliger Magnet auf der Rotorwelle ermöglicht eine Auflösung von 9° pro Inkrement. In Bezug zur Getriebeübersetzung lässt sich am Ausgang eine Auflösung zwischen 0,59° pro Inkrement und 0,20° pro Inkrement erreichen. Je nach Anforderung hat das Zahnrad einen Kurbel- oder Exzenterantrieb. Das Schneckengetriebe verfügt über 1 bis 4 Zähne.

EC-Motoren

EC-Motoren sind bürstenlose, permanent erregte elektronisch kommutierte Gleichstrommotoren und werden alternativ zu den DC-Motoren eingesetzt. Sie sind mit einem Rotorpositionssensor versehen, werden über eine Steuer- und Leistungselektronik mit Gleichstrom (Bild 7) versorgt und zeichnen sich durch hohe Lebensdauer und kleinen Bauraum aus.

6 DC-Motor (Schnitt)

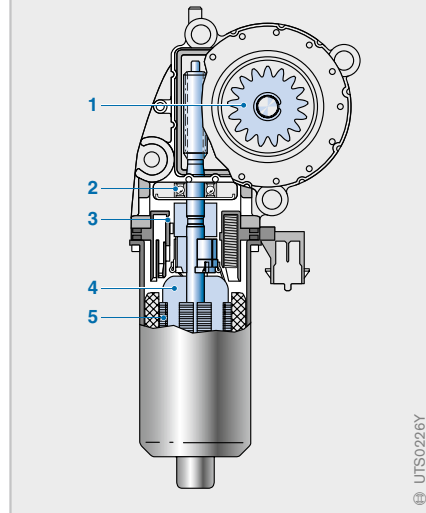


Bild 6

- 1 Massives Ritzel für Schaltgetriebe-eingriff
- 2 Ankerlager mit aufgedrehtem Kugellager (Axial-sicherung mit Klemmbrille)
- 3 20-poliger Ringmagnet und Doppel-Hall-Sensor
- 4 schüttelfeste Wicklung
- 5 schlanke Ankerform für hohe Dynamik

7 EC-Motor (Schema)

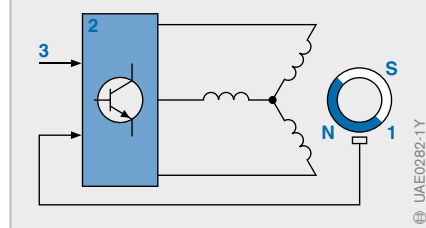


Bild 7

- 1 Elektrische Maschine mit Rotorpositionssensor
- 2 Steuer- und Leistungselektronik
- 3 Stromversorgung

Doppelkupplungsgetriebe (DKG)

Anwendung

Doppelkupplungsgetriebe, DKG (Bild 1), werden als Weiterentwicklung des AST betrachtet. Sie arbeiten ohne Zugkraftunterbrechung, einem Hauptnachteil der AST.

Der Hauptvorteil der DKG liegt in ihrem geringeren Kraftstoffverbrauch gegenüber den automatisierten Schaltgetrieben.

Der erste Einsatz eines Doppelkupplungsgetriebes erfolgte 1992 im Rennsport (Porsche). Wegen des hohen Rechenaufwands in der Steuerung für eine komfortable Überschneidungsschaltung kam es jedoch nicht zum Großserieneinsatz.

Mit der Verfügbarkeit von leistungsfähigen Rechnern arbeiten nun mehrere Hersteller (z. B. VW, Audi) an der Einführung von Doppelkupplungsgetrieben für die Großserie.

Das Anforderungsprofil entspricht in den Punkten „Komfort“ und „Funktionalität“ dem des Stufenautomaten und hat dementsprechend als Einsatzgebiet die gehobenen Fahrzeugklassen.

Doppelkupplungsgetriebe entsprechen ebenfalls dem Wunsch der Fahrzeughersteller nach modularen Konzepten, bei denen neben dem Handschaltgetriebe auch automatisierte Getriebe über die gleiche Produktionslinie gefertigt werden können.

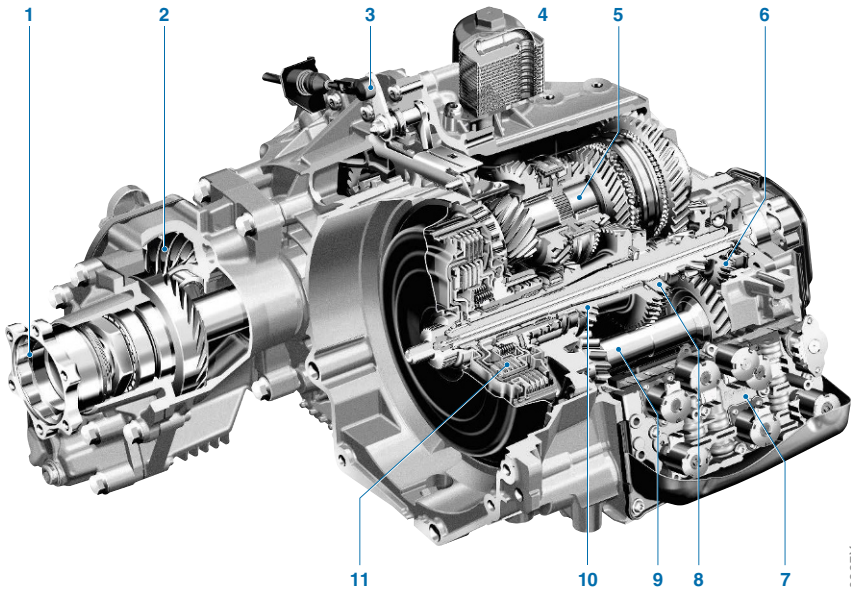
Aufbau

Folgende Merkmale charakterisieren den Aufbau der Doppelkupplungsgetriebe:

- Prinzipieller Aufbau wie Handschaltgetrieben,
- Zahnräder gelagert auf drei Wellen,
- zwei Kupplungen,
- Betätigung von Kupplung und Schaltelementen über Getriebesteuerung und Aktoren.

1 Doppelkupplungsgetriebe, DKG (Schnittbild, Quelle: VW)

- Bild 1**
- 1 Abtrieb für rechtes Vorderrad
 - 2 Kegeltrieb für Hinterachse
 - 3 Parksperre
 - 4 Ölkühler
 - 5 Abtriebswelle 1
 - 6 Eingangswelle 2
 - 7 Mechatronikmodul
 - 8 Antriebswelle für Ölpumpe
 - 9 Rücklaufwelle
 - 10 Eingangswelle 1
 - 11 Doppelkupplung



Arbeitsweise

Das Doppelkupplungsgetriebe funktioniert wie folgt:

Die den Gangstufen zugeordneten Zahnräder sind in Gruppen von geraden und ungeraden Gängen getrennt. Obwohl der Grundanordnung eines herkömmlichen Vorgelege-Schaltgetriebes ähnlich, besteht ein entscheidender Unterschied: auch die Hauptwelle ist geteilt, und zwar in eine Vollwelle und eine umfassende Hohlwelle, gekoppelt jeweils mit einen Zahnradsatz.

Jeder Teilwelle ist am Getriebeeingang eine eigene Kupplung zugeordnet. Da jetzt beim Gangwechsel zwei Gänge eingelegt sind (sowohl der aktive als auch der benachbarte,

vorgewählte Gang), ist damit ein schneller Wechsel zwischen den Gängen möglich. Dadurch kann der Gangwechsel zwischen den zwei Teilgetrieben, ähnlich wie beim Stufenautomat, ohne Zugkraftunterbrechung erfolgen (Bild 2).

Eigenschaften

Die wesentlichen Eigenschaften des Doppelkupplungsgetriebes sind:

- Komfort ähnlich wie beim Stufenautomat,
- guter Wirkungsgrad,
- keine Zugkraftunterbrechung beim Schalten,
- Überspringen eines Ganges möglich,
- größerer Bauraum als AST,
- hohe Lagerkräfte, massive Bauweise.

2 Doppelkupplungsgetriebe, Funktionsprinzip mit Kraftfluss bei Beschleunigung im 1. Gang (Quelle: VW)

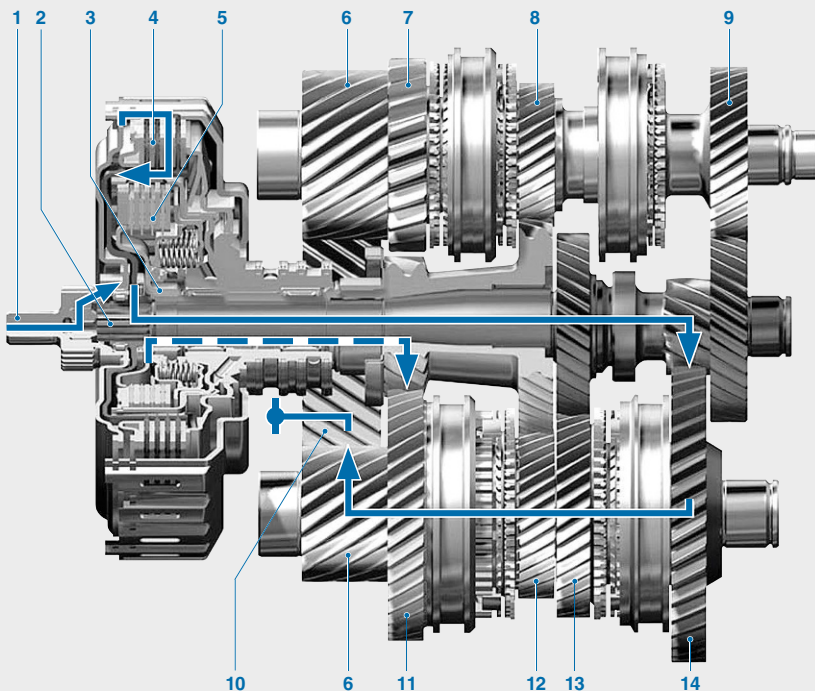


Bild 2

- 1 Motorantrieb
- 2 Eingangswelle 1
- 3 Eingangswelle 2
- 4 Kupplung 1 (zu)
- 5 Kupplung 2 (auf)
- 6 Abtrieb zum Differenzial
- 7 Rückwärtsgang
- 8 6. Gang
- 9 5. Gang
- 10 Differenzial
- 11 2. Gang (vorgewählt)
- 12 4. Gang
- 13 3. Gang
- 14 1. Gang (aktiv)

Automatische Getriebe (AT)

Anwendung

Automatische Lastschaltgetriebe (Stufenautomaten, engl.: Automatic Transmission, AT) übernehmen das Anfahren, die Auswahl der Übersetzungen und die Gangschaltung selbsttätig. Als Anfahrerelement dient ein hydrodynamischer Wandler.

Aufbau und Arbeitsweise

Getriebe mit Ravigneaux-Planetenradsatz

Das als Ravigneauux-Satz bekannte vierwellige Planetengetriebe ist die Basis für viele 4-Gang-Automaten. Bild 1 zeigt das Schema, die Schaltlogik und ein Drehzahlleiterdiagramm dieses Getriebes. Das Getriebeschema verdeutlicht die Anordnung der Zahnräder und Schaltelemente.

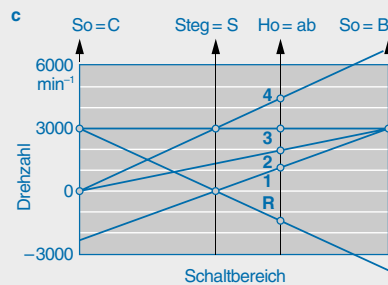
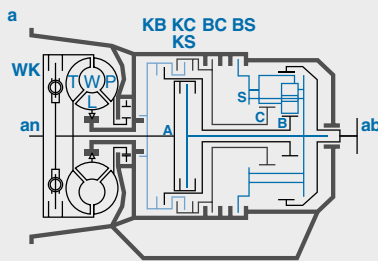
Die Sonnenräder B, C und der Planetenträger S lassen sich über die Kupplungen KB, KC und KS mit der Welle A verbinden, die von der Wandler-turbine ins Schaltgetriebe führt. Die Wellen S und C lassen sich mithilfe der Bremsen BS und BC mit dem Getriebegehäuse verbinden.

Ein Planetengetriebe dieser Art hat den kinematischen Freiheitsgrad 2. Das heißt, bei Vorgabe von zwei Drehzahlen liegen alle anderen Drehzahlen fest. Die einzelnen Gänge werden so geschaltet, dass über zwei Schaltelemente die Drehzahlen von zwei Wellen entweder als Antriebsdrehzahl n_{an} oder als Gehäusedrehzahl $n_{\text{G}} = 0 \text{ min}^{-1}$ definiert werden.

Das Drehzahlleiterdiagramm verdeutlicht die Drehzahlverhältnisse im Getriebe. Auf den zu den einzelnen Wellen des Überlagerungs- bzw. Schaltgetriebes gehörigen Drehzahlleitern sind nach oben die Drehzahlen aufgetragen. Die Abstände der Drehzahlleiter ergeben sich aus den Übersetzungen bzw. Zähnezahlen so, dass sich die zu einem bestimmten Betriebspunkt gehörenden Drehzahlen durch eine Gerade verbinden lassen.

Bei einer bestimmten Antriebsdrehzahl kennzeichnen die fünf Betriebslinien die Drehzahlverhältnisse in vier Vorwärts- und einem Rückwärtsgang.

1 4-Gang-Automat auf Basis des Ravigneaux-Planetenradsatzes



| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 2 | 3 | 4 |

Gangsprünge mit einfachen Schaltungen

| Gang | KC | KS | KB | BS | BC | i_{ges} |
|------|----|----|----|----|----|-----------|
| R | | | | | | -2,550 |
| N | | | | | | |
| 1 | | | | | | 2,800 |
| 2 | | | | | | 1,508 |
| 3 | | | | | | 1,000 |
| 4 | | | | | | 0,718 |

Bild 1

- a Getriebeschema
- b Schaltlogik
- c Drehzahl-leiterdiagramm

Für die verschiedenen Schaltungen stehen nur die drei Wellen B, C und S zwischen der Antriebswelle „an“ (entspricht A) und der Abtriebswelle „ab“ zur Verfügung. Alle drei Wellen lassen sich mit der Antriebswelle A verbinden, aber konstruktiv lassen sich dann nur noch zwei Wellen mit dem Getriebegehäuse verbinden.

Die gleichzeitige Schaltung von zwei Bremsen ist für Gangschaltungen nicht sinnvoll, da sie das Getriebe blockiert. Ebenso wenig sinnvoll ist das gleichzeitige Verbinden einer Welle mit dem Gehäuse und mit der Antriebswelle. Das gleichzeitige Schalten von zwei Kupplungen führt immer zum direkten Gang ($i = 1$).

Somit verbleiben exakt die in der Schaltlogik und im Drehzahlplan dargestellten fünf Gänge. Über die im Rahmen der Einbaubedingungen möglichen Zähnezahlen hinaus hat der Konstrukteur nur noch die Möglichkeit, die einzelnen Gangübersetzungen zu verändern, wobei immer ein direkter Gang mit $i = 1$ vorgegeben ist.

Schließlich machen es diese Getriebe noch möglich, mit einfachen Schaltungen auch Gänge durch Zuschalten eines Schaltelements und Abschalten eines anderen Schaltelements zu überspringen. Vom 1. Gang aus ist das Schalten in den 2. oder 3. Gang möglich, vom 4. Gang aus in den 3. oder 2. Gang. Vom 2. und 3. Gang aus lassen sich alle anderen Gänge mit einfachen Schaltungen erreichen.

Mehr als vier Vorwärtsgänge sind mit dem Ravigneaux-Satz allerdings nicht schaltbar. Ein Automatikgetriebe mit fünf Gängen benötigt demnach entweder ein anderes Basisgetriebe oder eine Nachschalt- oder Vorschaltstufe zum Erweitern des Ravigneaux-Satzes. Eine solche Erweiterungsstufe benötigt aber mindestens zwei Schaltelemente.

Ein Beispiel dafür ist das Automatikgetriebe 5HP19 von ZF. Es hat drei Kupplungen und vier Bremsen sowie einen Freilauf zur Schaltung von nur fünf Vorwärtsgängen.

Mit Nach- und Vorschaltgruppen lassen sich natürlich auch mehr als 5 Gänge realisieren. Der Schaltaufwand wird dann aber immer größer, und Schaltungen mehrerer Schaltelemente bei einem Gangwechsel lassen sich kaum noch vermeiden.

Getriebe mit Lepelletier-Planetenradsatz

Einen eleganteren Weg zur Schaltung von fünf und mehr Gängen hat der französische Ingenieur Lepelletier gefunden. Er erweiterte den Ravigneaux-Satz um ein Vorschaltgetriebe für nur zwei Wellen des Ravigneaux-Satzes, um diese mit anderen als der Antriebsdrehzahl anzutreiben.

Die Besonderheit des Lepelletier-Planetenradsatzes nach Bild 2 (folgende Seite) besteht darin, dass das zusätzliche dreiwellige Planetengetriebe die Drehzahl der Welle D gegenüber der Drehzahl der Welle A reduziert. In den ersten drei Gängen dieses 6-Gang-Automaten entspricht die Schaltlogik der Logik des 4-Gang-Ravigneaux-Satzes. Die Übersetzungen sind aber um die Umlaufübersetzung vom Hohlrad zum Steg bei gehäusefestem Sonnenrad des zusätzlichen Planetengetriebes größer.

Im 4. und 5. Gang ist die Welle S über die Kupplung KS mit der Welle A verbunden. Sie dreht schneller als die Wellen B und C. Die Getriebeübersetzungen ergeben sich aus den Schaltungen im 4. Gang: $S = A$ und $B = D$ sowie im 5. Gang $S = A$ und $C = D$. Ohne das zusätzliche Getriebe von A nach D wären die Übersetzungen im 3., 4. und 5. Gang identisch und alle $i = 1$.

Der 6. Gang dieses 6-Gang-Automaten entspricht bezüglich der Schaltlogik wieder dem 4. Gang des 4-Gang-Automaten. Auch die Schaltungen der Rückwärtsgänge sind in diesen 4-Gang- und 6-Gang-Automatikgetrieben identisch.

Mit dem 6-Gang-Automaten (Bild 3) sind ebenfalls weite Gangsprünge mit einfachen Schaltungen möglich, die insbesondere bei schnellen Rückschaltungen nötig sein können.

Der Lepelletier-Planetenradsatz unterscheidet sich somit vom Ravigneaux-Satz nur durch das zusätzliche Planetengetriebe mit fester Übersetzung. Die Zahl der Schaltelemente bleibt gleich. Sie werden für die zusätzlichen Gänge nur mehrfach genutzt. Dieses Getriebe eignet sich deshalb bezüglich Bauraum, Gewicht und Kosten besser als ein 5-Gang-Automat. Mit den in Bild 2 gezeigten Zähnezahlen erreicht dieser 6-Gang-Automat einen Stellbereich von $\varphi = 6$ bei gut schaltbaren Gangabstufungen.

Das zusätzliche Planetengetriebe besteht aus Sonnenrad E, Hohlrad A und Planeten-träger D. Es wird im Rückwärtsgang und den ersten 5 Gängen als feste Übersetzungsstufe genutzt. Die Welle E ist als Reaktionsglied fest mit dem Getriebegehäuse verbun-

den. Würde diese Verbindung gelöst und durch eine zusätzliche Bremse BE ersetzt, dann ließe sich das Fahrzeug mit dieser Bremse anstelle des Wandlers anfahren.

Anfahrelemente

In den meisten auf Komfort orientierten Automatikgetrieben übernimmt ein hydrodynamischer Wandler das Anfahren. Aufgrund seiner Wirkungsweise als Strömungsmaschine ist er ein ideales Anfahrelement. Um im Fahrbetrieb die Verluste des Wandlers zu minimieren, wird er aber (so oft dies möglich ist) mit der Wandlerüberbrückungskupplung (WK) überbrückt.

In Verbindung mit sehr drehmomentstarken Turbodieselmotoren ist der Wandler nicht mehr für alle Betriebszustände optimal auszuliegen. Ein Antrieb dieser Art benötigt zum sicheren Starten im kalten Zustand eine relativ weiche Wandlerkennlinie. Das maximale Pumpendrehmoment darf erst bei hohen Drehzahlen wirken, damit die Schleppverluste den ohne ausreichenden Ladedruck

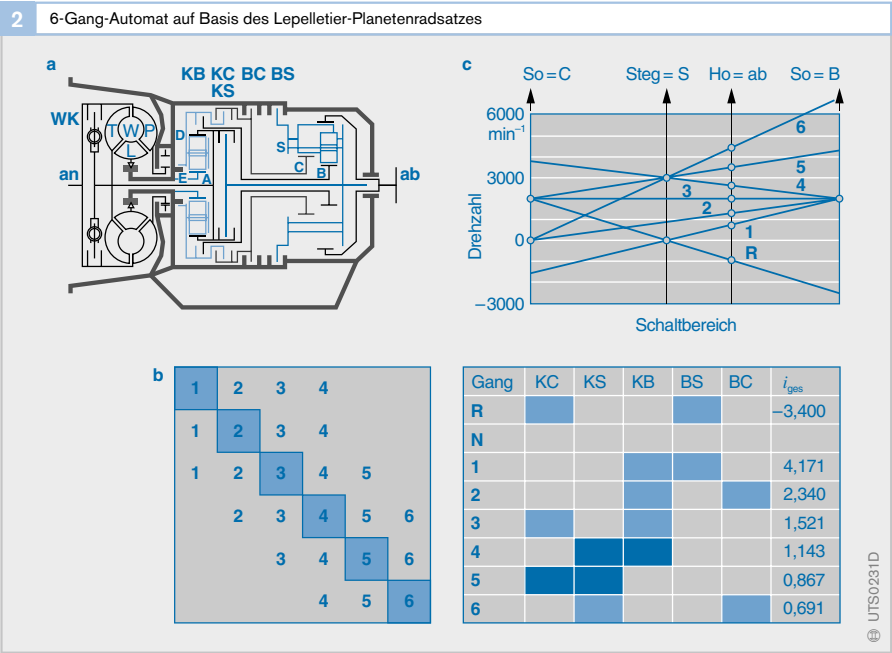


Bild 2
 a Getriebeschema
 b Schaltlogik
 c Drehzahlleiter-
 diagramm

schwachen Motor nicht „abwürgen“. Im betriebswarmen Zustand und bei Drehzahlen, bei denen ausreichend Ladedruck zur Verfügung steht, ist dann aber eine harte Wandlerkennlinie mit steilem Anstieg des Pumpendrehmoments mit der Motordrehzahl vorteilhaft.

Serienanwendungen mit schnellen und genauen Druckregelungen machen es auch jetzt schon möglich, mit Reibungskupplungen sehr komfortabel anzufahren. Ein gutes Beispiel dafür ist der Audi A6 mit dem stufenlosen Multitronic-Getriebe.

Druckregelung und Wärmeabfuhr lassen sich bei einer Bremse noch besser realisieren als bei einer Kupplung. Deshalb sollte auch mit der Bremse ein komfortabler Startvorgang möglich sein. Auch bei den Gangwechseln kann eine schlupfende Bremse analog zu einem Wandler die anderen Schaltelemente entlasten.

Getriebeöl/ATF

Automatikgetriebe stellen hohe Anforderungen an das Getriebeöl/ATF (Automatic Transmission Fluid):

- Erhöhtes Druckaufnahmevermögen,

- günstiges Viskose-Temperaturverhalten,
- hohe Alterungsbeständigkeit,
- geringe Neigung zur Schaumbildung,
- Verträglichkeit mit Dichtungsmaterialien.

Diese Anforderungen müssen im Ölsumpf im Temperaturbereich von $-30...+150^{\circ}\text{C}$ gewährleistet sein. Kurzzeitig und örtlich sind sogar 400°C während einer Schaltung zwischen den Kupplungslamellen möglich. Für den einwandfreien Betrieb der Automatikgetriebe ist das Getriebeöl speziell angepasst. Dazu sind dem Grundöl eine Reihe chemischer Substanzen (Additive) beige-mischt. Die wesentlichen Additive sind:

- Friction Modifiers, die das Reibverhalten der Schaltelemente beeinflussen,
- Antioxydantien zur Reduktion der thermooxidativen Alterung bei hoher Temperatur,
- Dispergiermittel zur Vermeidung von Ablagerungen im Getriebe,
- Schauminhibitoren gegen Bildung von Ölschaum,
- Korrosionsinhibitoren gegen Korrosion der Getriebeteile bei Kondenswasserbildung und

3 Automatikgetriebe ZF 6-Gang 6HP26 (Quelle: ZF Friedrichshafen)

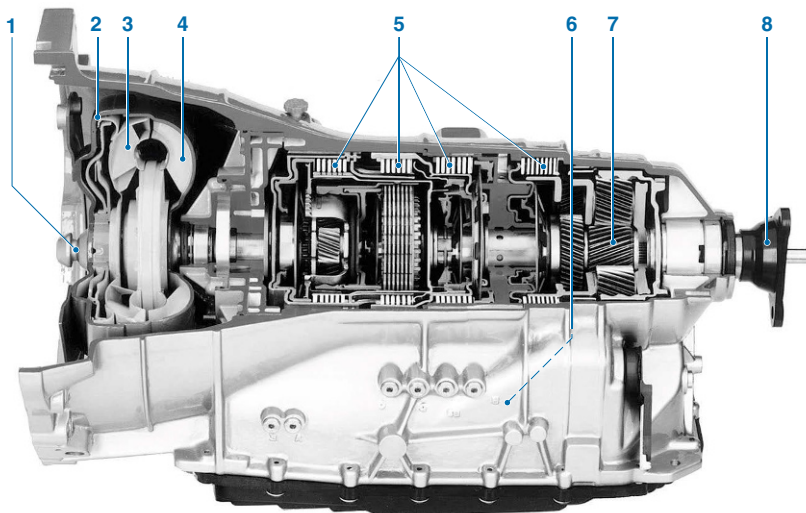


Bild 3

- 1 Getriebeeingang vom Motor
- 2 Wandlerkupplung
- 3 Turbine
- 4 Wandler
- 5 Lamellenkupplungen
- 6 Modul für Getriebesteuerung
- 7 Planetenradsatz
- 8 Getriebeausgang zur Antriebswelle

- Seal-Swell-Agets, die das Quellen der Dichtungswerkstoffe (Elastomere) unter Öleinfluss definiert einstellen.

Bereits 1949 legte GM die erste Spezifikation für ein ATF fest. Typische technische Daten für SAE-Viskoseklassen gemäß DIN 51 512 sind:

| | |
|------------------|------------------------|
| Flammpunkt | (> 180 °C) |
| Pour Point | (< -45 °C) |
| Viskositätsindex | (VI > 190) |
| kin. Viskosität: | 37 cSt (bei +40 °C) |
| | 7 cSt (bei +100 °C) |
| dyn. Viskosität: | 17 000 cP (bei -40 °C) |
| | 3 300 cP (bei -30 °C) |
| | 1 000 cP (bei -20 °C) |

Zwischenzeitlich werden Automatikgetriebe vermehrt mit einer Lebensdauerfüllung versehen. Ein Ölwechsel entfällt damit.

Ölpumpe

Das Getriebe benötigt eine Ölpumpe (Bild 4) zum Aufbau eines Steuerdrucks. Diese wird vom Verbrennungsmotor angetrieben. Gleichzeitig verringert die Antriebsleistung für die Ölpumpe den Getriebewirkungsgrad. Dabei gilt folgender Zusammenhang:

$$\text{Pumpenleistung} = \text{Druck} \times \text{Durchfluss}$$

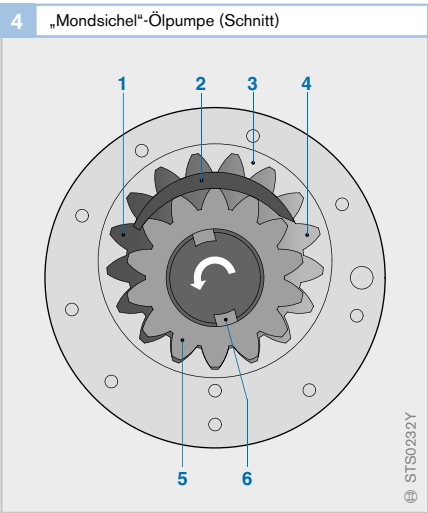


Bild 4
1 Druckseite
2 Mondsichel
3 innen verzahntes Rad
4 Saugseite
5 außen verzahntes Rad, vom Motor angetrieben
6 Mitnehmernasen

Bild 5 zeigt die Leistungskennlinien einer Zahnradpumpe (1) und einer Radialkolbenpumpe (2) im Vergleich. Möglichkeiten zur Optimierung im Bereich der Ölpumpe bieten ein verstellbarer Durchfluss oder ein regelbarer Pumpendruck:

Verstellbarer Pumpendurchfluss

Besondere Merkmale des verstellbaren Pumpendurchflusses sind:

- Die Auslegung schafft einen ausreichend hohen Durchfluss zur Kupplungsbefüllung bei Leerlaufdrehzahl.
- Ein zusätzliches Fördervolumen bei höheren Drehzahlen verursacht eine Verlustleistung.
- Mit der Verstellpumpe lässt sich die Pumpenleistung dem Bedarf anpassen.
- Der verstellbare Pumpendurchfluss hat jedoch den Nachteil, teuer und stör-anfällig zu sein.

Regelbarer Pumpendruck

Besondere Merkmale des regelbaren Pumpendrucks sind:

- Der Pumpendruck wird dem jeweils zu übertragenden Drehmoment angepasst.
- Der Hauptdruckregelung ermöglicht über den Aktor einen effektiven Betrieb dicht an der Rutschgrenze der Kupplung.

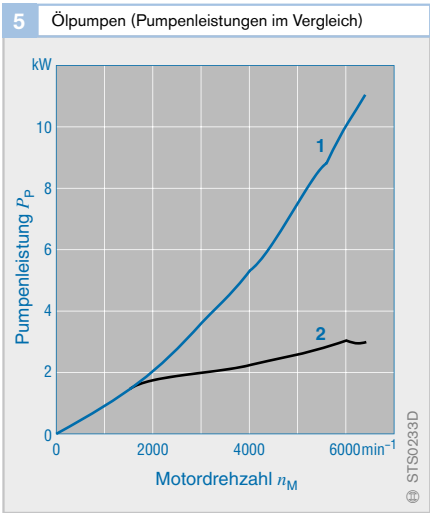


Bild 5
1 Zahnradpumpe
2 Radialkolbenpumpe

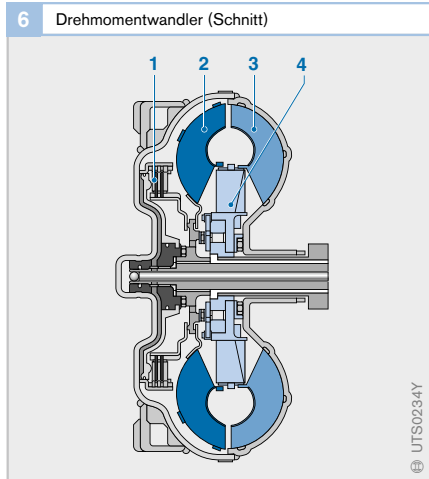
Drehmomentwandler

Der Drehmomentwandler (Bild 6) ist eine Anfahrhilfe, die im Anfahrbereich als zusätzlicher „Gang“ wirkt. Außerdem dämpft er Schwingungen. Erst der hydraulische Strömungswandler mit zentripetal durchströmter Turbine ermöglichte die Einführung der Automatikgetriebe im Pkw. Die wichtigsten Elemente eines Wandlers sind:

- Pumpe (vom Motor betrieben),
- Turbine,
- Leitrad auf Freilauf und
- Öl (für die Momentenübertragung).

Das Pumpenrad versetzt das Öl von der Nabe nach außen in Bewegung. Dort trifft das Öl auf die Turbine, die es nach innen leitet. Das Öl trifft dann von der Turbine im Nabenbereich auf das Leitrad, das es zurück zur Pumpe umlenkt (Bild 7).

Im Wandlerbereich ($v < 85\%$) wird das Turbinenmoment durch das Reaktionsmoment am Leitrad erhöht. Im Kupplungsbereich löst sich der Freilauf des Leitrades und die Momentenerhöhung unterbleibt. Der maximale Wirkungsgrad beträgt $< 97\%$ (Bild 8).



Eine Leistungsübertragung über den Wandler kann nur stattfinden, wenn zwischen Pumpenrad und Turbinenrad ein Schlupf auftritt. Dieser ist bei den meisten Betriebszuständen des Fahrzeugs klein und liegt im Bereich von 2...10%. Dieser Schlupf bewirkt allerdings einen Leistungsverlust und damit einen erhöhten Kraftstoffverbrauch des Fahrzeugs. Deshalb muss immer dann eine Wandlerüberbrückungskupplung zugeschaltet werden, wenn der Wandler nicht zum Anfahren oder zur Drehmomentwandlung benötigt wird (siehe auch Kapitel „Geregelte Wandlerkupplung“). Dabei handelt es sich um eine Lamellenkupplung, die das Pumpenrad durch Reibschluss mit dem Turbinenrad verbindet.

Bild 6

- 1 Turbinenrad
- 2 Überbrückungskupplung
- 3 Pumpenrad
- 4 Leitrad

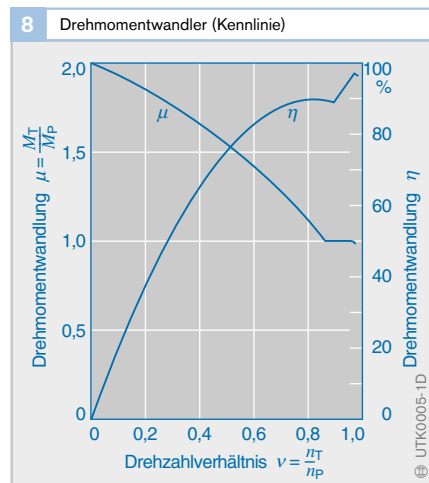
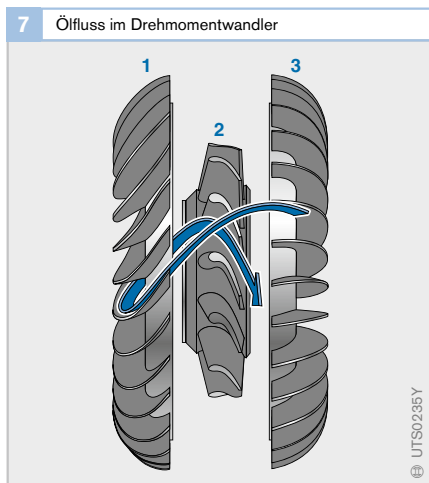


Bild 7

- 1 Turbinenrad
- 2 Leitrad
- 3 Pumpenrad

Lamellenkupplungen

Lamellenkupplungen (Bild 9) machen ein Schalten ohne Zugkraftunterbrechung möglich und stützen das Drehmoment in dem Gang ab, in dem sie gerade betätigt sind.

Die Belag- und Stahllamellen der Kupplungen und Bremsen übernehmen während der Schaltung das dynamische Drehmoment sowie die Schaltenergie und nach der Schaltung das zu übertragende Lastmoment. Um einen hohen Schaltkomfort zu gewährleisten, müssen die Reibbeläge möglichst konstante und von Temperatur und Last unabhängige Reibwerte aufweisen.

Die Reibbeläge in Automatikgetrieben haben ein Stützgerüst aus Zellulose (Papierbeläge). Beigemischte Aramidfasern (hochfester Kunststoff) sorgen für die Temperaturstabilität. Weitere Bestandteile sind Mineralstoffe, Graphit oder Reibpartikel zur Beeinflussung des Reibwerts. Das Ganze ist in Phenolharz getränkt, um dem Belag seine mechanische Festigkeit zu geben. Die Stahllamellen bestehen aus kaltgewalztem Stahlblech.

Der Reibvorgang spielt sich in der Ölschicht zwischen Belag- und Stahllamelle ab. Der Reibbelag hält diese Ölschicht durch seine Porosität und durch Zufuhr von Kühllöl aufrecht.

Folgende Probleme können im Zusammenhang mit den Lamellenkupplungen auftreten:

- Verbrennen bei hohen Temperaturen,
- Ölzuführungen bei rotierenden Kupplungen und
- durch Rotationsgeschwindigkeit verursachter Druckaufbau.

Planetengetriebe

Das Planetengetriebe (Bild 10) ist das Kernstück des Automatikgetriebes. Es hat die Aufgabe, die Übersetzungen einzustellen und den ständigen Kraftschluss zu gewährleisten. Ein Planetengetriebe setzt sich aus folgenden Bestandteilen zusammen:

- Ein zentral angeordnetes Zahnrad (Sonnenrad).
- Mehrere (in der Regel drei bis fünf) Planetenräder, die sich sowohl um ihre eigene Achse als auch um das Sonnenrad drehen können. Die Planetenräder werden von dem Planetenträger gehalten, der um die Zentralachse rotieren kann.
- Ein innen verzahntes Hohlrad, das die Planetenräder von außen umfasst. Das Hohlrad kann ebenfalls um die Zentralachse drehen.

Der Einsatz von Planetengetrieben in Automatikgetrieben hat folgende Gründe:

Bild 9
1 Ölzuführung
2 Außenlamelle
3 Belagslamelle
4 Lamellenträger
5 Rückdrückfeder

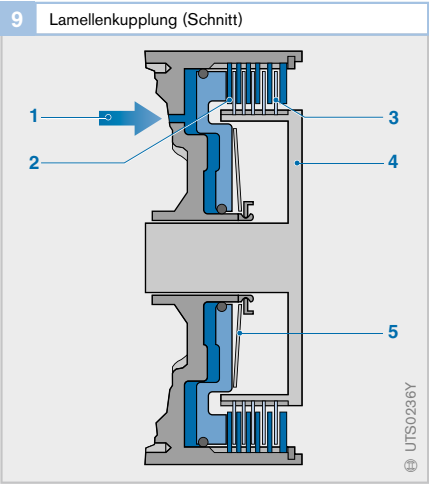
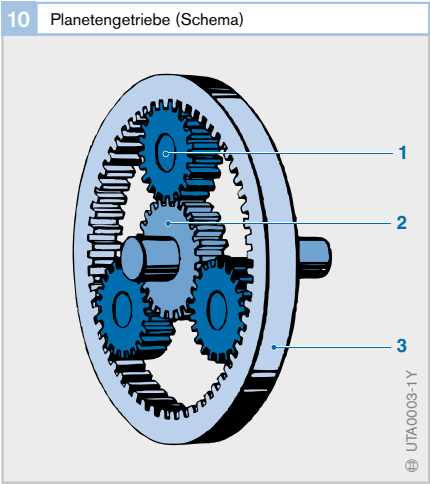
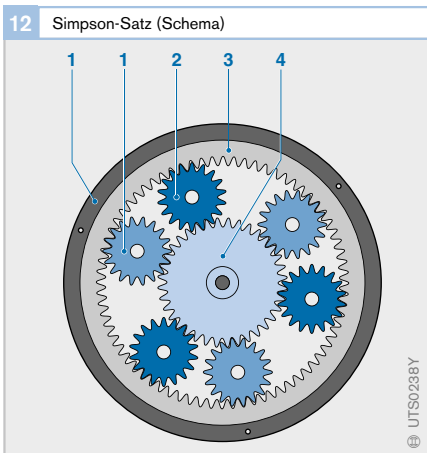
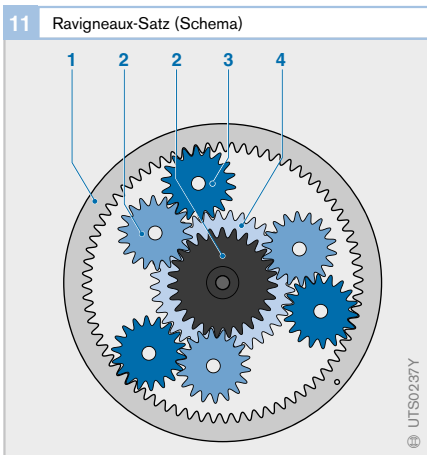


Bild 10
1 Planetenträger mit Planetenrädern
2 Sonnenrad
3 innen verzahntes Hohlrad



- Die Leistungsdichte von Planetengetrieben ist sehr hoch, da die Leistung über mehrere Planetenräder parallel übertragen wird. Planetengetriebe bauen damit sehr kompakt und haben ein geringes Gewicht.
- Beim Planetengetriebe treten keine freien radialen Kräfte auf. Kostengünstige Gleitlager können Wälzlager ersetzen.
- Lamellenkupplungen, Lamellenbremsen, Bandbremsen und Freiläufe lassen sich günstig für den Bauraum konzentrisch zum Planetengetriebe anordnen. Dies ergibt mehr Platz für die hydraulische Steuerung.



In den Getrieben kommen verschiedene Planetensatzkombinationen zum Einsatz:

- Simpson (3-Gang, zwei Systeme),
- Ravigneaux (4-Gang, zwei Systeme),
- Wilson (5-Gang, drei Systeme).

Im Automatikgetriebebau haben sich zwei Typen von Planetenkoppelgetrieben durchgesetzt, die einfach zu unterscheidende Merkmale aufweisen:

Ravigneaux-Satz

Beim Ravigneaux-Satz (Bild 11) arbeiten zwei verschiedene Planetensätze und Sonnenräder in einem Hohlrad.

Simpson-Satz

Beim Simpson-Satz (Bild 12) laufen zwei Planetensätze und Hohlräder auf einem gemeinsamen Sonnenrad.

Parksperre

Die Parksperre (Bild 13) hat die Aufgabe, das Fahrzeug gegen das Wegrollen zu sichern. Ihre zuverlässige Funktion ist deshalb maßgebend für die Sicherheit.

Das Verlassen der Position P (Parken) ist nur möglich, wenn der Fahrer das Bremspedal betätigt. Diese Einrichtung verhindert, dass eine versehentliche Betätigung des Positionshebels das Fahrzeug in Bewegung setzt.

Bild 11

- 1 Hohlrad
- 2 Sonnenrad und Planetenradsatz 1
- 3 Planetenradsatz 2
- 4 Sonnenrad 2

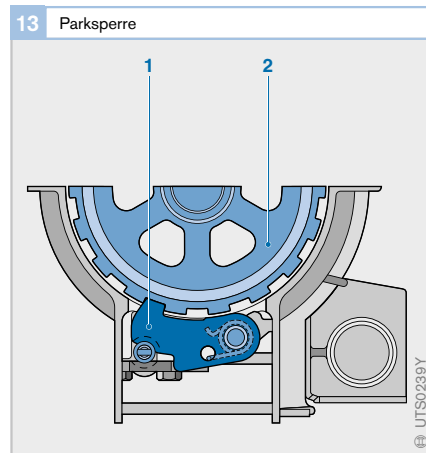


Bild 12

- 1 Planetenradsatz 1 und Hohlrad 1
- 2 Planetenradsatz 2
- 3 Hohlrad 2
- 4 Sonnenrad

Bild 13

- 1 Klinke
- 2 Parksperrenrad

Stufenlose Getriebe (CVT)

Anwendung

Antriebskonzepte mit stufenlosen Automatikgetrieben CVT (Continuously Variable Transmission) zeichnen sich durch hohen Fahrkomfort, hervorragende Fahreigenschaften und niedrigen Kraftstoffverbrauch aus.

Seit vielen Jahren ist VDT (Van Doorne's Transmissie) auf die Entwicklung von CVT-Komponenten und Prototyp-Getrieben spezialisiert. Seit der Integration von VDT im Jahr 1995 deckt Bosch das gesamte Feld von CVT-Systementwicklungen bis zu kompletten Triebstrang-Management-Systemen ab. Alle der in Tabelle 1 aufgeführten stufenlosen Automatikgetriebe CVT werden mit einem Schubgliederband betrieben (Bild 1). Eine Ausnahme bildet die Multitronic von Audi mit einer Laschenkette von LuK (Bild 2).

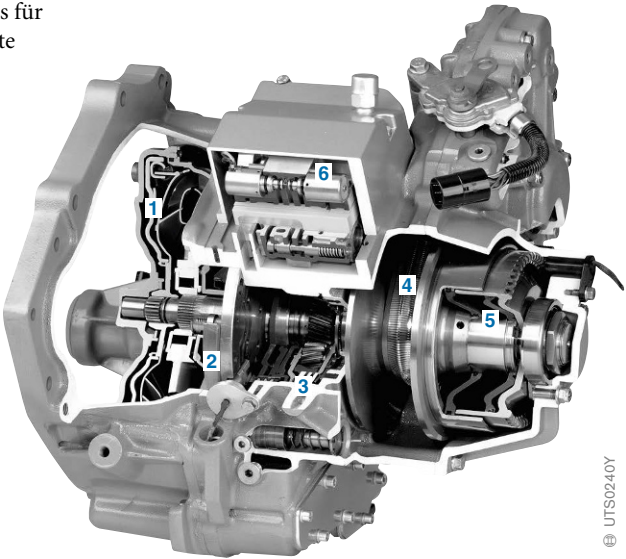
Die Hauptkomponenten eines CVT lassen sich von einem elektrohydraulischen Modul ansteuern. Zusätzlich zum Schubgliederband – seit 1985 in Serie gefertigt – werden Pulleys, Pumpen und elektrohydraulische Module für den Serieneinsatz entwickelt. Verschiedene Ausführungsformen von Schubgliederbändern gibt es für mittlere Motordrehmomente bis zu 400 Nm (z. B. Nissan Murano V6 mit 3,5 l Hubraum und maximal 350 Nm bei 4000 min⁻¹, mit Wandler).

Das Know-how innerhalb der Bosch-Gruppe ermöglicht die Bereitstellung der Software für optimale CVT-Ansteuerungen. Natürlich besteht volle Flexibilität bezüglich Software-Sharing, sodass Fahrzeughersteller spezielle Funktionen auch selbst entwickeln und implementieren können.

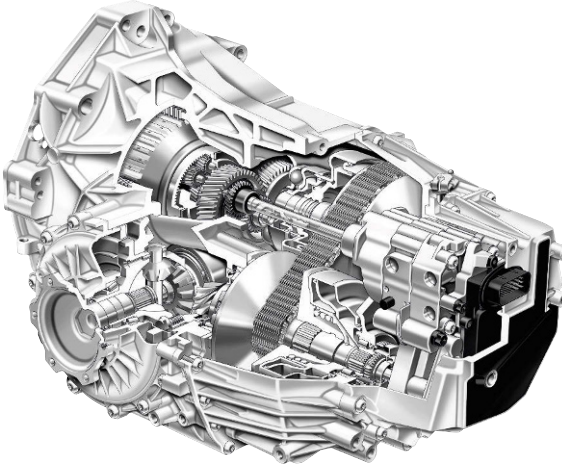
| 1 Aktuelle Verfügbarkeit (weltweit) von Fahrzeugen mit CVT | | |
|--|----------------------------------|---|
| Fahrzeughersteller | CVT-Bezeichnung | Fahrzeug |
| Audi | Multitronic | A4, A6 |
| BMW | CVT | Mini |
| GM | CVT | Saturn |
| Honda | Multimatic | Capa, Civic, HR-V, Insight, Logo |
| Hyundai | CVT | Sonata |
| Kia | CVT | Optima |
| Lancia | CVT | Y 1.2l |
| MG | CVT | F, ZR, ZS |
| Mitsubishi | CVT | Lancer-Cedia, Wagon |
| Nissan | Hyper-CVT ICVT Extroid-CVT | Almera, Avensis, Bluebird, Cube Micra, Murano, Primera, Serano, Tino, Cedrik Gloria |
| Rover | CVT | 25/45 |
| Subaru | ICVT | Pleo |
| Toyota | Super-CVT Hybrid-CVT | Previa, Opa Prius |

1 CVT für Frontantrieb quer (Schnitt)

- Bild 1**
- 1 Drehmomentwandler
 - 2 Pumpe
 - 3 Planetenradsatz mit Vorwärts-/Rückwärtskupplung
 - 4 Schubgliederband
 - 5 Variator
 - 6 Steuermodul



2 CVT für Frontantrieb längs (Audi Multitronic mit Laschenkette, Quelle: Audi)



UTS0241Y

Innerhalb der CVT-Funktionen wird zwischen einer Grundfunktionalität und der Ausbaustufe unterschieden. Alle Funktionen der ersten Gruppe sind bereits implementiert, getestet und in verschiedenen Fahrzeugen im Einsatz.

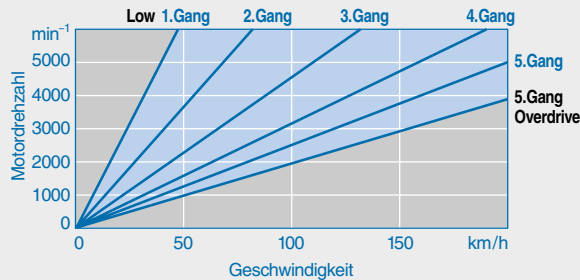
Geeignete Tools für eine effiziente Darstellung und Tests wie ASCET-SD sind verfügbar und werden in gemeinsamen Projekten eingesetzt.

Die große Übersetzungsspreizung der stufenlosen Automatikgetriebe verschiebt die Betriebspunkte des Motors in verbrauchsgünstigere Bereiche.

Ausgehend von der in Bild 3 gezeigten Spreizung ergibt sich die in Bild 4 dargestellte Aufteilung der Zugkraft auf die Übersetzung.

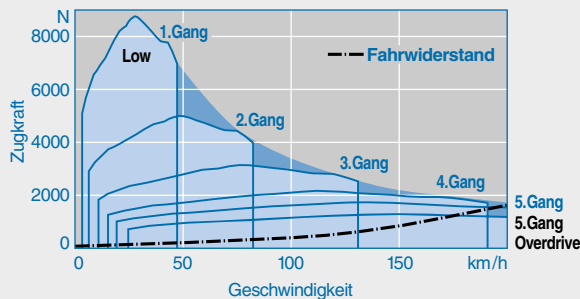
Sich widersprechende Anforderungen lassen sich mithilfe einer elektronischen Steuerung und geeigneter Priorisierung erfüllen.

3 Spreizung eines CVT-Getriebes im Vergleich zum 5-Gang-Stufenautomat (Kennlinie)



UTS0242D

4 Zugkraft und Fahrwiderstand (Kennlinien)



UTS0243D

Bild 5

- a Übersetzung „Low“
- b Übersetzung „Overdrive“

- 1 Antriebsscheibe (Primärpulley)
- 2 Schubgliederband oder Kette
- 3 Abtriebsscheibe (Sekundärpulley)

a_1, b_1 Übersetzung „Low“

a_2, b_2 Übersetzung „Overdrive“

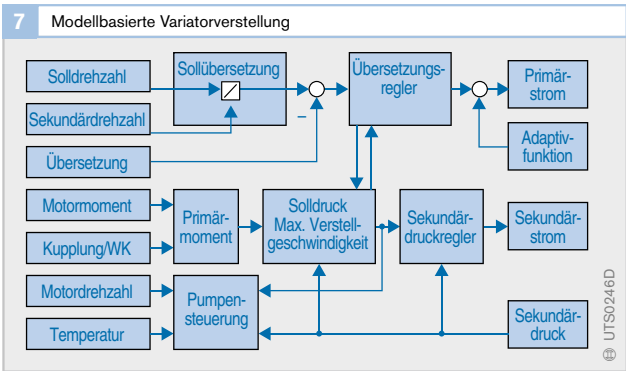
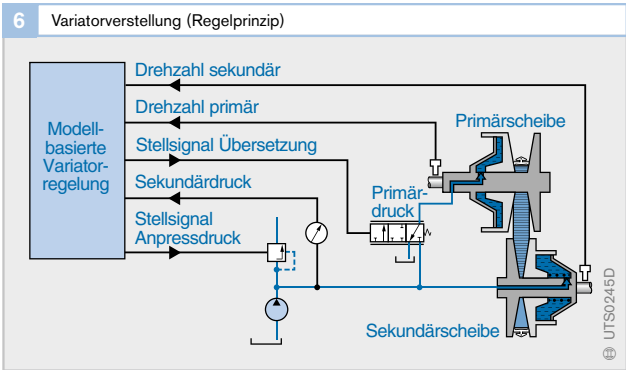
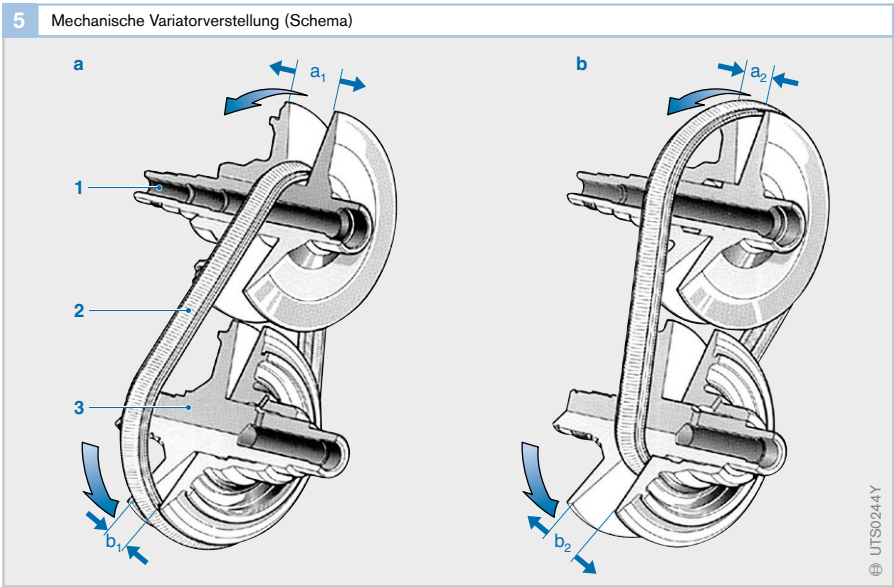


Bild 5 zeigt die mechanische Verstellung der Übersetzung von „Low“ nach „Overdrive“. Dazu kommt der in Bild 6 dargestellte Regleraufbau zur Anwendung.

Die in Bild 7 abgebildete modellbasierte Variatorregelung bearbeitet folgende Vorgänge:

- Einstellung der Primär-drehzahl bzw. der Übersetzung mit PI-Regler.
- Einstellung der Anpresskräfte für das Primär- und das Sekundärpulley.
- Kupplung der Regelung von Übersetzung und Anpresskraftregelung sowie Steuerung der Pumpe.
- Adaptivfunktion zum Ausgleich von Toleranzen.

Aufbau

Der Wandler oder die Lamellenkupplung dienen als Anfahelement, und der Rückwärtsgang wird über einen Planetenradsatz geschaltet.

Die Verstellung der Übersetzung erfolgt stufenlos mit Kegelscheiben und einem Gliederband oder einer Kette (Variator).

Eine Hochdruckhydraulik sorgt für den nötigen Anpressdruck und die Verstellung des Variators.

Die Steuerung aller Funktionen erfolgt mit der elektrohydraulischen Steuerung. Die verschiedenen Komponenten des CVT-Getriebes zeigt Bild 8.

Eigenschaften

Ein Vorteil der CVT-Getriebe ist, dass sie bei einer Veränderung der Übersetzung keine Zugkraftunterbrechung verursachen. Diese Getriebe bieten einen hohen Komfort, da keine Schaltvorgänge notwendig sind.

Im gesamten Motorkennfeld ist der Betrieb auf einen optimalen Kraftstoffverbrauch bzw. auf höchste Beschleunigung abgestimmt. Zudem ist eine hohe Spreizung der Übersetzung möglich.

Obwohl eine gewisse Antriebsleistung für die Hochdruckpumpe erforderlich ist, fällt der Gesamtwirkungsgrad befriedigend aus.

8 Modellbasierte Variatorregelung

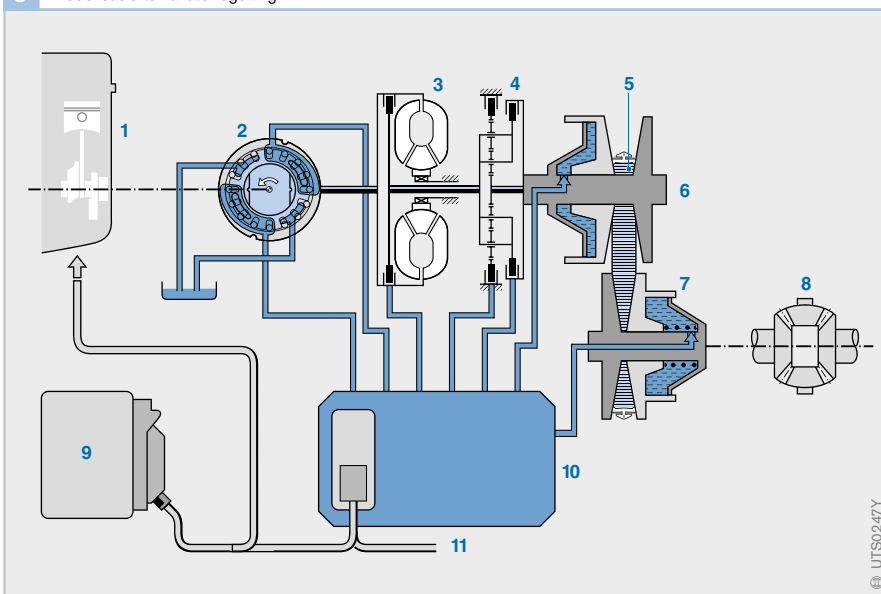


Bild 8

- 1 Motor
- 2 Pumpe
- 3 Wandler
- 4 Planetengetriebe
- 5 Schubgliederband (Primärpulley)
- 6 Abtriebs- (Sekundärpulley)
- 7 Differenzial
- 8 Elektronische Motorsteuerung
- 9 Elektrohydraulisches Modul (Hydraulikventile, Sensoren, Aktoren)
- 10 Kfz-Kabelbaum

CVT-Komponenten

Variator

Der Variator besteht aus zwei Kegelscheiben, die sich gegeneinander verschieben lassen (Bilder 9 und 10).

Der Druck p des Getriebeöls verschiebt die beweglichen Teile des Variators (1) gegeneinander. Dadurch ändert sich die Lage des Schubgliederbandes (3) zwischen den beiden Pulleys und die Übersetzung verändert sich.

Da die Kraftübertragung allein auf der Reibung zwischen Band und Variator beruht, benötigt diese Verstellart einen hohen Systemdruck.

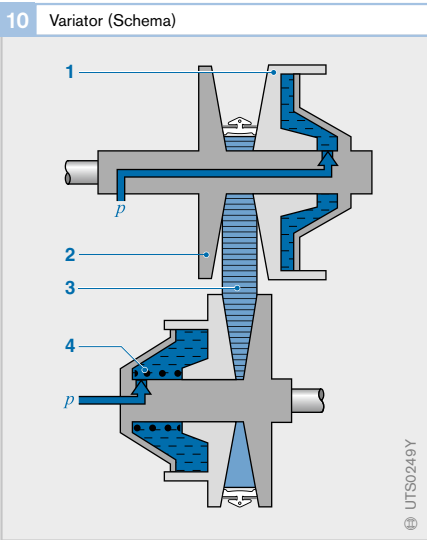


Bild 10

- 1 Bewegliches Pulley
- 2 feststehendes Pulley
- 3 Schubgliederband
- 4 Feder

p anstehender Druck des Getriebeöls

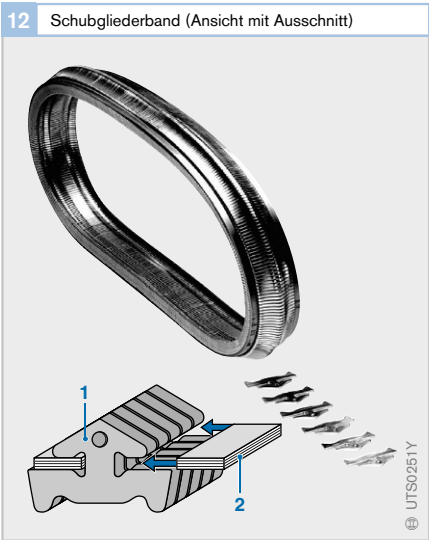
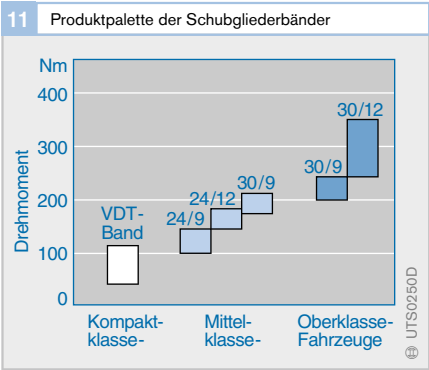
Bild 12

- 1 Schubglied
- 2 Stahlbandpaket

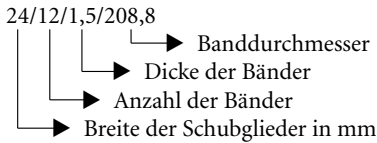
Schubgliederband

Für das Schubgliederband besitzt die Firma Van Doorne’s Transmissie ein weltweites Patent. Bild 11 zeigt die verschiedenen Bandtypen und deren Einsatzbereich bezogen auf das zu übertragende Motormoment.

Das Schubgliederband (Bild 12) besteht aus 2 mm dicken und 24...30 mm breiten Schubgliedern, die in einem Neigungswinkel von 11° zueinander stehen. Gehalten wird die Kette aus zwei Paketen, jeweils mit 8 bis 12 Stahlbändern. Der Reibwert der Kette beträgt mindestens 0,9.



Bei Bandbezeichnungen kommt folgende Nomenklatur zum Einsatz:



Laschenkette

Statt des bei CVT-Getrieben sonst üblichen Schubgliederbandes kommt im Multitronic-Getriebe von Audi eine Laschenkette der Firma LuK zum Einsatz (basierend auf der Wiegedruckstückkette der Firma P.I.V. Reimers).

Diese Laschenkette besteht vollständig aus Stahl und ist trotzdem fast ebenso flexibel wie ein Keilriemen. Sie besteht aus mehreren Lagen von Laschen nebeneinander und ist damit so robust ausgelegt, dass sie sehr hohe Momente (übertragbares Motormoment 350 Nm) und Kräfte übertragen kann.

Die Kette (Bild 13) besteht aus 1025 Laschen mit je 13...14 Kettengliedern. Wiegestücke (auch Querstifte oder Pins genannt) mit einer Breite von 37 mm und einem Neigungswinkel von 11° verbinden die Laschen (1) miteinander. Die Wiegestücke (2) drücken mit ihren Stirnseiten gegen die Kegelflächen im Variator.

An den dort entstehenden Auflagepunkten wird die Zugkraft der Kette auf die Scheiben des Variators übertragen. Der dabei entstehende Mini-Schlupf ist so gering, dass sich die Stifte während der gesamten Getriebelebensdauer maximal nur um ein bis zwei Zehntel Millimeter abnutzen.

Die Laschenkette bietet außerdem den Vorteil, dass sie sich auf einem noch kleineren Umfang führen lässt als andere Gliederbänder. Wenn sie auf diesem kleinsten Umschlingungsdurchmesser läuft, hat sie die Fähigkeit, maximale Kräfte und Drehmomente zu übertragen. Dann haben nur jeweils neun Stiftpaare Kontakt mit den

Innenflächen der Scheiben. Doch die spezifische Anpressung ist dabei so groß, dass sie auch bei höchster Belastung nicht durchrutschen.

CVT-Ölpumpe

Da die Verstellung der Pulleys im CVT einen hohen Öldruck benötigt, kommt zum Erzeugen dieses Drucks eine leistungsfähige Ölpumpe zum Einsatz (Bild 14).

13 Laschenkette für Multitronic von Audi (Quelle: Audi)

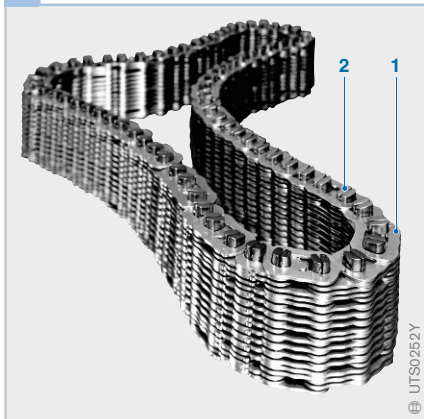


Bild 13

- 1 Laschen
- 2 Wiegestück

14 CVT-Ölpumpe



Toroidgetriebe

Anwendung

Das Toroidgetriebe kommt gegenwärtig nur in Japan bei den Fahrzeugtypen Cedric und Gloria von Nissan zur Anwendung.

Aufbau

Das Toroidgetriebe kann als Sonderform eines stufenlosen Getriebes (Bilder 1 und 2) auch als Reibrad-CVT bezeichnet werden. Sein Aufbau ist gekennzeichnet durch:

- Wandler als Anfahrerelement,
- Rückwärtsgang über Planetenradsatz,
- Kraftübertragung über Torusscheiben mit Zwischenrollen,
- Übersetzungsänderung stufenlos durch hydraulische Winkelverstellung der Zwischenrollen,

- Hochdruckhydraulik für die Vorspannung der Torusscheiben sowie
- elektrohydraulische Steuerung.

Eigenschaften

Wesentliche Eigenschaften sind:

- keine Zugkraftunterbrechung,
- keine Schaltvorgänge (hoher Komfort),
- angepasster Betrieb im Motorkennfeld für optimalen Kraftstoffverbrauch bzw. höchste Beschleunigung,
- für hohe Drehmomente einsetzbar,
- schnelle Übersetzungsverstellung,
- hohe Antriebsleistung für die Hochdruckpumpe (Gesamtwirkungsgrad deshalb nur befriedigend) und
- Spezial-ATF (Automatic Transmission Fluid) mit hoher Scherfestigkeit notwendig.

Bild 1
a Halbtoroid
b Volltoroid

1 Eingangsscheibe
2 Variator
3 Ausgangsscheibe
4 Abtrieb

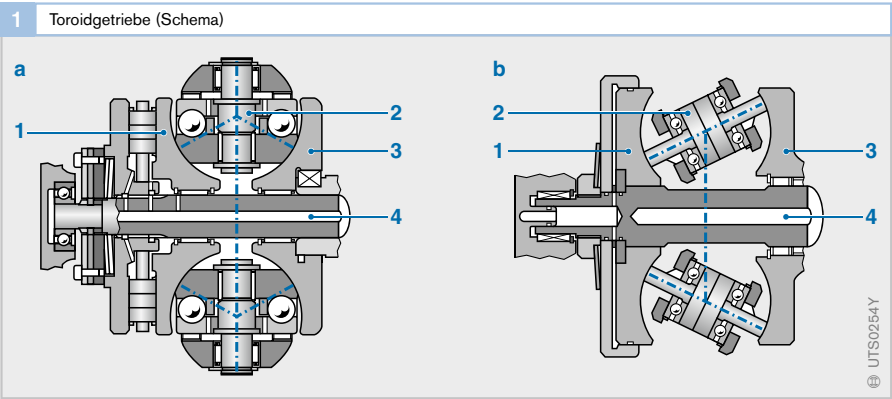
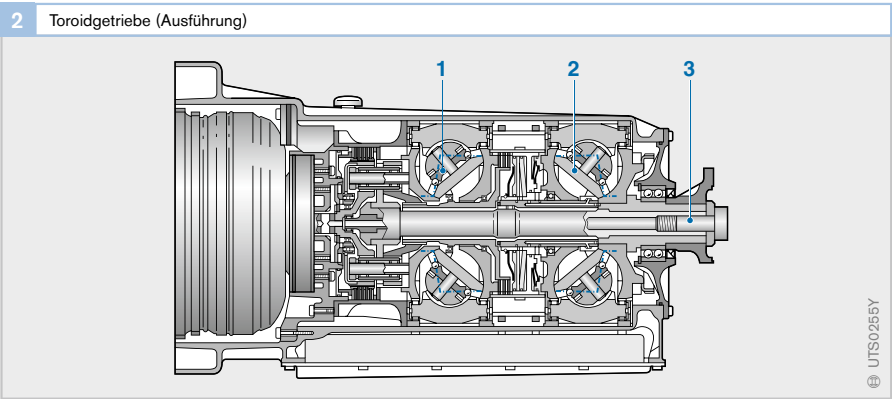


Bild 2
1 Eingangsscheibe
2 Variator
3 Abtrieb



► Getriebe(n)geschichte(n) 2

Daimler-/Maybach-Stahlradwagen 1889 mit Viergang-Zahnradgetriebe

Eine Kraftübertragung im Automobil muss die Funktionen des Anfahrens sowie der Drehzahl- und Drehmomentwandlung für das Vorwärts- und Rückwärtsfahren gewährleisten. Dafür sind Stellglieder und Schaltelemente erforderlich, die in den Leistungsfluss eingreifen und die Wandlung vornehmen.

In den Anfängen der Automobilgeschichte brachten viele Fahrzeuge die Antriebskraft des Motors mit Riemen- und Kettenantrieben auf die Straße. Nur in der Endstufe, dem Achsantrieb, waren wegen der hohen Drehmomente schon bald Zahnrad- oder Kettentriebe in Gebrauch.

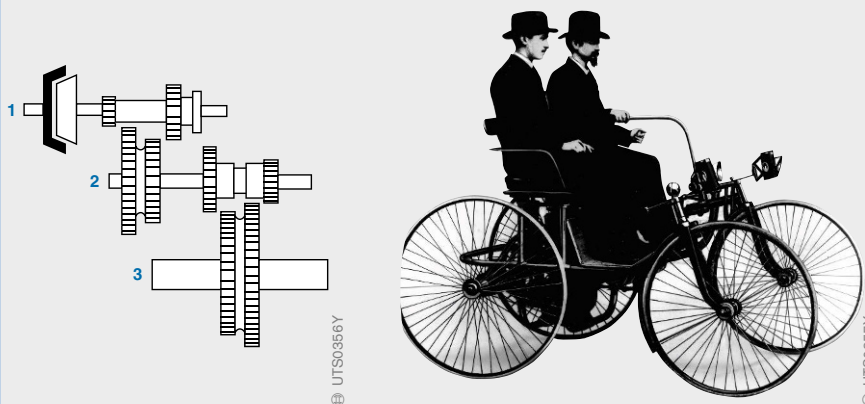
Der Stahlradwagen von Daimler und seinem Konstrukteur Maybach aus dem Jahr 1889 war das *erste Vierradfahrzeug* mit Verbrennungsmotor, das nicht mehr lediglich aus einer umgebauten Kutsche bestand, sondern in seiner Gesamtheit speziell für den motorisierten Straßenverkehr konzipiert war. Der Kraftfluss seines aufrecht montierten Zweizylinder-V-Motors mit einer Leistung von 2 PS (1,45 kW) wurde bereits mit einer Kupplung und einem Viergang-Zahnradschaltgetriebe samt Differenzialausgleich auf die Antriebsachse übertragen. Ein Zahnradgetriebe konnte nämlich eine Drehzahl- und Drehmoment- sowie eine Drehsinnwandlung auf engstem Raum vornehmen.

Das mit zwei Schalthebeln zu bedienende Viergang-Getriebe bestand aus verschiedenen Zahnradpaaren mit gerader Verzahnung, von denen mithilfe von zwei Schieberadblöcken immer ein Paar in Eingriff gebracht werden konnte. Die erreichbare Geschwindigkeit lag zwischen 5 km/h (1. Gang) und 16 km/h (4. Gang). Zum Anfahren und Schalten ließ sich die Kraftübertragung vom Motor zum Getriebe mit einer Konuskupplung unterbrechen.

Trotz Einführung der Zahnradwechselgetriebe hielt sich der Riementrieb als Anfahrreinheit im weiteren Verlauf der Fahrzeugentwicklung noch einige Zeit, weil er einen gewissen Anfahrslupf sowie einen größeren Abstand zu den anderen Komponenten des Antriebsstrangs zuließ. Es gab auch Kombinationen aus Riementrieb, Zahnrad-schaltgetriebe und Kettentrieb. Der Kettenantrieb blieb für Pkw bis etwa 1910 in Anwendung. Doch mit der weiter zunehmenden Motorleistung führte wegen den auftretenden hohen Kräften kein Weg mehr am Zahnradwechselgetriebe mit Konuskupplung vorbei.

Nach 1920 wurde die formschlüssige Verbindung (bei ständig im Eingriff bleibenden Zahnradern) durch Verschieben von Klauenkupplungen mit geringem Verschiebeweg hergestellt. Danach wurden schräg verzahnte Zahnäder sowie die Synchronisierung zum Standard für Handschaltgetriebe. Schließlich folgte die Einführung der unter Last schaltenden Automatengetriebe, die wegen der hohen Leistungsdichte in der Regel mit Planetengetriebebesätzen ausgeführt sind.

► Daimler-/Maybach-Stahlradwagen von 1889 mit seinem Viergang-Getriebe (Quelle: Daimler Classic)



- 1 Getriebeeingang mit Konuskupplung
- 2 Schieberadblock 1
- 3 Schieberadblock 2