

Automatisierte Kupplung

- Das neue LuK-EKM

Dipl.-Ing. **Burkhard Kremmling**
Dr. techn. **Robert Fischer**

Einleitung

Schaltgetriebe haben gegenüber Automatgetrieben den Vorteil, daß der Fahrer die freie Gangwahl hat und sich dabei nicht von einem Automaten bevormundet fühlt.

Zur Erleichterung der Fahrzeugbedienung wurden bereits in den 60er Jahren Systeme zur Automatisierung der Kupplungsbetätigung von Schaltgetrieben angeboten. In der Vergangenheit war das Interesse allerdings nur sehr gering.

Die Unzulänglichkeiten der frühen Systeme, wie mangelnde Funktionalität und hohe Wartungsintensität sowie Reparaturanfälligkeit, konnten durch die Möglichkeiten der modernen Kraftfahrzeug-Elektronik beseitigt werden.

Einsätze im Formel 1- und Rallye-Bereich beweisen, daß automatisierte Kupplungsbetätigungen mittlerweile auch den härtesten Anforderungen gewachsen sind.

Die Verkehrsdichte ist ständig gestiegen und befindet sich mittlerweile auf einem Niveau, das automatisierte Kupplungssysteme interessant macht.

Die Daten, die **Bild 1** zugrunde liegen, sind einer Veröffentlichung des ADAC entnommen [1]. Während der Sommer-Ferienreisezeiten wurden alle nennenswerten Staus auf deutschen Autobahnen registriert.

Im **Bild 1** ist die Anzahl der Staus dargestellt, die länger als 20 km waren. Innerhalb nur eines Jahres ist diese Zahl um **20% gestiegen**, von 75 Staus im Jahr 1992 auf 90 Staus im Jahr 1993.

Mit der Entlastung durch das EKM-System braucht der Fahrer weniger Aufmerksamkeit auf die Fahrzeugbedienung zu richten und kann somit dem Verkehrsgeschehen erhöhte Aufmerksamkeit widmen. Daher geht LuK davon aus, daß mit EKM die Unfallhäufigkeit verringert wird.

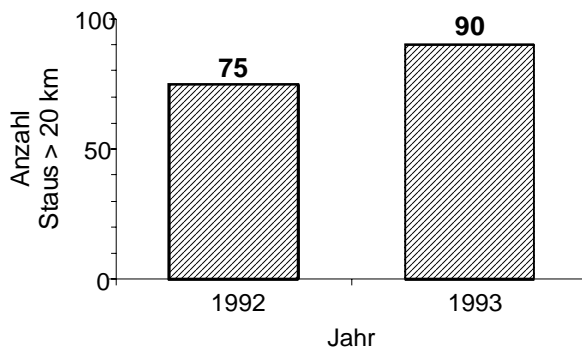


Bild 1: Anzahl der Staus auf deutschen Autobahnen, die länger als 20 km waren, im Vergleich der Sommer-Ferisaisons (Juni...September) der Jahre 1992 und 1993 [1].

Das Elektronische Kupplungsmanagement (EKM) der LuK wurde bereits auf dem letzten Kolloquium im Jahr 1990 vorgestellt [2]; die Potentiale und technischen Möglichkeiten des Systems wurden dabei aufgezeigt.

LuK begann bei der Entwicklung des EKMs zunächst mit einer hydraulischen Aktorik.

Im vergangenen Jahr 1993 war der erfolgreiche Serienanlauf des Elektronischen Kupplungsmanagements im BMW ALPINA B12 (**Bild 2**).

In diesem Fahrzeug kann das EKM unter dem Namen SHIFT-TRONIC als Option gekauft werden. Der Anteil der B12-Fahrzeuge, die bisher bei ALPINA mit der SHIFT-TRONIC-Ausstattung geordert wurden, beträgt mehr als 60% mit steigender Tendenz - ein Beweis dafür, daß das System bei den Kunden ankommt.

Die Entwicklung und die Serienfertigung des Steuergeräts für das ALPINA-EKM-System übernahm die Fa. Atlas Fahrzeugtechnik in Werdohl (AFT), die Kompetenz als Entwicklungspartner und Lieferant bewies.

Die hydraulische Aktorik ist zwar mit dem Vorteil der hohen Verstelldynamik, allerdings auch mit dem Nachteil der großen Komplexität verbunden. Das Kostenreduktionspotential mit der hydraulischen Aktorik ist daher geringer als bei anderen Betätigungsarten.

Um die Möglichkeiten eines Einsatzes des Elektronischen Kupplungsmanagements auf breiterer Basis zu schaffen, mußten die Kosten des Systems wesentlich reduziert werden. Daher führte LuK eine Nutzen/Kosten-Analyse durch.

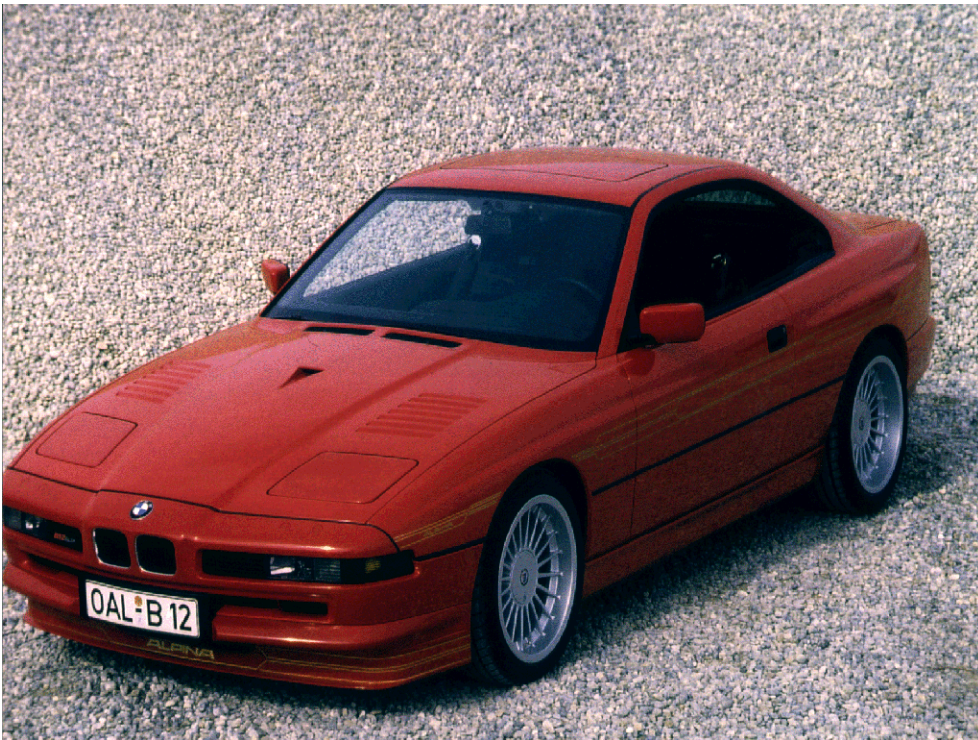


Bild 2: ALPINA B12 SHIFT-TRONIC

EKM-Funktionen

Obwohl der Nutzen, den das EKM-System bietet, zum größten Teil bekannt sein dürfte, werden die Funktionen hier nochmals zusammengefaßt:

Komfortgewinn bei Stop-and-Go

Das Fahren bei Stop-and-Go-Verkehr wird wesentlich erleichtert, u. a. weil der Motor beim Anfahren und Ausrollen nicht mehr abgewürgt werden kann.

Erleichterung des Rangierens

LuK hat eine Strategie entwickelt, die das Fahrzeug bei eingelegtem Gang trotz **nicht betätigtem Gaspedal** "ankriechen" läßt, ähnlich wie bei einem Automatgetriebe.

Der große Vorteil dieser "Kriech-Strategie" ist, daß das Rangieren deutlich vereinfacht wird, weil der Fahrer dabei nur noch ein Pedal - das Bremspedal - zu betätigen braucht.

Die Steuerung baut das Kriechmoment bei betätigter Fuß- oder Handbremse mit einer kleinen Zeitverzögerung vollständig ab. Damit konnten Nachteile des Kriechens, wie hoher Kupplungsverschleiß und steigender Kraftstoffverbrauch, vermieden werden.

Verhinderung von Rasseln und Dröhnen

Lästige Geräusche, wie Getrieberasseln und Karosseriedröhnen, können durch definierten Schlupf in der Kupplung beseitigt werden.

Verbesserung des Lastwechselverhaltens

Das Lastwechselverhalten kann durch eine spezielle Kupplungssteuerung deutlich verbessert werden, Ruckeln ("Bonanza-Effekt") wird damit verhindert.

Potential für die Getriebeentwicklung

Das EKM-System stellt ein großes Einsparungspotential für den Getriebeentwickler dar:

Beim konventionellen Schaltgetriebe mit pedalbetätigter Kupplung können aufgrund von Fehlbedienungen Gangwechsellvorgänge bei teilweise geschlossener Kupplung auftreten. Eine bestimmte Anzahl solcher "**Mißbrauchsschaltungen**" muß vom Entwickler bei der Auslegung des Getriebes berücksichtigt werden.

Wird das EKM-System eingesetzt, so ist sichergestellt, daß der Fahrer das Auskuppeln beim Gangwechsel nicht vergessen kann. Daher kann die Auslegung der Synchronisation "schwächer" sein. Die Vorteile sind einerseits Kosteneinsparungen und andererseits reduzierte Schaltkräfte.

In Verbindung mit einer pedalbetätigten Kupplung muß auch damit gerechnet werden, daß der Fahrer z. B. während eines Anfahrvorgangs vom Kupplungspedal abrutscht. Bei diesem sogenannten "Knallstart" können im gesamten Antriebsstrang kurzzeitig Drehmomentspitzen auftreten, die ein Vielfaches des stationären Maximalmoments betragen.

Wird das EKM eingesetzt, treten solche "**Knallstartbeanspruchungen**" nicht auf. Dies führt, wie auch eine spezielle Lastwechselstrategie, zu einer Reduzierung der Drehmomentspitzen im Antriebsstrang. Als Folge können Getriebe und Achsantrieb schwächer dimensioniert und damit Kosten gespart werden.

Potential zur Verringerung des Treibstoffverbrauchs und der Schadstoffemissionen

Durch Optionen des EKM-Systems, die im Kapitel "Ausblick" näher beschrieben werden, können Treibstoffverbrauch sowie Schadstoffemissionen in wesentlichem Umfang reduziert werden.

Wie hoch sind die zulässigen Kosten ?

LuK geht davon aus, daß die Verbreitung des Elektronischen Kuppelungsmanagements bisher auch an den zu hohen Kosten des Systems, die fast so hoch wie die Kosten eines Automatgetriebes waren, gescheitert ist.

Damit sich das EKM auf breiterer Basis durchsetzen kann, mußten die **Zielkosten** des Systems **wesentlich reduziert** werden und deutlich näher an den Kosten eines Schaltgetriebes als an den Kosten eines Automatgetriebes liegen (**Bild 3**).

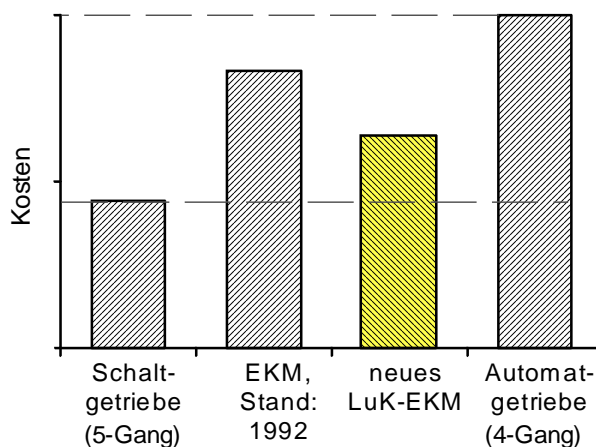


Bild 3: Kostenschätzung: Schaltgetriebe / EKM / Automatgetriebe

Resultat: Das neue LuK-EKM

Eine preisgünstige Hardware war die Grundvoraussetzung, um die geforderten drastisch reduzierten Zielkosten zu erreichen. Dazu war die **Beschränkung** der **Leistung** des **Kupplungsaktors** auf das unbedingt erforderliche Maß und die **konsequente Reduktion** der **Anzahl** der **Sensoren** notwendig.

Als Folge stiegen die Anforderungen an die Steuerungsstrategie sehr stark an, d. h. anstelle hoher Leistung bzw. vieler Sensoren wurde eine intelligenter Steuerung benötigt.

Ein wichtiges Entwicklungsziel des neuen LuK-EKMs war, das vorhandene **Seriengetriebe ohne Modifikationen** zu verwenden. Dadurch wird beim Fahrzeughersteller die Logistik vereinfacht, Entwicklungsaufwand minimiert und Investitionen gesenkt.

Weitere Entwicklungsziele waren:

- ⇒ unveränderter Schalthebel,
- ⇒ geringes Gewicht,
- ⇒ kompakter und variabler Bauraum.

Bild 4 zeigt **das Resultat** in Form einer Übersicht des neuen LuK-EKMs.

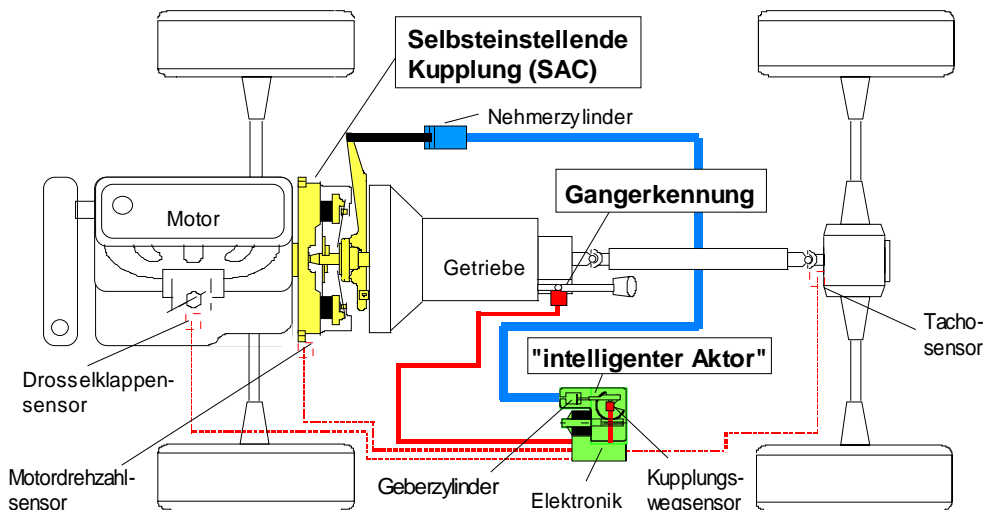


Bild 4: Systemübersicht des neuen LuK-EKMs

Die Basis: Die Selbsteinstellende Kupplung (SAC)

Den **Durchbruch** zu einem sehr kompakten und damit preisgünstigen Aktor brachte die von LuK entwickelte **Selbsteinstellende Kupplung (SAC)**, die in einem der vorangegangenen Beiträge vorgestellt wurde und zum Zeitpunkt des Vortrags als pedalbetätigte Kupplung bereits in Serie gefertigt wird.

Bei einer pedalbetätigten SAC-Kupplung darf die Betätigungskraft nicht beliebig klein werden, da eine zu geringe Kupplungspedalkraft subjektiv als schlecht empfunden wird. Die Forderung nach einer nicht zu unterschreitenden Mindest-Pedalkraft beschränkt somit auch die minimal zulässige Betätigungskraft der Kupplung. Bei der aktorbetätigten SAC-Kupplung des EKM-Systems muß auch eine gewisse Mindestbetätigungskraft

aufgebracht werden, da diese zur Überwindung von Reibungen notwendig ist. Die Mindest-Betätigungskraft der SAC-Kupplung für das EKM kann aber deutlich geringer als bei der pedalbetätigten SAC-Kupplung gewählt werden.

Bild 5 zeigt die Betätigungskraft über dem Weg aufgezeichnet. Die Kraftverläufe einer konventionellen Kupplung sind dabei rot gezeichnet, wobei die durchgezogenen Kurven den Neuzustand und die gestrichelten Kurven den Verschleißzustand kennzeichnen. Im Vergleich dazu ist der Kraftverlauf einer SAC-Kupplung für das EKM-System, gelb gezeichnet, dargestellt.

Aufgrund der oben beschriebenen speziellen Randbedingungen bei der aktorbetätigten SAC-Kupplung des EKM's konnte eine **Kraftreduktion** um **2/3** der maximalen **Betätigungskraft** einer **konventionellen Kupplung** erreicht werden.

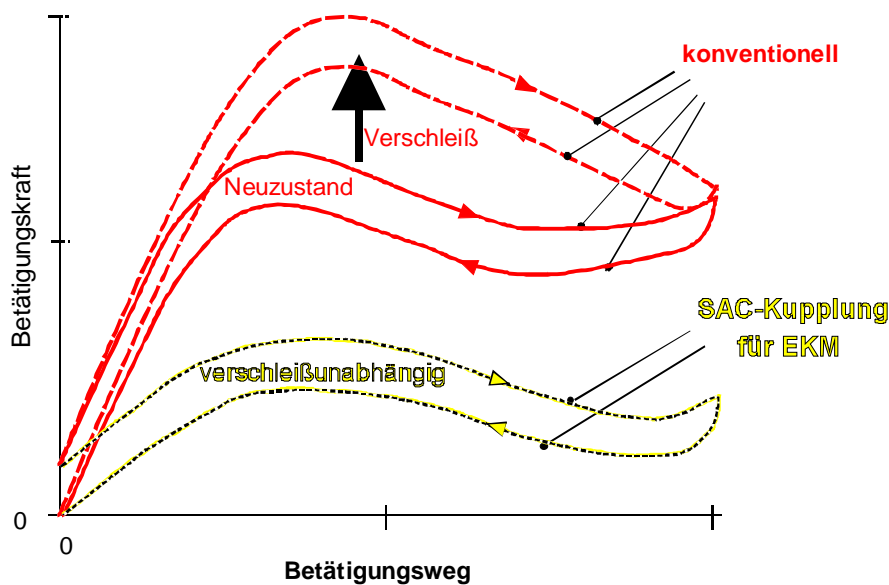


Bild 5: Vergleich der Betätigungskraftverläufe einer konventionellen Kupplung und einer für das EKM-System ausgelegten SAC-Kupplung

Im Vergleich zur konventionellen Kupplung, bei der die Betätigungskraft mit zunehmendem Belagverschleiß ansteigt (rote Kurven), ist die Betätigungskraft der SAC-Kupplung (gelbe Kurve) **über** die gesamte **Lebensdauer konstant**.

Ein weiterer Vorteil der SAC-Kupplung ist die Möglichkeit, die Belagverschleißreserve zu erhöhen, ohne daß die Betätigungskraft dabei ansteigt.

Der Kupplungsaktor: Ein großserienprobter Elektromotor

Durch die Absenkung der Betätigungskraft der Kupplung kann ein leistungsreduzierter Elektromotor als Aktor verwendet werden (**Bild 4**). Es kommt ein Kleinmotor zum Einsatz, der von LuKs Entwicklungspartner, der Fa. BOSCH, über 4 Millionen mal pro Jahr produziert wird.

Am Aktorgehäuse befindet sich ein hydraulischer Geberzylinder. Über eine Schlauch- bzw. Rohrleitung wird der Geberzylinder mit dem Kupplungsnehmerzylinder verbunden. Damit kann ein nahezu beliebiger Einbauort des Aktors im Fahrzeug realisiert werden. Es ist lediglich darauf zu achten, daß die Umgebungstemperatur 100 °C nicht übersteigt.

Der Grundaufbau des Aktors gestattet es ebenso, einen Seilzug als Übertragungsmittel zu wählen.

Die reine Verstellgeschwindigkeit der beschriebenen Aktorik ist geringer als bei der hydraulischen Kupplungsbetätigung. Dieser scheinbare Nachteil der geringeren Stellgeschwindigkeit konnte aber, nach dem Motto des **Bildes 6**: "Intelligenz statt Kraft", durch eine intelligentere Steuerung kompensiert werden.

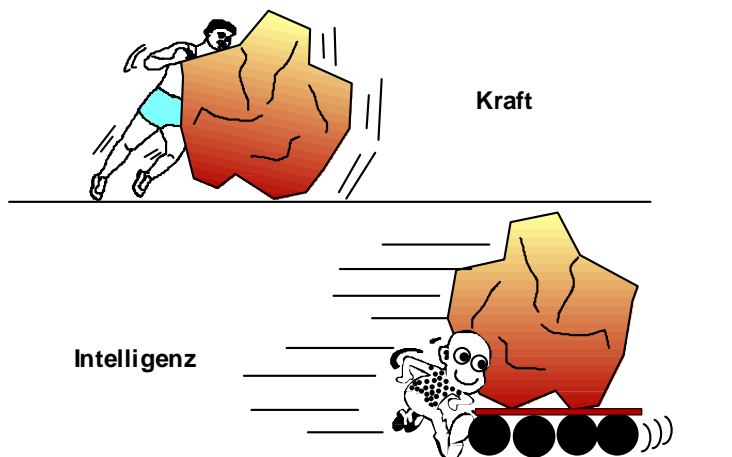


Bild 6: Intelligenz statt Kraft !

Die Lösung für mehrere Probleme: "Momentennachführung"

Das maximal übertragbare Moment einer Kupplung kann durch Sicherheits- und Toleranzzuschläge, die bei der Kupplungsauslegung berücksichtigt werden müssen, das 2- bis 3-fache des maximalen Motormoments betragen. Das mittlere Motormoment beträgt im Fahrbetrieb allerdings nur ein Bruchteil des maximalen Motormoments. Wird die Kupplung

"vollständig geschlossen" (d. h. auf das maximal mögliche Moment eingestellt), so beträgt das übertragbare Kupplungsmoment ein **Vielfaches** des aktuellen Motormoments.

Die Grundidee der "Momentennachführung" besteht darin, die Kupplung nicht bis zum maximal übertragbaren Kupplungsmoment zu schließen, sondern die Kupplung nur soweit zu schließen, daß das übertragbare Kupplungsmoment immer knapp über dem aktuellen Motormoment liegt.

Wirkung beim Gangwechsel

Sobald der Fahrer vom Gas geht, wird das Motormoment reduziert und die "Momentennachführung" verstellt die Kupplung somit automatisch ein Stück in Richtung Öffnen. Beim Erkennen des Schaltwunsches ist die Kupplung daher bereits teilweise geöffnet. Somit reicht die gegenüber der hydraulischen Aktorik reduzierte Stellgeschwindigkeit aus, um die Kupplung auch bei "schnellen Gangwechseln" rechtzeitig vollständig auszukuppeln.

Wirkung beim Lastwechsel

Bild 7 zeigt Simulationsergebnisse eines Lastwechselvorgangs (Tip-In) im 2. Gang.

Es sind die Steuerungsvarianten:

- ⇒ Kupplung geschlossen (Bild oben),
- ⇒ Schlupfregelung (Bild Mitte),
- ⇒ "Momentennachführung" (Bild unten)

vergleichend gegenübergestellt.

In den jeweils oberen der paarweise angeordneten Bilder sind Zeitverläufe von Motor- und Getriebedrehzahl dargestellt. Die jeweils unteren der paarweise angeordneten Bilder zeigen Zeitverläufe der Längsbeschleunigung.

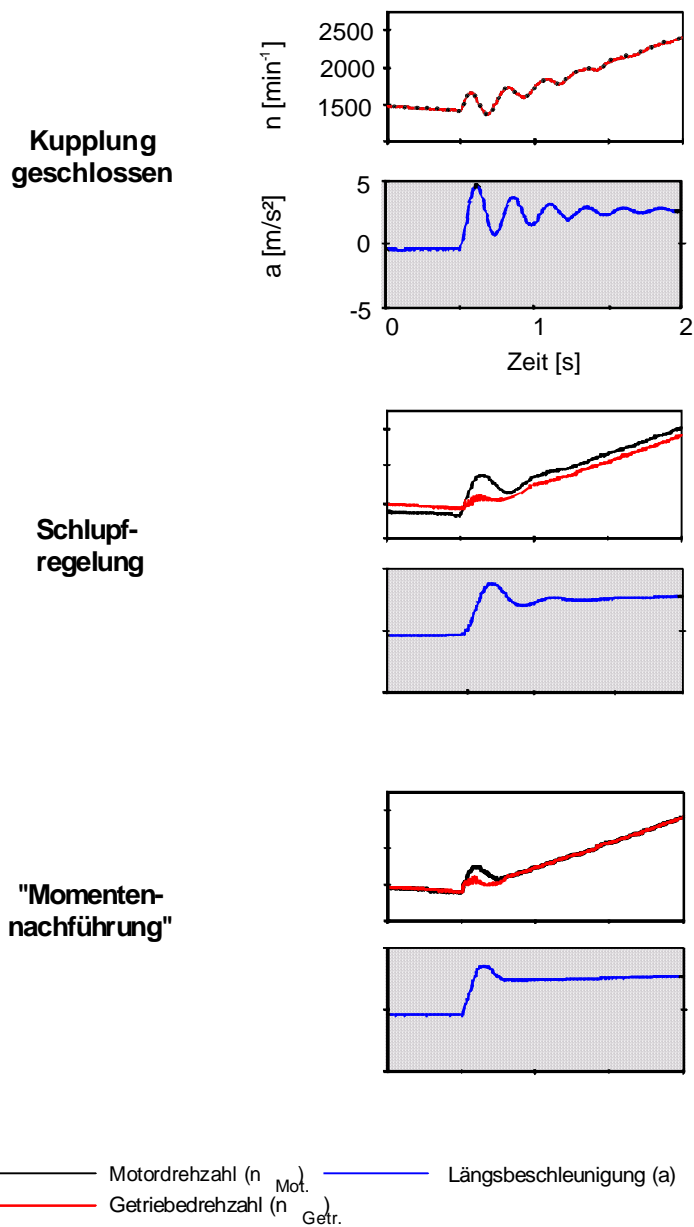


Bild 7: Simulation eines Lastwechsels (Tip-In) im 2. Gang; Vergleich zwischen den Steuerungsvarianten: "geschlossene Kupplung", "Schlupfregelung" und "Momentennachführung"

Bei geschlossener Kupplung (**Bild 7** oben) kommt es nach der schnellen Änderung des Motormoments zu unangenehmen "Ruckelschwingungen", auch als "Bonanza-Effekt" bezeichnet.

Die Schlupfregelung (**Bild 7** Mitte), die bereits auf dem letzten LuK-Kolloquium im Jahr 1990 vorgestellt wurde, ist in der Lage, "Ruckelschwingungen" zu verhindern. Der Nachteil der Schlupfregelung besteht darin, daß dazu ein dauernder, relativ großer Schlupf benötigt wird. Diese Steuerungsvariante macht es somit notwendig, auch in den Drehzahl- und Lastbereichen mit dauerndem Schlupf zu fahren, in denen Schlupf aus Geräuschgründen gar nicht benötigt würde.

Die Wirkungsweise der "Momentennachführung" (**Bild 7** unten) gleicht der einer Rutschkupplung. Es tritt nur bei schneller Motormomentenänderung und **nur** dann ein **kurzzeitiger** Schlupf auf. Gegenüber der Schlupfregelung bringt die "Momentennachführung" somit Verbrauchs- und Verschleißvorteile.

Bild 8 zeigt auf der linken Seite die bereits im **Bild 7** dargestellten Simulationsergebnisse. Vergleichend dazu sind auf der rechten Seite Meßergebnisse derselben Fahrsituation (Tip-In, 2. Gang) gegenübergestellt. Man erkennt die gute Übereinstimmung zwischen Messung (**Bild 8** rechts) und Simulation (**Bild 8** links).

Die "Momentennachführung" arbeitet mit Hysterese. Das bedeutet im Gegensatz zur Schlupfregelung, daß das Kupplungsmoment nur dann verstellt wird, wenn sich das Motormoment um einen gewissen Mindestbetrag geändert hat. Das Ergebnis ist eine wesentliche Verringerung der Einschalt-dauer des Elektromotors bei trotzdem gutem Lastwechselverhalten.

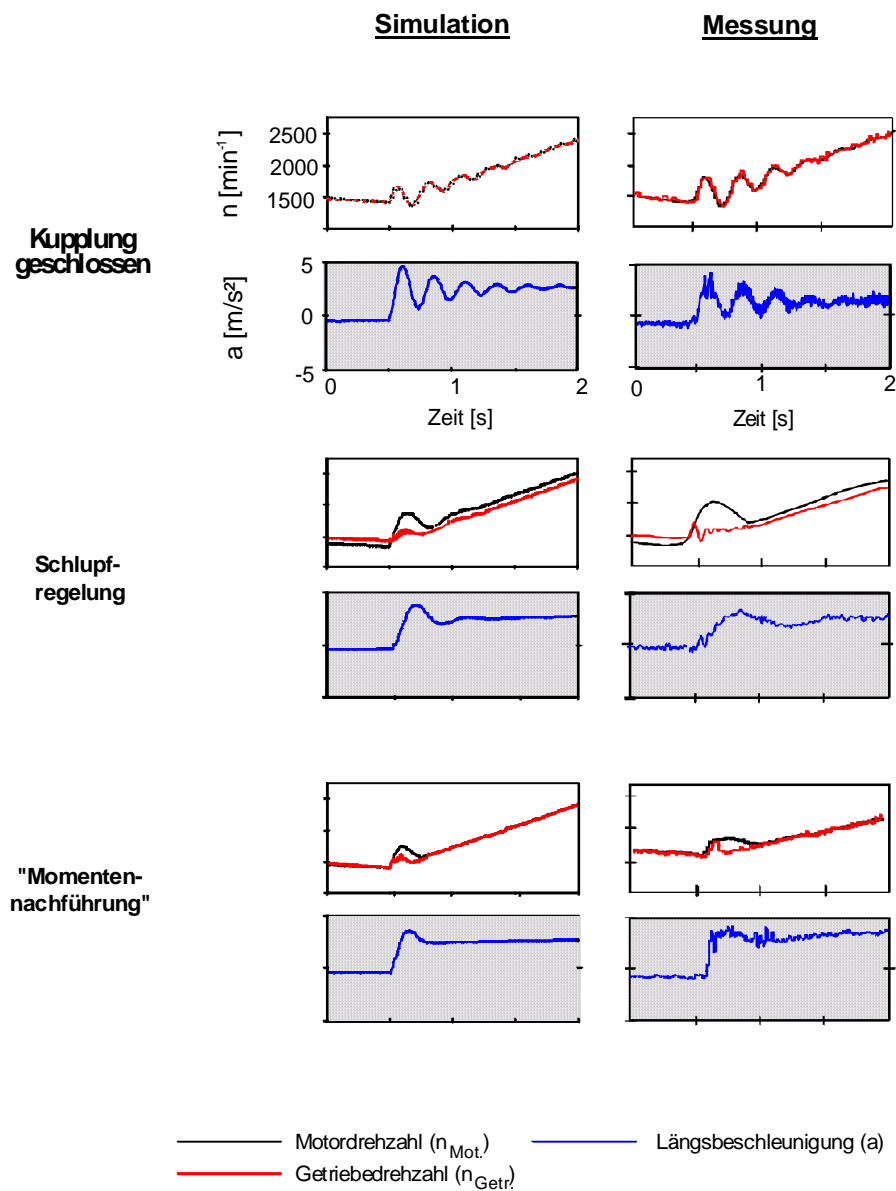


Bild 8: Lastwechsel (Tip-In) im 2. Gang; Gegenüberstellung von Simulation und Messung.

Das Steuergerät: Integriert im Aktorgehäuse

Der leistungsreduzierte Elektromotor sowie die Anbringung des Aktors fern von der Ausrückgabel bzw. vom Zentralausrücker in einem Bauraum,

dessen Umgebungstemperatur 100 °C nicht übersteigt, waren die Grundlage für einen weiteren wichtigen Entwicklungsschritt: Der Aktor und das komplette EKM-Steuergerät konnten mit der Motor-Leistungselektronik zu einer Baueinheit, dem "intelligenten Aktor", vereinigt werden (**Bild 9**). Außerdem wurde noch der Kupplungspositionssensor im Aktorgehäuse untergebracht.

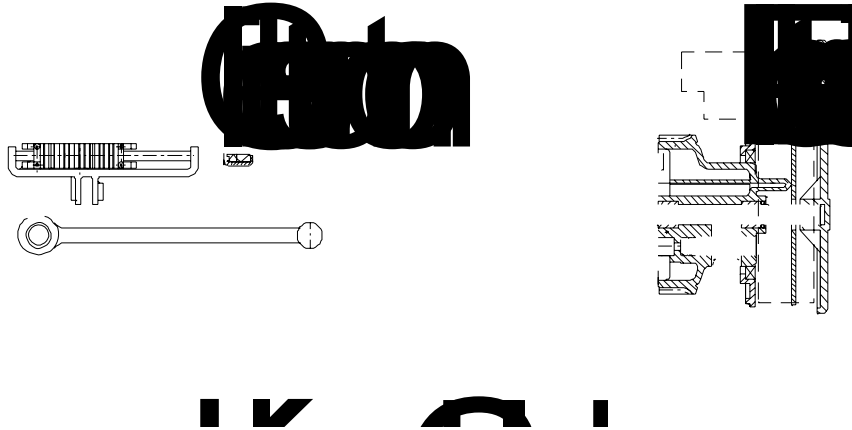


Bild 9: Baueinheit aus Aktor und Steuergerät ("intelligenter Aktor")

Die wichtigsten Vorteile dieser Integration sind:

- ⇒ reduzierter Verkabelungsaufwand,
- ⇒ weniger Steckverbindungen,
- ⇒ weniger Bauteile,
- ⇒ höhere Ausfallsicherheit,
- ⇒ reduzierte Systemkosten,
- ⇒ reduziertes Zusatzgewicht.

Die komplette Aktor/Steuergeräte-Baueinheit wurde von BOSCH entwickelt.

Getriebeänderungen: Nicht notwendig !

Um die hohe Forderung, das **Seriengetriebe nicht zu modifizieren**, zu erreichen, waren anspruchsvolle Aufgaben zu lösen :

- ⇒ die **Verlagerung** der **Kupplungswegmessung** vom Nehmerzylinder zum "intelligenten Aktor" (**Bild 4**) und damit noch vor den Geberzylinder
- ⇒ der **Verzicht** auf einen **Getriebeeingangsdrehzahlsensor**
- ⇒ die **Verlagerung** der **Gangerkennung** von der ehemals direkten Anbringung am Getriebe hin zum Schaltgestänge

Diese Maßnahmen vereinfachten zwar die Anpassung des EKM-Systems an ein neues Fahrzeug wesentlich, die Anforderungen an die Software stiegen aber gleichzeitig. Dies soll am Beispiel der Verlagerung der Kupplungswegmessung vom Nehmerzylinder zum Kupplungsaktor genauer erläutert werden:

Zwischen dem am Aktor angebrachten Geberzylinder, d. h. der "neuen" Meßstelle der Kupplungsposition, und dem Nehmerzylinder befindet sich eine Schlauch- bzw. Rohrleitung mit von Fahrzeug zu Fahrzeug unterschiedlicher Länge. Das darin enthaltene Fluid (Bremsflüssigkeit) ist Volumenänderungen aufgrund von Temperatureinflüssen ausgesetzt, die das Meßsignal der Kupplungsposition in beträchtlichem Maße verfälschen. Kompressibilitätsverluste, die stark vom Luftgehalt der Bremsflüssigkeit abhängig sind, verfälschen das Meßergebnis ebenso wie Fluidverluste durch die Ausgleichsbohrung im Geberzylinder ("Schnüffelbohrung").

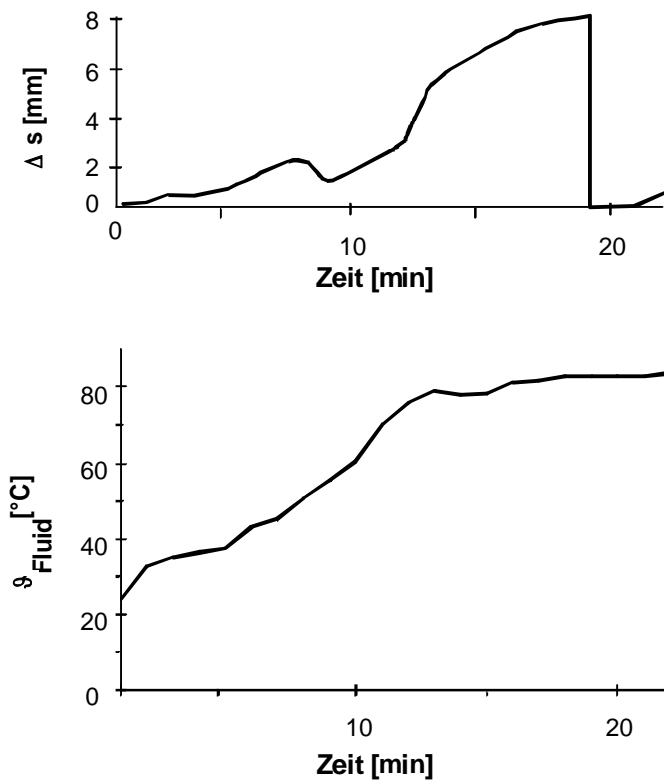
Im **Bild 10** sind Meßergebnisse aus einem EKM-Fahrzeug dargestellt. Die Messungen wurden nach vorangegangener, zügiger Fahrt im Stand aufgezeichnet.

Das Bild verdeutlicht die Verfälschungen des Signals "Kupplungsposition", die sich durch die Sensorverlagerung ergaben. Im oberen Diagramm ist die **Abweichung Δs** zwischen der **wahren** Kupplungsposition, gemessen am Nehmerzylinder, und der **virtuellen** Kupplungsposition, gemessen am Geberzylinder, über der Zeit dargestellt.

Zum Zeitpunkt $t = 0$ wurde das Fahrzeug abgestellt und die Messung bei laufendem Motor gestartet. Die relativ niedrige Fluidtemperatur von ca. 25 °C zu Beginn der Messung, **im Bild 10** unten dargestellt, ist durch die Kühlung der Leitung zwischen Geber- und Nehmerzylinder infolge des Fahrtwinds zu erklären.

Die Stauhitze des Motors sowie der Abgasanlage führen jedoch dazu, daß die Fluidtemperatur (**Bild 10** unten) im Stand wieder deutlich ansteigt. Als Folge dehnt sich das Bremsflüssigkeitsvolumen aus, was bewirkt, daß die Abweichung Δs zwischen Geber- und Nehmerzylinderposition ansteigt.

Wie aus der Messung ersichtlich ist, beträgt die Positionsabweichung Δs zum Zeitpunkt $t \approx 18$ min rund 6 mm. Beachtet man, daß der gesamte Verstellbereich der Kupplung nur etwa 20 mm beträgt, so wird deutlich, wie **ausgeprägt** der **Effekt** ist.



Δs = Abweichung zwischen
Geber- und Nehmerzylinder-
Position

$\bar{\theta}_{\text{Fluid}}$ = mittlere Fluidtemperatur
in der Leitung zwischen Geber-
und Nehmerzylinder

Bild 10: Verfälschungen des Meßsignals "Kuplungsposition" aufgrund der Verlagerung der Meßstelle vom Nehmerzylinder zum Geberzylinder

Zum Zeitpunkt $t \approx 19$ min wird der Motor abgestellt und damit die Kupplung geschlossen. Die überschüssige Bremsflüssigkeit entweicht dabei über die "Schnüffelbohrung" im Geberzylinder in den Tank. Zum Zeitpunkt $t \approx 21$ min wird die Kupplung wieder geöffnet. Unmittelbar danach ist die Positionsabweichung Δs zunächst 0, steigt dann aber sofort wieder an.

LuK hat eine Strategie entwickelt, die die **Kupplungskennlinie**, d. h. den Zusammenhang zwischen Kuplungsposition und Reibmoment, **ständig** adaptiert. Dabei wird in den Schlupfphasen das aktuelle Kupplungsmoment

aus einem dynamischen Momentengleichgewicht ermittelt. Durch diese Adaption **konnten** die Auswirkungen der beschriebenen, vehementen Verschlechterung der Signalgüte **vollständig kompensiert** werden. Dies ist bereits im ALPINA B12 in Serie realisiert und funktioniert fehlerfrei.

Die Anzahl der Sensoren: Auf einen Sensor reduziert

Beim neuen LuK-EKM ist nur ein zusätzlicher Sensor, die "Gangerkennung", notwendig. Alle anderen Sensorsignale, die von der Steuerung benötigt werden, können von bereits vorhandenen Steuergeräten abgegriffen werden (**Bild 4**). Wie bereits vorher erwähnt, wird die "Gangerkennung" nicht mehr am Getriebe, sondern am Schaltgestänge appliziert.

Die Vorteile der reduzierten Anzahl von "EKM-spezifischen" Sensoren sind:

- ⇒ weniger Steckverbindungen und damit weniger potentielle Störquellen,
- ⇒ vereinfachte Applikation und Verkabelung des Systems.

Als Sensorelemente der Gangerkennung finden zwei Drehpotentiometer Verwendung, die ihre Automobil-Langzeittauglichkeit bereits als Drosselklappen-Sensoren unter Beweis gestellt haben. Damit werden zwei Richtungen des Schalthebels - "Schalten" und "Wählen" - analog aufgelöst. Eine analoge Messung ist sinnvoll, um **Einstellarbeiten** aufgrund von Serienstreuungen und Veränderungen in der Übertragungs-Kinematik zwischen Schaltverzahnung und Gangerkennungssensorik, z. B. durch Temperatúrausdehnungen oder Verschleiß, **überflüssig** zu machen. Solche Veränderungen werden im Betrieb laufend durch Überprüfung der Extrempositionen adaptiert.

Wie bereits vorher erwähnt, werden für die Steuerung des EKM-Systems eine ganze Reihe **weiterer Signale benötigt**, die im **Bild 4** teilweise gestrichelt dargestellt sind. Diese Signale **können** alle von **vorhandenen Steuergeräten**, z. B. der Motorsteuerung, **abgegriffen** werden:

- ⇒ Motordrehzahl,
- ⇒ Tachodrehzahl,
- ⇒ Drosselklappenstellung,
- ⇒ Motormoment,
- ⇒ Handbremse betätigt,
- ⇒ Fußbremse betätigt.

Schalthebeländerungen: Nicht notwendig !

Die Erkennung des Fahrer-Schaltwunsches wird beim neuen LuK-System aus dem Verlauf des Schalthebel-Längsweges abgeleitet.

Ein bei früheren EKM-Systemen zusätzlich notwendig gewesener Sensor "Schaltabsichtserkennung" kann beim neuen LuK-EKM-System daher, bis auf seltene Sonderfälle, entfallen.

Eine intelligente Software stellt sicher, daß einerseits Fehlauslösungen durch "Handaufliegenlassen" oder durch eine unebene Fahrbahn verhindert werden und andererseits rechtzeitiges Öffnen der Kupplung im Falle des tatsächlich vorhandenen Schaltwunsches gewährleistet ist.

Das Optimum: Sehr einfach aufgebauter Torsionsdämpfer

Die gesamtheitliche Betrachtung von Mechanik und Elektronik führte zur Erkenntnis, daß durch einen **einfachen Torsionsdämpfer** die Drehzahlbereiche, in denen aus Geräuschgründen Schlupf notwendig ist, wesentlich reduziert werden können. Der Torsionsdämpfer kann dabei auch nur auf Teillast ausgelegt sein.

Vergleich verschiedener Systeme

Bild 11 zeigt eine Gegenüberstellung verschiedener Systeme zur Automatisierung der Kupplungsbetätigung. Im Bild oben ist ein System mit hydraulischer Aktorik (LuK-EKM der 1. Generation), in der Mitte ein System mit konventioneller elektromotorischer Aktorik **ohne** SAC-Kupplung und im Bild unten das neue LuK-System dargestellt.

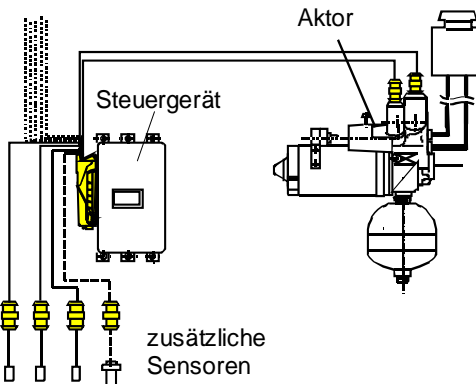
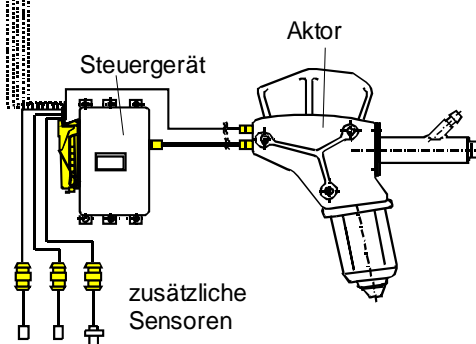
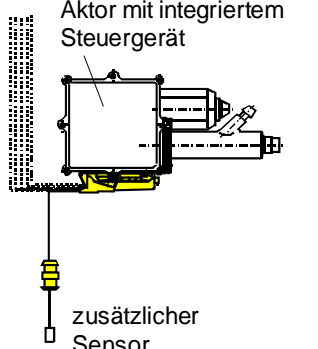
Aktorik	Aufbau	Gewicht [kg]	Sensoren
hydraulisch	 <p>Aktor</p> <p>Steuergerät</p> <p>zusätzliche Sensoren</p>	≈ 5	3 ... 4
konventionell elektromotorisch	 <p>Aktor</p> <p>Steuergerät</p> <p>zusätzliche Sensoren</p>	≈ 6	3
neues LuK - System	 <p>Aktor mit integriertem Steuergerät</p> <p>zusätzlicher Sensor</p>	≈ 2	1

Bild 11: Vergleich verschiedener Systeme

Der Vergleich zeigt, daß die hydraulische Aktorik (**Bild 11** oben) eine Reihe von kostenintensiven Komponenten, wie:

- ⇒ Elektromotor mit Pumpe,
- ⇒ Hydraulikblock,
- ⇒ Druckspeicher,
- ⇒ Drucksensor,
- ⇒ Proportionalventil

benötigt. Das Gewicht ist daher mit ca. 5 kg relativ hoch.

Bei einer konventionellen elektromotorischen Aktorik **ohne** SAC-Kupplung (**Bild 11** Mitte) ist das Gewicht mit ca. 6 kg noch höher als bei der hydraulischen Aktorik.

Der Größenvergleich des neuen LuK-Systems (**Bild 11** unten) mit einem System mit konventioneller elektromotorischer Aktorik (**Bild 11** Mitte) zeigt, welche wesentlichen Vereinfachungen durch die SAC-Kupplung erst möglich wurden. Es ergeben sich die Vorteile:

- ⇒ Vereinfachung von Applikation und Verkabelung

Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke.weniger Steckverbindungen und damit weniger potentielle Störquellen

Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke.weniger Einzelteile

- ⇒ wesentlich reduzierte Kosten

Vereinfachung von Applikation und Verkabelung

Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke.weniger Steckverbindungen und damit weniger potentielle Störquellen

Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke.weniger Einzelteile

wesentlich geringeres Gewicht (ca. 2 kg)

Vereinfachung von Applikation und Verkabelung

Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke.weniger Steckverbindungen und damit weniger potentielle Störquellen

Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke.weniger Einzelteile

geringerer Raumbedarf

Die konsequente Reduktion der Zahl der Sensoren durch den Entfall der Signale Getriebeeingangsdrehzahl und Schaltabsicht führte zu einer weiteren Vereinfachung des neuen LuK-Systems.

Ausblick

Das EKM-System bietet einige Erweiterungsmöglichkeiten, die je nach Kundenwunsch als Option verfügbar sind:

Erhöhung der Fahrstabilität

Durch Unterstützung verschiedener Systeme, wie z.B.:

Vereinfachung von Applikation und Verkabelung

Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke.weniger Steckverbindungen und damit weniger potentielle Störquellen

Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke.weniger Einzelteile
Anti-Blockier-System (ABS)

Vereinfachung von Applikation und Verkabelung

Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke.weniger Steckverbindungen und damit weniger potentielle Störquellen

Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke.weniger Einzelteile
Antriebs-Schlupfregelung (ASR)

Vereinfachung von Applikation und Verkabelung

Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke.weniger Steckverbindungen und damit weniger potentielle Störquellen

Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke.weniger Einzelteile
Motor-Schleppmomentregelung (MSR)

kann das EKM zur Erhöhung der Fahrstabilität beitragen.

Integration einer Wegfahrsperre

Als Fahrzeug-Diebstahlschutz kann eine Wegfahrsperre integriert werden, da mit dem EKM die einfache Möglichkeit besteht, den Anlasser nicht freizugeben und die Kupplung dauernd geöffnet zu halten.

Verringerung des Treibstoffverbrauchs und der Schadstoffemissionen

Das EKM bietet mehrere Optionen, die zur Verringerung des Treibstoffverbrauchs und der Schadstoffemissionen beitragen:

Schaltempfehlung

Über ein Display oder eine Kontrolleuchte am Armaturenbrett wird dem Fahrer angezeigt, wenn es aus Verbrauchsgründen günstiger wäre, hoch- bzw. herunterzuschalten.

Da die Auswirkungen der Fahrweise aufgrund der vorgegebenen Schaltpunkte in offiziellen Testzyklen nicht überprüfbar sind, führte LuK Fahrvergleiche auf einer speziellen Teststrecke durch. Dabei wurden eine typische Landstraßenfahrweise mit Ortsdurchfahrten, die Auswirkungen des Großstadtverkehrs (in Karlsruhe) und der Einfluß der Autobahnfahrt berücksichtigt. Es wurde das **gleiche Fahrzeug**, ein Pkw der oberen Mittelklasse mit 3l-Ottomotor, sowohl im EKM-Betrieb mit Schaltempfehlung als auch im konventionellen Betrieb mit Kupplungspedal gefahren.

Bild 12 zeigt, wie sich der durchschnittliche Verbrauch mit EKM bei konsequenter Befolgung der Schaltempfehlung gegenüber dem Betrieb ohne EKM und ohne Schaltempfehlung reduziert: Bei der Stadtfahrt liegt der **Verbrauch** mit **Schaltempfehlung** um ca. **21 %** und bei der Landstraßenfahrt um ca. **19% niedriger**. Bei der Autobahnfahrt ergibt sich erwartungsgemäß kein nennenswerter Verbrauchsvorteil, da hierbei in beiden Betriebsarten überwiegend im 5. Gang gefahren wird.

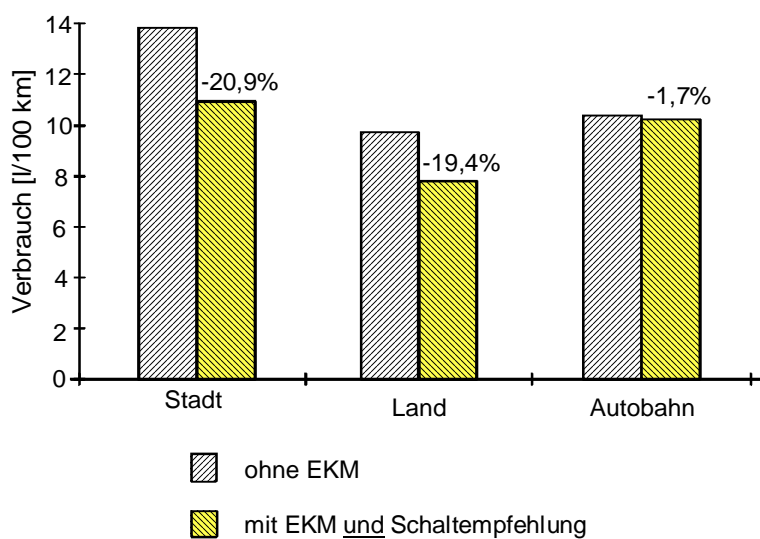


Bild 12: Durchschnittsverbräuche, Vergleich der Betriebsarten:

- ⇒ ohne EKM (normale Kupplungsbetätigung)
- ⇒ mit EKM und Schaltempfehlung

Eine Schaltempfehlung wird mit EKM eher akzeptiert als ohne EKM, weil Gangwechsel durch das EKM-System wesentlich erleichtert werden.

Der psychologische Vorteil eines EKM mit Schaltempfehlung gegenüber dem Automatgetriebe liegt darin, daß das System nur eine Empfehlung mitteilt, der Fahrer aber letztendlich entscheidet, ob er die Schaltung wirklich durchführt.

Start/Stop-Funktion

Eine weitere Option des EKM, die zur Reduktion des Treibstoffverbrauchs und der Schadstoffemissionen beiträgt, ist die "Start/Stop"-Funktion. Diese Option schaltet bei längeren Standphasen des Fahrzeugs den Motor ab. Beim Betätigen des Gaspedals oder beim Einlegen eines Gangs wird der Motor wieder gestartet.

Freilauf-Funktion

Die Freilauf-Funktion öffnet die Kupplung in Schubphasen (bei nicht betätigtem Gaspedal).

Eine mögliche Variante besteht darin, daß der Motor im Leerlauf weiterläuft. In Verbindung mit einem direkteingespritzten Dieselmotor, der über einen niedrigen Leerlaufverbrauch verfügt, kann bereits mit dieser Variante Treibstoff in nennenswertem Umfang eingespart werden.

Eine andere, noch konsequenter auf Treibstoffersparnis ausgelegte Variante schaltet den Motor während der Freilaufphasen mit geöffneter Kupplung ab und startet ihn wieder, sobald Gas gegeben wird.

Automatisiertes Schaltgetriebe

In einer weitergehenden Ausbaustufe des EKM kann zusätzlich zur Kupplungsbetätigung auch noch die Schaltungsbetätigung automatisiert werden.

Zusammenfassung

Es wurde das **neue LuK-EKM** vorgestellt, das bei vollem Funktionsumfang gegenüber bekannten Systemen **wesentlich geringere Kosten** verursacht. Die erreichten Gesamtkosten für das EKM liegen damit deutlich näher an den Kosten eines konventionellen Schaltgetriebes als an den Kosten eines Automatgetriebes, so daß die Grundlagen für den Einsatz des EKM-Systems auf breiter Basis geschaffen wurden.

Die wesentliche **Grundlage** zur Realisierung dieser drastischen Kostenreduktion war die **Selbsteinstellende Kupplung (SAC)** von LuK. Die Absenkung der Betätigungskraft um 2/3 des Wertes einer konventionellen Kupplung ermöglichte es, einen sehr kompakten Elektromotor einzusetzen.

Die Verwendung eines leistungsreduzierten und damit weniger Verlustwärme abgebenden Elektromotors war wiederum die Basis zur **Integration** von **Aktor und Steuergerät in einem Gehäuse**. Diese Integration brachte außer der Kostensenkung viele weitere Vorteile, z. B. viel einfacheren

Systemaufbau, weniger Einzelteile, reduzierten Verkabelungsaufwand, erhöhte Ausfallsicherheit usw.

Das neue **LuK-EKM** kann **ohne Änderungen** des **konventionellen Schaltgetriebes** sowie in den meisten Fällen auch **ohne Modifikation** des **Schalthebels** appliziert werden.

Die Anzahl der am Fahrzeug anzubringenden Sensoren wurde konsequent reduziert. Es verbleibt **ein einziger Sensor** - die Gangerkennung -, alle anderen Signale sind entweder auch in der Aktor-/Steuergeräte-Baueinheit integriert oder sie werden von vorhandenen Steuergeräten, z. B. der Motorsteuerung, abgegriffen.

Literatur

- [1] Nachrichten der Pressestelle des ADAC vom 15.09.93
- [2] 4. internationales LuK-Kolloquium 1990, "Torsionsschwingungen im Antriebsstrang"
Artikel: "Elektronisches Kupplungsmanagement (EKM) - Die mitdenkende Kupplung"

