

Wandlerüberbrückungssysteme

Dr. techn. **Robert Fischer**
Dipl.-Ing. **Dieter Otto**

Einleitung

Die moderne Antriebstechnik bei Fahrzeugen hat insbesondere die Aufgabe unter Beachtung von Komfortgesichtspunkten einen günstigen Gesamtwirkungsgrad zu garantieren und die Möglichkeiten des Antriebs in Hinblick auf maximale Beschleunigung bei günstigem Verbrauch auszuschöpfen. Gleichzeitig müssen die immer strenger werdenden Emissionsforderungen beachtet werden. Diese Forderungen wirken häufig gegenläufig, so daß Emissionsverbesserungen oft nur auf Kosten von Gewicht, Verbrauch und Beschleunigungsvermögen zu erreichen sind, ganz abgesehen von den dadurch ständig steigenden Kosten [1].

Die LuK hat ein Wandlerüberbrückungssystem - LuK-TorCon-System genannt - entwickelt, von dem sie glaubt, daß es entgegen dieser Tendenz den Komfort erhöht, den Verbrauch und die Emission senkt und die Beschleunigung verbessert, und mit dem es sogar gelingt, einem 4-Gang-Automaten Eigenschaften zu geben, die einem konventionellen 5-Gang-Automaten überlegen sind. Das heißt, überall dort, wo man heute aus Verbrauchs- und Beschleunigungsgründen ein aufwendiges 5-Gang-Getriebe einsetzt, kann mit einem 4-Gang-Getriebe gleiches erreicht werden.

Bei der LuK wird auch auf dem Sektor der Automatgetriebe das Gesamtsystemdenken in den Vordergrund gestellt. Das entspricht auch der Forderung der Automobilindustrie nach dem Systemlieferanten.

Aufgrund der Randbedingungen ist es nicht möglich, auf ein großes Prüffeld und eine große Fahrzeugflotte zurückzugreifen. Warum sind wir dennoch überzeugt, ein kompetenter Entwicklungspartner zu sein und die Serieneinführung von Getriebesystemen in kurzer Zeit gewährleisten zu können? Die Antwort auf diese Frage soll mit der Darstellung der Entwicklungsmethodik gegeben werden.

Die LuK beschäftigt sich also als Komponentenlieferant über den eigenen Lieferanteil hinaus mit dem Gesamtsystem. Das heißt im konkreten Fall, daß die Beschäftigung mit dem Automatgetriebe samt Steuerung, Motor, Fahrzeug, Fahrer und den äußeren Einflüssen notwendig ist (Bild 1).

Um die Entwicklungsgeschwindigkeit zu erhöhen und die Entwicklungskosten zu minimieren, wird viel Wert auf Simulationen und Detailkomponentenuntersuchungen gelegt. Auch verfügt die LuK über ein großes Fertigungs-Know-how (z.B. werden auf dem Automatiksektor 2 Mio. konventionelle Überbrückungskupplungen pro Jahr gefertigt).

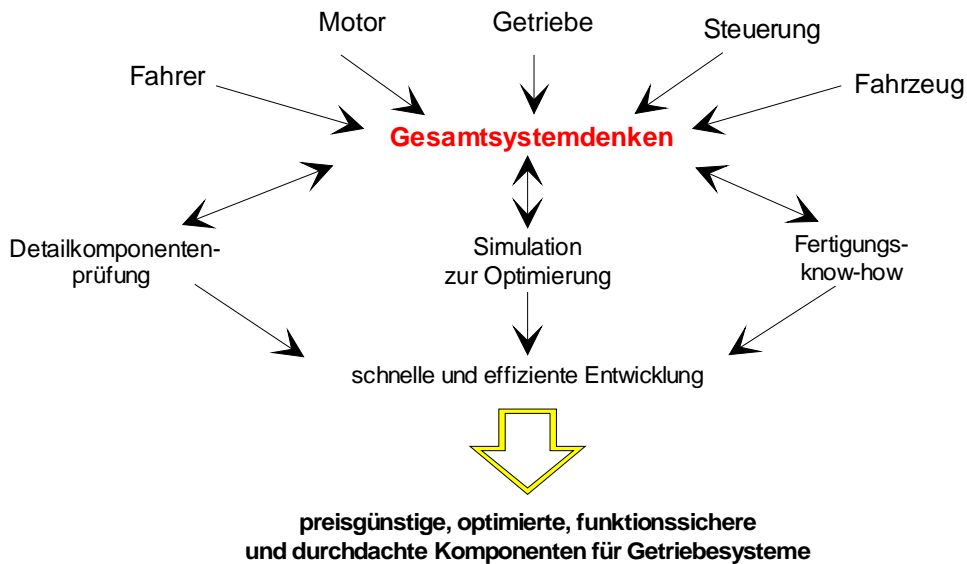


Bild 1: Gesamtsystemdenken

Um die Funktionalität unserer Produkte abzusichern, werden umfangreiche **Prinzipuntersuchungen** durchgeführt. Dabei wird der Modellaufbau, ausgehend vom bisher bekannten, schrittweise komplexer [2]. So werden allgemeingültige Kenntnisse erarbeitet und die umfangreichen und damit zeitaufwendigen und teuren Fahrzeugversuche deutlich reduziert (Bild 2). Gewisse Informationen müssen allerdings weiterhin aus dem Fahrversuch gewonnen werden, er dient außerdem zur Bestätigung der getroffenen Vorhersagen.

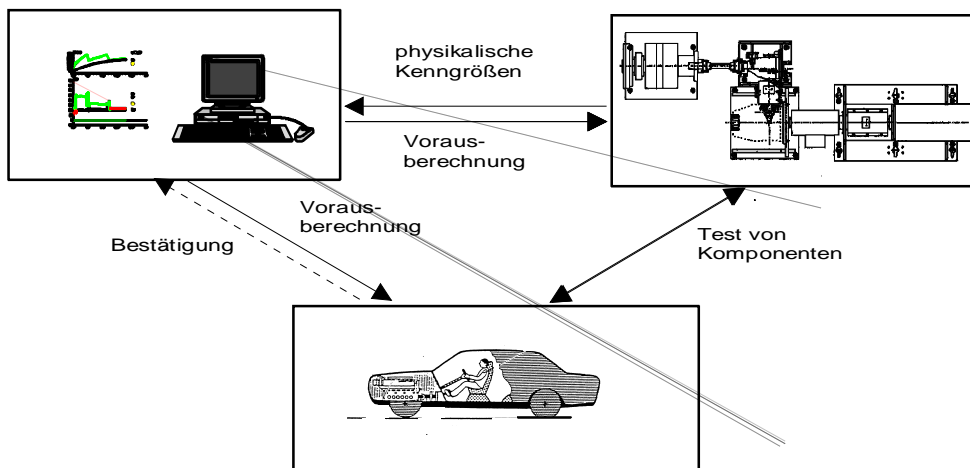


Bild 2: Zusammenwirken der Entwicklungswerkzeuge

Als Beispiel für das Vorgehen soll die Analyse von **Reibbelägen und Öl** dienen. Die Kenntnis des Verhaltens von naßlaufenden Kupplungen, zu denen auch die Überbrückungskupplung gehört, ist eine wichtige Grundlage für die Entwicklung von Getriebesystemen. Die Probleme, wie z. B. Rupfen, treten meist erst nach relativ langen Fahrstrecken auf. Um hier schnell Erkenntnisse zu gewinnen, wurde ein Kleinprüfstand entwickelt, bei dem das am Versuch beteiligte Ölvolumen auf $\frac{1}{4}$ Liter reduziert wurde. Damit entspricht das Verhältnis Ölmenge zu Reibfläche den Verhältnissen im Automatgetriebe. Bei herkömmlichen Prüfständen wird wesentlich mehr Öl verwendet - wenn an der Reibfläche Öladditive geschädigt werden, dauert es durch den Verdünnungseffekt dann relativ lange, bis die Folgen bemerkbar werden. Durch den Kleinprüfstand ist eine schnelle Aussage über das Zusammenwirken von Öl und Reibbelag unter bestimmten Belastungen machbar. Man erhält auch Aussagen, wie stark man Öl und Reibbelag auf Dauer beanspruchen darf. Diese Erkenntnisse fließen dann z.B. in die Auslegung der schlupfenden Wandlerüberbrückung ein. Nach diesen Erkenntnissen ausgelegte Überbrückungen haben beim Kunden schon ausführliche Dauerbelastungstests problemlos überstanden.

Die Physik des Wandlers

Der Wandler ist ein Strömungsgetriebe mit Pumpe, Turbine und Leitrad. **Ohne Schlupf überträgt er kein Moment.**

Bei konstanter Abtriebsdrehzahl gilt: Je höher der Schlupf, desto höher das Moment. Bild 3 zeigt diesen Zusammenhang für einen fest-gebremsten Abtrieb.

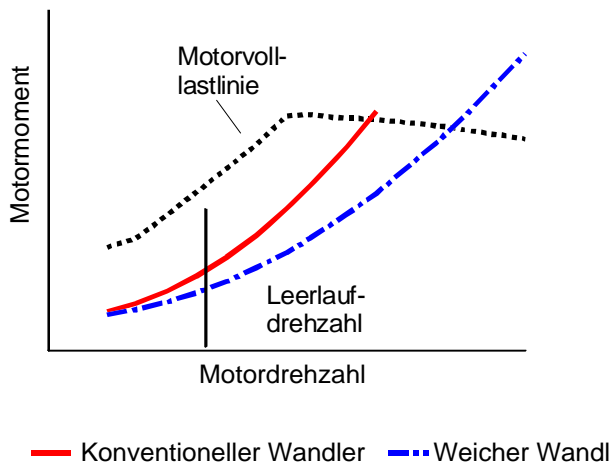


Bild 3: Momentenaufnahme von Wandlern im Motorkennfeld

Weicher wird ein Wandler genannt, der bei gleichem Moment einen höheren Schlupf hat, das heißt auch, daß er bei gleichem Schlupf weniger Moment überträgt. Der weichere Wandler setzt also dem Motor weniger Widerstand entgegen. Fordert der Fahrer ein höheres Moment, so baut der weichere Wandler höhere Drehzahldifferenzen auf.

Die höheren Drehzahldifferenzen bewirken den sogenannten Gummibandeffekt, das Fahrzeug reagiert verzögert auf Gas, d. h. es hängt nicht am Gas.

Aber: Die meisten Emissionstests beginnen mit einer **Kaltphase**. Wenn der Motor leichter höhere Drehzahlen in dieser Phase erreicht, wird er schneller warm und die Emissionen werden deutlich besser.

Bei **gegebener Motordrehzahl** setzt der weiche Wandler dem Motor ein geringeres Moment entgegen. Steht das Fahrzeug bei Motorleerlauf-drehzahl, so muß der Motor das Wandlermoment überwinden; dadurch werden die **Verluste** bei Fahrzeugstillstand (Bild 4a) beim weichen Wandler **geringer**.

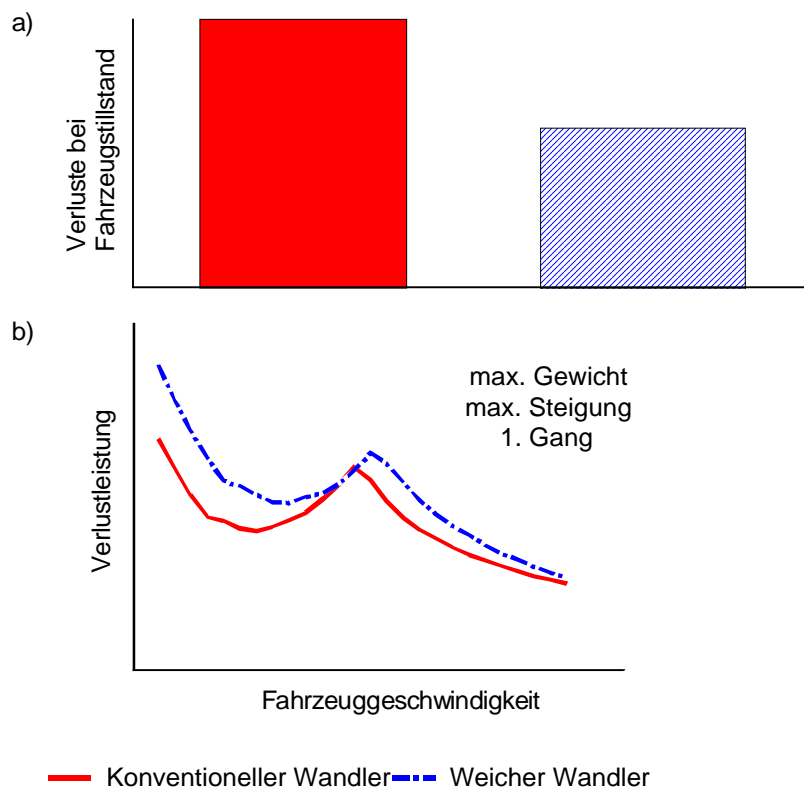


Bild 4a und Bild 4b: Verluste am Wandler

Bei **verlangtem Abtriebsmoment**, z. B. bei einer gegebenen Fahrzeuggeschwindigkeit bei gegebener Steigung, wird der Schlupf beim weichen Wandler, wie Bild 3 zeigt, größer, also werden auch die **Verluste größer** (s. Bild 4b).

Im Gegensatz zur Kupplung kann ein Drehmomentwandler das Motor-
moment vergrößern. Diese Momentenwandlung kann bei gleichem
Durchmesser bei weich ausgelegtem Wandler höher sein.

Die **höhere Wandlung** führt dazu, daß die Zugkraft (und damit das
Beschleunigungsvermögen) steigt (Bild 5).

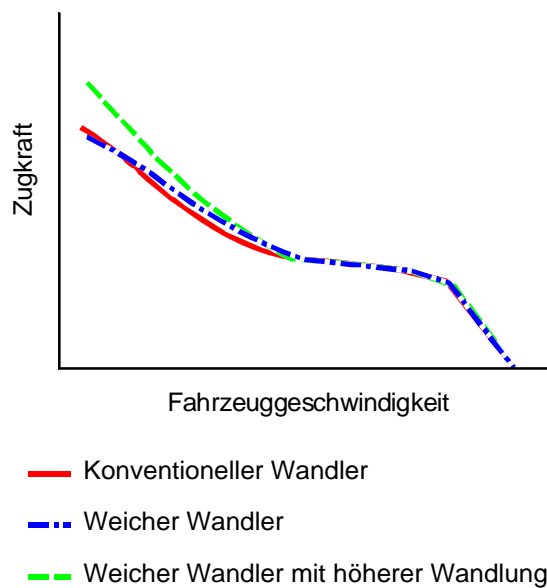


Bild 5: Einfluß der Wandlerauslegung auf die Zugkraft

Auch die Verlustleistung bei gegebenem Fahrzustand (Gewicht, Steigung)
nimmt mit steigender Wandlung im Vergleich zu einem weichen Wandler
ohne höhere Wandlung ab, sie ist aber im allgemeinen höher als bei einem
steiferen Wandler (Bild 6).

Bei geringer Geschwindigkeit und extremer Belastung stellt sich bei allen Wandlern ein großer Schlupf ein. Bei großem Schlupf sind die Verluste trotz gleichzeitig weicherem Wandler nicht höher als bei einem steiferen Wandler, weil die höhere Momentenwandlung den Wirkungsgrad verbessert (Bereich A in Bild 6).

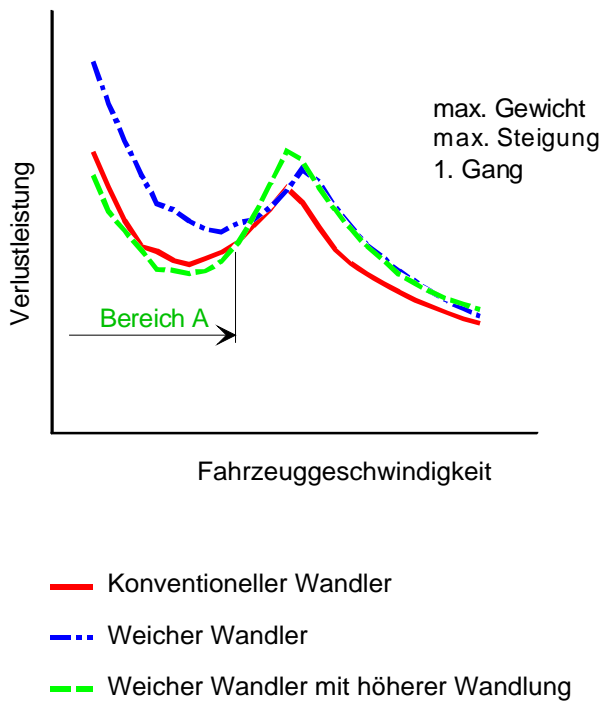


Bild 6: Einfluß der Wandlerauslegung auf die Verluste

Ogleich die Reduzierung von Stillstandsverlusten, die Senkung der Emissionen in der Kaltphase und die verbesserte Beschleunigung einen weicheren Wandler erfordern würde, setzt man ohne Überbrückungskupplung einen steifen Wandler ein, um im normalen Fahrbetrieb die Verluste zu reduzieren und eine akzeptable Anbindung zu erreichen.

Der Wandler mit einer herkömmlichen Überbrückungskupplung

Die Verlustleistung kann mit einer herkömmlichen Überbrückungskupplung mit konventionellem Federdämpfer begrenzt werden. Aus Komfortgründen (Brummen, Rasseln und Lastwechsel) können diese Überbrückungskupplungen trotz Torsionsdämpfer nur in den oberen Gängen und ab mittlerer Drehzahl eingesetzt werden. Trotzdem bleiben meist noch gewisse Komforteinbußen.

Zur Verdeutlichung der Problematik bei **Brummen** und **Rasseln** ist in Bild 7 die Schwingungsamplitude des Motors und des Getriebeausganges über die Motordrehzahl dargestellt. Entsprechend der Motorerregung und Brummempfindlichkeit des Fahrzeuges kann man erst bei einer höheren Drehzahl überbrücken. Bekanntlicherweise wird aber der Motor die meiste Zeit bei relativ geringer Drehzahl betrieben. Deshalb sind die Verbrauchseinsparungen beschränkt.

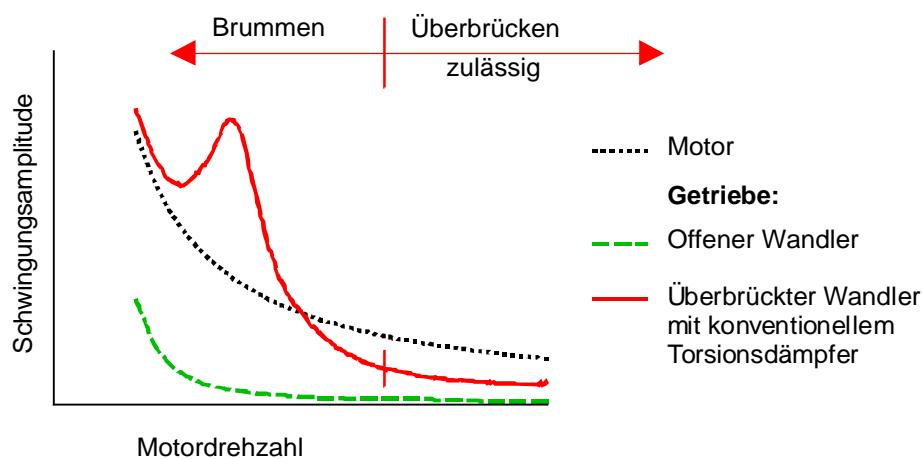


Bild 7: Drehschwingungen von Motor und Getriebe

Ein weiteres Problem ist das **Lastwechselverhalten** zu dem auch der Gangwechsel und das Zu- bzw. Wegschalten der Überbrückung gehören (Bild 8). Gibt der Fahrer im überbrückten Zustand Gas, erhält er zunächst statt der gewünschten Zugkrafteerhöhung eine Ruckelschwingung. Danach öffnet die Überbrückungskupplung, was in ungünstigen Fällen sogar zunächst zu einem kurzen Drehmomenteinbruch führen kann. Anschließend erhält der Fahrer erst die gewünschte Zugkrafteerhöhung.

Beim Schließen der Überbrückungskupplung kann es wieder zu einer Triebstranganregung kommen.

Auch beim Schalten können Komfortprobleme auftreten, deshalb wird üblicherweise die Überbrückung vor einer Schaltung geöffnet.

In den unteren Gängen sind diese Auswirkungen am stärksten spürbar, deshalb wird bei herkömmlichen Überbrückungssystemen zumeist in den oberen Gängen überbrückt.

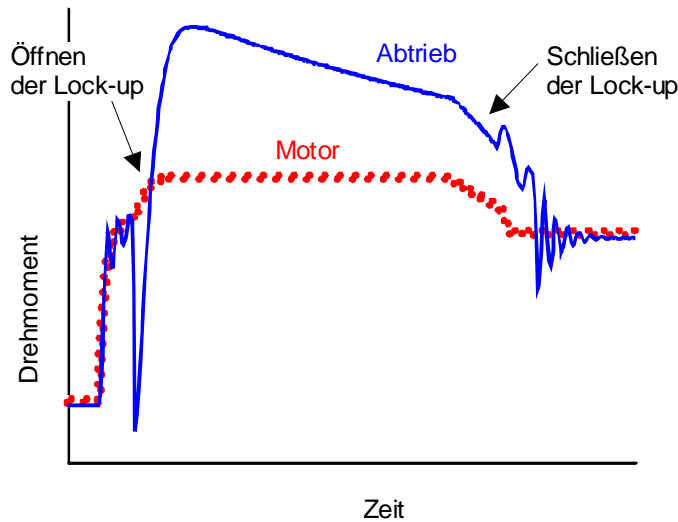


Bild 8: Lastwechsel mit konventionellem Federdämpfer

Die **Verlustleistung**, bei Bergfahrt im ersten Gang, kann deshalb also nicht durch eine Überbrückung reduziert werden. Diese Verlustleistung begrenzt über die installierte Kühlleistung die zulässige Weichheit des Wandlers.

Außerdem wird die Weichheit des Wandlers unter Umständen begrenzt durch den "**Gummibandeffekt**" beim Beschleunigen.

Ein wesentlicher Schritt in konventioneller Technik: Der Turbinendämpfer [3]

Die bei der herkömmlichen Überbrückung erwähnten Probleme mit Brummen und Rasseln werden durch Maßnahmen am Torsionsdämpfer reduziert. Man würde annehmen, daß eine Verbesserung durch einen weicheeren Torsionsdämpfer erreichbar sein müßte. Das ist bei einigen Antriebssträngen auch der Fall (Typ A, Bild 9). Allerdings gibt es Antriebsstränge, bei denen diese Maßnahme nicht greift (Typ B, Bild 9).

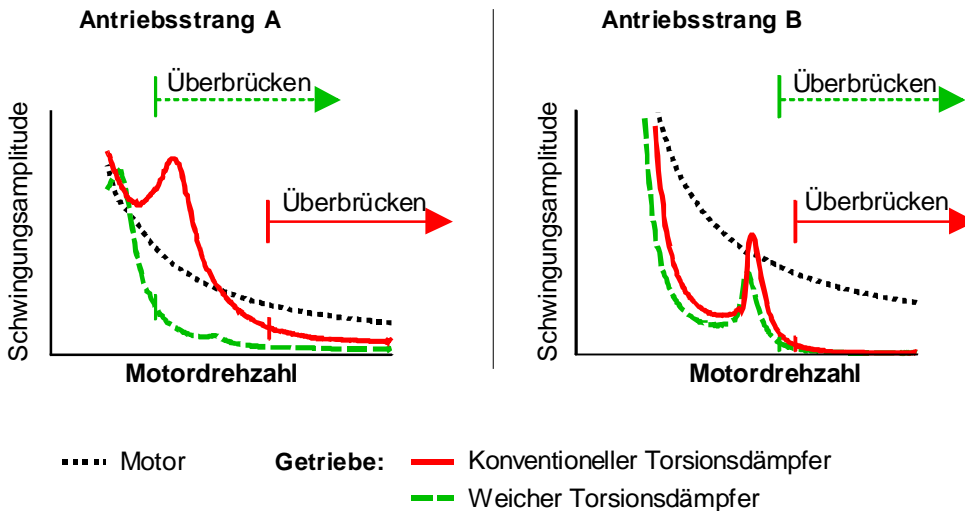
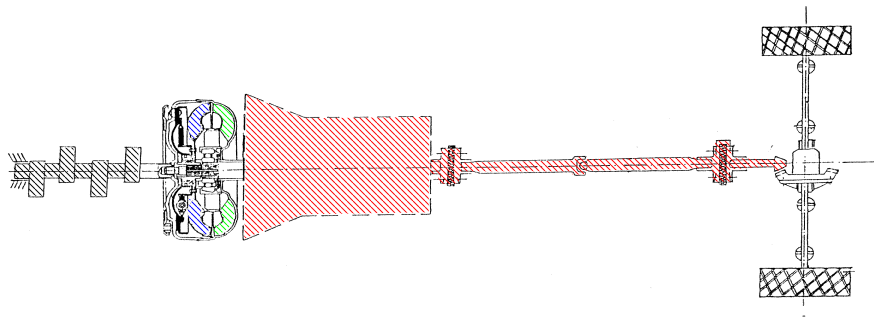
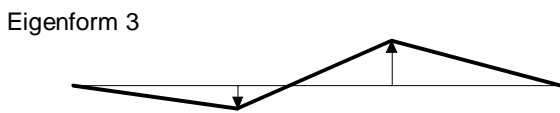
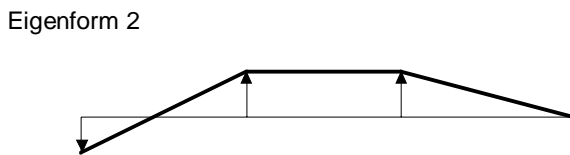
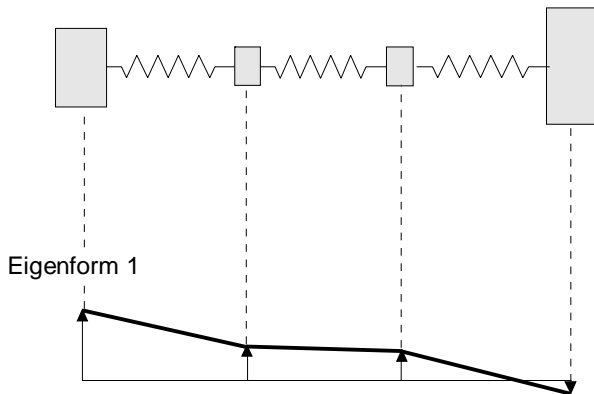


Bild 9: Wirkung eines weichen Torsionsdämpfers

Warum ist das so? Die Antwort gibt eine Analyse der Eigenformen und Eigenfrequenzen (Bild 10). Bei Antriebssträngen des Typs A ist vom Frequenzbereich her die zweite Eigenform für das Brummen relevant. Bei dieser Eigenform findet eine relativ große Relativbewegung des Torsionsdämpfers statt; Maßnahmen am Dämpfer zeigen also ihre Wirkung. Bei Antriebssträngen des Typs B hingegen ist von der Frequenz her die dritte Eigenform ausschlaggebend. Da hier nur eine geringe Relativbewegung in dem Torsionsdämpfer stattfindet, hat eine Änderung der Steifigkeit auch keine große Wirkung. Aus dem Eigenformverlauf kann man entnehmen, daß eigentlich die Getriebeeingangswelle weicher werden müßte.



Motor + Pumpe Turbine Getriebe Fahrzeug



Typ A	Typ B
6,3Hz 188 ¹ /min (2.Ordnung)	6,2Hz 124 ¹ /min (3.Ordnung)
38,2Hz 1150 ¹ /min	26,9Hz 540 ¹ /min
151Hz 4530 ¹ /min	81Hz 1620 ¹ /min

Bild 10: Eigenschwingungen eines Fahrzeugs mit Automatgetriebe

Der Amplitudenverlauf (Bild 11) zeigt, daß eine deutlich weichere Getriebeeingangswelle beim Antriebsstrang des Typs B eine wesentliche Absenkung der Brummresonanz bewirkt, was mit dem weicheren Torsionsdämpfer (Bild 9) nicht erreichbar war.

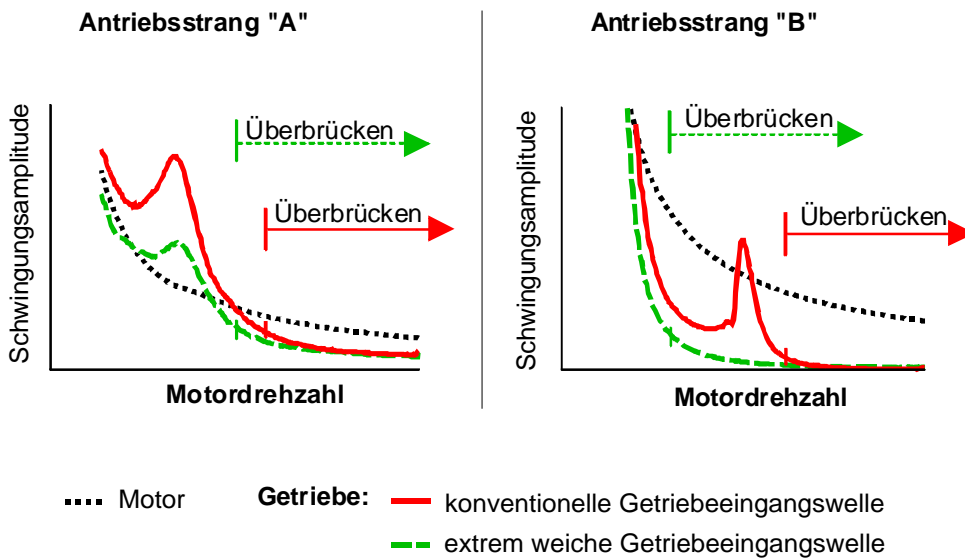
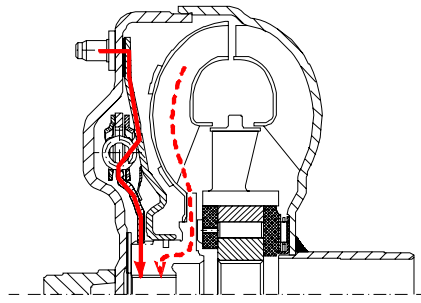
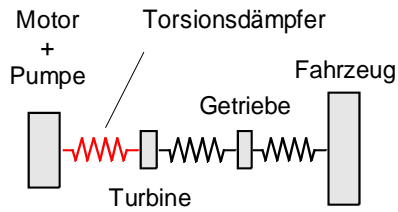


Bild 11: Wirkung einer extrem weichen Getriebeeingangswelle

Die Getriebeeingangswelle selbst kann nicht auf die erforderliche niedrige Steifigkeit gebracht werden, deshalb wird ein Torsionsdämpfer in Reihe geschaltet (Bild 12). Der Torsionsdämpfer zwischen Motor und Turbine entfällt und wird durch einen Dämpfer zwischen Turbine und Getriebeeingangswelle ersetzt - diese Konstruktion wird von uns Turbinendämpfer genannt. Bei der konstruktiven Lösung ist zu beachten, daß auch bei geöffneter Überbrückung der Kraftfluß über den Torsionsdämpfer läuft.

A) Konventionelle Lösung (weich)



B) Turbinendämpfer

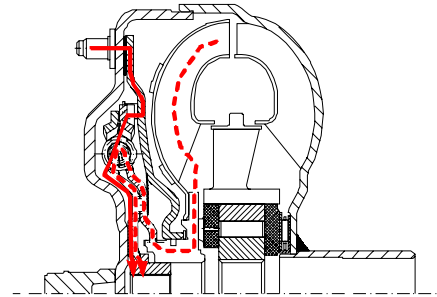
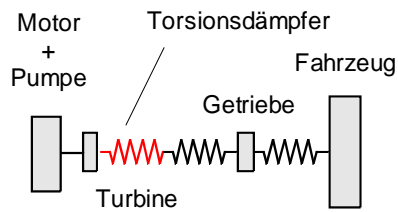


Bild 12: Konstruktive Lösung des Turbinendämpfers

Je nach Antriebsstrang bietet die LuK entweder **weich ausgelegte herkömmliche Torsionsdämpfer** oder **weich ausgelegte Turbinendämpfer** an. Dadurch wird die **Brummanregung** deutlich gesenkt. Es ist von diesem Aspekt her möglich, die Zuschaltdrehzahl der Überbrückung im Vergleich zum herkömmlichen System deutlich zu senken. Je nach gewählter Steuerungsstrategie des Kunden - bei der auf das Lastwechsel- und Zuschaltverhalten geachtet werden muß - ergeben sich dann deutliche Verbrauchseinsparungen.

Ein gesamthafes Konzept: Das LuK-TorCon-System

Was gehört zum LuK-TorCon-System?

Das LuK-Wandlerüberbrückungssystem (LuK-TorCon-System) besteht aus einer schlupfenden Überbrückungskupplung im Konusdesign mit Mini-Torsionsdämpfer, einer adaptiven Steuerung und einem weichen Wandler.

Schlupfende Überbrückungskupplungen stehen seit vielen Jahren in Diskussion und wurden auch schon in Serie eingesetzt, aber oft wieder verlassen. Ein Problem ist Rupfen, das durch eine Schädigung des Öles hervorgerufen wird. Auch treten bedingt durch die Regelstrategien oft Komfortprobleme oder zu hoher Schlupf auf.

LuK erkannte von Beginn an, daß ein hohes Potential in der schlupfenden Überbrückungskupplung steckt, aber auch, daß dieses Potential nur vollständig zu realisieren ist, wenn man das gleichzeitige Zusammenwirken von Mechanik, Hydraulik und Elektronik (Hy-Mech-tronik) sorgfältig analysiert und jedem dieser 3 Gebiete nur die Aufgabe zuweist, die es am besten erledigt und dabei die anderen Gebiete bestmöglich unterstützt.

Schlupfende Überbrückungskupplung

Theoretisch bietet eine schlupfende Kupplung den Vorteil, daß nicht nur hochfrequente Schwingungen, wie Brummen, sondern auch niederfrequente Schwingungen, wie Lastwechsel, vermieden werden können, wie dies auch der Wandler macht.

Durch die Verringerung der Brummanregung, kann die Überbrückung (ähnlich wie beim Turbinendämpfer) früher als beim herkömmlichen System eingesetzt werden (Bild 13).

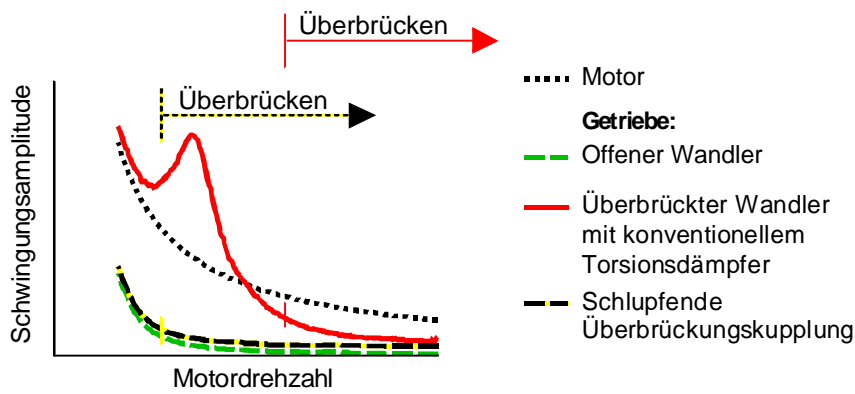


Bild 13: Wirkung von Schlupf auf das Schwingungsverhalten

Das Lastwechselverhalten und die Bereitstellung der Zugkraft wird im Vergleich zum herkömmlichen System wesentlich verbessert (Bild 14). Gibt der Fahrer Gas, dann tritt keine Ruckelschwingung auf, weil die Überbrückung durchrutscht. Durch dieses Durchrutschen baut sich der Schlupf und damit das Wandlermoment auf. Deshalb tritt auch kein Momenteneinbruch auf. Kontinuierlich steigt das Moment an, durch die zunehmende Wandlung über das Motormoment hinaus. Es kann früher überbrückt werden, **auch in den unteren Gängen** und bei niedriger Drehzahl.

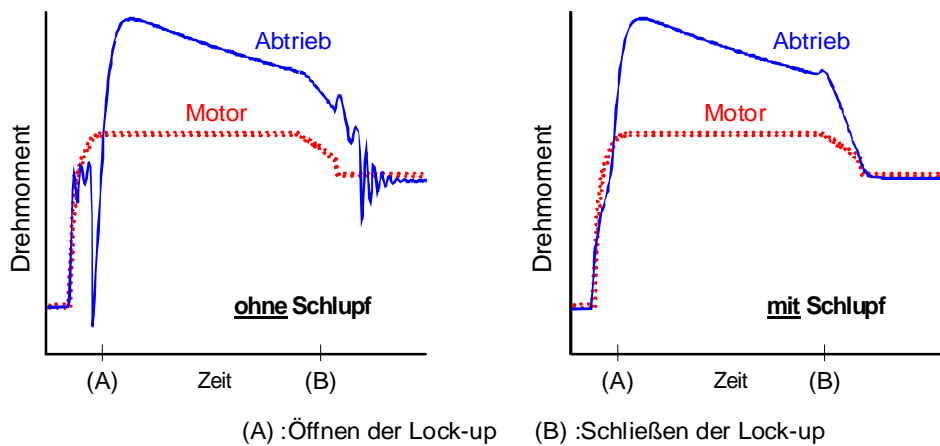


Bild 14: Lastwechselverhalten ohne und mit Schlupf

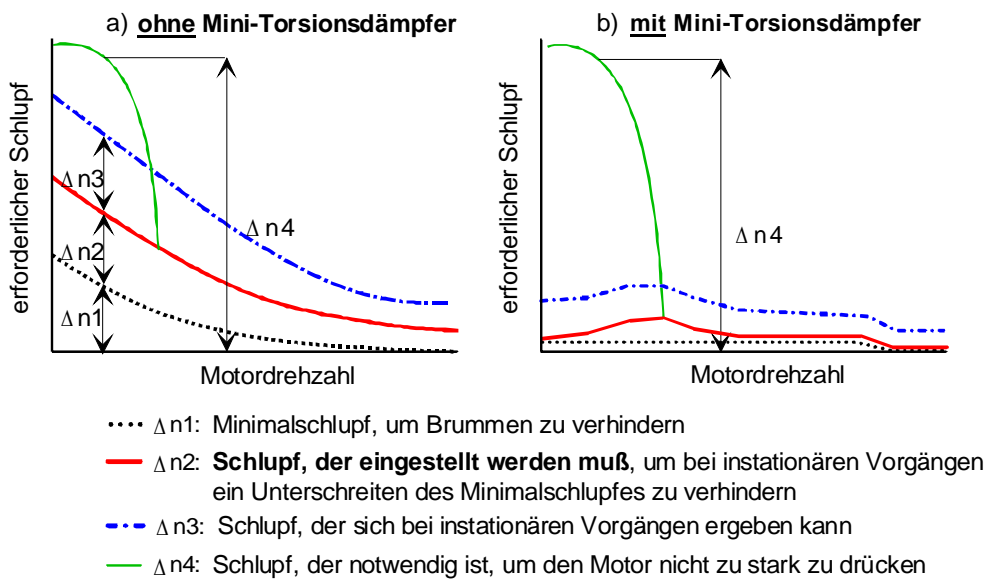
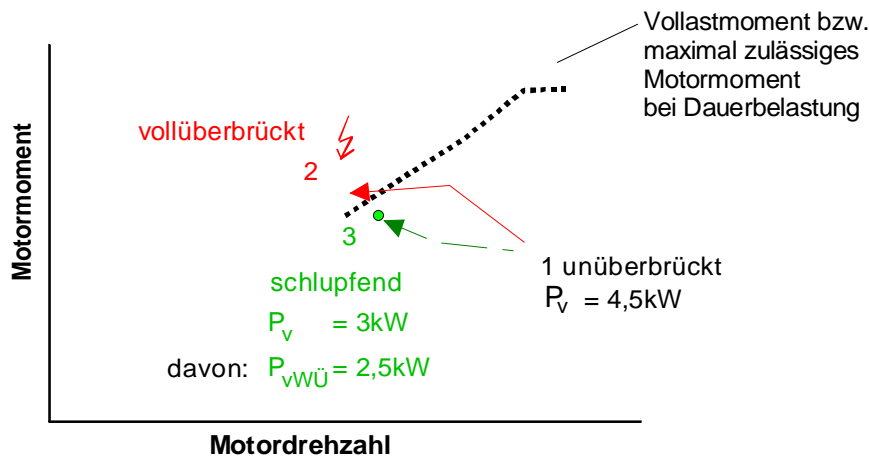


Bild 15: Erforderlicher Schlupf ohne und mit Mini-Torsionsdämpfer



- 1) Wandler unüberbrückt, **Gesamtverluste = 4,5kW**
- 2) Wandler vollüberbrückt, gefordertes Drehmoment übersteigt zulässiges.
- 3) Wandler mit Dauerschlupf überbrückt, **Gesamtverluste 3 kW**,
 Verluste an der Überbrückung = 2,5 kW,
 verbrauchsgünstiger Motorbetriebspunkt

Bild 16: Senkung der Gesamtverluste durch Schlupf

Wenn es so viele Vorteile gibt, warum werden dann schlupfende Überbrückungen heute noch nicht überall eingesetzt? Es gibt auch einige mögliche **Probleme** bei Schlupf (zur Erläuterung Bild 15 a):

- 1. Bei niedriger Drehzahl ist der zur Brummvermeidung benötigte Schlupf meist relativ groß**, dadurch wird auch die Verlustleistung groß. Wird der Schlupf verringert, tritt kurzzeitig Haften auf, das wird in vielen Fällen Brummen verursachen (Δn_1).
- 2. Geringen Schlupf zu regeln ist schwierig.** Bei "scharfen" Regelparametern treten häufig Regelprobleme auf, lockert man die Parameter, kann der Schlupf deutlich abweichen. In vielen Fällen hat eine Steuerung Vorteile, aber auch hier ist eine Schwankung des Schlupfs kaum vermeidlich. Es kann zum Haften kommen (Brummgefahr) oder zu großem Schlupf (höhere Verluste).
- 3. Die Steuerung ist nicht beliebig genau.** Je geringer das einzustellende Moment wird, desto schwieriger wird eine exakte Regelung bzw. Steuerung.
- 4. Die Steuerung ist nicht beliebig schnell.** Bei instationären Vorgängen benötigt die Steuerungsstrecke eine Stellzeit. In diesen Phasen weicht der Schlupf ab. Um Brummen zu vermeiden, muß also ein bestimmter Schlupf vorgehalten werden. Dadurch ergeben sich wieder höhere Schlupfwerte ($\Delta n_2, \Delta n_3$).
- 5. Viele Motoren dürfen bei hoher Last nicht zu sehr auf niedrige Drehzahlen gedrückt werden bzw. die Zugkraft reicht im überbrückten Zustand nicht aus** (Bild 16). Zu niedrige Drehzahlen bei hoher Last können auch das Kühlsystem vor Probleme stellen. Ist ein Vollüberbrücken also nicht erlaubt, gibt es zwei Möglichkeiten. Man erhöht die Motordrehzahl indem man die Überbrückung völlig öffnet oder indem man die Überbrückung stärker schlupfen läßt. Völlig geöffnet treten unnötig hohe Verluste auf. Läßt man sie stärker schlupfen, sinken zwar die Gesamtverluste, an der Überbrückung treten aber höhere Verlustleistungen auf (Δn_4). Das stellt Anforderung an die Kühlung der Überbrückungskupplung.
- 6. Es treten Verlustleistungen an der Überbrückung auf, die abgeleitet werden müssen.** Ein **wesentliches Problem** bei schlupfenden Kupplungen ist das Lebensdauerproblem. Zumeist ertragen sie eine Zeit lang die anfallenden Verlustleistungen. Aber nach einigen zigtausend Kilometern treten z.B. Rupp-Probleme auf. Diese Rupp-Probleme haben ihre Ursache meist in einer Schädigung des Öles - der Reibbelag ist im allgemeinen noch in Ordnung. Die Additive werden durch lokale Überhitzung geschädigt und mit der Zeit wirkt sich das im ganzen Öl aus. Auch bei geringer Verlustleistung muß der Belag sehr

gut gekühlt sein. Die Sicherheit gegen lokale Überhitzung sollte größtmöglich sein! Zu der Verlustleistung durch die Punkte 1 bis 5 kommt noch die Verlustleistung beim Zu- und Wegschalten der Überbrückung. Je tiefer die Drehzahlen und je höher die Lasten sind, bei denen die Überbrückung zugeschaltet wird, desto größer ist die Verlustleistung - vor allem, wenn man auf eine komfortable Überbrückungsschaltung achtet.

Zur Bekämpfung dieser Probleme dient ein **einfacher Torsionsdämpfer** (der auch nur auf Teillast ausgelegt sein kann), das **Konusdesign** und eine **adaptive Steuerung**. Das Zusammenwirken dieser Systemkomponenten ist in einem "Bubble Chart" dargestellt (Bild 17). Die dick umrandeten Bubbles stellen dabei die Kundenanforderungen dar und die farbig unterlegten Bubbles die Komponenten des LuK-TorCon-Systems.

Der Mini-Torsionsdämpfer

Vorteile dieses **einfachen Torsionsdämpfers** (siehe auch Bild 15 b):

- Problem 1 (Brummen) ist damit lösbar. Die Impulse, die beim kurzzeitigen Haften auftreten, werden so gefiltert und Brummen tritt nicht auf.
- Problem 2 (Regelparameterproblem) ist damit teilweise lösbar. Auch hier wirkt sich das kurzfristige Haften nicht mehr negativ aus.
- Problem 3 (Steuergenauigkeit bei geringem Moment) ist damit lösbar. Bei geringem Motormoment kann die Überbrückung ohne Schlupf geschlossen werden, da der Torsionsdämpfer die Schwingungsabkoppelung übernimmt.

Der Schlupf kann geringer gewählt werden. Im Resonanzbereich des Dämpfers verhindert der Schlupf eine Anregung. Deshalb sind keine Reibungselemente im Dämpfer notwendig. Der Mini-Torsionsdämpfer ist leichter und billiger als ein herkömmlicher Torsionsdämpfer.

Das Konusdesign

Die Vorteile des **Konusdesigns** ergeben sich vor allem durch die steifere Konstruktion und die größere Reibfläche:

- Die abführbare Verlustleistung ist deutlich größer und bei gleicher Verlustleistung ist die maximale Öltemperatur geringer. Das hilft, Problem 6 (Ableitung der Verlustleistung) und damit Problem 4 (Steuerungsgeschwindigkeit), Problem 5 (Drücken des Motors) und den Rest von Problem 2 (Reglerparameterproblem) zu lösen.
- Die Belagbelastung wird durch die gleichmäßigere Flächenpressung verringert.
- Das übertragbare Moment wird höher. Viele Einscheibenüberbrückungskupplungen sind heute schon an der Grenze. Durch die Strömungseffekte durch den Kühlölstrom sinkt das übertragbare Moment weiter. Der Konus gleicht diesen Effekt mehr als aus.
- Das Gewicht und das Massenträgheitsmoment sind geringer, da aufgrund der steiferen Konstruktion das Blech dünner gewählt werden kann.
- Die Wandlerblähung wird kleiner und die Steuerbarkeit damit verbessert.

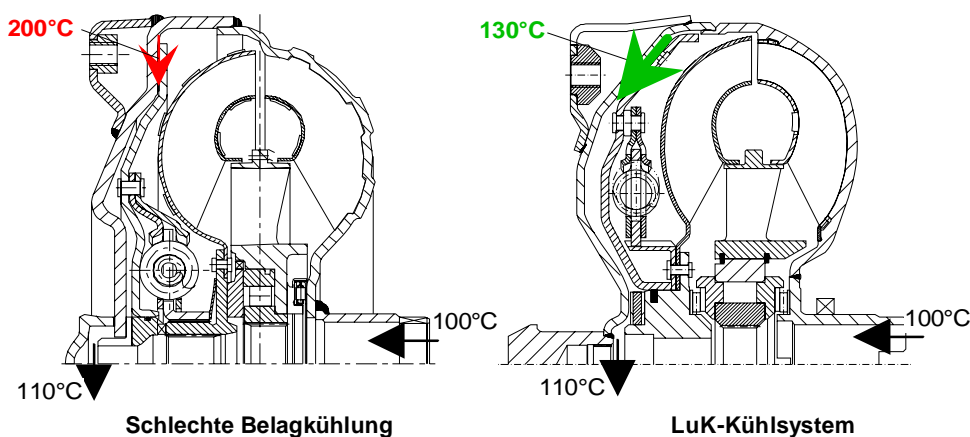


Bild 18: Belagkühlung und maximale Temperatur am Reibbelag

Für die Lebensdauer des Öles spielt die lokal auftretende Maximaltemperatur eine wichtige Rolle. Die Temperatur wird durch eine Belagkühlung geringgehalten (Bild 18).

Durch die Belagkühlung wird die tragende Fläche geringer und die Belagpressung damit tendenziell höher. Das ist beim Konus aber kein Problem, da die Belagpressung gleichmäßiger ist (Bild 19). Außerdem sinkt durch den Ölstrom das übertragbare Moment; hier hilft der Verstärkungseffekt des Konus.

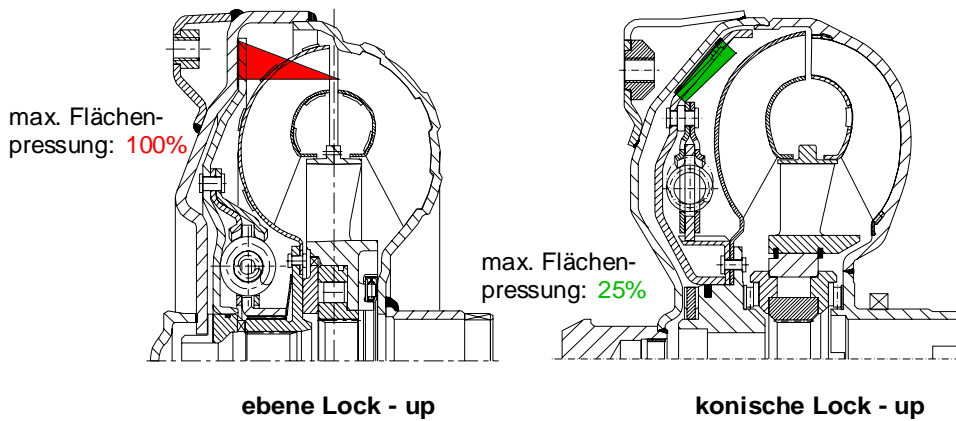


Bild 19: Flächenpressung am Reibbelag

Die Steuerungsentwicklung

Die Entwicklung der Steuerung erfolgt mit Hilfe der Simulation. Der Aufbau des von der LuK entwickelten Simulationsprogrammes *dyfasim* entspricht der Struktur in Bild 20. In der Simulation werden z.B. Sollgeschwindigkeitsverläufe vorgegeben und der automatische Fahrer versucht der Vorgabe zu folgen.

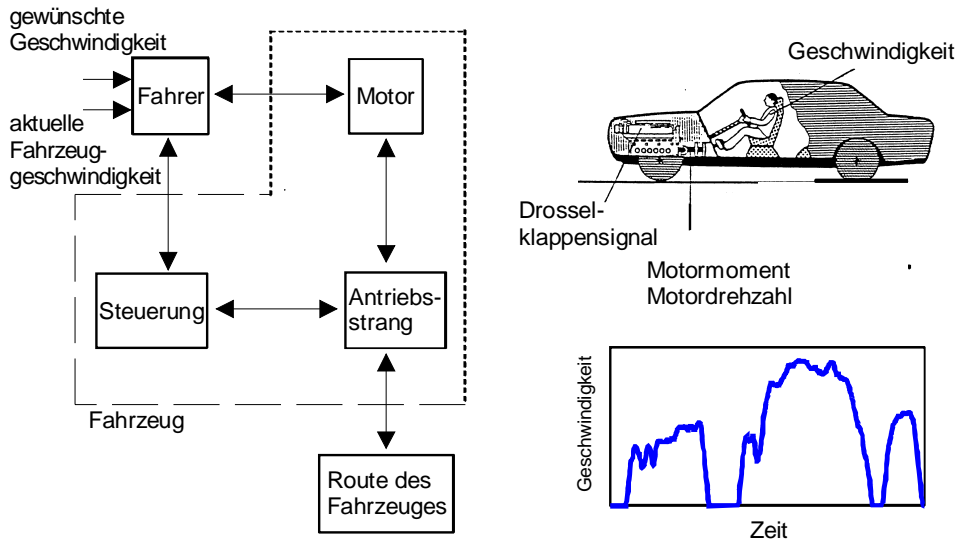


Bild 20: Untersuchung des Gesamtsystems

Aus diesen Berechnungen kann man Aussagen über die Belastung der Elemente, die Schaltqualität, den Verbrauch etc. machen (Bild 21).

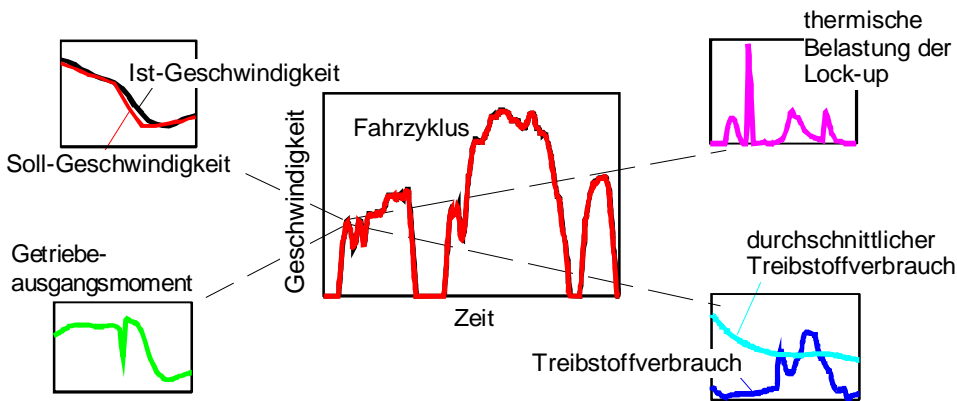


Bild 21: Analyse des Getriebesystemverhaltens mit Simulation

Ein wesentlicher Schritt, um die Entwicklungsgeschwindigkeit deutlich zu erhöhen, ist die Einbindung des Originalsteuercode in die Simulation (Bild 22).

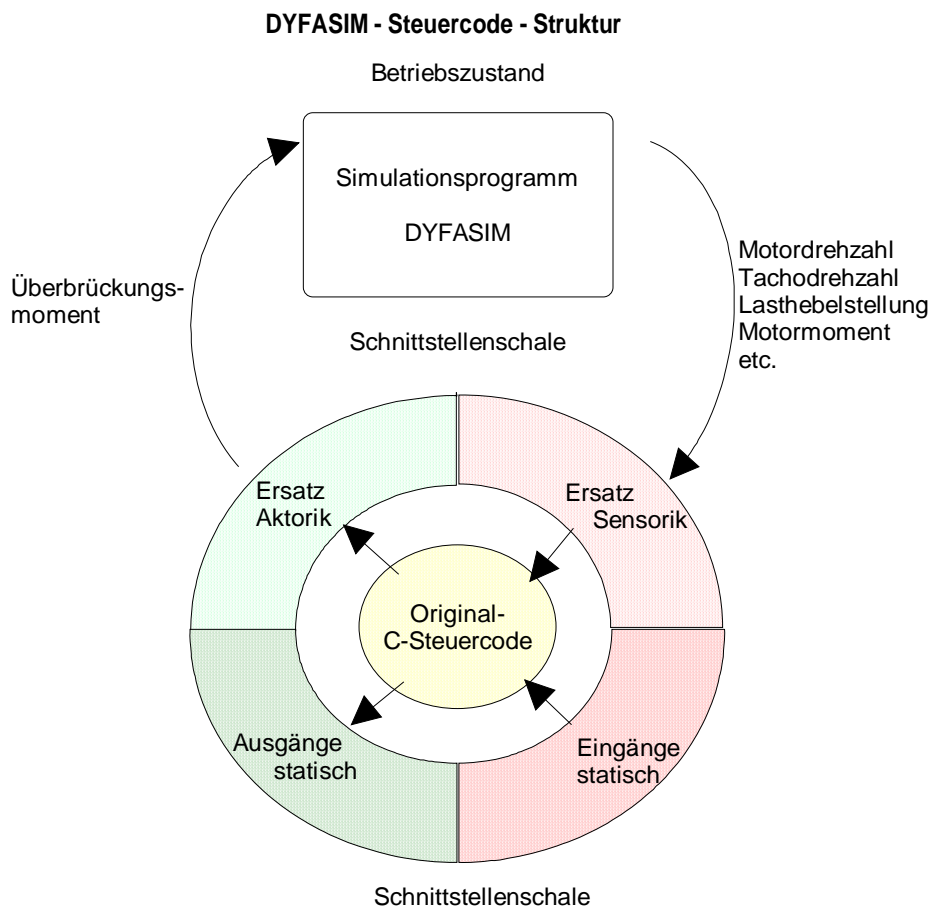


Bild 22: Einbindung des Steuercode in die Simulation

Hier kann der Steuercode fertig entwickelt und getestet werden, lange bevor die Hardware fertig ist. Die "Meßsignale" sind nicht verrauscht, man kann deshalb genauere Analysen durchführen. Wichtig ist auch, daß man das Verhalten in verschiedenen Situationen und Fahrzyklen testen kann und daß ein und dasselbe Programm zum Testen der Philosophie, zum Ermitteln des Verbrauchs, zum Testen des Steuercode etc. eingesetzt wird. Nicht alle Phänomene wird man allerdings mit der Simulation vorab abdecken können.

Um Probleme, die vielleicht übersehen wurden, zu entdecken, wird bei jedem Fahrzeug eine **automatische Langzeitmessung** mitgeführt. Bei Langzeitmessung denkt man zunächst an kiloweise Meßplots. Um das zu verhindern, wird zwar mit 100 Hz gemessen, gespeichert werden die Werte aber gemittelt im Sekundentakt (**Bild 23**). Tritt nun eine besondere Situation ein, wird rückwirkend automatisch ein bestimmter Zeitbereich mit 100 Hz gespeichert. Eine besondere Situation kann z.B. das Überschreiten einer Temperaturschwelle oder ein unkomfortabler Verlauf des Abtriebsmomentes sein oder auch das Betätigen des in jedem Fahrzeug vorhandenen Meßknopfes durch den Fahrer. Durch diese Aufzeichnungstechnik werden die Meßdaten drastisch reduziert, ohne die Aussagekraft wesentlich zu verringern. Das Gegenteil ist der Fall: Der Erkenntnisgewinn wird deutlich erhöht, da man sich nicht durch große Mengen von Messungen durcharbeiten oder sich nur mit klassifizierten Ergebnissen begnügen muß.

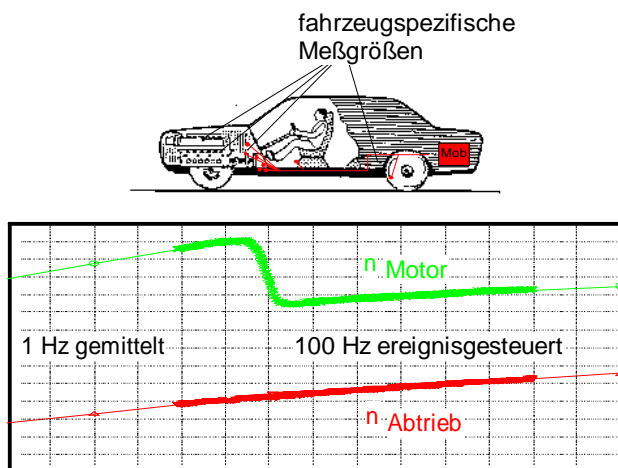


Bild 23: Langzeitmessung

Mit Hilfe dieser Entwicklungsabläufe ist die LuK in der Lage, auch am Sektor Getriebesysteme neue Produkte in relativ kurzer Zeit zur Serienreife zu entwickeln und abzusichern.

Die Steuerungsstrategie

Welche Steuerungsstrategie wurde für das LuK-TorCon-System gewählt? Die Probleme, die bei **Schlupfregelung** auftreten, wurden schon weiter oben erwähnt. Das Grundproblem liegt darin, daß erst eine Regelabweichung auftreten muß, bevor der Regler reagiert. Außerdem gibt es Bereiche, in denen die Sollvorgabe nicht erreichbar ist, z.B. kann kein

höherer Schlupf eingeregelt werden, als bei offenem Wandler auftreten würde. Bei Schaltungen wirkt es sich negativ aus, wenn der Regler gegen den Ablauf des Gangwechsels arbeitet. Wird z.B bei Hochschaltungen der Schlupf zu gering gehalten, kommt es am Schaltende zum Haften und damit zu Komforteinbußen. Gegen all diese Reglerprobleme kann man sich Lösungen ausdenken - üblicherweise stellt das trotzdem nicht die optimale Lösung dar. **Das LuK-Steuerungskonzept arbeitet deshalb momentengesteuert und die Systemabweichungen werden durch Adaption ausgeglichen.** Das Überbrückungsmoment wird aus dem Motormoment bestimmt:

$$M_{\text{Überbrückung}} = M_{\text{Motor}} * \text{Überbrückungsfaktor}$$

Das heißt, daß kein Sollschlupf eingestellt wird. Durch dieses Konzept werden Reglerprobleme vermieden.

Mit dieser Steuerungsphilosophie kann eine prägnante Absenkung des Schlupfes erreicht werden. Das zeigt sich im Häufigkeitsdiagramm (Bild 24).

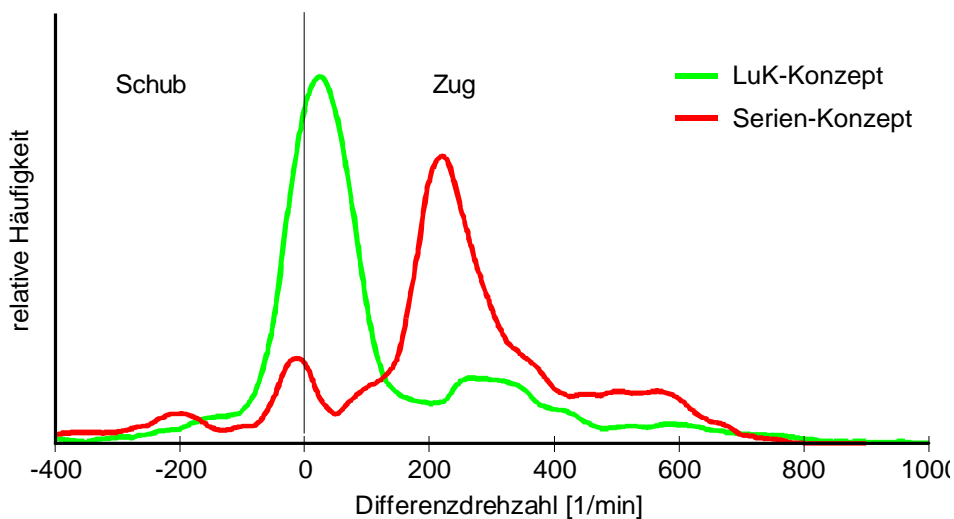


Bild 24: Häufigkeitsverteilung des Schlupfes (ECE-EG-Zyklus ohne Stillstandsphasen)

Ob die Überbrückung **völlig geöffnet oder schlupfend geschlossen** wird, wird zunächst nach energetischen Gesichtspunkten festgelegt. Ein Beispiel:

Bei einer extremen Bergfahrt (3600 kg, 12%) kann bei niedriger Geschwindigkeit die Überbrückung nicht völlig geschlossen werden, da z.B. die Zugkraftreserve nicht ausreicht oder der Motor nicht zu sehr gedrückt werden darf. Dann wird ständig verglichen, ob die Gesamtverluste geringer sind, wenn man schlupfend überbrückt oder die Überbrückung völlig öffnet (Bild 25).

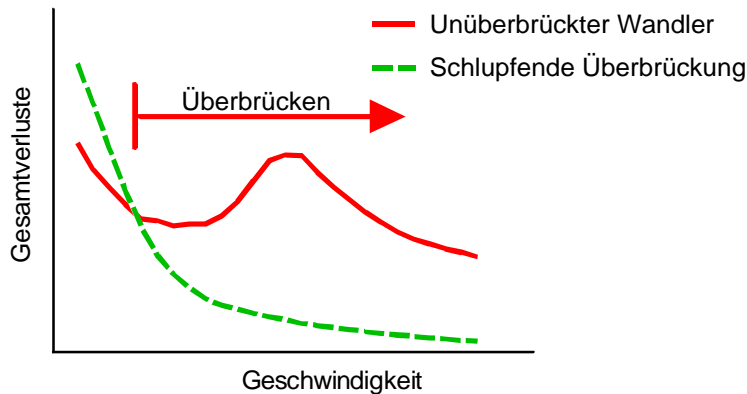


Bild 25: Bergfahrt

Wenn sich der Fahrer eine Zugkraftenerhöhung wünscht, erhöht er die Lasthebelstellung. Zunächst steigt das Motormoment an. Wenn dieses Moment nicht ausreicht, erhöht der Fahrer die Lasthebelstellung weiter, um seinen zusätzlichen Beschleunigungswunsch kundzutun. Bei herkömmlichen Systemen wird zumeist zurückgeschaltet, um durch eine kürzere Übersetzung die Zugkraft zu erhöhen.

Beim LuK-TorCon-System wird erst überprüft, ob durch ein Öffnen der Überbrückung eine Zugkraftehöhung zu erwarten ist. Das ist dann der Fall, wenn sich der Wandler nach dem Öffnen im Wandlungsbereich befinden würde. Wenn das so ist, wird die Überbrückung geöffnet, sonst wird zurückgeschaltet. Diese Überprüfung findet ständig statt. Um das Zusammenwirken zu verbessern, ist es sinnvoll, auch die Getriebeschaltlinien an dieses Konzept anzupassen. Besonders wirkungsvoll ist diese Abstimmung in Kombination mit einem weichen Wandler (siehe nächstes Kapitel). Diese Philosophie kann man in Näherung in einem Schaltlinien-diagramm darstellen (Bild 26).

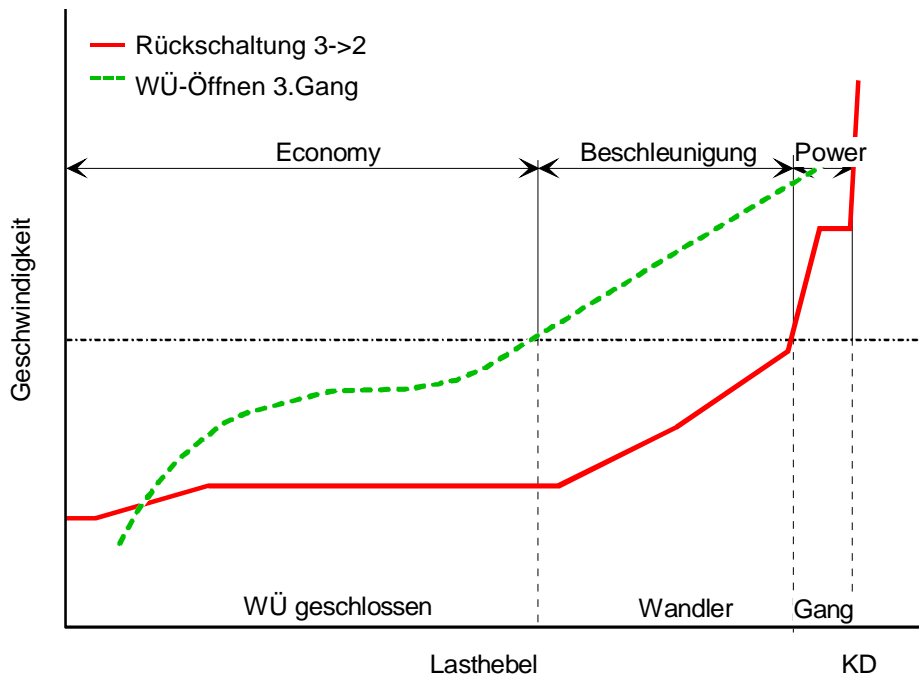


Bild 26: Steuerungsphilosophie des LuK-TorCon-Systems

Schon durch diese Maßnahmen (Schlupf, Konus, Minidämpfer und adaptive Steuerung) wird eine deutliche Verbesserung des Verbrauchs erreicht, da in allen Gängen überbrückt werden kann. Der weichere Wandler bewirkt noch eine weitere deutliche Verbesserung.

Der weiche Wandler

Zu Beginn dieses Beitrags wurde auf die Wandlerauslegung hingewiesen. Da eine Überbrückung in allen Bereichen bei den heute üblichen Systemen nicht möglich ist, muß der Wandler entsprechend steif ausgelegt sein. Mit dem LuK-TorCon-System ist es möglich, die Vorteile eines weichen Wandlers zu nutzen und die Nachteile zu vermeiden. Die Vorteile sind im wesentlichen eine bessere Zugkraft und geringere Stillstandsverluste. Die Nachteile - in vielen Bereichen unter Last höhere Verluste und der "Gummibandeffekt" - werden durch die ständig einsetzbare Überbrückungskupplung vermieden.

Mit dieser Auslegung wurden weitere prägnante Vorteile erreicht (siehe Bild 27). Die Fahrleistung wird deutlich erhöht und der Verbrauch beachtlich gesenkt. Außerdem werden die Emissionen überproportional verbessert: Die Testzyklen beginnen mit einer Kaltphase. Bei geöffneter Überbrückung erreicht der Motor bei einem weichen Wandler wesentlich schneller seine Betriebstemperatur, was sich günstig auf die Emissionen auswirkt.

Die Kosten, das Gewicht und das Massenträgheitsmoment des Gesamtsystems sind trotz deutlicher Vorteile tendenziell nicht höher als der Serienstand.

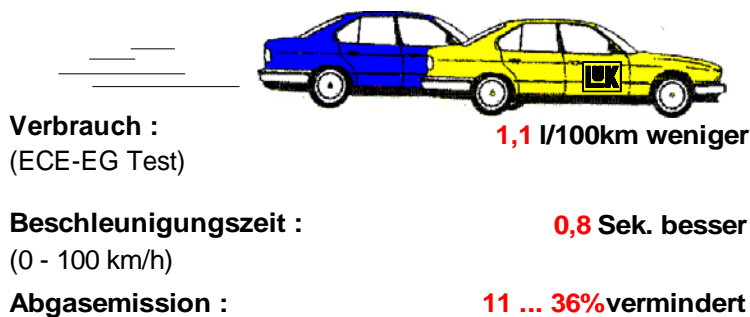


Bild 27: Meßwerte LuK-TorCon-System

Eine kostengünstige Lösung mit vielen Vorteilen: Die Kombination des LuK-TorCon-Systems mit einem 4-Gang-Getriebe

Das LuK-TorCon-System in Kombination mit einem 4-Gang-Getriebe kann in bezug auf Fahrleistung und Verbrauch ähnliche Vorteile wie ein 5-Gang-Getriebe mit herkömmlicher Überbrückungskupplung erreichen und das bei in der Gesamtheit deutlich geringerem Gewicht und geringeren Kosten als bei einem 5-Gang-Getriebe (ganz abgesehen von den möglichen Einsparungen bei den Entwicklungskosten und beim Investment für die Produktion).

Die Kombination eines weichen Wandlers mit weit gespreiztem 4-Gang-Getriebe zeigt im Zugkraftdiagramm in den meisten Bereichen sogar eine höhere Zugkraft als ein 5-Gang-Getriebe mit herkömmlichem Wandler (Bild 28).

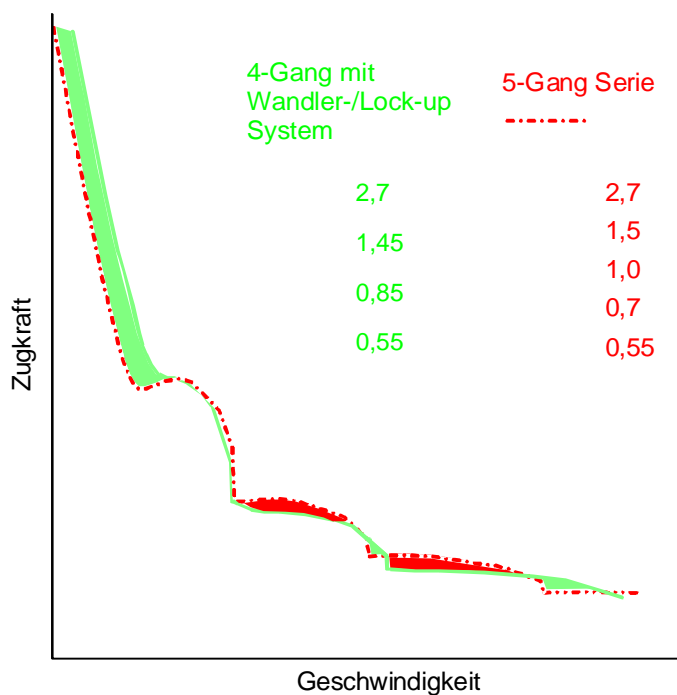


Bild 28: Vollast-Zugkraftdiagramm für ein 5-Gang-Getriebe mit herkömmlicher Überbrückungskupplung und für ein 4-Gang-Getriebe mit dem LuK-TorCon-System

Die größeren Gangsprünge werden durch den weicheren Wandler stufenlos ausgeglichen. Man erkennt auch, daß in Bereichen mit niedriger Last das 5-Gang-Getriebe über zwei Gang-Stufen schalten muß im Gegensatz zu dem 4-Gang-Getriebe mit dem LuK-TorCon-System, d.h. die Schalthäufigkeit des Getriebes reduziert sich (Bild 29).

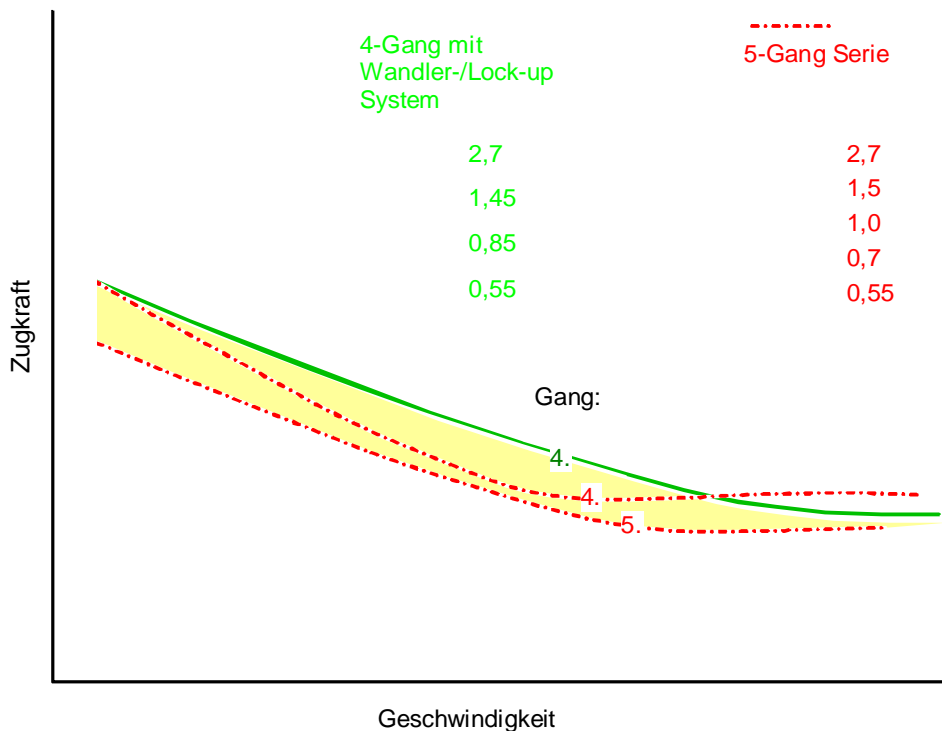
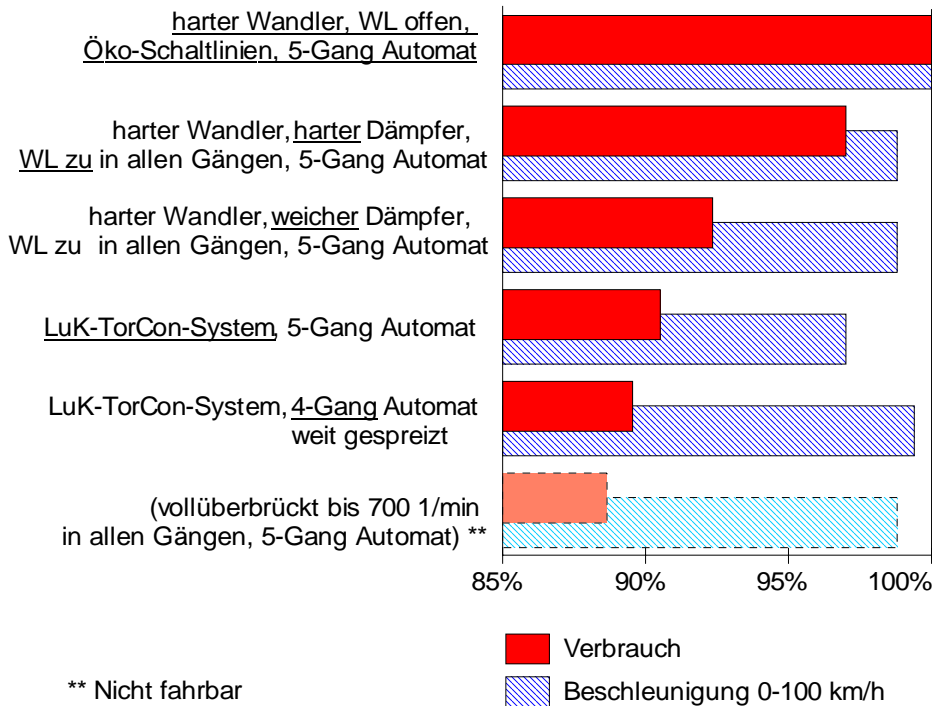


Bild 29: Teil-Zugkraftdiagramm für ein 5-Gang-Getriebe mit herkömmlicher Überbrückungskupplung und für ein 4-Gang-Getriebe mit dem LuK-TorCon-System

In der **Beschleunigung** von 0 auf 100 km/h gibt es zwischen herkömmlichem 4-Gang-Getriebe und 5-Gang-Getriebe keine großen Unterschiede, da die Übersetzungen in den ersten Gängen fast gleich sind. Mit dem 4-Gang-Getriebe mit LuK-TorCon-System ergeben sich (durch die weichere Wandlerauslegung) Beschleunigungsvorteile gegenüber dem herkömmlichen 5-Gang-Getriebe. Im **Verbrauch** lassen sich wesentliche Verbesserungen sowohl im Vergleich zum herkömmlichen 4-Gang-Getriebe wie im Vergleich zum herkömmlichen 5-Gang-Getriebe erreichen. Auch bei den Emissionen sind starke Verbesserungen zu erwarten.

Zusammenfassung:

Die LuK bietet als Systemlieferant je nach vom Kunden gewünschter Integrationstiefe eine breite Palette von Lösungen für Wandlerüberbrückungen. Von der herkömmlichen Überbrückung bis zum Turbinendämpfer, dem LuK-TorCon-System und dem Konzept LuK-TorCon-System mit 4-Gang-Automat. Einen abschließenden Vergleich für die Kriterien Verbrauch und Beschleunigung zeigt Bild 30.



Der harte Dämpfer kann ab 1600 1/min eingesetzt werden.

Der weiche Dämpfer wird ab 1100 1/min eingesetzt. Bauart je nach Triebstrang als Turbinendämpfer oder herkömmlicher Torsionsdämpfer.

Bei der Beschleunigung ist die Überbrückung im Wandlungsbereich geöffnet.

Bild 30: Vergleich der Wandlerüberbrückungssysteme

Literatur

[1] VDI-Bericht Nr. 1099 zur 13. VDI-VW-Gemeinschaftstagung

[2] LuK-Kolloquium 1986, S.5

[3] LuK-interner Bericht 047/94, H. Seebacher