

# Automatisierung von Schaltgetrieben

Dr. techn. **Robert Fischer**

Dr.-Ing. **Reinhard Berger**

## Einleitung

Die steigende Verkehrsdichte, eine wachsende Zahl von Vorschriften sowie die höheren Treibstoffpreise werden von vielen Bürgern beklagt. All dies deutet darauf hin, daß die Automatisierung des Antriebsstranges zunehmen wird. Die sich durchsetzenden Automatisierungslösungen werden davon abhängen, wie preisgünstig und komfortabel die entwickelten Systeme sind. Die Automatisierung des Handschaltgetriebes verspricht, eine kostengünstige, verbrauchsgünstige und komfortable Lösung zu sein.

In welchen Marktsegmenten wird sich die Automatisierung des Handschaltgetriebes unserer Ansicht nach durchsetzen?

Beim Elektronischen Kupplungsmanagement (EKM) gibt der Fahrer selbst den Schaltzeitpunkt und Ablauf des Gangwechsels vor. Insofern ist das Verhalten dem eines konventionellen Handschaltgetriebes sehr ähnlich. Die Kupplungsstrategien werden von LuK für alle Fahrzeug- und Momentenklassen beherrscht. So könnte das EKM für Fahrer, die gerne selbst schalten, in jeder Drehmomentklasse angeboten werden.

Beim Automatisierten Schaltgetriebe (ASG) erfolgt der Gangwechsel automatisch und im Gegensatz zum Stufenautomaten prinzipbedingt mit Zugkraftunterbrechung. Diese ist um so deutlicher spürbar, je höher die Zugkraft, die unterbrochen wird, ist. Wir vermuten deshalb, daß sich das ASG vor allem bei Kleinfahrzeugen durchsetzen wird. Der zunehmende Einsatz von E-Gas erleichtert außerdem die Einführung des ASG.

Dieser Bericht gliedert sich in drei wesentliche Blöcke. Zunächst wird der aktuelle Serienstand des Elektronischen Kupplungsmanagements vorgestellt. Der zweite Abschnitt behandelt die Weiterentwicklungen dieses Systems. Im dritten Teil wird über das Automatisierte Schaltgetriebe berichtet.

# Elektronisches Kupplungsmanagement: Serienstand

## Prinzipaufbau

Bild 1 zeigt den Prinzipaufbau des elektromotorischen EKM. Dieses Bild wurde bereits auf dem letzten Kolloquium [1] präsentiert und zeigte damals die Entwicklungsrichtung auf. Basis des EKM's ist hier die selbstnachstellende, kraftreduzierte Kupplung (SAC) [2], die in Kombination mit der Momentennachführung (siehe Kapitel 2.3) einen kleinen Elektromotor als Stellantrieb ermöglicht. Dieser kleine Elektromotor hat eine geringe Wärmeentwicklung, so daß Stellantrieb und Steuergerät zu einem „intelligenten Aktor“ integriert werden können. Dieser ersetzt das Kupplungspedal und liefert höchsten Kupplungskomfort. Änderungen am Ausrücker und am Getriebe sind nicht notwendig. Als Zusatzaufwand sind nur Sensoren zur Detektion der Schaltabsicht bzw. zur Gangerkennung erforderlich. Alle anderen Signale sind im Fahrzeug bereits vorhanden.

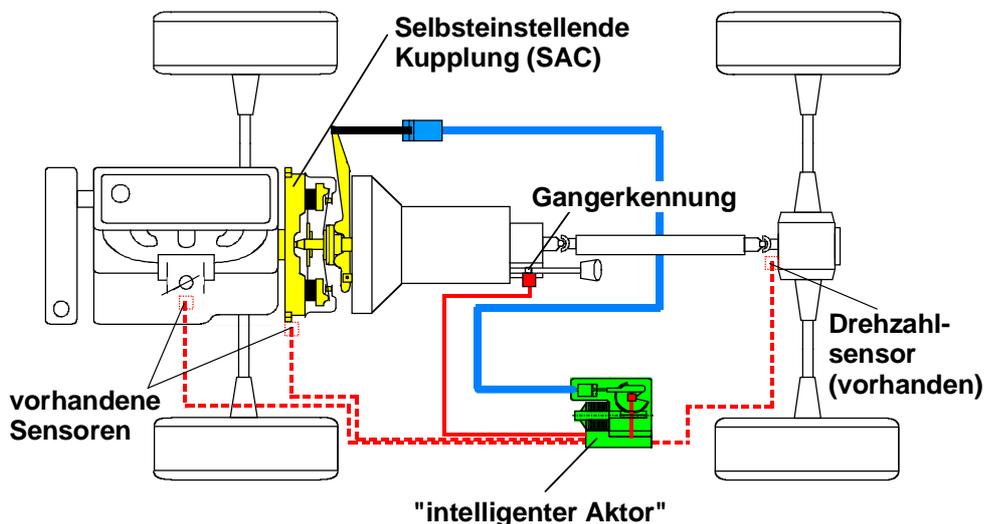


Bild 1: Systemübersicht: elektromotorisches EKM

Bei der EKM-Entwicklung ist LuK eine Kooperation mit BOSCH eingegangen, wobei LuK die Gesamtsystem-Verantwortung hat.

## Aufwandsminimierung

Ein sehr wichtiges Ziel bei der Entwicklung des EKM's war die Aufwandsminimierung. Das System sollte ein reines Add-On-System sein, d. h., Änderungen an Getriebe, Schaltung und Ausrücksystem sollten vermieden werden. Hinzu kommt die Beschränkung auf eine möglichst kleine Anzahl von Sensoren und die Reduzierung des Verkabelungsaufwands, siehe Bild 2. So wurde festgelegt, daß auf den Kupplungswegsensor verzichtet wird, ebenso entfällt der Getriebeeingangsdrehzahlsensor. Bei der Schaltabsicht wurde als Ziel gesetzt, ohne Änderung am Schaltgefühl durch eine aufgeklippte Wegmessung die Schaltabsicht des Fahrers zu detektieren und keine Modifikation am Schalthebel zu benötigen. All dies konnte durch intelligente Softwarestrategien realisiert werden [3].

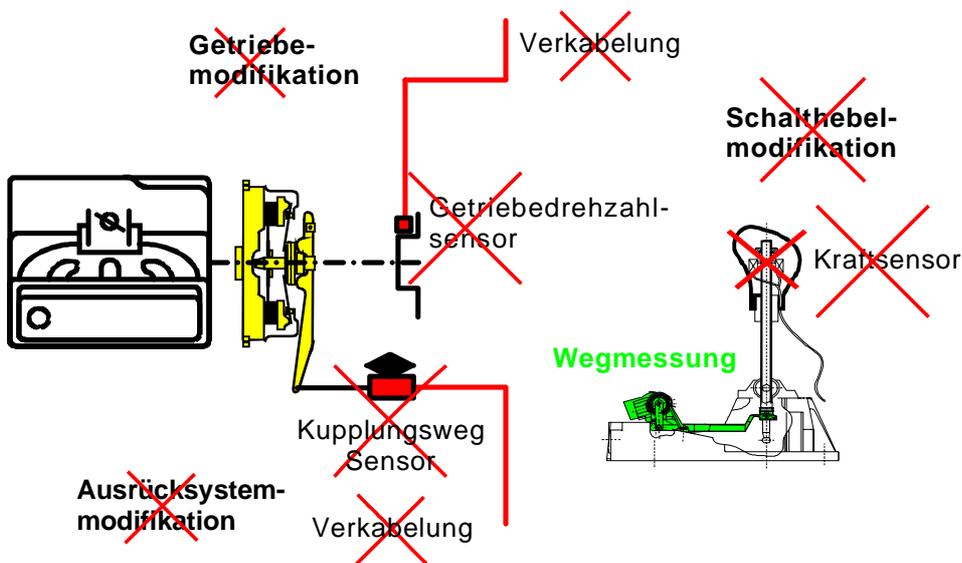


Bild 2: Add-On EKM: Aufwandsminimierung

Ein weiterer Punkt ist die bereits erwähnte Integration von Stellantrieb und Steuergerät.

## Momentennachführung

Wichtige Basis für schnelle Kuppelzeiten trotz kleinem Elektromotor und für guten Lastwechselkomfort ist die Momentennachführung, deren Funktionsweise anhand von Bild 3 erläutert wird.

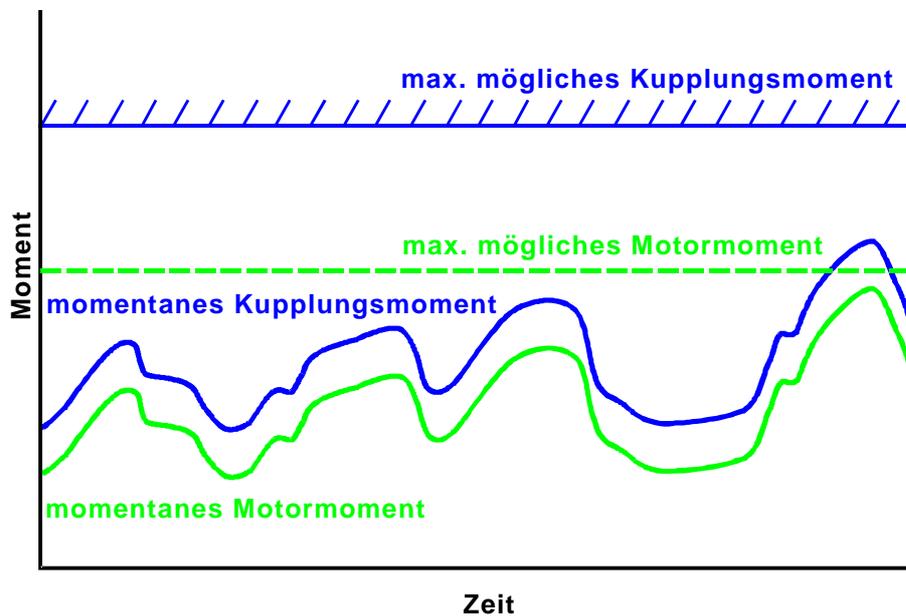


Bild 3: Zeitverlauf Momentennachführung

Eine Kupplung muß das Motormoment auch im ungünstigsten Fall sicher übertragen können und deshalb eine ausreichende Zusatzreserve bieten. In der Praxis kann eine völlig geschlossene Kupplung das 1,2- bis 2,5-fache des maximal möglichen Motormoments übertragen. Die Momentennachführung basiert auf der Grundidee, das Kupplungsmoment dem momentanen Motormoment anzupassen und nur eine kleine Sicherheit zu lassen.

Den Vorteil bei einem Schaltvorgang zeigt Bild 4. Bei einem konventionellen System ohne Momentennachführung liegt das Kupplungsmoment weit über dem Motormoment. Will der Fahrer schalten und geht vom Gas, fällt das Motormoment. Bei Betätigung des Schalthebels wird die Schaltabsicht ausgelöst und die Kupplung muß nun von "ganz geschlossen" bis "ganz geöffnet" verfahren werden. Das definiert die Auskuppelzeit. Diese darf nicht zu lang sein, sonst überträgt die Kupplung während der Synchronisierung des nächsten Ganges noch Moment, was zu Getrieberatschen oder Getriebeschäden führen kann.

Bild 4b zeigt den gleichen Vorgang mit Momentennachführung. Das Kupplungsmoment liegt nur knapp über dem Motormoment. Dadurch ist schon der Weg bis "ganz geöffnet" deutlich geringer als beim konventionellen Ablauf. Geht nun der Fahrer vom Gas, weil er schalten möchte, sinkt das Motormoment und damit sofort auch das Kupplungsmoment. Bei Auslösung der Schaltabsicht ist die Kupplung somit schon fast geöffnet und das restliche Auskuppeln erfolgt sehr schnell. Auch gerissene Schaltungen sind damit ohne Getriebegeräusch oder Getriebebeschädigungen möglich.

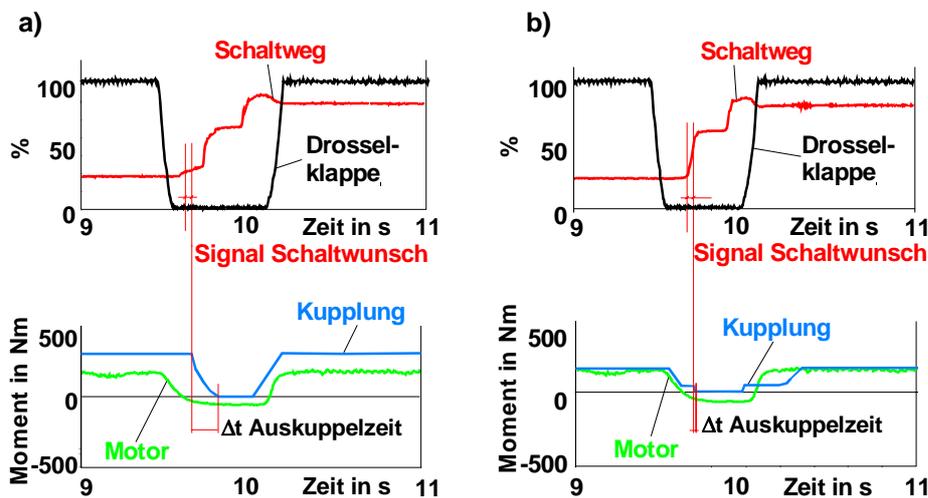


Bild 4: Schaltvorgang a) ohne Momentennachführung und b) mit Momentennachführung

Die Alternative zum elektromotorischen EKM ist das hydraulische. Ein solches System wurde von LuK bereits in Serie gebaut. Es ist wesentlich aufwendiger als das elektromotorische, theoretisch dafür schneller. Durch die Momentennachführung sind jedoch auch elektromotorisch extrem kurze Kuppelzeiten möglich, die der hydraulischen Lösung nicht nachstehen.

Ein weiterer Vorteil der Momentennachführung ergibt sich bei Lastwechseln. Ein schneller Gasstoß erzeugt Momentenspitzen und damit Ruckelschwingungen, welche je nach Fahrzeug unterschiedlich stark ausfallen (Bild 5a). Diese werden bei der Momentennachführung durch eine sehr kurze Schlupfphase, die für Verbrauch und Verschleiß nicht relevant ist, verhindert.

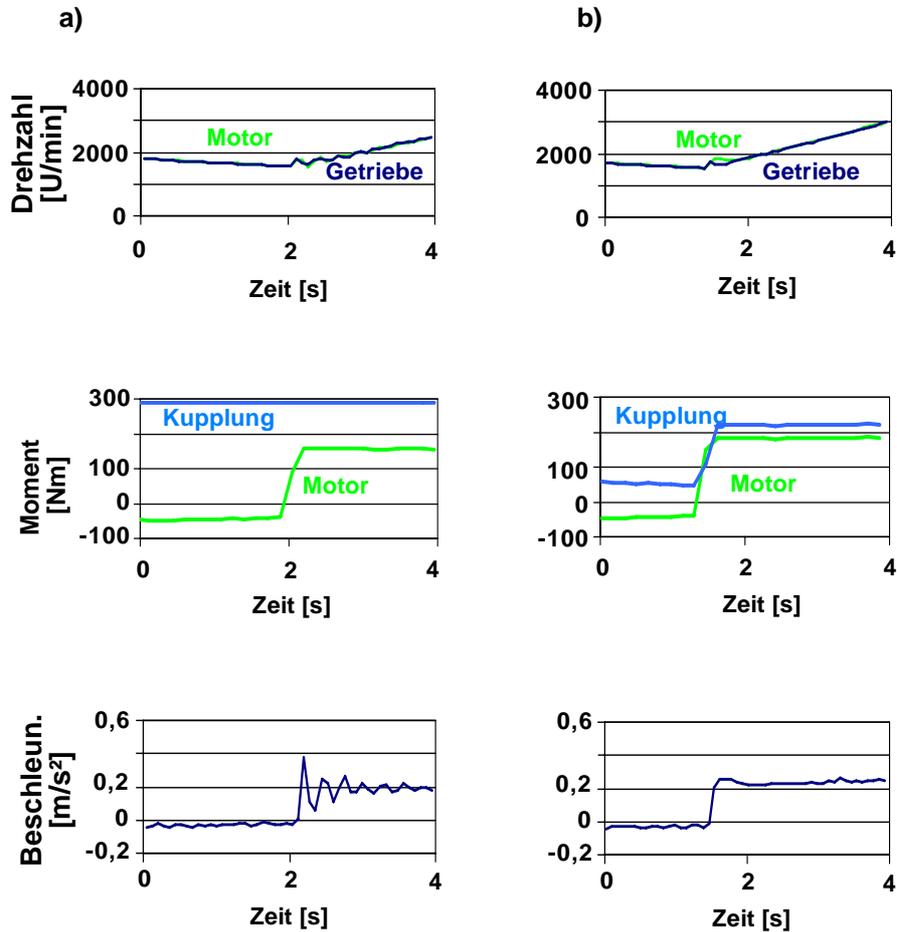


Bild 5: Lastwechsel a) ohne Momentennachführung und b) mit Momentennachführung

Auch die Beanspruchung des Triebstranges wird durch EKM mit Momentennachführung begrenzt:

- Bei Knallstart gibt es keine Stöße durch plötzliches Zuschnappen der Kupplung (gilt für jedes EKM).
- Die maximale Momentenübertragungsreserve der Kupplung wird gewöhnlich nicht genutzt, die Kupplung wirkt als eine Drehmomentenbegrenzung.
- Deshalb wird auch bei abtriebsseitigen Stößen die Momentenüberhöhung reduziert.
- Der Kupplungsverschleiß ist tendenziell geringer als bei Pedalbetätigung, da die Elektronik im Gegensatz zum Fahrer in jeder Situation optimal agiert (gilt für jedes EKM).

Der Triebstrang könnte bei 100 % EKM-Einsatz demnach schwächer dimensioniert werden.

Aufgrund der Momentennachführung steht das Ausrücksystem mit seinen Dichtungen, Leitungen und dem Ausrücklager ständig unter Last. Es hat sich in den mehr als 4 Mio. Erprobungskilometern gezeigt, daß dies aus folgenden Gründen nicht kritisch ist:

- Die geringe Ausrückkraft der SAC führt zu einer vergleichsweise niedrigen Maximallast.
- Durch die verkürzten Betätigungswege beim Öffnen der Kupplung werden die Zusatzwege bei Modulation des Kupplungsmoments kompensiert, so daß die Summe der Betätigungswege nicht größer als beim konventionellen System ist.

## Serienausführung

Bild 6 zeigt die heutigen Serienkomponenten, den intelligenten Kupplungsaktor, der das Kupplungspedal ersetzt, die ausrückkraftreduzierte selbstnachstellende Kupplung (SAC) und die als Add-On angebrachten Sensoren für Schaltabsicht und Gangerkennung.

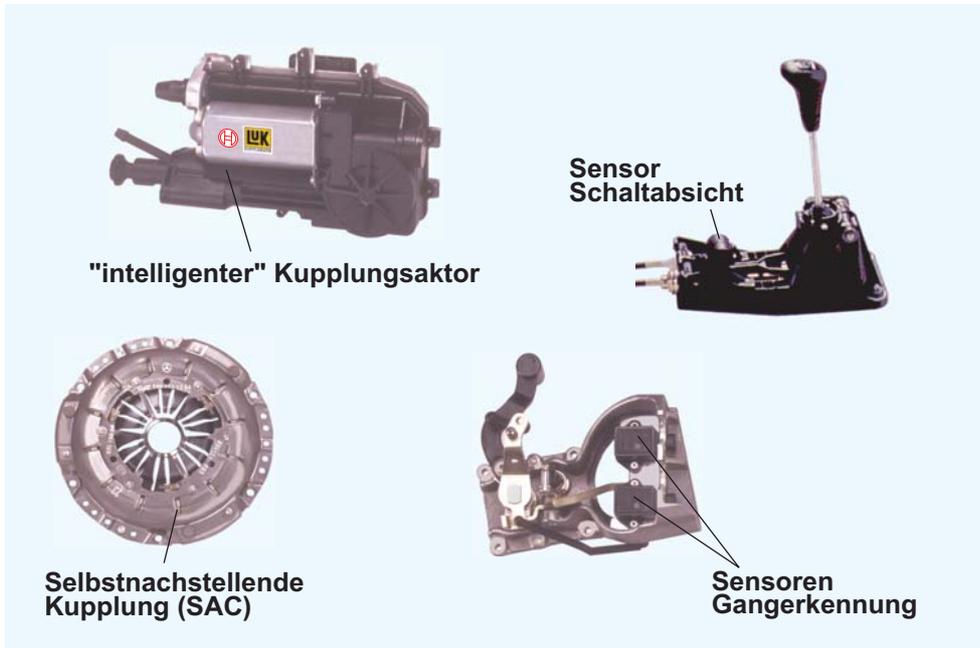


Bild 6: Add-On EKM: Komponenten

Der Kupplungsaktor beinhaltet den sonst im Pedalbock integrierten Geberzylinder. Er könnte statt dem hydraulischen Ausrücksystem mit Zentralausrücker auch ein semihydraulisches bedienen. Mit geringfügigen Modifikationen ließe er sich auch an eine rein mechanische Kupplungsbetätigung anpassen.

Die Einfachheit der gezeigten Komponenten läßt hohe Funktionsicherheit erwarten. Die Komponenten sind auch deshalb so einfach, weil durch großen Software-Entwicklungsaufwand auf zusätzliche Sensoren, wie zum Beispiel Getriebeeingangs-Drehzahlsensor und Kupplungswegsensor verzichtet werden konnte. Daß dies nicht zu Lasten des Komforts ging, zeigen folgende Pressestimmen.

**...Ausgerüstet war er bei den Testfahrten mit einer Halbautomatik (nur schalten, nicht kuppeln) die hervorragend mit dem Konzept harmoniert...**  
Autoflotte 7/1997

**...Schalten macht Freude - erst recht, wenn man ... die automatische Kupplung geordert hat. Sie funktioniert so perfekt, daß wir für sie alle Tip- und Steptronics dieser Welt stehen lassen würden...**

FAZ 10/1997

**...Ein weiterer Fortschritt in Sachen Komfort ist die vom Spezialisten LuK entwickelte automatische Kupplung...**  
mot 17/1997

...die neuentwickelte automatische Kupplung...  
Das Schalten wird dadurch zum reinen Vergnügen und dürfte selbst Schaltmuffel dazu verleiten, den jeweils für Komfort und Verbrauch günstigsten Gang zu nutzen...

Handelsblatt 26.06.97

**...oder Halbautomatik mit Handschaltung, ohne zu kuppeln (diese Version würde David Coulthard kaufen)...**  
Die Welt 28.06.97

Bild 7: Pressestimmen zum LuK-EKM

# **Elektronisches Kupplungsmanagement: Weiterentwicklung**

## **Ziele**

Mit dem jetzigen Serienstand wurde schon eine recht preisgünstige und leistungsfähige Lösung erreicht. Die Marktdurchdringung wird um so höher sein, je günstiger und kompakter dieses System ist und je mehr Zusatzfunktionen realisiert werden. LuK hat sich folgende Ziele gesetzt:

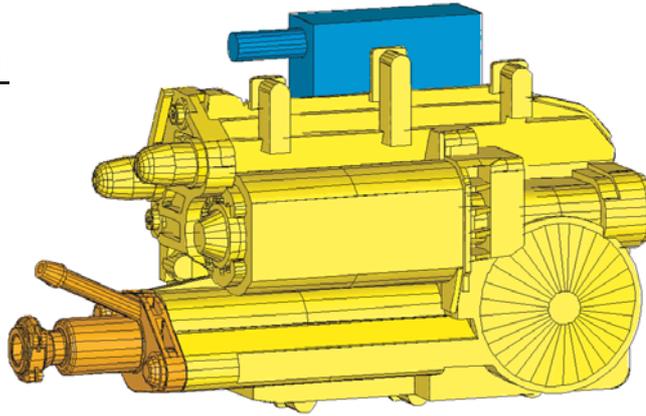
- Minimierung von Bauraum und Gewicht
- Verbesserte Applizierbarkeit
- Bedienung höherer Drehmomente
- Funktionserweiterung
- Kostensenkung

## **Kupplungsaktor**

Der jetzige Serienstand beinhaltet Bauteile, die sich in anderen KFZ-Anwendungen bewährt haben und gerade deshalb eingesetzt wurden. Dies sind unter anderem das Schneckengetriebe und der Kurbeltrieb. Ein Spindeltrieb bietet eine größere Flexibilität und die Möglichkeit des Ausgleiches von Toleranzen ohne Ersteinstellung.

Zusätzlich schrumpfte infolge von Weiterentwicklung die Steuer- und Leistungselektronik. Insgesamt könnten also Bauraum und Gewicht reduziert und eine höhere Leistungsfähigkeit erzielt werden.

## Serienstand



## Neuentwicklung

Bauraum/Gewicht	- 30%
Applizierbarkeit	↑
Leistung	+ 50%
Kosten	- 10%

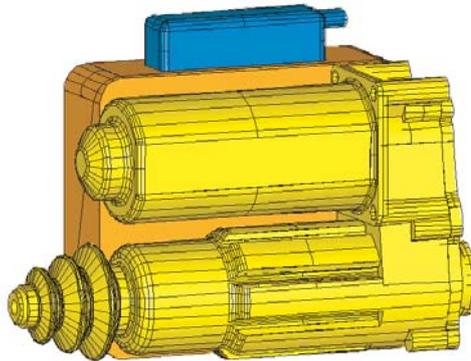


Bild 8: Neuentwicklung Kupplungsaktor

Durch Verfolgen eines modularen Konzepts wird außerdem die Applizierbarkeit des Kupplungsaktors verbessert, insbesondere bei Direktanbau am Getriebe.

## **Kupplung**

Die beim EKM eingesetzte SAC reduziert im Vergleich zum konventionellen System bereits die notwendige Kraft und damit auch die vom Aktor zu leistende Arbeit. Weiterentwicklungsziel ist eine noch bessere Abstimmung des Gesamtsystems „Kupplung, Aktor, Software“, um einfachere und kostengünstigere Komponenten zu erhalten. Ein Lösungsansatz ist eine durch eine äußere Kraft zugeführte Kupplung, LuK nennt sie „Active Clutch“ (AC), vgl. Bild 9.

In der hier präsentierten Form wird die AC einfacher als die SAC oder eine konventionelle Kupplung. Zum Zudrücken wird lediglich ein Hebel verwendet. Dadurch ergibt sich eine direkte Zuordnung zwischen Betätigungsweg, Betätigungskraft und Kupplungsmoment, was die Regelbarkeit und die Modulierbarkeit verbessert.

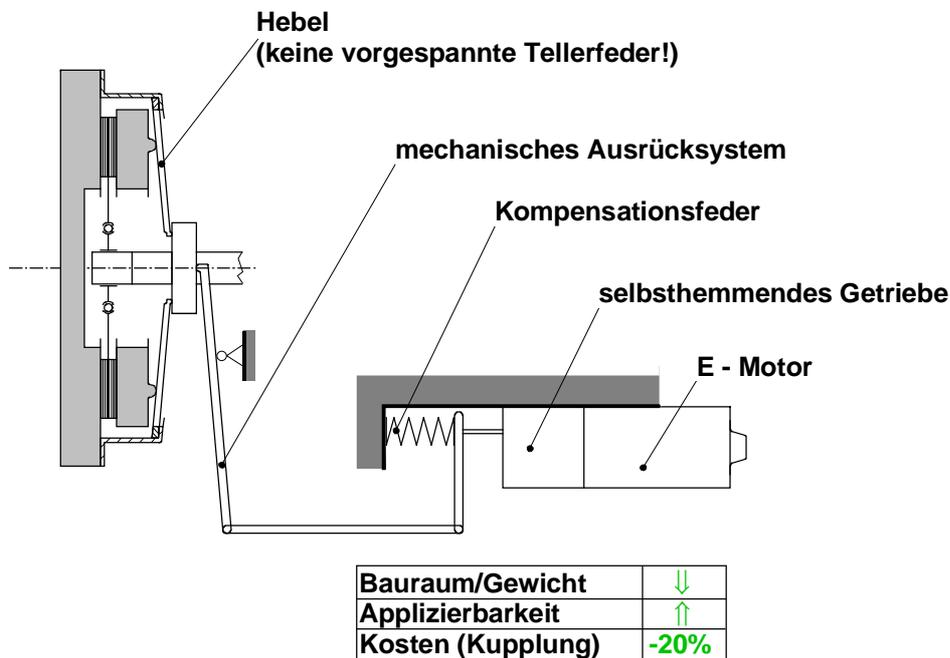


Bild 9: Active Clutch (AC): Prinzipbild

Warum kann die Kupplung derart vereinfacht werden ?

Aufgrund der Momentennachführung ergibt sich eine charakteristische Häufigkeitsverteilung der Kupplungsmomente und damit auch des Betätigungsweges. Bekanntermaßen sind nicht nur in gesetzlichen Fahrzyklen, sondern auch im praxisnahen Fahrbetrieb die Stillstands- und Niederlastanteile relativ hoch. Dementsprechend findet sich in der Häufigkeitsverteilung ein Maximum bei einem relativ geringen Kupplungsmoment (Teillast- und Schubetrieb), vgl. Bild 10a.

Betrachtet man nun die Betätigungskraft der SAC, so sieht man, daß besonders im Häufigkeitsmaximum die größte Kraft auftritt (Bild 10b). Die Idee war nun, bei einer Neukonstruktion der Kupplung die Betätigungskraft im Häufigkeitsmaximum auf "Null" zu legen, die AC erfüllt diese Bedingung, vgl. Bild 10c.

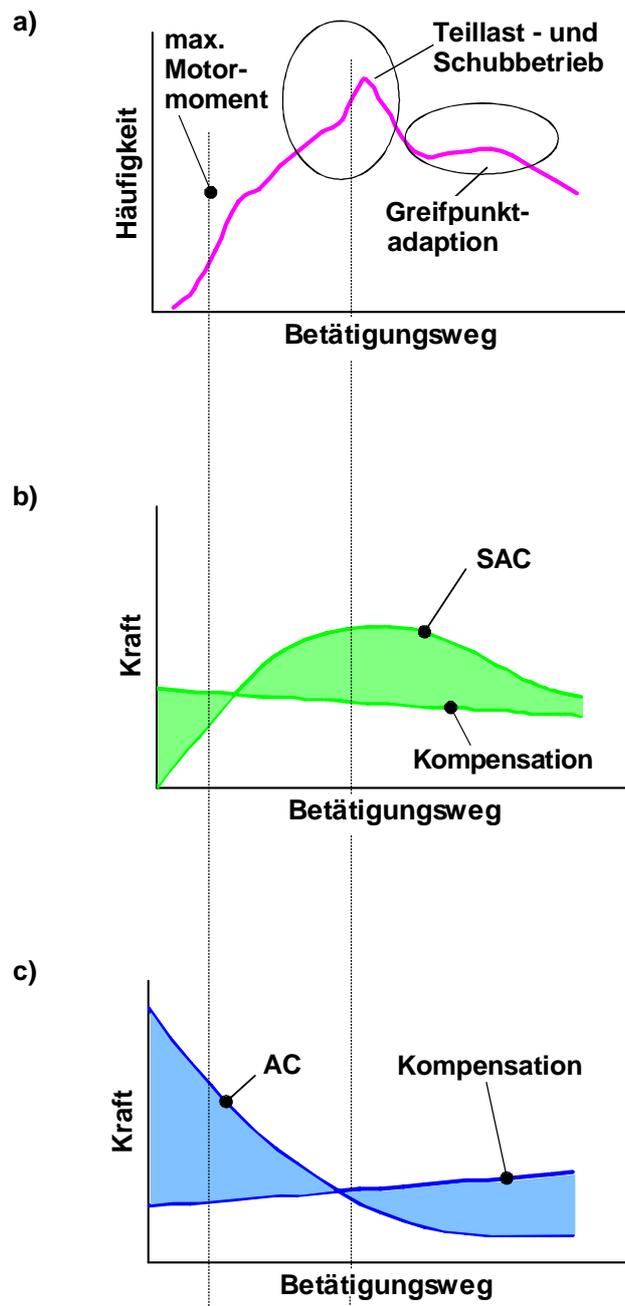
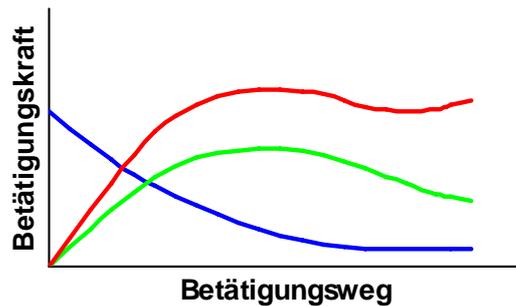


Bild 10: Active Clutch (AC), Lastkollektiv bei Momentennachführung

Im Vergleich ist die maximale Betätigungskraft bei der AC größer als bei der SAC (Bild 11a), die durchschnittliche Ausrücklagerbelastung hingegen geringer (Bild 11b). Die die Leistungsfähigkeit des Kupplungsaktors begrenzende energetische Gesamtbelastung (Aktorarbeit) ist bei AC und SAC gleich, aber deutlich günstiger als mit konventioneller Kupplung. Dies zeigt Bild 11b.

Durch einen geeigneten Verschleißausgleich lässt sich bei der AC nochmals eine deutliche Absenkung der benötigten Kraft und damit der Aktorarbeit erreichen (Schraffur in Bild 11b), wodurch entweder höhere Drehmomente oder eine Verkleinerung des E-Motors möglich werden.

a)



b)

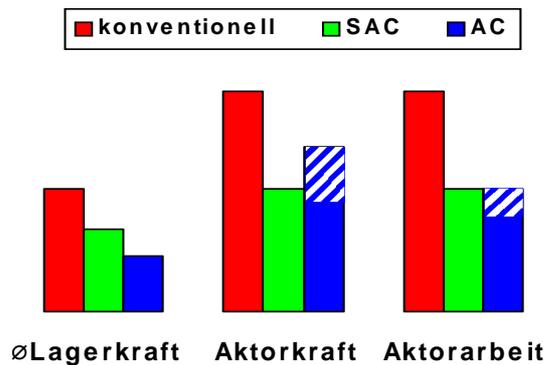


Bild 11: Active Clutch (AC) – Systemvergleich

## Gang- und Schaltabsichtserkennung

Heute werden ein Sensor für die Schaltabsicht und zwei Sensoren für die Gangerkennung verwendet.

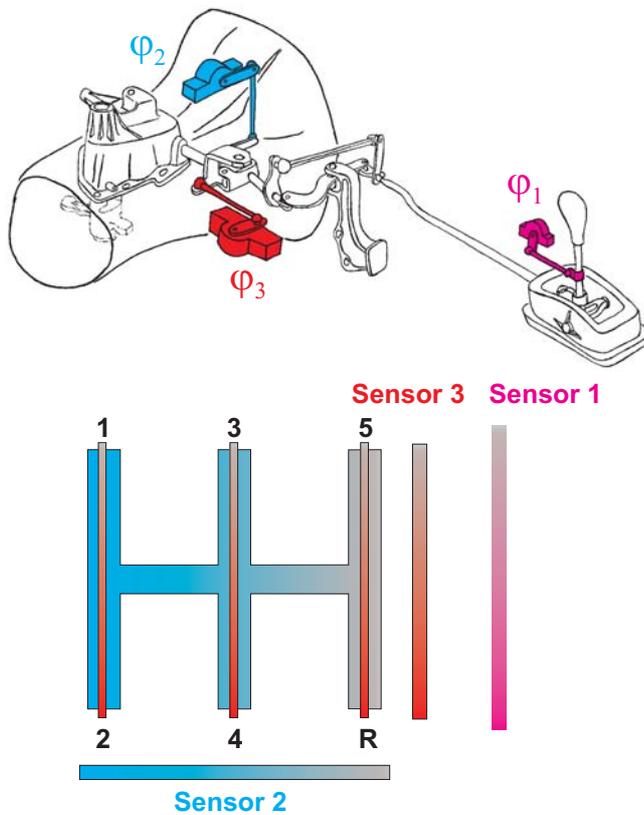


Bild 12: Gang- und Schaltabsichtserkennung mit drei Sensoren

Der Sensor 3 für die Gangerkennung in Schaltrichtung und der Schaltabsichtssensor (1) erfassen eigentlich die gleiche Bewegungsrichtung. Ob hier überhaupt zwei Sensoren notwendig sind, hängt sehr stark von der äußeren Schaltung ab. Weil dort Spiele und Elastizitäten anzutreffen sind, ist die Zuordnung zwischen Schaltabsichtserkennung und Gangsensorik unscharf.

Um auch für äußere Schaltungen mit Spiel und Elastizität mit nur zwei Sensoren auszukommen, wird der Wählsensor schräg angeordnet. Damit deckt er sowohl die Wähl- wie auch die Schaltrichtung ab. Das auf das Getriebe bezogene, weniger scharfe Signal des Schaltabsichtssensors reicht in dieser Kombination aus, um eindeutig die Gangposition zu identifizieren.

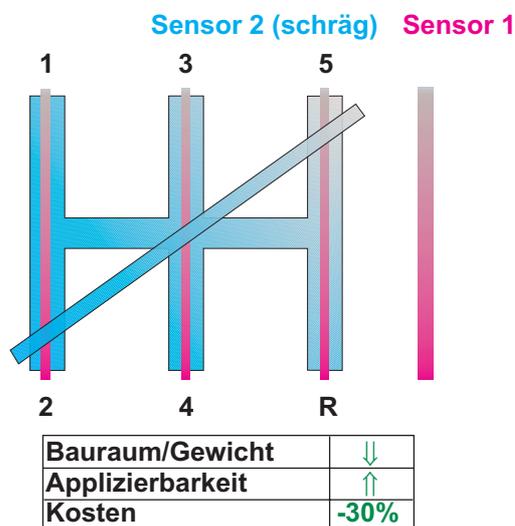
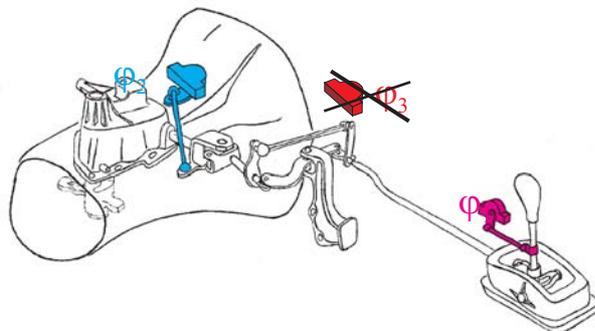


Bild 13: Gang- und Schaltabsichtserkennung mit nur zwei Sensoren

Im günstigen Fall werden in Zukunft also zwei Sensoren für die Funktionen Gang- und Schaltabsichtserkennung ausreichen.

## Schlupf

Früher wurden EKM-Entwicklungen hauptsächlich mit dem Ziel der Schwingungsdämpfung durch Schlupf betrieben [4]. Dieses Ziel wurde verlassen, weil der Gesamtverschleiß bei dauernd schlupfenden Systemen sehr hoch war. Dies folgte nicht allein aus der höheren Verlustleistung, sondern auch der spezifische Verschleiß bei Dauerschlupf erwies sich deutlich höher als beim Anfahren und Schalten.

Die SAC hat eine erhöhte Verschleißreserve und bietet daher eine günstige Perspektive. Trotzdem wird man bemüht sein, den bei Schlupfregelung immer auftretenden Verschleiß deutlich zu minimieren.

Ein weiterer Problempunkt bei Dauerschlupfsystemen ist der erhöhte Verbrauch. Tatsache ist aber auch, daß bei ruhigerem Triebstrang, die Fahrer in höheren Gängen und damit verbrauchsgünstiger fahren, wie sich auch beim ZMS bestätigt hat.

LuK hat daher eine Gesamtsystemoptimierung vorgenommen.

In Bild 14 sind die Zusammenhänge zunächst einmal ohne Schlupf dargestellt. Danach ist es mit konventionell optimierten Torsionsdämpfern (14/2) möglich, im Fahrbetrieb die Schwingbreite am Getriebeeingang unter der Motoranregung (14/1) zu halten. Setzt man nun Schlupf ein, geht man zunächst davon aus, daß man den Torsionsdämpfer entfallen lassen kann. Die Schwingbreite unter Verwendung einer starren Kupplungsscheibe (14/3) ist aber sehr viel höher als mit einem optimierten Torsionsdämpfer. So ist in diesem Beispiel die Schwingbreite mit starrer Kupplungsscheibe bei 1600 1/min ungefähr um ein Vierfaches höher als mit dem normalen Torsionsdämpfer.

Um mit Schlupf eine Verbesserung zu erreichen, kann man als groben Anhaltswert nehmen, daß Schlupf in Größe der sonst vorhandenen Schwingbreite erzeugt werden muß. Man würde also mit einer starren Kupplungsscheibe einen sehr hohen Schlupf in allen Fahrbereichen benötigen.

Beim optimalen System mit schlupfender Kupplung wird ein vereinfachter Torsionsdämpfer ohne Reibeinrichtung mit relativ weicher Federrate eingesetzt. Man erkennt im Bild, daß nichtschlupfend (14/4) die Abkoppelung schon ab einer Drehzahl von 1.300 1/min besser als mit dem optimierten Torsionsdämpfer ist.

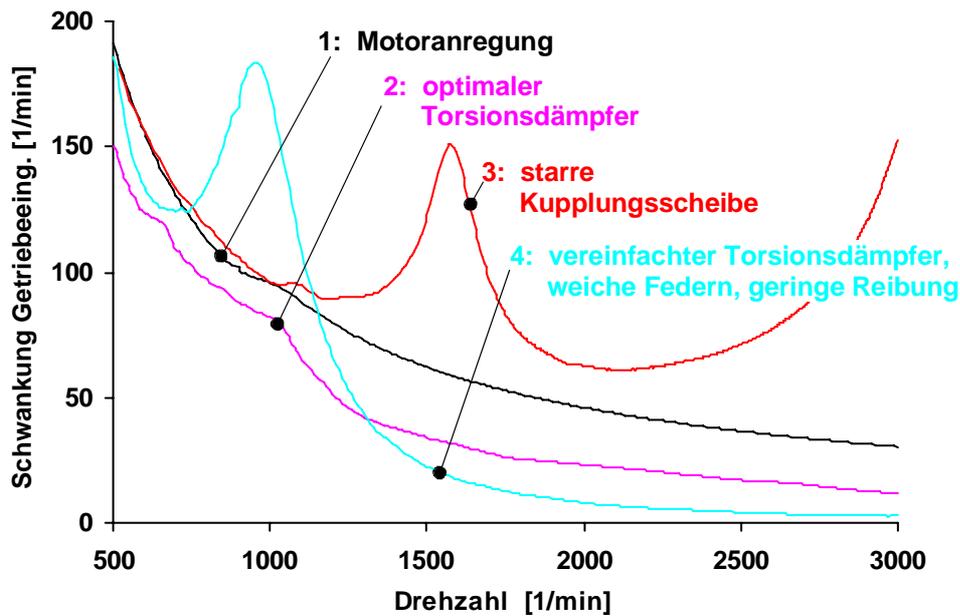


Bild 14: Triebstrangschwingungen bei nichtschlupfenden Systemen

Wie kommt es nun zur Optimierung? Setzt man bei vereinfachtem Torsionsdämpfer Schlupf ein, so kann man die Resonanz im unteren Drehzahlbereich eliminieren. Interessanterweise ergibt sich eine neue Resonanzspitze (in Bild 15 dünn gestrichelt dargestellt), die höher liegt als die Resonanz ohne Schlupf. Das läßt sich mit der geänderten Drehmassenverteilung erklären: beim Schwingungssystem ohne Schlupf ist der Triebstrang zwischen der schweren Motordrehmasse und der Fahrzeugmasse eingespannt, beim schlupfenden System wird die Motordrehmasse durch die wesentlich kleinere Drehmasse der Kupplungsscheibe ersetzt. Es wäre beim gezeigten Beispiel also nicht sinnvoll, im Bereich von ca. 1.600 1/min zu schlupfen, wo die Schwingbreite ohne Schlupf deutlich geringer ist (siehe Bild 15). Zu erwähnen bleibt, warum diese Resonanz beim schlupfenden System überhaupt angeregt wird. Hintergrund hierfür ist, daß ein schlupfendes System niemals vollständig abkoppeln kann. Durch den Reibwertverlauf, durch schwankende Schlupfdrehzahl, aber auch durch Planschlagabweichungen und ähnliches kommen Anregungen über die schlupfende Kupplung in den Triebstrang.

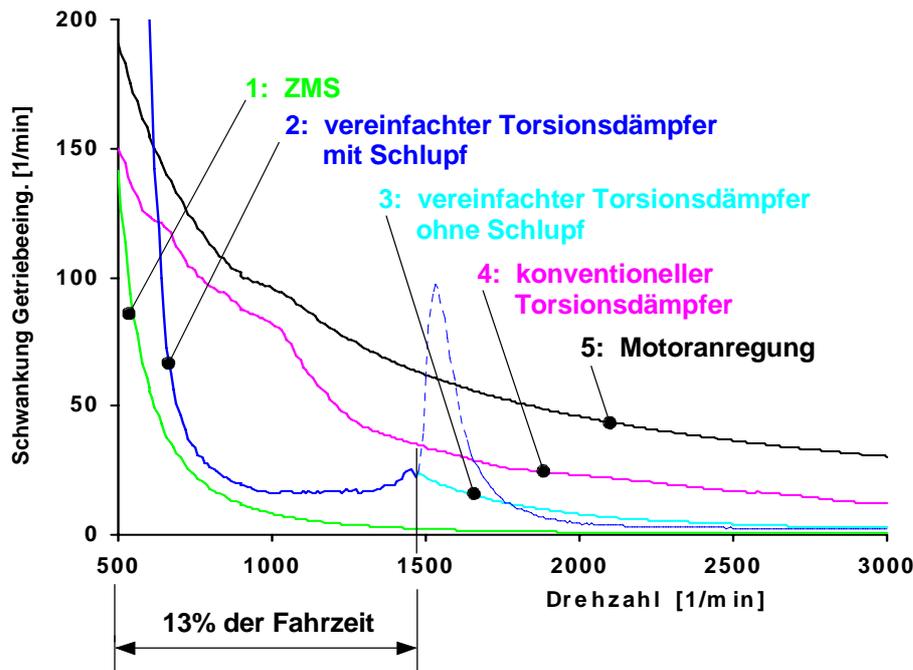


Bild 15: Gesamtsystemoptimierung durch schlupfende Kupplung

Bild 15 zeigt, daß sich mit dem optimierten schlupfenden System und vereinfachtem, weichem Torsionsdämpfer (15/2 und 15/3) eine deutlich bessere Schwingungsabkoppelung als nur mit einem konventionellen Torsionsdämpfer (15/4) erreichen läßt. Bei vertretbaren Schlupfwerten bleibt allerdings die Abkoppelungsqualität des ZMS (15/1) unerreicht.

Ein Fahrzeug mit einem derartig schlupfenden System wurde in die Kundenerprobung geschickt. Dabei kam man zu folgenden interessanten Ergebnissen: Insgesamt wurden nur 13% der Fahrzeit mit Schlupf gefahren, was den Verschleiß um 13% und den Verbrauch um nur 0,4% erhöhte. Diese Verschleißerhöhung fängt die SAC leicht ab.

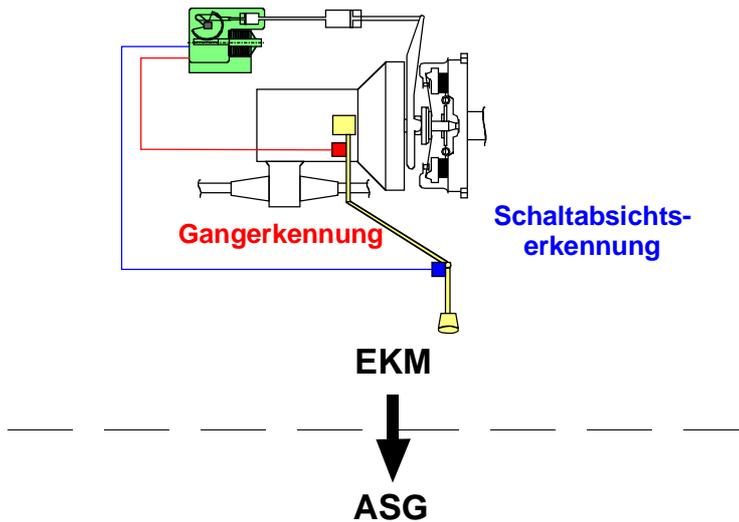
Ein Wermutstropfen bleibt jedoch. Dieses Beispiel gilt für ein heckgetriebenes Fahrzeug, bei dem die Resonanzdrehzahlen üblicherweise von vornherein schon relativ tief sind. Bei frontgetriebenen Fahrzeugen liegt die Resonanz zumeist deutlich höher und läßt sich mit einem sehr weichen Torsionsdämpfer auch nicht aus dem Hauptfahrbereich schieben. Hier kann man mit diesem gesamtoptimierten Konzept zwar Verbesserungen zu den konventionellen Ansätzen erreichen, Verschleiß und Verbrauch nehmen aber zu. Untersuchungen an einem Fahrzeug der Kompaktklasse ergaben 40% mehr Verschleiß und einen Mehrverbrauch von 0,8%.

# Automatisiertes Schaltgetriebe (ASG)

## Aufbau

Die automatisierte Kupplung des EKM-Systems und die damit gewonnenen Serienerfahrungen werden vorteilhaft in die komplette Automatisierung des Schaltgetriebes übernommen.

### Kupplungsaktor mit integr. EKM - Steuergerät



### Kupplungsaktor mit integr. ASG - Steuergerät

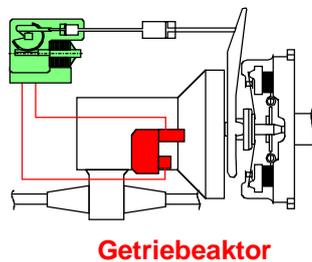


Bild 16: Prinzipdarstellungen von Add-On EKM und ASG

Dann entfällt die beim EKM noch notwendige Außenschaltung inklusive Schaltabsichtserkennung und Gangerkennung. Sie wird durch einen elektromotorischen Getriebeaktor ersetzt (Bild 16).

Auch bei dieser Entwicklung wird versucht, Änderungen am Getriebe zu vermeiden, d. h., das System als Add-On-System auszulegen. Dies erfordert eine hohe Flexibilität. Um dennoch möglichst viele Standardkomponenten verwenden zu können, ist das ASG als modularer Baukasten aufgebaut. Die Adaption des Getriebeaktors ans Getriebe erfolgt über ein Zwischengetriebe. Elektromotoren und Steuergerät sind als Standardkomponenten für alle Anwender konzipiert, um hohe Stückzahlen zu realisieren. Auch beim ASG bewährt sich die Zusammenarbeit mit BOSCH, von wo diese Standardkomponenten bezogen werden.

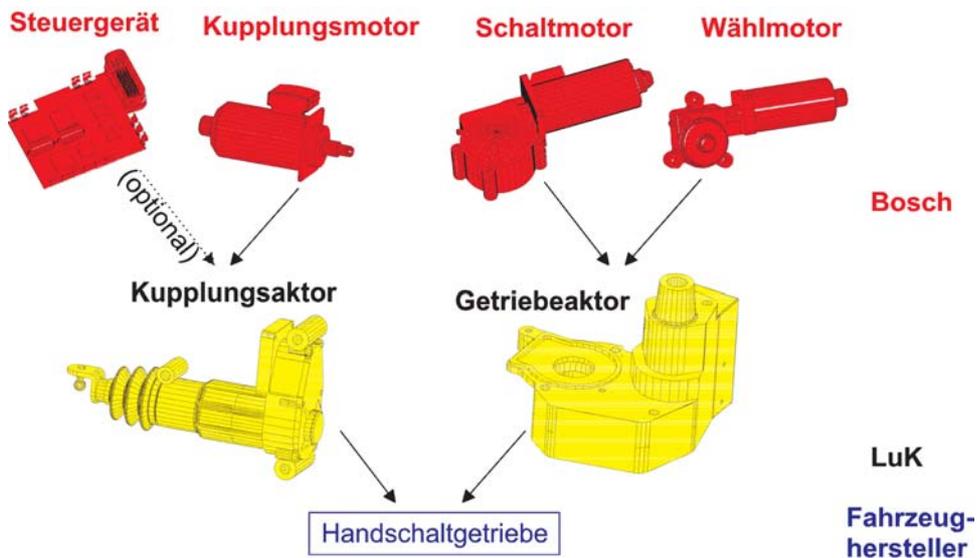


Bild 17: Modularer Aufbau ASG

Wie in einem vorangegangenen Kapitel erwähnt, ist die Steuerelektronik inzwischen wesentlich kleiner geworden. Deshalb werden Steuerung und Endstufen für die ASG-Motoren ebenfalls in den Kupplungsaktor integriert.

Auch bei der Software-Entwicklung gibt es eine Aufgabenteilung mit BOSCH. Steuergeräte-Betriebssystem, die elektromotorspezifische Grundansteuerung und die Schaltzeitpunktberechnung inkl. Fahrermodell kommen von diesem bewährten Partner. Das Ansteuern der Kupplung, der Getriebemotoren, die Sollvorgabe für den Verbrennungsmotor und die Gesamtkoordination des Schaltablaufes werden von LuK erstellt.

Jeder Kunde hat selbstverständlich eine spezifische Philosophie, wann und wie seine Getriebe schalten sollen. Hier gibt es im LuK-Konzept umfangreiche Applikationsmöglichkeiten, mit denen Schaltzeitpunkt und Schaltverlauf beeinflusst werden können.

## Grundlagen des Schaltablaufes

Das Grundproblem beim ASG ist die Zugkraftunterbrechung. Das ist in Bild 18 die Talsenke zwischen den beiden geschalteten Gängen. Dazu muß zunächst das Moment abgebaut werden, sowohl am Motor als auch an der Kupplung. Dann wird der Gang herausgenommen, es wird synchronisiert, der neue Gang eingelegt und anschließend das Moment wieder aufgebaut.

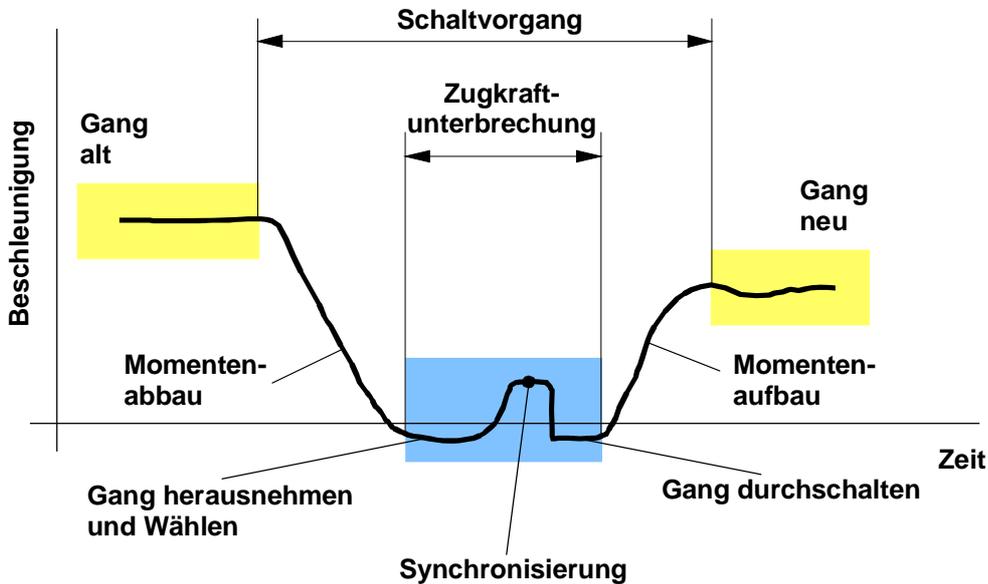


Bild 18: ASG Schaltablauf: Phasen

Diese Phasen des Schaltablaufes kann man im Hinblick auf die Anforderungen an die Aktoren in zwei Blöcke unterteilen (siehe Bild 19):

- Vorgänge, die sich auf die Fahrzeugbeschleunigung auswirken
- Vorgänge, die reine Totzeiten darstellen

Bei den Vorgängen, die sich auf die Fahrzeugbeschleunigung auswirken, zeigt sich, daß das Aktorelement "Elektromotor" gedrosselt werden muß, da zu schnelle Änderungen der Fahrzeugbeschleunigung als unangenehm empfunden werden. Nur eine Optimierung führt zur gut abgestimmten Interaktion von Motor-, Kupplungs- und Getriebeeingriff. Bei der Synchronisierung kann die Belastung z. B. durch Zwischengas verringert werden.

In den Totzeiten jedoch ist die maximale Geschwindigkeit der Aktoren gefordert. Dabei muß darauf geachtet werden, daß beim Herausnehmen des Ganges und der folgenden schnellen Phase nicht zu hart auf die Synchronisierung aufgeschlagen wird.

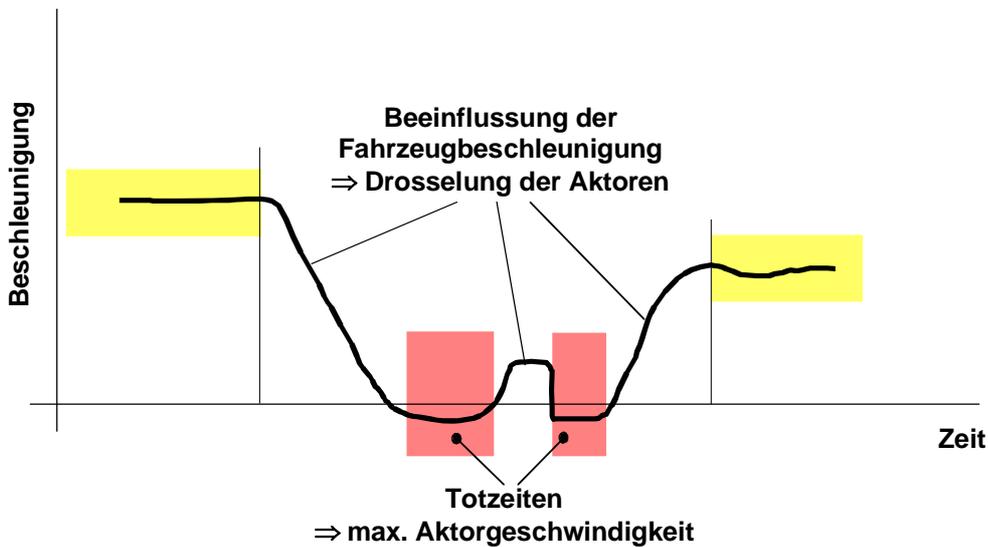


Bild 19: Optimierung Zugkraftunterbrechung

Zur Lösung dieser Widersprüche hat LuK eine integrierte Schaltelastizität entwickelt, die bei Überschreiten einer Schaltkraftschwelle anspricht und dann zunächst nur einen geringen Kraftanstieg aufweist (siehe Bild 20).

Diese integrierte Schaltelastizität bietet folgende Vorteile:

- Die Freiflugphasen, die reine Totzeiten sind, werden verkürzt, wenn vorher die integrierte Schaltelastizität vorgespannt wurde (beim Herausnehmen des alten Ganges bzw. an der Sperrstellung der Synchronisierung) .
- Die definierte Schaltkraft sichert konstant guten Schaltkomfort.
- Getriebe und Aktorik werden durch die elastisch Kraftbegrenzung geschützt.

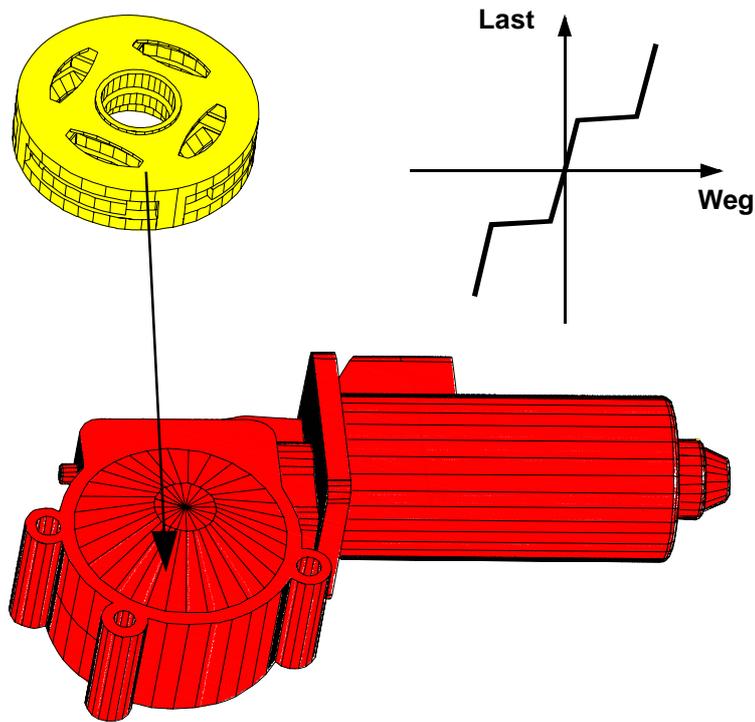
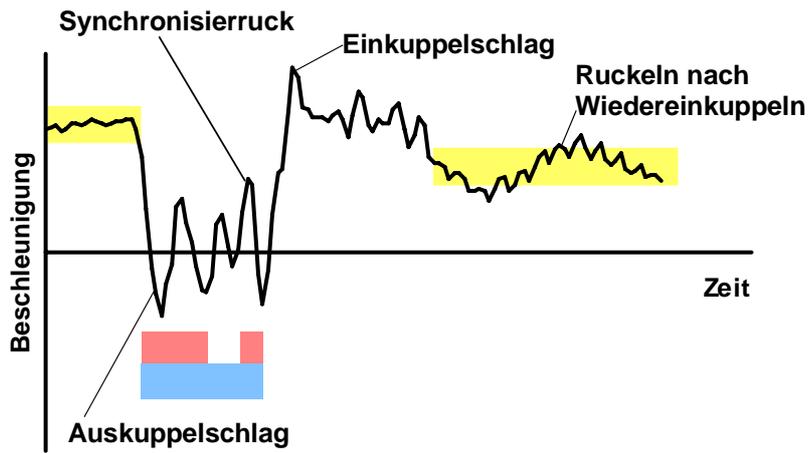


Bild 20: Schaltelastizität für Getriebeschaltung

### Messung

Die Auswirkungen verschiedener Auslegungen des Schaltablaufs werden anhand von Messungen gezeigt. In Bild 21a ist zunächst der Verlauf der Fahrzeugbeschleunigung bei einer Schnellschaltung mit nicht gedrosselten Aktoren zu sehen. Der abrupte Momentenabbau führt zu einem Auskuppelschlag, dessen abklingende Schwingungen werden vom Synchronisierkick überlagert. Durch das sehr schnelle Einkuppeln kommt es zu einer Beschleunigungsspitze und einer anschließenden Schlupfphase mit maximalem Kupplungsmoment respektive hoher Fahrzeugbeschleunigung. Nach Schlupfabbau in der Kupplung sind Ruckelschwingungen zu sehen. Im Vergleich dazu wird in Bild 21b der Beschleunigungsverlauf während einer komfortablen Schaltung gezeigt. Momentenabbau und -aufbau sowie die Synchronisierphase dauern länger als bei der Messung in Bild 21a, während die Totzeitphasen auch hier so kurz wie möglich sind.

a) Unkomfortable Schaltung



b) Komfortable Schaltung

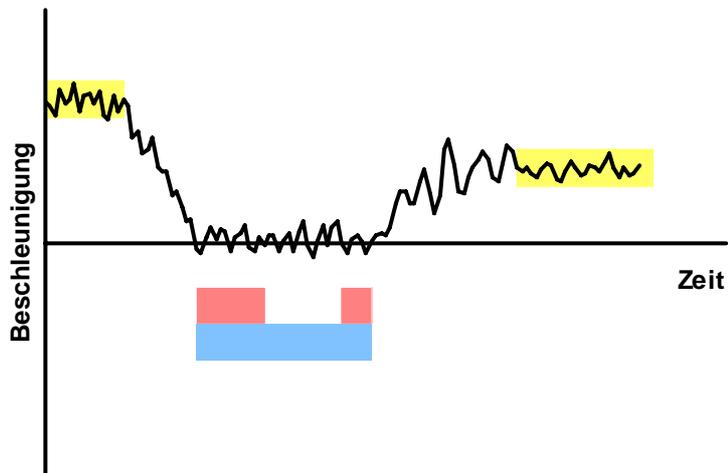


Bild 21: Messung Schaltablauf

Die in den Bildern 18 und 19 definierten Phasen des Schaltablaufs sind auch in Bild 21 farbig markiert .

## **Ausblick**

LuK entwickelt das Add-On-ASG auf elektromotorischer Basis im Rahmen mehrerer Kundenprojekte. Ziel ist die Markteinführung um die Jahrtausendwende. Bisher wurden mehrere Dutzend Fahrzeuge ausgerüstet, die gegenwärtig in der Kundenerprobung sind.

Daneben wird bereits an einer neuen Generation des ASG gearbeitet. Dabei handelt es sich um Konzepte, die sich deutlich vom Handschaltgetriebe unterscheiden. Die Gebrauchseigenschaften des Add-On-ASG finden sich bei stark reduzierten Stückkosten in diesen neuen Getrieben wieder.

## **Zusammenfassung**

Das vor vier Jahren vorgestellte Elektronische Kupplungsmanagement (EKM) wird nunmehr in Serie gebaut. Damit wird den Kunden eine preisgünstige, leistungsfähige und funktionssichere Lösung geboten.

Raum- und Gewichtsreduzierung, die Bedienung stärkerer Motoren, Funktionserweiterung sowie Kostensenkung stehen als wesentliche Ziele bei der Weiterentwicklung des EKM-Systems im Vordergrund. Als Lösungsansätze werden ein neuer kompakterer Kupplungsaktor, eine vereinfachte Kupplung (Active Clutch), der Wegfall eines Sensors zur Gangerkennung sowie der Betrieb mit Dauerschlupf im unteren Drehzahlbereich vorgestellt.

Das Automatisierte Schaltgetriebe (ASG) baut vorteilhaft auf der automatisierten Kupplung des EKM-Systems auf. Die Außenschaltung inklusive Gang- und Schaltabsichtserkennung entfällt und wird durch einen ebenfalls elektromotorisch angetriebenen Getriebeaktor ersetzt. Auch hier gilt als wichtiges Ziel, ein Add-On-System darzustellen und Änderungen an Getriebe sowie Ausrücksystem zu vermeiden. Grundsatzüberlegungen zu dem von der Zugkraftunterbrechung geprägten Schaltablauf sowie Messungen bestätigen die Annahme, daß schnelle und komfortable Schaltungen mit dem elektromotorischen ASG ebenso gut wie mit dem hydraulischen System erreicht werden.

Bei der heutigen Kundenerwartung und den gewachsenen technischen Möglichkeiten sind wir überzeugt, daß EKM und ASG einen breiten Markterfolg haben werden. Dies gilt insbesondere für Kleinwagen und für Entwicklungsländer, in denen heutige Automatgetriebe kaum vorhanden sind.

## Literatur

- [1] Kremmling, B.; Fischer, R.:  
Automatisierte Kupplung – Das neue LuK-EKM.  
5. Internationales LuK-Kolloquium 1994, S. 89-111
- [2] Reik, W.:  
Selbsteinstellende Kupplungen für Kraftfahrzeuge.  
VDI-Berichte 1323, Kupplungen in Antriebssystemen '97, S. 105-116
- [3] Fischer, R.; Salecker, M.:  
Strategien zur Kupplungsansteuerung.  
VDI-Berichte 1323, Kupplungen in Antriebssystemen '97, S. 269-290
- [4] Albers, A.:  
Elektronisches Kupplungsmanagement (EKM) – Die mitdenkende Kupplung.  
4. Internationales LuK-Kolloquium 1990, S. 77-102

