

# Vergleich von Getriebesystemen

Dipl.-Ing. Gunter Jürgens

## Einleitung

Automatische Getriebe haben sich in USA und Japan durchgesetzt. Dort liegen die Marktanteile zwischen 75 und 85 %. Es gibt einige Gründe, warum ein Trend zu einer höheren Automatisierung des Triebstrangs in irgendeiner Form auch in Europa zu erwarten ist. Das Auto wird zunehmend Zweckgegenstand, es dient dazu, möglichst bequem und ohne hohen Bedienungsaufwand von A nach B zu kommen. Der Spaß am Fahren wird häufig durch Staus "vermiest", die mehr oder weniger perfekte Betätigung von Kupplung und Schalthebel wird lästige Arbeit. Strengste Abgas- und Geräuschvorschriften können teilweise nur noch durch gezielten Betrieb des Motors in günstigen Betriebspunkten - z. B. in der Warmlaufphase - erreicht werden. Der Einfluß des Fahrers könnte ohne Automatisierung der Übersetzungswahl z. B. aufwendige Abgas-Entgiftungsmaßnahmen teilweise zunichte machen.

Moderne Automatkonzepte können in Verbrauch und Fahrleistung mit Schaltgetrieben konkurrieren; der Mehrpreis liegt in der Größenordnung eines sehr guten Autoradios. Nicht zu unterschätzen sind hierbei das entspanntere Fahren und die damit nach weltweiten Untersuchungen verringerte Unfallhäufigkeit.

Es sollen nun von der einfachsten Möglichkeit eines automatisierten Triebstranges - einem Schaltgetriebe mit automatischer Kupplung - über verschiedene Stufenautomatversionen bis zum stufenlosen Getriebe verschiedene Lösungsmöglichkeiten verglichen werden.

Als Vergleichsbasis wurde ein Fahrzeug mit 3 l Hubraum gewählt, da für diese Fahrzeugklasse alle zu vergleichenden Automatisierungsvarianten in Serie oder als Prototypen vorhanden sind. Es werden

- Kosten,
- Gewicht,
- Bauvolumen,
- Komfort,
- Verbrauch und
- Fahrleistungen

vergleichend bewertet.

Zunächst erfolgt eine Beschreibung der zu vergleichenden Getriebe.

## 5-Gang-Handschaltgetriebe (HSG) mit automatisierter Kupplung

Ein Beispiel eines ausgeführten Schaltgetriebes ist zur Verdeutlichung des Bauaufwandes in Bild 1 dargestellt.

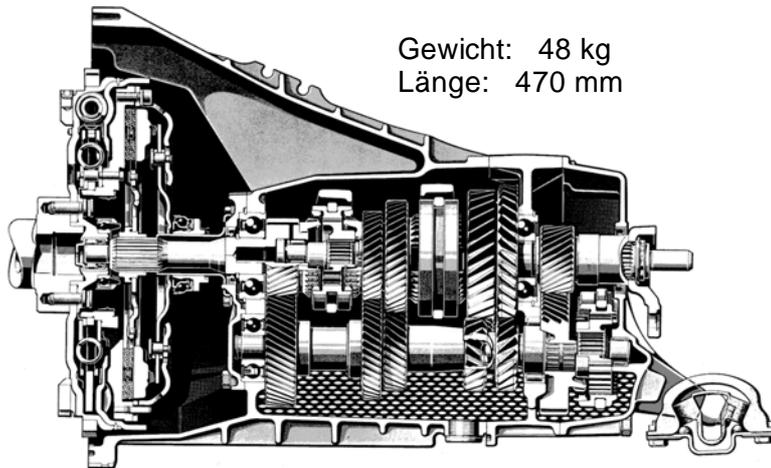


Bild 1: 5-Gang-Handschaltgetriebe HSG

Das Getriebe ist sehr kompakt und wiegt inklusive Zweimassenschwungrad und Schaltgestänge insgesamt nur 48 kg. Die Verluste des 1. und 5. Ganges sind in Bild 2 als Wirkungsgrad bei Teillast in der Ebene dargestellt [1].

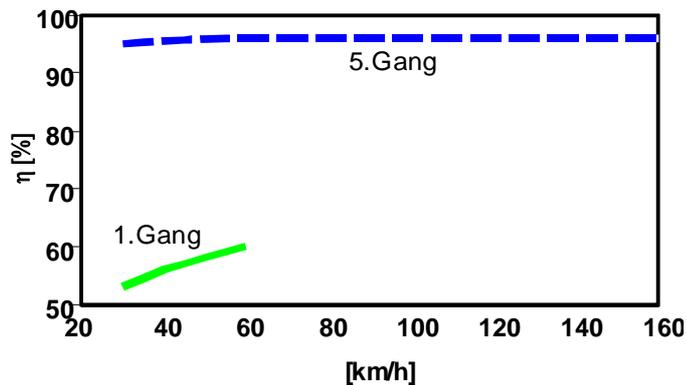


Bild 2: Teillastwirkungsgrad in der Ebene

Die Verluste der anderen Gänge liegen entsprechend dazwischen. Die Verluste, die durch das EKM und die Schlupfstrategie entstehen, sind bei den später durchgeführten Verbrauchsvergleichen berücksichtigt. Dann

wird auch der Wirkungsgrad des elektrischen Antriebs und der Batterie-zwischenspeicherung in Rechnung gestellt.

Der Platzbedarf ist inklusive der Kupplungsaktorik in der Summe deutlich niedriger als bei den später behandelten Automatgetrieben. Zusätzlich zu dem üblicherweise sehr kompakt bauenden Schaltgetriebe kommt beim EKM nur das Volumen für den Steller, in den die Elektronik integriert ist, hinzu. Das Getriebe hat eine Gesamtspreizung von 4,82.

Dieser Wert ist für das Leistungsgewicht der untersuchten Fahrzeugklasse typisch. Da die 1. Gang-Übersetzung (Underdrive) wegen Überschreitung der Reifenrutschgrenze nicht größer ausgelegt zu werden braucht und die 5.-Gang-Übersetzung (Overdrive) nicht zu niedrig sein darf (Akzeptanzprobleme der Beschleunigungsfähigkeit im obersten Gang), ergibt sich für ein bestimmtes Leistungsgewicht eine sinnvolle Spreizung [2, 3]. Selbst die meisten 6-Gang-Schaltgetriebe haben Spreizungen zwischen 4 und 5.

Die zusätzlichen Kosten der automatisierten Kupplung liegen zur Zeit in der Größenordnung von 25 - 30 % der Schaltgetriebe-Grundkosten, inklusive Schwungrad und Schaltung.

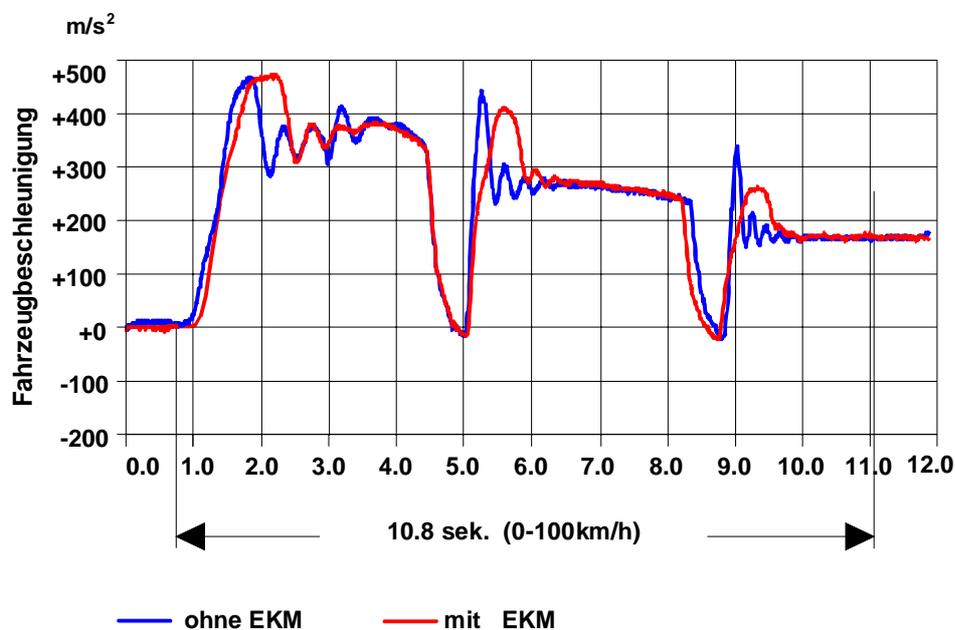


Bild 3: Komfortvergleich Anfahrt (0 - 100 km/h)

Der Anfahr- und Gangwechselkomfort wird gegenüber einem durchschnittlich schaltenden Fahrer deutlich verbessert, wie in Bild 3 gezeigt. In diesem Bild ist eine Vollastbeschleunigung von 0 auf 100 km/h mit und

ohne EKM gegenübergestellt. Der Beschleunigungsverlauf ist ein gutes Maß für den Komfort. Hohe Beschleunigungsspitzen mit nachklingenden Ausschwingvorgängen mindern den Komfort bei der nicht automatisierten Kupplung.

Mit dem automatisierten Kupplungsmanagement erreicht auch der ungeübte Fahrer bei Gangwechseln im Teillastbereich beinahe die Schaltgüte eines modernen Stufenautomaten.

Das Lastwechselverhalten im eingekuppelten Zustand ist oft ein Kritikpunkt bei Triebsträngen mit Schaltgetrieben. Hier zeigt Bild 4 das Potential, das mit einer guten Softwarestrategie auch ohne hohen Kupplungsschlupf erreichbar ist.

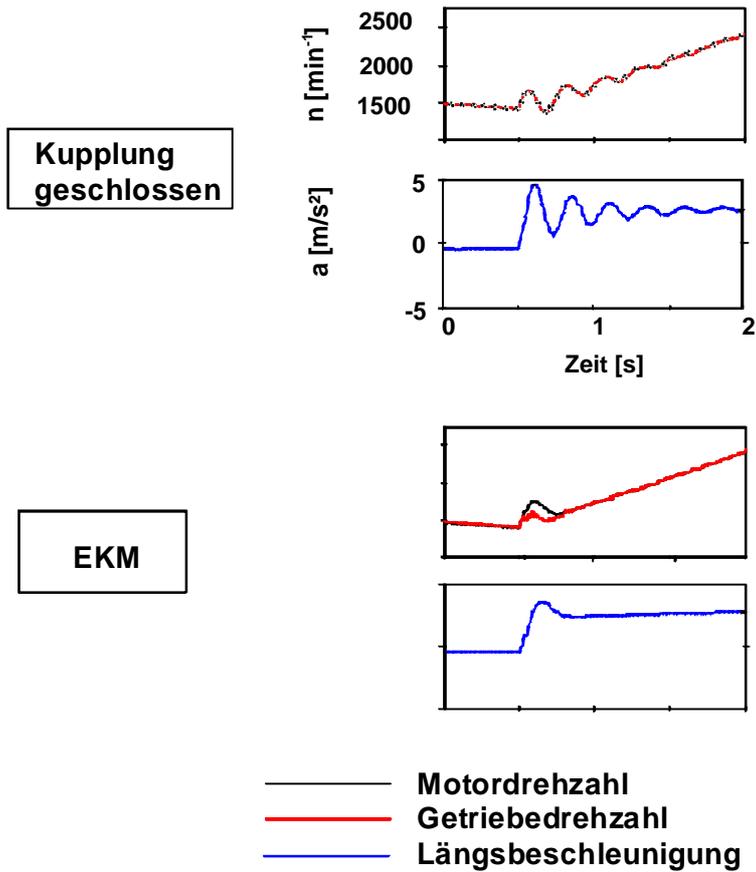


Bild 4: Lastwechselverhalten mit und ohne EKM

## **Automatisiertes Schaltgetriebe**

Wenn man den Kupplungsvorgang automatisiert, so ist es naheliegend, auch daran zu denken, den Gangwechsel selbst bei konventionellen Schaltgetrieben ebenfalls voll- oder halbautomatisch vorzunehmen.

Diese Lösung ist im Nfz-Bereich bereits in Serie. Nfz-Getriebe haben oft mehr als 10 Gänge. Da hier konventionelle Automatgetriebe mit Planetensätzen sehr bauaufwendig wären, ging man hier den Weg, das Schaltgestänge mit Servozyllindern zu versehen und diese halb- oder vollautomatisch zu betätigen. Der zusätzliche Aufwand hält sich auch bei 16 Gängen in Grenzen im Vergleich zu dem notwendigen Aufwand eines konventionellen Vollautomatgetriebes. Die Getriebeschaltung wird allerdings in der Regel nicht vollautomatisch durchgeführt, sondern der Fahrer entscheidet nach eigenem Ermessen oder durch eine Schaltempfehlung angeregt, ob er hoch- oder zurückschaltet. Ausgelöst wird die Hoch- oder Rückschaltung durch Drücken eines Schalthebels in die gewünschte Richtung; die Gassenwahl kann entfallen.

Da der Fahrer den Schaltbefehl auslöst, fällt die Zugkraftunterbrechung, die durch das Auskuppeln zum Gangwechsel erfolgt, nicht so negativ auf, als wenn dies vollautomatisch - vielleicht zu einem gerade unerwünschten Zeitpunkt - erfolgen würde.

Obwohl der Zusatzaufwand beim Übergang vom halbautomatischen, mit Schaltwunsch betätigten Getriebe zum vollautomatischen äußerst gering ist, könnte die Zugkraftunterbrechung jedoch ein Grund sein, warum Vollautomatisierung von Schaltgetrieben auch in Nutzfahrzeugen unseres Wissens noch nicht in Serie ist.

Unabhängig davon, ob die Gangwechsel durch Servozyylinder oder Schrittschaltwerke durchgeführt werden, müssen jedoch Strategien entwickelt werden, um den Gang unter jeder Bedingung einrücken zu können. Da in der Synchrongruppe die Drehmomentmitnahme über Verzahnungen, also formschlüssig erfolgt, ist es möglich, daß im Moment des Einrückens Zahn auf Zahn steht und damit ein Durchschalten ohne Zusatzmaßnahmen nicht möglich ist. Dieser Fall tritt beim Handschaltgetriebe gelegentlich auf - vor allem im 1. und im Rückwärtsgang - und kann hier z. B. durch nochmaliges Verdrehen der Wellen mittels Wiedereinkupplung in der Neutralgasse umgangen werden.

Da die Zusatzkosten für die automatisierte Gangwahl bei wenigen Gängen in der Größenordnung der Mehrkosten für einen Vollautomaten liegen, hat dieser Ansatz für Pkw-Getriebe nur geringe Marktchancen.

Der kleine Verbrauchsvorteil aufgrund der geringeren Verluste im Vergleich zum Vollautomat wird durch den schlechteren Schaltkomfort bedingt durch die Zugkraftunterbrechung aufgewogen.

## Doppelkupplungsgetriebe

Einige der geschilderten Probleme, z. B. die Zugkraftunterbrechung, können mit Doppelkupplungsgetrieben umgangen werden. Diese Getriebe zeichnen sich dadurch aus, daß eigentlich zwei Getriebe mit gemeinsamem Abtrieb ineinander verschachtelt werden. Jedem Getriebe ist eine Kupplung zugeordnet. Die im Teilgetriebe 1 bzw. Teilgetriebe 2 gewählten Übersetzungen werden durch übliche Sperrsynchrosationen vorgewählt. Es kann von einem auf das andere Getriebe zugkraftunterbrechungsfrei geschaltet werden. Dabei gibt es eine Einschränkung: Bei einer gewünschten Schaltung über 2 Gänge müßte dies innerhalb eines Teilgetriebes ablaufen, und das ist aber nur mit Zugkraftunterbrechung machbar. Das Problem der nicht freien Schaltwahl kann durch geschickte Strategien der Vorwahl der Gänge des nichtgeschalteten Teilgetriebes nahezu ohne Nachteile im Fahrverhalten gelöst werden.

Ab 5 Gängen scheint dieses Getriebeprinzip Planetengetrieben gleichwertig. Als Anfahrerelement kann man eine der beiden Lastschaltkupplungen oder aber einen vorgeschalteten Drehmomentwandler, mit oder ohne Überbrückungskupplung, benutzen. Anordnungsprinzipien wurden in der Vergangenheit [4] hierzu bereits gezeigt (Bild 5).

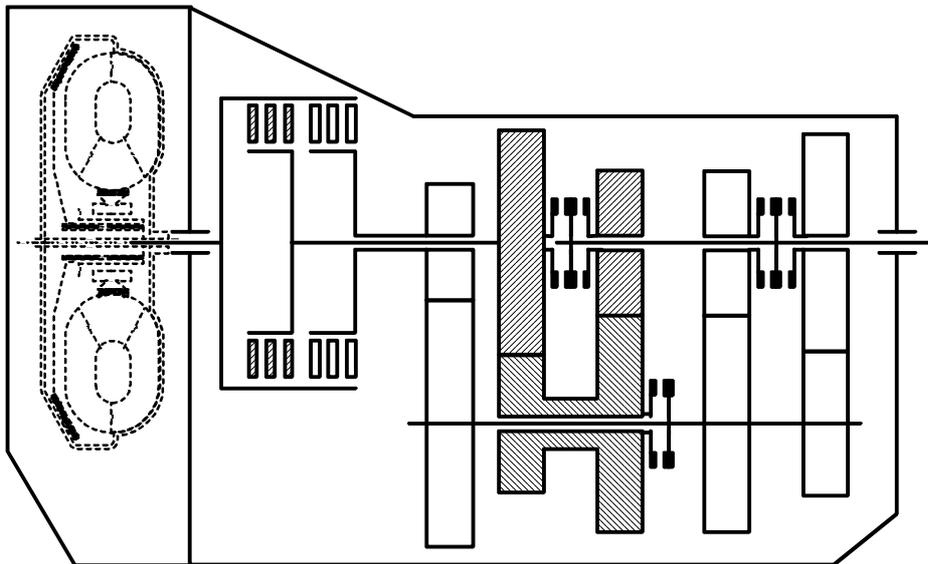


Bild 5: Doppelkupplungsgetriebe

Das Prinzip einer Schaltung ohne Zugkraftunterbrechung ist in Bild 6 dargestellt. Der Einfachheit halber ist das eine Getriebe mit der Übersetzung 1 als Welle ausgeführt, die 2. Getriebeübersetzung ergibt sich durch die Stirnradpaarung. Die Drehmomentübertragung kann gleichzeitig trotz

Drehzahldifferenzen über beide Kupplungen erfolgen, wobei hier jedoch die Summe der Drehmomente beider Kupplungen berücksichtigt werden muß. Überträgt z. B. die eine Kupplung das volle Motormoment, so macht die 2. teilerregte Kupplung mit ihrem Schlupf nur Verluste. Reduziert man jedoch das übertragbare Drehmoment der Kupplung 1 bei gleichzeitiger Erhöhung des Drehmoments der Kupplung 2, so wird der Motor auf die dem anderen Getriebestrang entsprechende Drehzahl beschleunigt oder verzögert. Die Abstimmung dieser Vorgänge ist bei einer vollelektronischen Steuerung leicht möglich und es ist theoretisch und praktisch nachweisbar, daß hier der gleiche Schaltkomfort wie bei einem Planetengetriebe erreichbar ist.

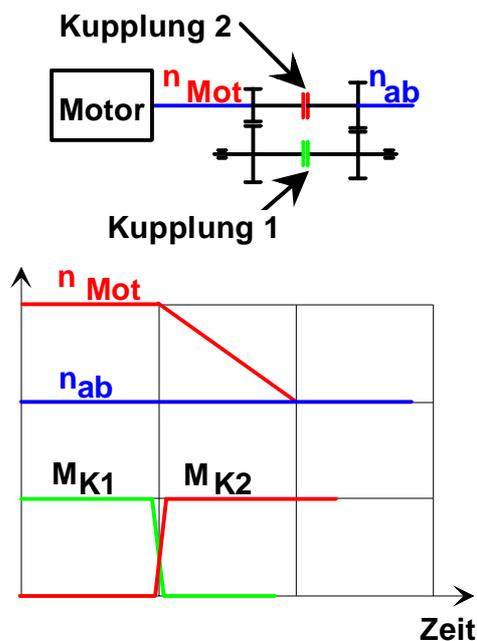


Bild 6: Schaltung ohne Zugkraftunterbrechung

An zusätzlichem Aufwand gegenüber einem Schaltgetriebe fällt an: die Aufteilung des Getriebes in zwei Teilgetriebe, die zusätzliche Kupplung, der Automatisierungsaufwand beider Kupplungen, die Betätigungseinrichtungen für die Synchronelemente und die Ölversorgung eines evtl. vorhandenen Drehmomentwandlers. Die Verluste können geringer ausfallen als bei Planetengetrieben.

Doppelkupplungsgetriebe arbeiten - wie der Name sagt - mit zwei reibschlüssigen Kupplungen und je nach Gangzahl mehreren formschlüssigen Kupplungen, die üblicherweise mit Synchronelementen kombiniert sind.

## 4-Gang-Automat mit hydraulischem Drehmomentwandler

Schon sehr lange sind Automatgetriebe bekannt, bei denen praktisch für jeden Gang eine eigene reibschlüssige Kupplung benutzt wird. Egal ob diese Getriebe in Vorgelegebauart oder als Umlaufrädergetriebe (Planetengetriebe) gebaut werden, werden zumindest die Vorwärtsgänge durch je eine Reibkupplung geschaltet.

### 4-Gang-Automatgetriebe in Vorgelegebauweise

Ein Beispiel für ein 4-Gang-Automatgetriebe in Vorgelegebauweise, wie es in USA und Japan seit Jahren gebaut wird, zeigt das Bild 7.

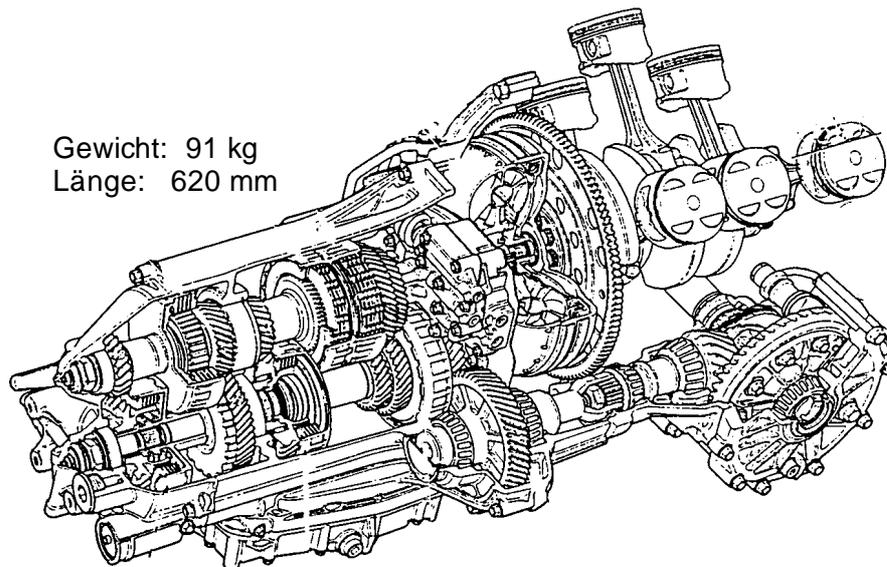


Bild 7: Automatgetriebe in Vorgelegebauweise

Der Vorteil dieser Getriebebauart liegt in der relativ freien Übersetzungswahl, da für jede Übersetzung eine eigene Rädergruppe verwendet wird. Nachteilig ist unter anderem die Begrenzung der Kupplungsdurchmesser aufgrund des Achsabstandes. Bei Anwendung des Standes der Technik bei der Zahnradauslegung und -fertigung kann vom Verzahnungsgeräusch ein dem Planetengetriebe vergleichbarer Stand - d. h. unhörbar - erreicht werden. Die Schaltqualität ist mit und ohne Freiläufe theoretisch und praktisch gleich gut wie bei Planetengetrieben.

## Planetengetriebe

Die ersten Automatgetriebe wurden in USA für drehmomentstarke Motoren gebaut. Wegen der hohen Leistungsdichte sind dafür Planetengetriebe verwendet worden und stellen bis heute die Standardlösung dar.

Wie bei einem "Doppelkupplungsgetriebe" wird der Gangwechsel ohne Zugkraftunterbrechung von zwei Lastschaltkupplungen übernommen. Wenn man auf den Drehmomentwandler als Anfahrlement nicht verzichtet - um z. B. mit 4 Gängen auszukommen - ergibt sich in der Summe bei Planetengetrieben (s. Bild 8), Stirnradgetrieben oder Doppelkupplungsgetrieben ein ähnlicher Aufwand.

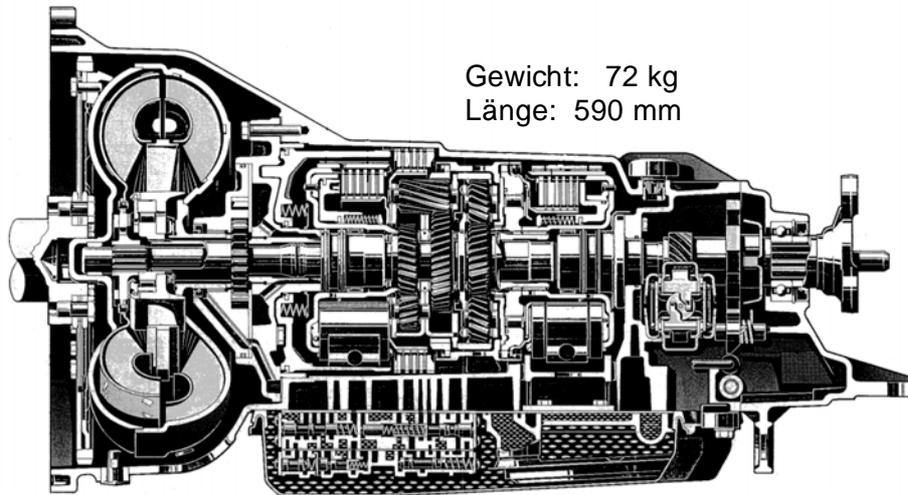


Bild 8: 4-Gang-Automat als Planetengetriebe

All diese Getriebe brauchen für die Ölversorgung des Drehmomentwandlers und der hydraulischen Steuerung eine Ölpumpe. Die hydraulische Steuerung ist letztlich ein analog, teilweise auch digital arbeitender hydraulischer "Rechner". Selbst bei Anwendung einer elektronischen Steuereinheit bleiben einige Funktionen der hydraulischen Steuerung zugeordnet. Da diese als Betriebsmedium Öl braucht und da die Naßkupplungen im Gegensatz zur Kupplung beim Handschaltgetriebe ohne Druck bzw. Kraft kein Drehmoment übertragen können, muß die Pumpe ständig mitlaufen. Die sich damit ergebenden Gesamtwirkungsgrade - bei voll überbrücktem Drehmomentwandler - sind in Bild 9 bei Teillast mit einem 5-Gang-Handschaltgetriebe verglichen. Je nach Ausführung können die Wirkungsgrade unterschiedlich sein.

Wenn ein Drehmomentwandler mit seiner Wandlung das Anfahren unterstützt, kann die Gesamtübersetzung im ersten Gang eines Automatgetriebes etwas "länger" ausgeführt werden als beim Schaltgetriebe. Die Übersetzung im obersten Gang ist meist etwas "kürzer" als beim Schaltgetriebe, was naturgemäß zu höheren Verbräuchen bei höheren Geschwindigkeiten, z. B. Autobahnfahrt, führen muß.

Der Anfahrkomfort ist sehr ähnlich dem HSG mit EKM, jedoch beim Gangwechsel macht sich der Entfall der Zugkraftunterbrechung vorteilhaft bemerkbar und vermindert auch den Beschleunigungsrückstand, der sich aufgrund der geringeren Ganganzahl ergibt.

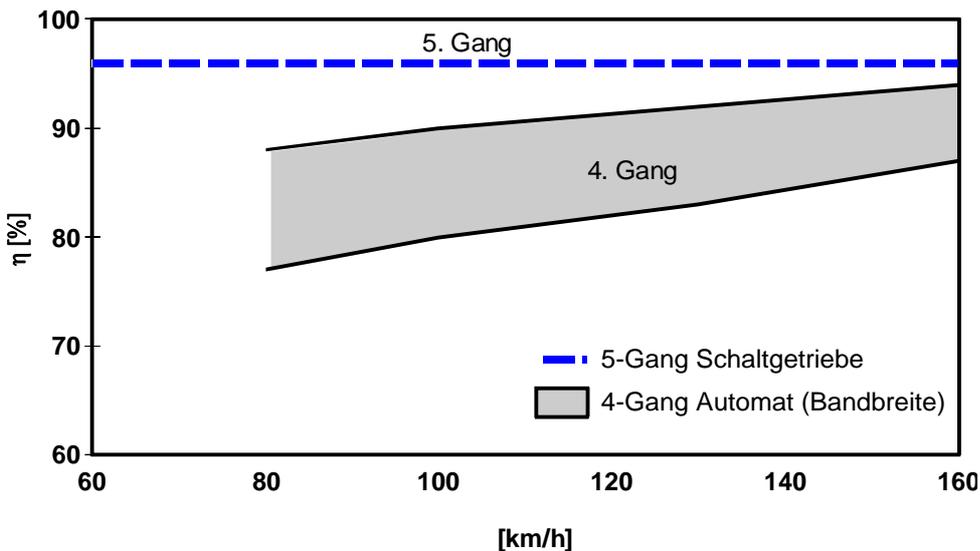


Bild 9: Teillastwirkungsgrad

Das Gesamtgewicht von 4-Gang-Stufenautomaten mit Drehmomentwandler ist deutlich höher als beim 5-Gang-Handschriftgetriebe. Das hat mehrere Gründe:

- Der Drehmomentwandler wiegt etwa gleich viel wie ein Zwei-massenschwungrad, das zumindest in der betrachteten Fahrzeugklasse meist verwendet wird.
- Die Übertragung des Kraftflusses durch reibschlüssige Elemente - Vollastschaltkupplungen - ist gewichtserhöhend. Diese Vollastschaltkupplungen werden zwar mit Öl gekühlt, jedoch ist in einem gewissen Maß eine Zwischenspeicherung der Schaltwärme notwendig. Dies läßt sich nur mit Masse erreichen.

- Die eingefüllte Ölmenge ist wesentlich größer (6 - 8 l) als beim Handschaltgetriebe.
- Auch die hydraulische Steuerung und die dazu benötigte Ölpumpe wiegen mindestens 5 kg. Berücksichtigt man dazu noch den Ölkühler, so wird in dieser Leistungsklasse je nach Konstruktion ein dem Getriebe zuzuordnendes Gesamtgewicht von 70 bis 90 kg erforderlich sein.

Das Bauvolumen der leistungsführenden Teile (Schaltelemente, Planetensätze und Wellen) kann ähnlich liegen wie bei den entsprechenden Komponenten des Schaltgetriebes, jedoch kommt durch Hydrauliksteuerung und Ölsumpf noch zusätzliches Volumen hinzu. Dies ist neben den Kosten wohl der Hauptgrund dafür, daß zwar 5-Gang-Handschaltgetriebe, aber überwiegend nur 4-Gang-Automatgetriebe - vor allem bei Frontantriebsfahrzeugen - eingesetzt werden.

Die Gesamtkosten sind im Vergleich zum Schaltgetriebe (inklusive Schwungrad und Kupplung, etc.) deutlich höher. Der Mehraufwand kann je nach Konstruktion sehr unterschiedlich sein. Werden z. B. zur Vereinfachung der Gangwechselsteuerung Freiläufe verwendet, müssen diese Freiläufe im Schubbetrieb durch zusätzliche Kupplungen überbrückt werden.

### **5-Gang-Stufenautomat mit hydraulischem Drehmomentwandler**

Will man, ohne auf Anfahrsteigfähigkeit zu verzichten, mit einem Automatgetriebe eine ähnliche Overdrive-Übersetzung erreichen wie bei 5-Gang-Handschaltgetrieben, muß im Regelfall ein zusätzlicher Gang eingefügt werden. Der Drehmomentwandler allein konnte bis heute die notwendige Getriebespreizung nicht vollkommen ausgleichen, da die Verluste, z. B. bei Bergfahrt mit Anhänger, sonst einfach zu groß würden. Um die vorhandenen Investitionen für 4-Gang-Getriebe weiterhin nutzen zu können, wird so häufig eine zusätzliche Planetengruppe mit Schaltelementen zugefügt, um ein 5-Gang-Getriebe mit größerer Gesamtspreizung zu erhalten. Diese Getriebe sind dann von der Gesamtspreizung einem 5-Gang-Handschaltgetriebe gleichwertig und können wegen des Drehmomentwandlers als Anfahrhilfe sogar mit einem ausgeprägterem Overdrive-Effekt arbeiten. Die niedrigere Zugkraft im Overdrive-Bereich kann durch die einfache Rückschaltmöglichkeit in den zweithöchsten Gang akzeptiert werden. Hierfür ist allerdings eine geglückte Schaltauslegung sehr schwer zu finden. Verschiedene Testberichte weisen auf eine zu hohe Schalthäufigkeit der oberen beiden Gänge hin.

Die zusätzliche Planetengetriebestufe mit den zwei Schaltelementen bedeutet eine Erhöhung der Kosten um etwa 25 % gegenüber der Basisausführung.

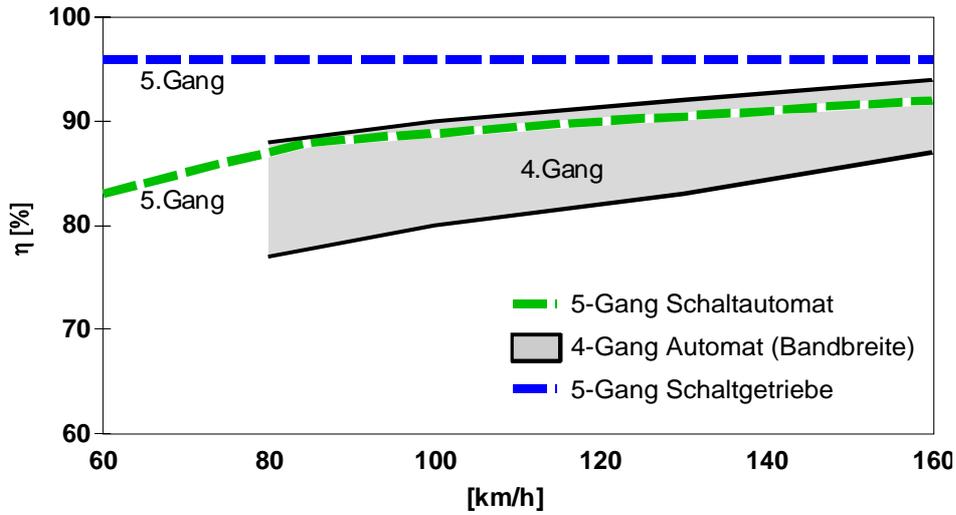
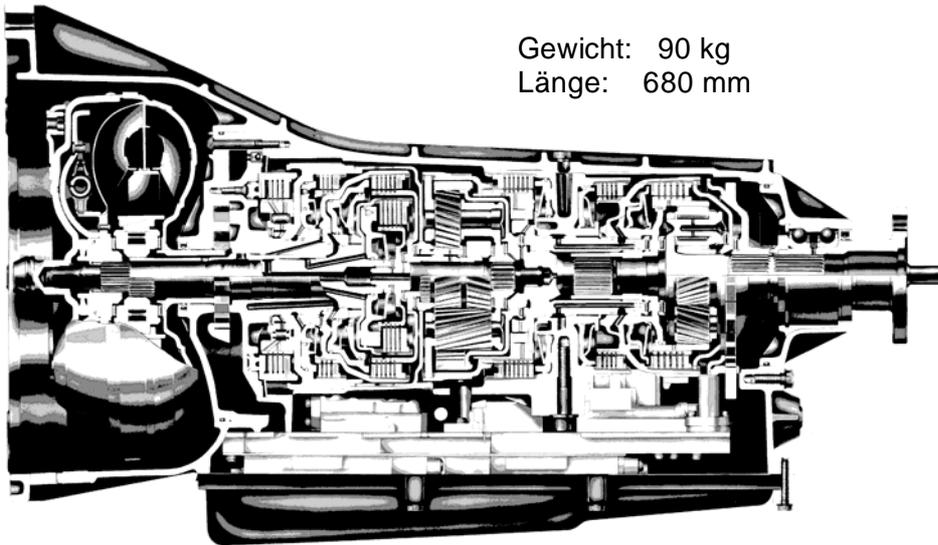


Bild 10: 5-Gang-Automat mit Verlusten

Auch die Gewichtssituation wird wesentlich verschlechtert - 5-Gang-Getriebe in dieser Bauweise können um 100 kg wiegen. Auch vom Bauvolumen konnten sich diese Konzepte nur für Standardantriebsbauweise durchsetzen, da die zusätzliche Verlängerung um eine Ganggruppe bei Frontantrieb nicht unterzubringen ist.



Gewicht: 90 kg  
Länge: 680 mm

Bild 11: 5-Gang-Automat

Weiterhin hat der zusätzliche fünfte Gang höhere Verluste zur Folge, was in Bild 10 andeutungsweise berücksichtigt ist [5]. Hier ist zu beachten, daß die Getriebeeingangsdrehzahl, die wesentlich die Verluste bestimmt (wegen der Ölpumpe), aufgrund des 5. Ganges niedriger ist als beim 4-Gang-Getriebe.

Trotz des höheren Gewichtes und der tendenziell höheren Verluste ist aufgrund der stärker ausgeprägten Overdrive-Übersetzung des 5. Ganges der Verbrauch niedriger als beim 4-Gang-Automat, ja sogar niedriger als beim 5-Gang-Handschatgetriebe bei gleichzeitig verbesserten Fahrleistungen. Ein entsprechendes Getriebe ist in Bild 11 dargestellt.

### **Modifizierter 4-Gang-Automat mit LuK-TorCon-System**

Die ersten Automatgetriebe hatten nur zwei, maximal drei mechanische Gänge, aber dafür hydraulische Drehmomentwandler mit hoher Wandlung und hoher Festbremsdrehzahl. Dies ergab ein sehr komfortables Fahren bei allerdings hohen Verlusten. Im Laufe der Jahre mußte zur Verringerung der Verluste der Wandler steifer ausgeführt werden. Damit war die hohe Anfahrwandlung nicht mehr möglich und mußte durch eine größere Getriebespreizung mit mehr Gängen ausgeglichen werden.

Anfang der 70er Jahre wurde im Zuge der weiteren Verringerung der Verluste der Schlupf des Wandlers zumindest im obersten Gang durch Überbrückungskupplungen eliminiert. Nun hatte man zwar ein verbrauchs-

günstigeres Getriebe, allerdings mit geringerem Komfort. Aus dieser Zeit existiert ein SAE-paper, in dem ein Entwickler sagte: "Als der Wandler überbrückt war, wußten wir erst, was wir für Vorteile verloren hatten."

Auch bei einer Optimierung von Schaltstrategien des Stufenautomaten und des Wandlers mit der Überbrückungskupplung, z. B. durch adaptive Schaltprogramme oder Programmwähler, ist ein Kompromiß zwischen einer reduzierten Schaltheufigkeit und verbrauchs- oder fahrleistungsorientierter Gangwahl sehr schwer zu finden. Selbst wenn die Schaltungen fast unspürbar durchgeführt werden, fällt doch die Motordrehzahländerung zumindest akustisch auf. Ein gestuftes Getriebe bringt immer eine konkrete Zuordnung von Motordrehzahl zur Fahrgeschwindigkeit. Nur im Bereich von hohen Schlüpfen, wie sie bei weichen Wandlern auftreten können, wird die Motordrehzahl bei Beschleunigungs- und Schaltvorgängen fast konstant bleiben. Auch eine höhere Gangzahl - quasi der Weg zum stufenlosen Getriebe - bringt wegen der höheren Schaltheufigkeit eher wieder mehr Probleme. Kann eine noch höhere Gangzahl - über 5 Gänge hinaus - hier helfen?

LuK hat dazu einen anderen Lösungsansatz gefunden.

Besinnt man sich wieder auf die Eigenschaften des hydraulischen Drehmomentwandlers als komfortables stufenloses Getriebe in Kombination mit einer Lock up, so sind nun andere Triebstrangauslegungen mit Getrieben mit weniger Gängen denkbar. Die Gesamtübersetzung im ersten Gang sollte nach wie vor sehr hoch sein, um mit niedrigen Verlusten - teil- oder vollüberbrückt - in diesem Gang hohe Zugkraft für Anhängerbetrieb und ähnliches zur Verfügung zu haben. Die Overdrive-Übersetzung muß ebenfalls "mechanisch" erreicht werden, jedoch können die dazwischen liegenden wenigen Übersetzungen und damit hohen Gangsprünge durch das stufenlose Getriebe "Drehmomentwandler" komfortabel überbrückt werden. Ist dies nur bei Beschleunigungsvorgängen und somit kurzzeitig notwendig, so spielt dort der Wirkungsgrad nur eine untergeordnete Rolle. In vielen Fällen wird die oft kritisierte Schaltheufigkeit speziell aus dem Overdrive nicht mehr notwendig, da der Gang- bzw. Übersetzungswechsel durch den erweiterten Wandlungsbereich des Drehmomentwandlers "stufenlos" durch volles oder teilweises Öffnen der Überbrückungskupplung ersetzt wird. In Bild 12 ist zu sehen, daß der 4. Gang mit dem erhöhten Wandlungsbereich des LuK-TorCon-Systems den 4. und 5. Gang des 5-Gang-Automaten zwischen 60 und 140 km/h abdeckt.

Ein Getriebe mit dem LuK-TorCon-System ist von Aufwand, Verlusten, Gewicht und Kosten ein 4-Gang-Stufenautomat mit den Vorteilen eines 5-Gang-Automaten. Ob die größere Getriebespreizung konstruktiv möglich ist, hängt von der Art des Planetensatzes und den Freiräumen für die andere Dimensionierung von Lagern etc. ab. Die zusätzlichen Entwick-

lungsaufwendungen sind sicher niedriger, auch wenn z. B. die Hydrauliksteuerung überarbeitet werden sollte oder ähnliches.

Speziell bei Lastschaltgetrieben in Vorgelegebauweise scheint der Änderungsaufwand für die Übersetzungsänderung sehr gering. Bei Planetengetrieben werden im Regelfall die Änderungsinvestitionen nicht höher als bei einer Erweiterung zu einem 5-Gang-Getriebe sein. Eine totale Neuinvestition für ein aufwandoptimiertes 5-Gang-Getriebe entfällt.

Die Fahrleistungen für ein Fahrzeug mit solch einem Getriebe und LuK-TorCon-System wurden mit gleicher Übersetzung für den ersten Gang und für den Overdrive wie bei einem 5-Gang-Getriebeautomat gerechnet (Bild 12). Die Beschleunigung wird wegen der größeren Wandlung sogar günstiger, der Verbrauch kann aufgrund der Overdrive-Übersetzung und der geringen Verluste gegenüber dem 5-Gang-Getriebe sogar noch gesenkt werden.

Natürlich ist unter Hintansetzung von Gewicht, Kosten und Bauvolumen ein 5-Gang-Automat mit gleicher Spreizung in wenigen Bereichen noch besser.

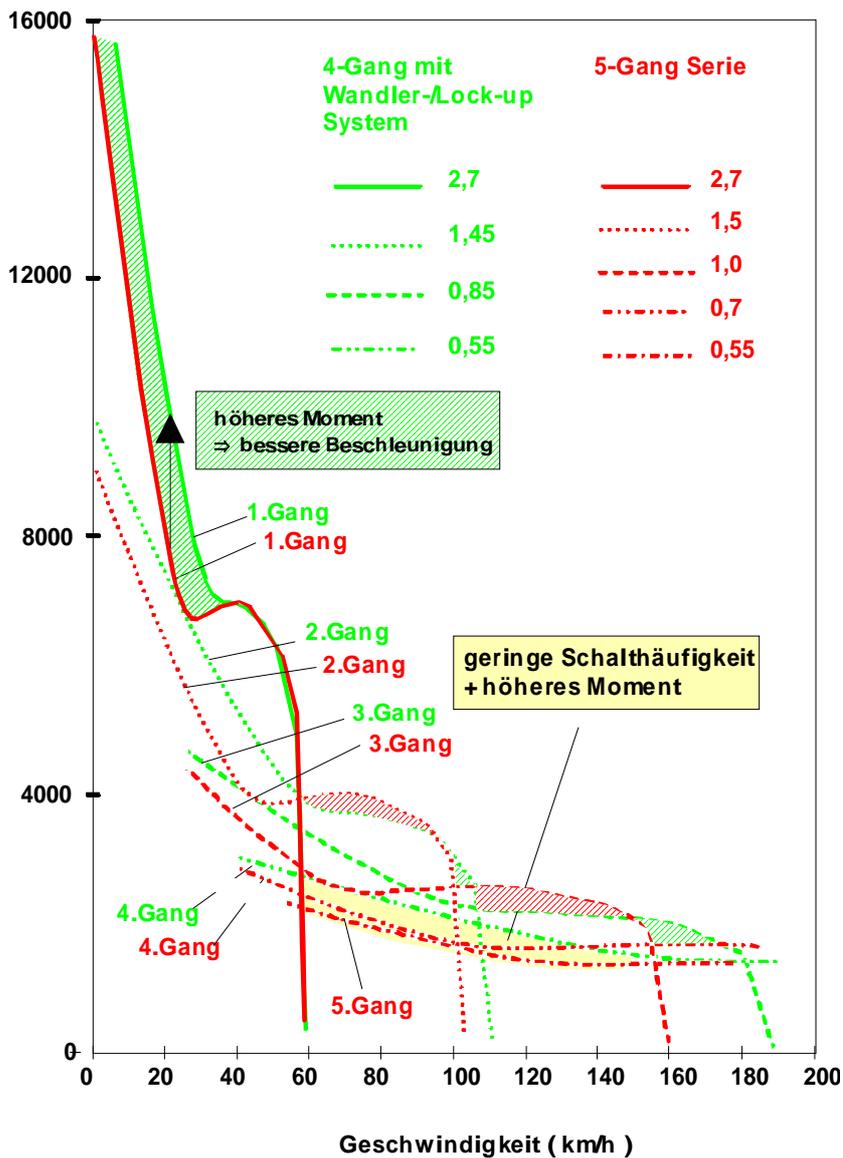


Bild 12: Zugkraftvergleich 5-Gang-Getriebe zu LuK-Konzept

Theoretisch ergibt in jedem Punkt des Fahrleistungskennfeldes eine genau passende Übersetzung den niedrigsten Verbrauch. Berücksichtigt man jedoch die höheren Verluste und die sehr schwierige Schaltphilosophieabstimmung, so scheint vor allem für Frontantriebsfahrzeuge das neue "alte" Konzept mit wenigen Gängen und optimiertem Drehmomentwandler günstig zu sein.

Nutzt man jedoch die 5 Gänge mit noch größerer Gesamtspreizung und diesem Konzept, so kann man die Vorteile eines 6-Gang-Automats herkömmlicher Auslegung erreichen.

## CVT

Der Wunsch nach einer stufenlos variierbaren Getriebeübersetzung existiert schon sehr lange. Der hydraulische Drehmomentwandler ist ein Kompromiß in dieser Richtung. Hier ist jedoch der Wirkungsgrad nicht besonders befriedigend und auch die Übersetzungswahl nicht frei - die Übersetzung ergibt sich im Rahmen der Kennlinien. Sie kann aber mit einer parallelgeschalteten Überbrückungskupplung wie beim LuK-TorCon-System in gewissen Grenzen zusätzlich beeinflusst werden.

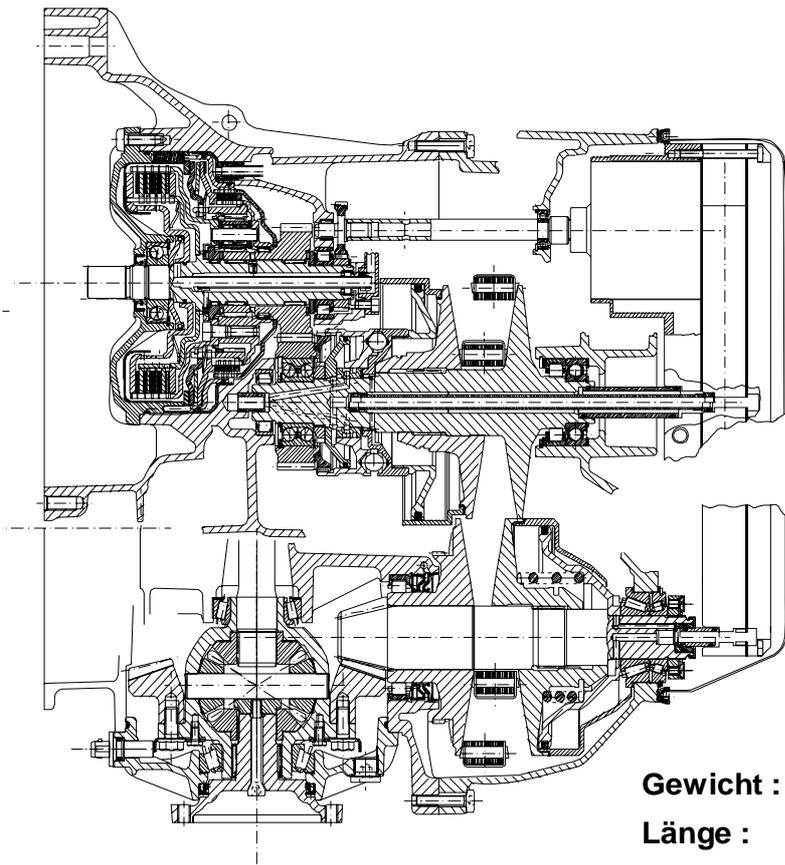
Bei mechanischen stufenlosen Getrieben wird die Übersetzung durch gleichzeitige Änderung der Reibradien von Kraftübertragungselementen variiert. Es gibt dazu unterschiedliche Lösungsansätze, einer davon wird nachfolgend gezeigt.

LuK hat zusammen mit anderen Partnern ein stufenloses Getriebe für ca. 250 Nm als Prototyp entwickelt (Bild 13).

Das Kernstück - der Variator - besteht aus konischen Scheiben und dazwischen einem Umschlingungselement. Dieses Umschlingungselement war bei den ersten stufenlosen Getrieben, die bei DAF im Jahre 1959 eingesetzt wurden, aus Gummi. Damit wurden über 1 Million Getriebe gebaut. Inzwischen werden wegen höherer Leistungen und der Forderung nach höherer Lebensdauer metallische Umschlingungselemente benutzt. Am weitesten verbreitet ist hier das Van-Doorne-Band. Viele Prototypen und eine Serienanwendung operieren auch mit Ketten.

Da bei diesen Getrieben die Leistung durch Reibung zwischen den Kegelscheiben und dem Umschlingungselement übertragen wird, sind bei der Paarung Stahl-Stahl wegen des niedrigen Reibwertes hohe Anpreßkräfte notwendig. Die dabei besonders beanspruchten Übertragungselemente, wie die Scheibensätze, Wellen, etc., müssen entsprechend stark dimensioniert sein.

Stufenlose Getriebe bieten bei den zur Zeit bekannten Ausführungen Gesamtübersetzungsbereiche zwischen fünf und sechs. Das heißt, daß stufenlose Getriebe Übersetzungen ermöglichen, die sonst nur mit fünf oder sechs mechanischen Gängen eines Automatgetriebes überdeckt werden können.



**Gewicht : 90kg**  
**Länge : 590 mm**

Bild 13: CVT für 250 Nm (Prototyp)

Diesen großen Übersetzungsbereich kann man einerseits zur Entlastung des Anfahr-elementes nutzen - hier geht die Belastung quadratisch zur Gesamtübersetzung im Underdrive ein. Andererseits kann man auch einen Teil des größeren Übersetzungsbereiches zur Ausbildung einer Overdrive-Charakteristik einsetzen.

Die in der Vergangenheit ausgeführten Getriebe hatten relativ hohe Verluste. Die hohen Anpreßkräfte der Scheibensätze benötigen höhere Öl-drücke und für eine ausreichend schnelle Verstellung der Kegelscheiben eine große Ölmenge, so daß die Ölpumpenleistung deutlich höher als bei Stufenautomaten liegen kann. Der Auswahl des geeigneten Pumpen-konzepts kommt daher große Bedeutung zu.

Eine weitere Verlustquelle ist im sogenannten spiraligen Lauf zu sehen. Die Kette wird an den Anpreßstellen vom Einlauf zum Auslauf zunehmend nach innen gezogen, was zusätzliche Verluste ergibt. Diese kann man mit steifer ausgeführten Scheiben und Wellen minimieren [6].

Die Verluste durch Dichtringreibung würden wegen der höheren Drücke eigentlich stärker ausfallen als bei Stufenautomatgetrieben. Da jedoch weniger Elemente zu bedienen sind, können die Dichtungen auf sehr kleinem Durchmesser am Wellenende angeordnet werden, so daß die Gesamtsumme dieser Verluste klein ist.

Außerdem kommt das stufenlose Getriebe mit weniger Elementen als der Stufenautomat aus - das heißt, daß Ventilationsverluste von geöffneten Schaltelementen und ähnlichem geringer sind.

Eine sehr große Bedeutung kommt der präzisen Anpressung der Scheibensätze an die Kette bzw. das Band zu. Wie man sich leicht vorstellen kann, ergibt eine Anpressung über das notwendige Maß hinaus zusätzliche Reibungsverluste zwischen Scheibe und Umschlingungselement, aber auch die Pumpenleistung steigt aufgrund des höheren Drucks. Das von LuK nach diesen Gesichtspunkten optimierte stufenlose Getriebe konnte in der Verlustleistung im äußerst wichtigen Teillastbereich Werte von sehr guten 4-Gang-Stufenautomaten erreichen (Bild 14). Die meisten 4- und 5-Gang-Stufenautomatgetriebe haben bei kleinerer Spreizung schlechtere Wirkungsgrade!

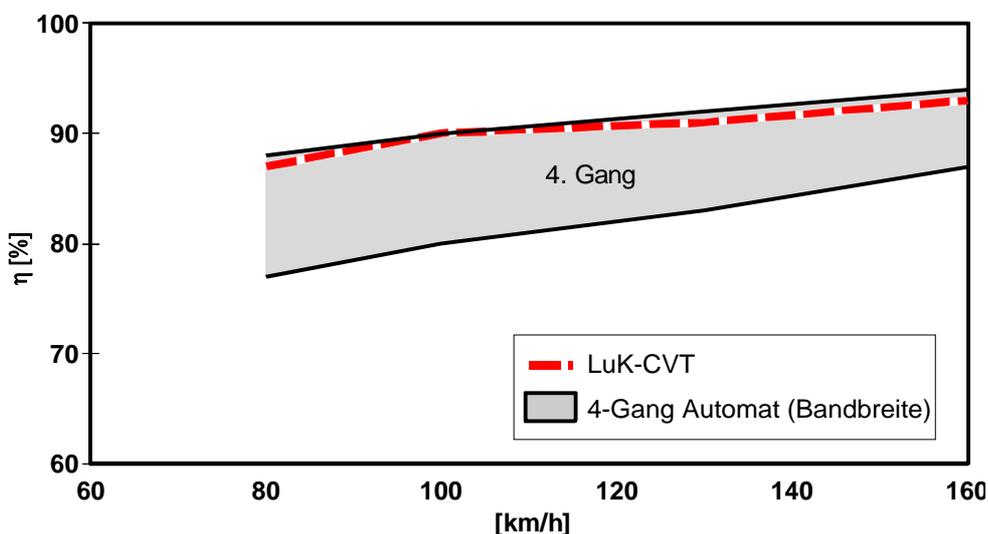


Bild 14: Vergleich Teillastwirkungsgrade

Bisherige stufenlose Getriebe hatten relativ schlechte Teillastwirkungsgrade. Die größere Gesamtspreizung im Vergleich zum Stufenautomat ermöglichte jedoch den Betrieb mit mehr Overdrive-Effekt. Dies ergibt im Motor einen günstigeren Betriebspunkt, so daß gesamtheitlich betrachtet die Verluste Motor und Getriebe geringer waren.

Der Betrieb im extremen Overdrive wurde jedoch vielfach beanstandet. Das Fahrzeug macht einen "müden" Eindruck.

Hat nun das stufenlose Getriebe einen sehr guten Teillastwirkungsgrad, so kann man den Einsatz der Overdrive-Übersetzung nach der möglichen Akzeptanz wählen. Verbrauchsvorteile im Vergleich zum Handschaltgetriebe, das nicht "streng" verbrauchsgünstig betrieben wird, sind wie mit allen Automatgetrieben bei verbrauchsoptimierter Übersetzungswahl möglich. Allerdings wird der Vorteil der stufenlosen Übersetzung - das Betreiben im jeweiligen Verbrauchsoptimum des Motors - überschätzt. Der Verbrauchsvorteil von stufenlosen Getrieben liegt vor allem in der großen Spreizung und damit in der Overdrive-Charakteristik begründet.

Widersprüche gibt es bei den Zielsetzungen für das Verstellverhalten des Getriebes. Die kompromißlose Betreibung des Motors im jeweils günstigsten Bereich hat oft Kritik hervorgerufen, da nun die völlig ungewohnte Akustik des Motordrehzahlverlaufs im Vergleich zum Stufengetriebe Kritik hervorruft. Andererseits wird beim Stufengetriebe selbst bei excellentem und nicht wahrnehmbarem Schaltkomfort die Motordrehzahländerung bei Übersetzungsänderung kritisiert. Hier ist ein Gewöhnungsprozeß bzw. eine geschickte Kompromißauslegung notwendig. In den USA ist ein dem CVT entsprechendes Drehzahlverhalten bei Fahrzeugen mit Stufenautomat und "weichem" Drehmomentwandler schon längst akzeptiert.

Das Gesamtgewicht von stufenlosen Getrieben kann aufgrund der notwendigen steifen Ausführung von Scheibensätzen und Wellen höher liegen als bei vergleichbaren 4-Gang-Automatgetrieben. Es gibt hier jedoch einige Optimierungsmöglichkeiten. Nutzt man z. B. bei einem stufenlosen Getriebe den erhöhten Spreizungsbereich zur Vergrößerung der Anfahrübersetzung, so kann mit einer Anfahrkupplung anstelle eines Drehmomentwandlers gearbeitet werden.

Vergleicht man stufenlose Getriebe mit den leistungsgleichen 5-Gang-Automatgetrieben, so ist sogar ein Gewichtsvorteil des stufenlosen Getriebes vorstellbar.

Auch beim Bauvolumen muß man leistungsgleiche Stufenautomaten zum Vergleich nehmen. Ist insbesondere vom Fahrzeugkonzept ein Achsversatz zwischen Eingangs- und Ausgangswelle notwendig, so sind hier stufenlose Umschlingungsgetriebe bauartbedingt günstig.

Für einen Vergleich der Hersteaufwendungen ist es sinnvoll, zuerst aufwandsähnliche Baugruppen als kostenneutral auszugrenzen. Setzt man eine elektronische Steuerung voraus, werden die Gesamtkosten für Ölpumpe und Steuerung bei Stufenautomat und stufenlosem Getriebe ähnlich sein. Auch Getriebegehäuse und Ölwanne können als kostenneutral betrachtet werden. Im Vergleich zu den Radsätzen und Schaltelementen eines 4-Gang-Automaten wird die Vorwärts-/Rückwärts-

Wechseleinheit (1 Planetensatz und 2 Kupplungen) des stufenlosen Getriebes in etwa 1/3 des Aufwandes betragen, wenn davon ausgegangen wird, daß beim 4-Gang-Automaten mindestens 5 Kupplungen und 3 Planetensätze verwendet werden. Der eigentliche Variator mit Kegelscheiben und Umschlingungselement müßte in den Bauaufwendungen ähnlich liegen wie 3 Kupplungen und 2 Planetensätze, um gleiche Fertigungskosten wie beim Stufenautomat zu erreichen. Dies scheint möglich zu sein.

Ob ein stufenloses Getriebe mehr oder weniger Zwischenwellen zwischen Getriebeeingangswelle und Abtriebswelle benötigt, hängt hauptsächlich vom Bauraum, insbesondere dem Achsabstand ab. Hier können z. B. bei Zweiwelligkeit Vorteile, bei vier Wellen aber auch Nachteile im Bauaufwand auftreten.

Wie schon vorher erwähnt, kann aufgrund der großen Spreizung eventuell der Drehmomentwandler als Anfahrlement entfallen.

Auch wenn diese Betrachtung nur relativ grob ist, zeigt sie jedoch, daß je nach Vorgaben stufenlose Getriebe günstiger oder annähernd gleichgünstig wie 4-Gang-Automaten gebaut werden können, mit hoher Wahrscheinlichkeit jedoch kostengünstiger als 5-Gang-Automaten sind.

Über den Gangwechsel, das heißt Übersetzungswechselkomfort, braucht wohl nicht diskutiert zu werden. Hier ist speziell bei elektronischer Steuerung jegliche Möglichkeit im Rahmen der Physik gegeben. So kann natürlich bei einer Motordrehzahlerhöhung nur ein Teil des Motormomentes für die Fahrzeugbeschleunigung benutzt werden, da der andere Teil für die Motoreigenbeschleunigung verlorengelht. Nur diese Grenzen müssen berücksichtigt werden, alles andere läßt sich frei wählen.

## **Quervergleich - Rahmenbedingungen**

### **Übersetzungseinfluß**

Für den Einfluß auf den Verbrauch ist einerseits hauptsächlich die Overdrive-Gesamtübersetzung maßgebend. Andererseits ist für gutes Beschleunigungsverhalten und Anhängezugfähigkeit eine Mindestübersetzung im ersten Gang oder Underdrive notwendig. Diese Mindestübersetzung dient auch der Reduzierung der Verluste im Anfahrlement bei schweren Anfahrten - gleichgültig ob dies eine Kupplung oder ein hydraulischer Drehmomentwandler ist.

	Schalt- getriebe	4-Gang- AG konv.	5-Gang- AG konv.	4-Gang- Ag LuK	CVT
Underdrive-Übersetzung	14.17	12.62	11.88	11.88	13.25
Overdrive-Übersetzung	2.94	3.27	2.30	2.30	2.21
Spreizung	4.82	3.86	5.16	5.16	6.00

Tabelle 1: Quervergleich verschiedener Antriebskonzepte

Die Auslegung der Anfahrübersetzung und speziell des Overdrives wurde für diese Vergleiche nach Herstellerangaben übernommen, obwohl manchmal eine ausgeprägtere Overdrive-Auslegung möglich wäre. Bei Handschaltgetrieben wird eine zu stark als Schongang ausgelegte Übersetzung zumindest von den Fahrzeugtestern, aber wohl auch vom Markt, nicht akzeptiert. Sie ist daher sehr maßvoll ausgeführt, um eine gute Elastizität im 5. Gang zu erhalten.

Um beim 4-Gang-Automatgetriebe keine Kompromisse in der Zugkraft im 1. Gang zu machen, ergab sich bei der vom ausgeführten Getriebe gegebenen Spreizung im obersten Gang eine Auslegung, die ungefähr die Höchstgeschwindigkeit beim Leistungsmaximum erreicht. Eine Verschiebung der Gesamtauslegung zu niedrigeren Gesamtübersetzungen hätte also einen Verlust an Höchstgeschwindigkeit ergeben.

Beim 5-Gang-Getriebeautomat wird die Höchstgeschwindigkeit im 4. Gang erreicht. Der 5. Gang wird voll als Overdrive genutzt und der 1. Gang ergibt eine ausreichende Zugkraft.

Im 4-Gang-Konzept mit LuK-TorCon-System ist der 1. Gang und oberste Gang gleich wie beim 5-Gang-Getriebe ausgelegt, die Höchstgeschwindigkeit wird im 3. Gang erreicht.

Beim CVT wird die größere Gesamtspreizung teilweise für einen noch längeren Overdrive genutzt, ein Teil der Spreizung wird aber auch für eine kürzere Underdrive-Übersetzung eingesetzt, um als Anfahrlement eine Naßkupplung verwenden zu können, die Vorteile in Kosten und Gewicht bringt.

## **Verbrauchsteststrecke**

Durch den Einsatz eines Zweimassenschwungrades oder DFCs können Triebstränge ohne Brumm- und Rasselgeräusche bis zur Leerlaufdrehzahl betrieben werden. Dies kann bereits eine Verringerung des Verbrauchs bewirken. Allerdings wird der Fahrer doch mit einem gewissen Sicherheitsabstand zur Leerlaufdrehzahl auskuppeln, da er es vermeiden will, den Motor abzuwürgen. Dies entfällt bei Einsatz einer automatisierten Trennkupplung. Da sämtliche Ein- und Auskuppelvorgänge automatisiert durchgeführt werden, kann darüber hinaus eine Änderung im gesamten Fahrverhalten erwartet werden.

Eine Änderung des Fahrverhaltens wird eine Auswirkung auf den Verbrauch haben. Da in den offiziellen Testzyklen die Schaltpunkte vorgeschrieben sind, und daher keine Auswirkung des automatisierten Kupplungsmanagements festzustellen ist, wurde - wie in einem vorhergehenden Vortrag berichtet - eine Teststrecke mit Stadt-, Überland- und Autobahnanteil festgelegt. Diese Teststrecke wurde mit und ohne automatisiertem Kupplungsmanagement von mehreren Personen befahren.

Die Summenhäufigkeit der eingesetzten Leistung liegt ähnlich wie in offiziellen Zyklen (Bild 15). Der Fahrer mit dem höchsten bzw. niedrigsten Leistungseinsatz ist als Grenzlinie angeführt. Da die hauptsächlich verwendeten Leistungen vom Betrag sehr niedrig sind, haben die Teillastwirkungsgrade - beispielhaft bei Straßenlast (Ebene) - hohe Bedeutung und wurden daher bei den vorangegangenen Getriebebeschreibungen besonders dargestellt.

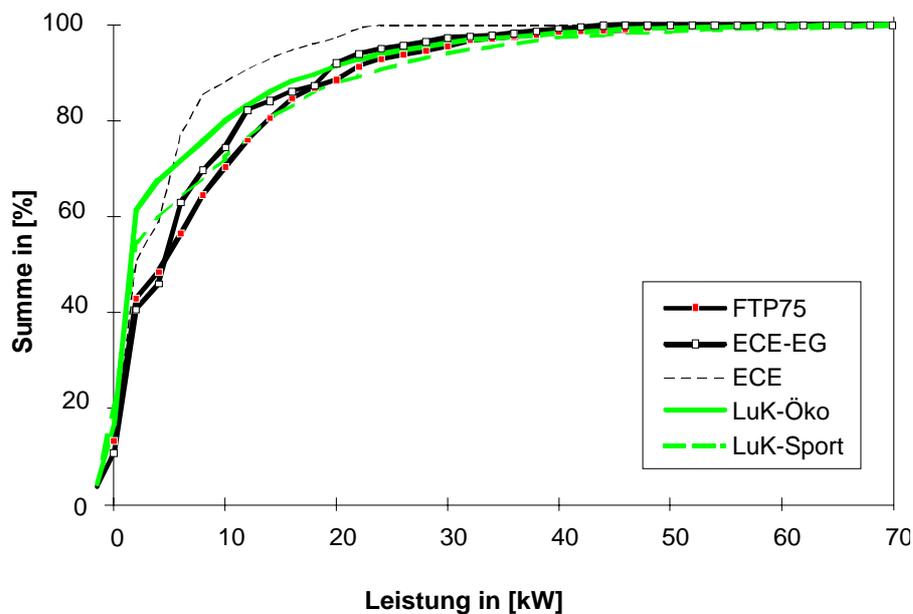


Bild 15: Summenhäufigkeitsverteilung der Leistung

Bei der Auswertung gab es einige Überraschungen. Fast alle Fahrer hatten mit dem automatischen Kupplungsmanagement eine höhere Durchschnittsgeschwindigkeit erzielt. Dies kann einerseits auf eine bessere Konzentration auf das Verkehrsgeschehen, andererseits aber auf häufigeres Zurückschalten bei Beschleunigungsvorgängen zurückgeführt werden. Die Mühseligkeit einer Rückschaltung ohne EKM mit dem möglichen Komfortverlust, wenn speziell der Einkuppelvorgang nicht sehr präzise ausgeführt wird, lässt wohl viele Fahrer auf die höhere Motorleistung im niederen Gang verzichten. Vielleicht könnte daher mit einem automatisierten Kupplungsmanagement die Übersetzung des obersten Ganges stärker als üblich mit Overdrive-Charakteristik ausgeführt werden, da nun die Hemmschwelle zum Zurückschalten niedriger ist. Damit könnte der Verbrauch gesenkt werden.

Die Verbrauchsdifferenzen der einzelnen Automatisierungskonzepte im Vergleich zum Handschaltgetriebe fallen je nach Teststrecke unterschiedlich aus (Bild 16). Da die Autobahnstrecke mit hoher Durchschnittsgeschwindigkeit gefahren wurde, können nur ausgeprägte Overdrive-übersetzungen gepaart mit niedrigen Verlusten (z. B. 4-AG-LuK) deutliche Vorteile zum 5-Gang-Handschaltgetriebe bringen. Die gewählte fahrleistungsbetonte Verstellstrategie des CVT ist der Grund für die Verbrauchsgleichheit zum HSG. Bei Überlandfahrt mit Ortsdurchfahrten und noch ausgeprägter beim reinen Stadtverkehr sind alle Automatversionen

dem Schaltgetriebe mindestens gleichwertig, aber zum Teil erheblich überlegen.

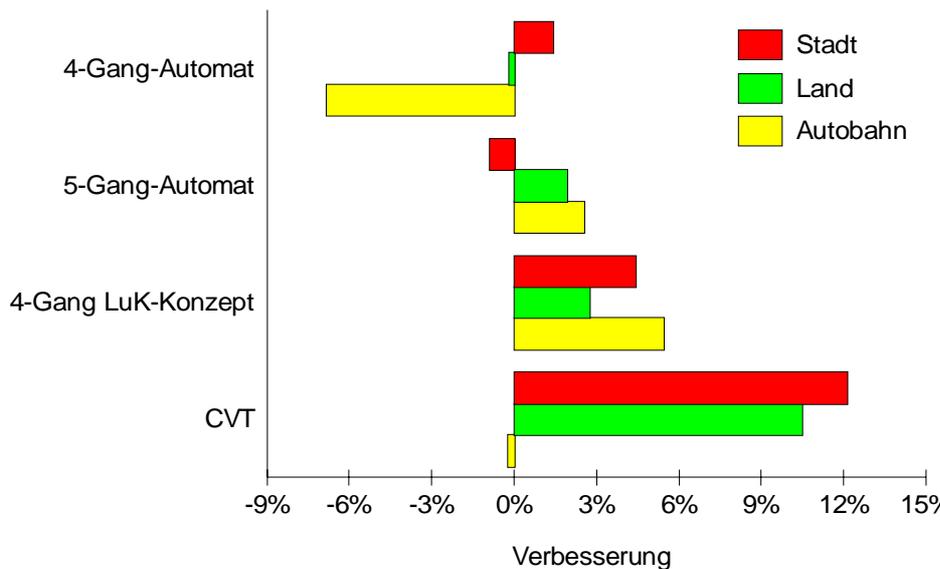


Bild 16: Verbrauchsvergleich zu Schaltgetriebe mit EKM

### Fahrleistungsbewertung

Als Vergleichsmaßstab für die Fahrleistung wird die Beschleunigung von 0 auf 100 km/h genommen (Bild 17). Bei der Vollastbeschleunigung mit fußkraftbetätigter Kupplung wurde auf den manchmal gebräuchlichen "Knallstart" verzichtet; es wurde ein kundentypischer Anfahrvorgang, wie im Bild 3 gezeigt, gewählt.

Auf eine sogenannte Elastizitätsbewertung wurde verzichtet, da diese bei Automatkonzepten sehr stark von der Rückschaltphilosophie bzw. bei stufenlosen Getrieben von der Verstellphilosophie abhängt.

Alle Verbrauchs- und Fahrleistungsdaten wurden in Simulationsrechnungen ermittelt. Die meisten Simulationsrechnungen konnten auch im Fahrzeug mit Meßwerten abgeglichen werden, so daß der Quervergleich aussagekräftig ist.

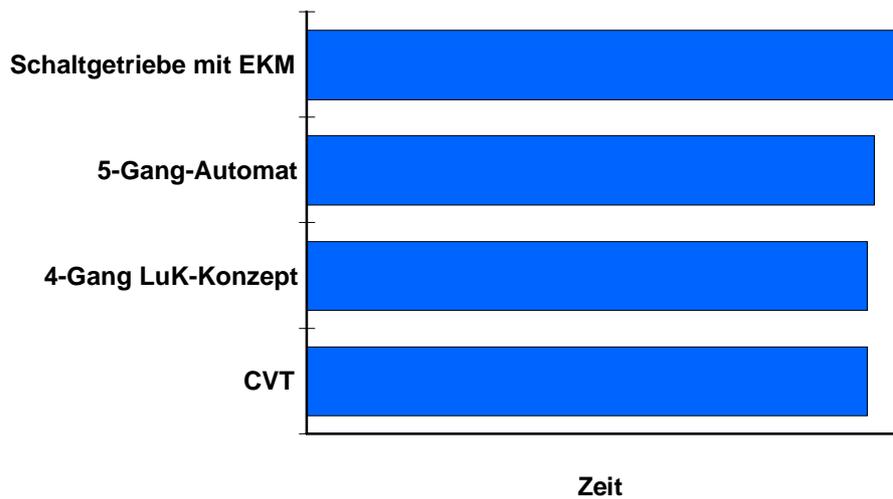


Bild 17: Beschleunigungsvergleich von 0 auf 100 km/h

### Bauraum, Gewicht

Aufgrund der in den vorhergehenden Kapiteln genannten Daten wird versucht, einen Quervergleich der verschiedenen Konzepte durchzuführen. Speziell beim Gewicht haben wir uns bemüht, von den heute am Markt befindlichen Getrieben besonders günstige auszuwählen.

Selbstverständlich werden an dieser Stelle Getriebe ähnlicher Technologie betrachtet, d. h., wenn z. B. bei Stufenautomatgetrieben durch den Ersatz von Freiläufen mittels elektronischer Steuerung Bauraum und Gewicht gespart wird, so gilt das für 4- und 5-Gang-Getriebe gleichermaßen. Auch wurde beim Stufenautomat ein sogenanntes Gruppenwechselprinzip nicht betrachtet, mit dem sich z. B. aus bestimmten 4-Gang-Automaten mittels Gruppenwechsel 5- bzw. 6-Gang-Automaten bei gleicher Spreizung, aber modifizierter Steuerung machen lassen. Bei einem quantitativen Vergleich aller Getriebe muß beachtet werden, daß CVT und 4-Gang-Vorgelegeautomat für Frontantrieb konzipiert sind und das integrierte Differential zusätzlich Bauraum und Gewicht erfordert.

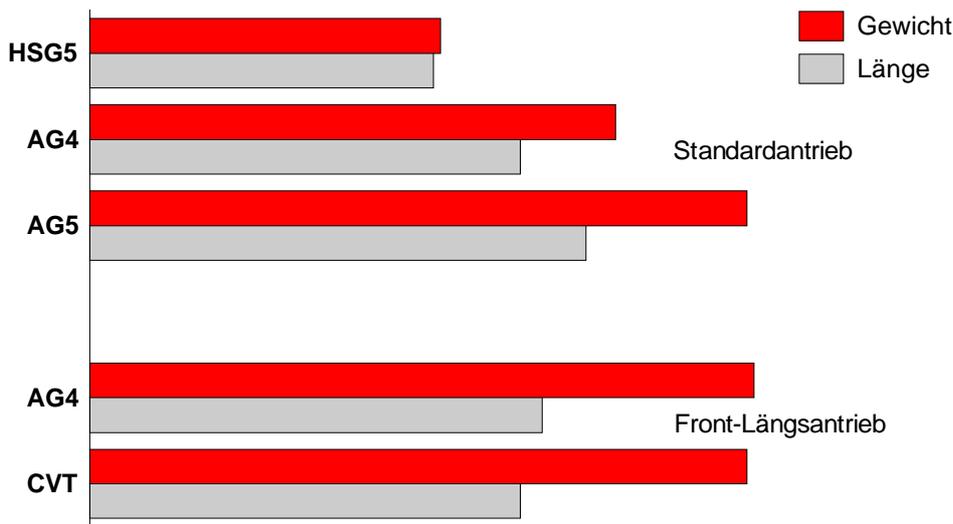


Bild 18: Längen- und Gewichtsvergleich

### Kosten

Bei den Herstellkosten spielen auch die Fertigungsstückzahlen eine große Rolle und verzerren oft das Bild. Während z. B. in den USA bei 10 % Schaltgetriebeanteil die Fertigungskosten für Handschaltgetriebe ca. 100 % höher als in Europa liegen können, ist es hier bei Automatgetrieben genau umgekehrt. Große amerikanische Automatgetriebewerke produzieren täglich die Stückzahl, die bei manchen Automatgetriebewerken in Europa in einem Monat hergestellt wird! So kann ein in den USA gefertigtes Automatgetriebe durchaus kostengünstiger sein als ein in kleinen Stückzahlen gefertigtes Schaltgetriebe.

Besonders stark betroffen bei den Herstellkosten könnten hierbei stufenlose Getriebe sein, die bis heute nur in niedrigen Stückzahlen produziert werden. Es wurde versucht, diese Effekte in dem Herstellkostenvergleich zu berücksichtigen und alle Getriebekonzepte bei vergleichbaren Stückzahlen und Entwicklungsständen zu betrachten. Elektronische Steuerung wurde bei allen Konzepten vorausgesetzt. Das Bild 19 zeigt einen Vergleich der Produktionskosten.

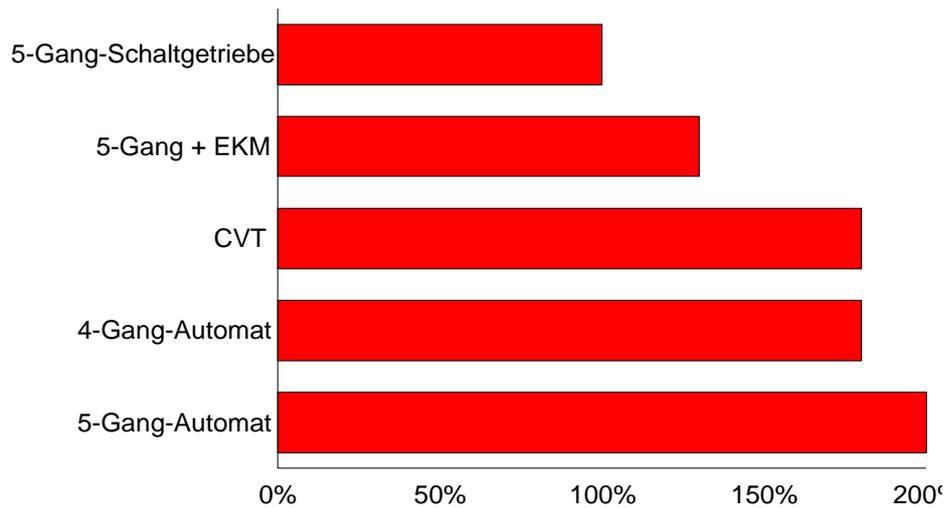


Bild 19: Herstellkostenvergleich (Schätzung)

## Resümee

Die Tabelle 2 zeigt nun eine vergleichende Bewertung. Das 4-Gang-Automatgetriebe wurde als Standardlösung des automatisierten Triebstrangs als Bezugsmarke gesehen.

	SG5	EKM	AG4	AG5	AG4 LuK	CVT
Komfort	--	-	0	-	+	++
Verbrauch	+	+	0	+	++	++
Abgas	-	-	0	0	++	++
Beschleunigung	+	+	0	+	+	+
Bauraum	++	++	0	-	0	0
Gewicht	++	++	0	-	0	0
Kosten	+++	++	0	-	0	0

Tabelle 2: Vergleich verschiedener Antriebskonzepte

**Komfort:**

Beim Handschaltgetriebe mit fußkraftbetätigter Kupplung ist der Fahrkomfort bei Gang- und Lastwechseln fast nur vom Fahrer abhängig. Das Elektronische Kupplungsmanagement kann hier mit entsprechenden Strategien eine Komfortverbesserung bringen, allerdings wegen der Zugkraftunterbrechung bei der Hochschaltung nicht mit dem Vollautomat mithalten.

Das 5-Gang-Automatgetriebe wurde vom Komfort gegenüber dem 4-Gang-Automatgetriebe etwas schlechter eingestuft, da die höhere Schalthäufigkeit zu Beanstandungen führen kann. Das 4-Gang-Automatkonzept mit dem LuK-TorCon-System hat aufgrund der selteneren Schaltvorgänge und dem betont weich ausgelegten Wandler ähnlich wie frühere Automatgetriebe einen hervorragenden Komfort. Dies konnte in umfangreichen Simulationsrechnungen festgestellt und auch an einzelnen Schaltungen ausgeführter Automaten überprüft werden. Das stufenlose Getriebe hat naturgemäß den höchsten Komfort - wer längere Zeit mit einem Auto gefahren ist, das mit so einem Getriebe ausgerüstet ist, wird jeden Wechsel zu einem herkömmlichen Getriebe als Rückschritt betrachten.

**Verbrauch:**

Schaltgetriebe und automatisierte Kupplung haben gegenüber 4-Gang-Automaten Verbrauchsvorteile, insbesondere wenn Landstraßen und Autobahnstrecken einen hohen Anteil haben. Im Stadtverkehr kann jedoch schon ein 4-Gang-Automat aufgrund der meist günstigeren Gangwahl Verbrauchsvorteile erreichen. 5-Gang-Automaten haben im Regelfall dazu noch den Vorteil eines echten Overdrives. Beim 4-Gang-Automat-Konzept mit dem LuK-TorCon-System können die Verluste gegenüber dem 5-Gang-Automat verkleinert werden, was nochmalige Verbrauchsvorteile ergibt. In etwa gleiche Verbrauchsergebnisse kann ein stufenloses Getriebe erreichen.

**Abgas:**

Schaltgetriebe mit automatisierter Kupplung und alle Automatgetriebe haben die Möglichkeit, über eine sogenannte Start/Stop-Funktion den Motor z. B. im Fahrzeugstillstand abzuschalten und damit Abgas und Geräusch zu verbessern. 4-Gang-Automaten nutzen heute schon vielfach die Möglichkeiten eines Motor/Getriebemanagements, um vor allem in der Warmlaufphase den Katalysator schneller zum Ansprechen zu bringen und damit das Abgasverhalten zu verbessern. Das LuK-TorCon-System und das stufenlose Getriebe erlauben hier eine noch gezieltere Betriebsweise, so daß Abgasverbesserungen von bis zu 30 % gemessen werden konnten.

### **Beschleunigung:**

Das elektronische Kupplungsmanagement erlaubt es auch weniger geübten Fahrern, gute Beschleunigungswerte zu erreichen. Wie unsere Vergleichstests gezeigt haben, wird auch durch häufigeres Rückschalten die vorhandene Motorleistung im Bedarfsfall eher genutzt. Aufgrund der höheren Verluste und geringeren Spreizung schneiden 4-Gang-Automaten in dieser Disziplin meist schlechter ab. 5-Gang-Automaten, 4-Gang-Automaten mit LuK-TorCon-System und CVT können im Beschleunigungsverhalten gegenüber Schaltgetrieben sogar Vorteile haben. Die höheren Verluste werden durch den Entfall der Zugkraftunterbrechung bei der Schaltung oder beim CVT durch die Möglichkeit, immer die maximale Motorleistung zu nutzen, mehr als ausgeglichen.

### **Bauraum, Gewicht, Kosten:**

Hier haben Schaltgetriebe und Elektronisches Kupplungsmanagement eindeutige Vorteile. Für 5-Gang-Automaten müssen sich bauartbedingt größere Nachteile ergeben als für 4-Gang-Automaten und stufenlose Getriebe.

Aufgrund der vorangegangenen analysierten Zusammenhänge werden sich unseres Erachtens in Zukunft möglicherweise drei Schwerpunkte für automatisierte Triebstränge bilden:

- 5-Gang-Handschaltgetriebe mit automatisierter Kupplung
- 4-Gang-Stufenautomat mit optimiertem Drehmomentwandler
- Stufenlose Getriebe

Während die ersten beiden Konzepte von der Technologie her weitgehend bekannt sind und meist vorhandene Investitionen weitgehend übernommen werden können, ergibt sich beim stufenlosen Getriebe doch in einigen Bereichen eine deutliche Änderung im Investment. Allerdings ist der Unterschied nicht so groß wie oft angenommen, da sich hauptsächlich nur der Variator mit dem Umschlingungselement vom konventionellen Stufenautomatgetriebe unterscheidet. Speziell bei einer elektronischen Steuerung ist doch vieles dem Stufenautomaten sehr ähnlich. So kann angenommen werden, daß speziell bei weiteren Anstrengungen, den Verbrauch und die Abgaswerte eines Fahrzeugs zu senken, dem stufenlose Getriebe eine große Zukunft vorhergesagt werden kann.

## Literatur

- [1] VDI-Bericht Nr. 977, S. 175 Dr. Wagner
- [2] VDI-Bericht Nr. 878, S. 57 Jürgens
- [3] VDI-Bericht Nr. 977, S. 527 Jürgens, Dr. Fischer
- [4] ATZ 89 (1987) 9, S. 439
- [5] ATZ 91 (1989) 9, S. 444
- [6] Dissertation, Technische Hochschule Karlsruhe, 1953 O. Dittrich  
Theorie des Umschlingungsgetriebes mit keilförmigen Reibscheibenflanken

