

permanent erregten Synchronmotor mit einer Leistung von 34 kW optional möglich. Eine weitere Besonderheit sind die **Thermomanagement-Maßnahmen**. Durch die Verwendung eines Öls mit niedriger Viskosität werden die Tieftemperatureigenschaften verbessert. Neben einem ATF-Kühler, der bei hohen Temperaturen das Fluid kühlt, wird ein ATF-Aufheizer verwendet. Erreicht die Kühlwassertemperatur nach einem Kaltstart einen definierten Mindestwert, so wird der Aufheizer in den Kühlkreislauf der VKM zugeschaltet; bei Erreichen einer Maximaltemperatur wird er wieder abgeschaltet. Mit den genannten Thermomanagement-Maßnahmen lassen sich durch die Verminderung von Reibung, insbesondere bei tiefen Temperaturen, Verbrauchsvorteile erzielen [45].

---

## 6.6 Stufenlosgetriebe

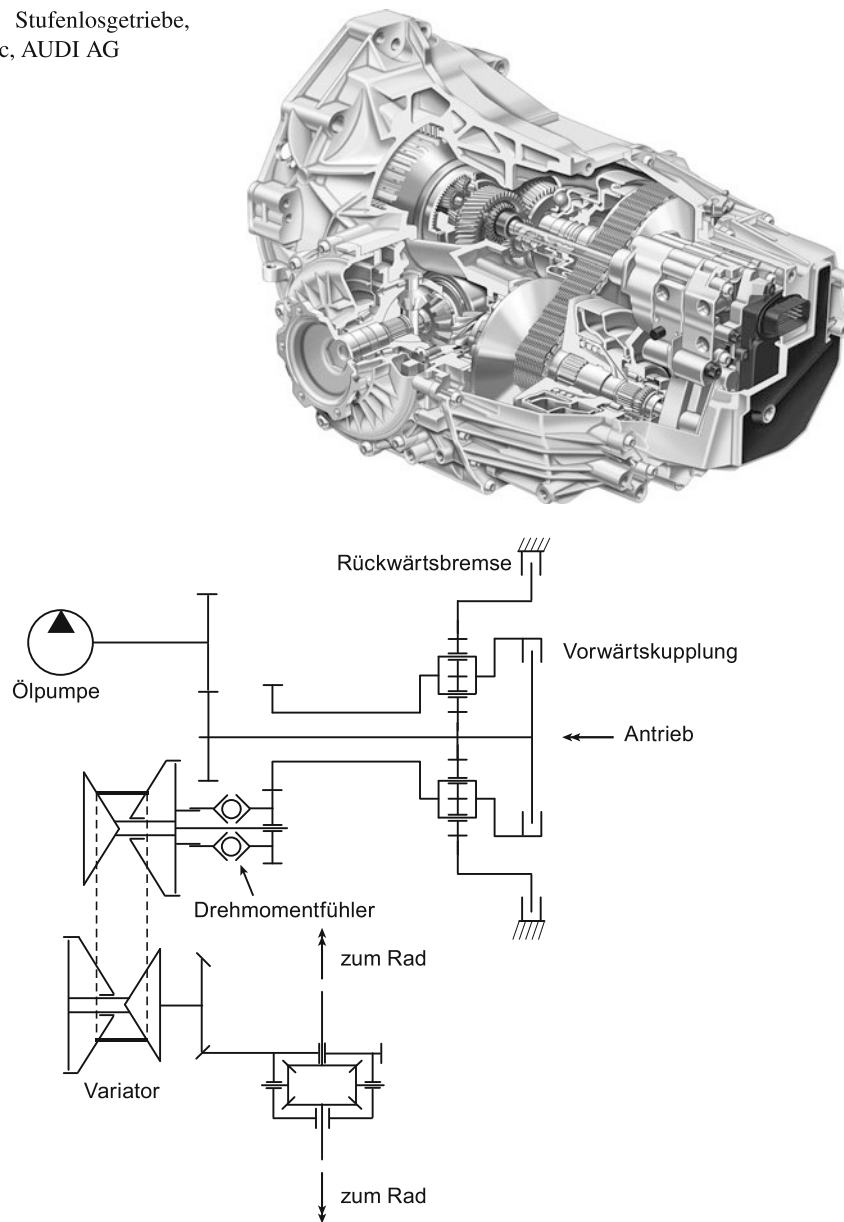
Stufenlosgetriebe weisen weltweit insgesamt einen geringen Marktanteil auf. Marktanalysen aus dem japanischen Raum zeigen jedoch, dass Stufenlosgetriebe unter Berücksichtigung regionaler Trends ebenso beachtliche Verkaufszahlen, gepaart mit hoher Kundenakzeptanz, erreichen. Der wesentliche Vorteil von Stufenlosgetrieben besteht darin, die VKM bei konstanter Drehzahl in ihrem optimalen Betriebspunkt betreiben zu können. Die Grundlagen der stufenlosen Leistungsübertragung sind in Abschn. 3.9 dargestellt. Derzeit befinden sich fast ausschließlich Stufenlosgetriebe in Umschlingungsbauweise in Serie, welche Ketten oder Schubgliederbänder zur Leistungsübertragung nutzen.

### 6.6.1 Aufbau und Baugruppen

Stufenlosgetriebe werden in der Regel als Umschlingungs- oder Reibradgetriebe ausgeführt (vgl. Abschn. 3.9). In beiden Fällen benötigt man einen sogenannten **Variator** zur Übersetzungsverstellung. Als **Anfahrelemente** können sowohl Kupplungen (nass oder trocken) als auch Wandler mit den Stufenlosgetrieben kombiniert werden. Das **Reversieren** wird häufig durch einen Planetenradsatz ermöglicht. Üblicherweise wird eine Parksperrung integriert. Abb. 6.29 zeigt ein ausgeführtes Stufenlosgetriebe der Audi AG [46]. Das als Multitronic bezeichnete Getriebe wird frontläufig verbaut. Die schematische Darstellung des Getriebes findet sich in Abb. 6.30.

Stufenlosgetriebe, welche als Umschlingungsgetriebe ausgeführt sind, verfügen meist über einen **konischen Scheibensatz**, bestehend aus Primär- und Sekundärscheibe. Die axiale Verstellung erfolgt in der Regel hydraulisch-mechanisch, wobei der Stellenergiebedarf relativ hoch ist und sich somit negativ auf den Gesamtwirkungsgrad auswirkt.

**Abb. 6.29** Stufenlosgetriebe,  
Multitronic, AUDI AG



**Abb. 6.30** Schema des Multitronic-Getriebes, Audi AG

### 6.6.2 Anforderungen an Stufenlosgetriebe

Die Kühlung und die Schmierung der leistungsübertragenden Bauteile eines Stufenlosgetriebes stellen besondere Anforderungen an das verwendete Fluid. Insbesondere bei Reibradgetrieben muss das verwendete Fluid bestimmte **Traktionseigenschaften** aufweisen, um die auftretenden Pressungen zu ertragen und die Umfangskräfte zu übertragen.

Eine besondere Bedeutung kommt weiterhin der Anpressvorrichtung des Variators zu. Hierbei muss gewährleistet werden, dass die Anpresskräfte weder zu hoch sind, da dies zu einer Verschlechterung des Wirkungsgrads führt, noch zu klein sind, da hierbei ein Durchrutschen des Umschlingungselements bzw. eines Reibrads droht.

Es ist zu beachten, dass eine Übersetzungsverstellung nur bei drehendem Variator möglich ist. Dies muss bei der gesamten Betriebsstrategie berücksichtigt werden. Insbesondere Ereignisse wie Notbremsungen und veränderliche Reibverhältnisse zwischen Reifen und Fahrbahn müssen bei der Verstellung des Getriebes berücksichtigt werden. Einige Anwendungen ordnen Kupplungen am Getriebeausgang an (nach dem Variator). Wie auch bei anderen Getrieben sind die von der Straße aufgeprägten Lasten (Radmomente) bei der Auslegung von Haltbarkeit und Anpressung zu berücksichtigen. Eine Kupplung am Getriebeausgang kann als Überlastschutz ausgelegt werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von Drehmomentsensoren, die mechanisch die Klemmkraft im Falle von Drehmomentstößen erhöhen.

### 6.6.3 Auslegung von Stufenlosgetrieben

Durch ein Vor- oder Nachschalten eines oder mehrerer Planetenradsätze lässt sich eine unendliche Spreizung und damit auch eine Geared-neutral-Funktionalität darstellen (Leistungsverzweigung). In diesem Zusammenhang spricht man auch häufig von IVT (engl. *infinitely variable transmission*).

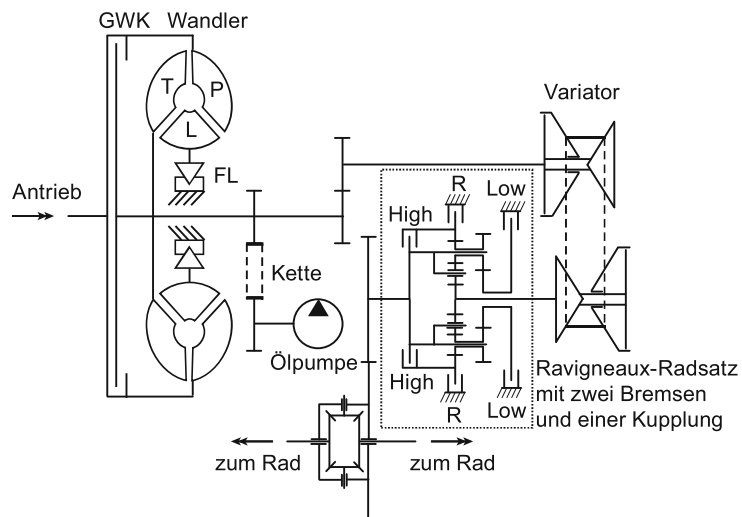
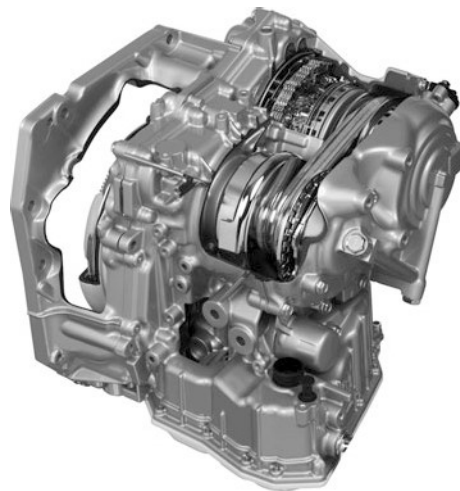
Gerade in Europa fällt die subjektive Bewertung der Fahrbarkeit eines Stufenlosgetriebes häufig negativ aus. Hierbei wird insbesondere bei Beschleunigungsvorgängen die fehlende akustische Rückmeldung vom Motor bemängelt, siehe Abschn. 2.3.2. Spezielle Strategien für die Verstellung bis hin zu Nachbildung diskreter Gangstufen sind inzwischen breit etabliert.

CVTs, die Umschlingungsmittel verwenden, werden für Drehmomente bis zu 400 Nm in Serie gebaut. Getriebe in Standardbauweise werden nicht als Umschlingungsgetriebe ausgeführt, da die Anordnung und Bauraumanforderungen bei Transaxle-Getrieben einfacher gelingt. Generell besteht ein Zielkonflikt zwischen kompakter Bauform und hoher Übersetzungsspreizung.

### 6.6.4 Ausführungsbeispiel

Das Stufenlosgetriebe JF015E von Jatco ist ein Vertreter der Umschlingungsgetriebe (Abb. 6.31). Als Umschlingungselement kommt ein Schubgliederband zum Einsatz. Das Anfahren übernimmt ein Drehmomentwandler. Bemerkenswert ist die relativ hohe Spreizung von 7,3. Dies wird vornehmlich durch den Einsatz eines schaltbaren Planetenradsatzes erreicht, mit dem neben der Drehrichtungsumkehr zwei weitere Übersetzungsstufen (High und Low) zur Verfügung stehen (Abb. 6.32). Der Variator kann

**Abb. 6.31** Stufenlosgetriebe, JF015E, Jatco Ltd. [47]



**Abb. 6.32** Schema des JF015E-Getriebes, Jatco Ltd.

somit deutlich kleiner dimensioniert werden, was sich positiv auf den Wirkungsgrad auswirkt. Der Einsatz eines im Fahrbetrieb schaltbaren Planetenradsatzes (von High nach Low und umgekehrt) stellt jedoch ähnliche Anforderungen an den Schaltablauf bei Lastschaltungen, analog zu Stufenautomaten und Doppelkupplungsgetrieben, und muss entsprechend kalibriert werden.

---

## Literatur

1. Küçükay F (2011) Anforderungen an moderne Automatikgetriebe. In: Konferenz Innovative Fahrzeuggetriebe, Bad Mergentheim. IIR Deutschland, Düsseldorf
2. Küçükay F, Kassel T (2007) Anforderungsoptimierung für Getriebe und Komponenten. ATZ 109: 812–819
3. Küçükay F (2008) Zukünftige Herausforderungen in der Getriebeentwicklung. ATZ 110
4. Küçükay F (1996) Gewichtsreduzierung im Pkw-Antriebsstrang. In: Oetting H (Hrsg.): Leichtbau im Antriebsstrang. Expert-Verlag, Renningen-Malmsheim, Deutschland, S 225–247
5. Philipsenburg H-J, Bong H-B (1991) Sichere Auslegung von Kfz-Handschatgetrieben. In: Getriebe in Fahrzeugen, heute und morgen. VDI-Berichte, Bd 878. VDI, Düsseldorf, S 137–156
6. Srisurangkul C, Küçükay F (2008) Simulation und Optimierung der Wählbetätigung. In: Getriebe in Fahrzeugen. VDI-Berichte, Bd 2029. VDI, Düsseldorf, S 949–972
7. Srisurangkul C (2009) Simulation und Optimierung der Wählbetätigung. Schriftenreihe des Instituts für Fahrzeugtechnik, TU Braunschweig, Bd 22. Shaker, Aachen
8. Srisurangkul C, Kassel T, Küçükay F (2010) Optimierung des Wählbetätigungs komforts automatisch schaltender Getriebe. ATZ 112
9. Küçükay F, Neuner J (1994) Die neue äußere Schaltung von BMW für Automatikfahrzeuge. ATZ 96
10. Küçükay F (1995) Entwicklungstendenzen bei Getrieben und Motoren unter besonderer Berücksichtigung des Öls als Konstruktionselement. Mineralöl Mineralölrundschau 43(1)
11. Küçükay F, Pfau W (1989) Extrembelastungen in Personenwagen-Antriebssträngen. ATZ 91: 391
12. Küçükay F (1990) Rechnerunterstützte Getriebedimensionierung mit repräsentativen Lastkollektiven. ATZ 92: 328–333
13. Küçükay F (2000) Die Kunst der repräsentativen Erprobung. In: Tagung Antriebsstechnik / Zahnradgetriebe. Technische Universität Dresden, Dresden, S 589–607
14. Müller-Kose J-P (2002) Repräsentative Lastkollektive für Fahrzeuggetriebe. Schriftenreihe des Instituts für Fahrzeugtechnik, TU Braunschweig, Bd 3. Shaker, Aachen
15. Kassel T, Küçükay F (2009) Ideal test specifications for transmissions. In: Getriebe in Fahrzeugen. VDI-Berichte, Bd 2071. VDI, Düsseldorf, S 647–659
16. Weiler B, Kassel T, Küçükay F (2010) Kundennahe Getriebeerprobung für Nutzfahrzeuge. In: 1. VDI Fachkonferenz Getriebe in Nutzfahrzeugen. VDI-Wissensforum, Düsseldorf
17. Weiler B, Kassel T, Küçükay F (2010) Repräsentative Erprobung von Nutzfahrzeugen. ATZ 112
18. Hörsken C (2003) Methoden zur rechnergestützten Toleranzanalyse in Computer Aided Design und Mehrkörpersystemen. Fortschrittberichte VDI, Reihe 20, Bd 374. VDI, Düsseldorf
19. Hinze U-C, Schultheiß R (1998) On the concept of tolerance envelopes. In: Joskowicz, L., Sacks, E., Kumar, V.: Workshop on new directions in contact analysis and simulation, WS6. 1998 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Leuven