

Kupplung und Betätigung als System

Dipl.-Ing. **Matthias Zink**

Dipl.-Ing. **René Shead**

Einleitung

Neue Technologien sowie steigende Komfortansprüche bedingen auch im Bereich Kupplung und Kupplungsbetätigung ein verstärktes Gesamtsystemdenken. Zudem werden von der Automobilindustrie auch auf diesem Gebiet Systemlieferanten gefordert, die die Funktionskette sinnvoll optimieren.

LuK hat sich die Aufgabe gestellt, den Kupplungsvorgang in seiner Wirkweise einschließlich der Dynamik theoretisch zu erfassen und vom Fußpedal bis zum Getriebeeingang zu verbessern.

Es werden in diesem Vortrag die einzelnen kraftführenden Komponenten untersucht und es wird gezeigt, wie das Anfahrverhalten durch abgestimmtes Zusammenspiel verbessert und die Betätigungskraft reduziert werden kann.

Allgemeine Zielsetzung

Vom Kupplungshersteller wird gefordert, mit den Parametern der Kupplung eine optimale Lösung am Fußpedal zu schaffen (Bild 1).

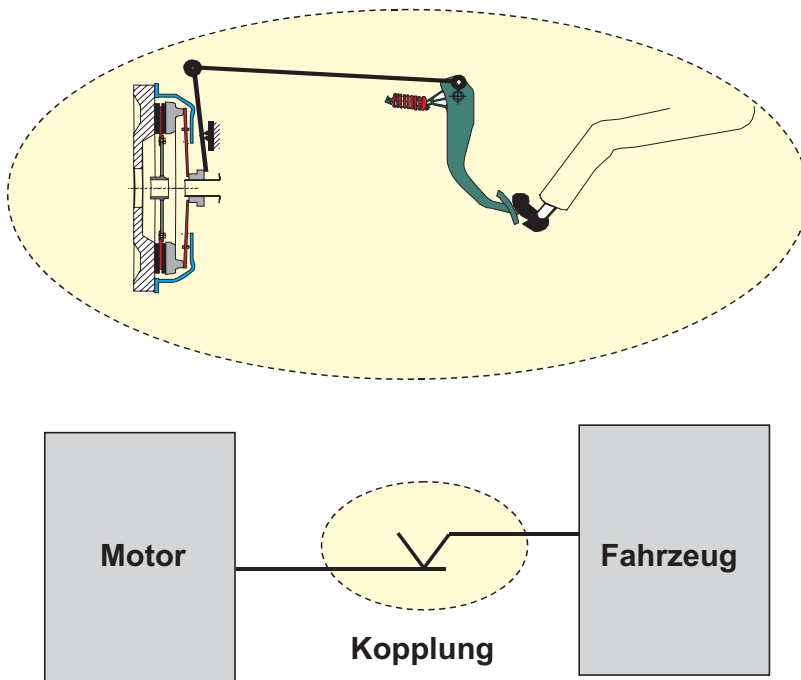


Bild 1: Aufbau Kupplung / Betätigung

Dies soll für den Fahrer zu einem Fahrzeug führen, dessen Kupplung

- ein einwandfreies Trennverhalten,
- eine betätigungsfreundliche Pedalkraft- und Pedalwegcharakteristik,
- eine geräusch- und vibrationsfreie Betätigung und
- ein gutes Modulationsverhalten bei Anfahr- und Umschaltvorgängen garantiert.

Der Kupplungshersteller kann für die Erfüllung der obigen Ansprüche nur einen Teil der maßgebenden Parameter beeinflussen.

Es leuchtet daher ein, daß eine optimale Funktion nur erreicht wird, wenn die gesamte Funktionskette betrachtet wird.

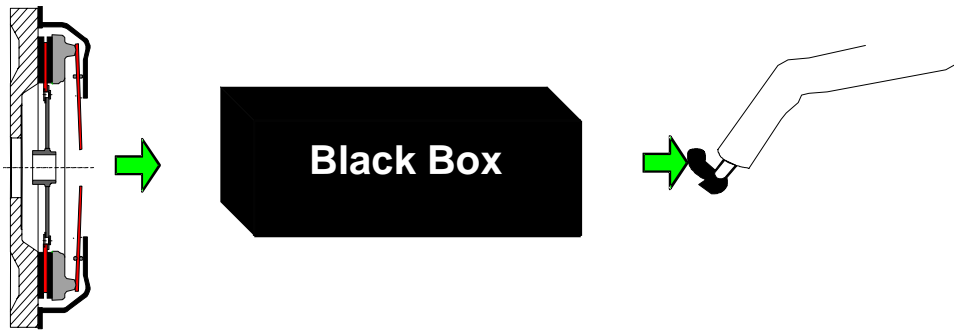


Bild 2 : Bisherige Ausrücksystembetrachtung durch den Kupplungshersteller

Nur wenn alle Teilfunktionen des Kupplungssystems sinnvoll aufeinander abgestimmt sind und auch noch Einflüsse von Motor und Fahrgestell berücksichtigt werden, ist eine erstklassige Gesamtfunktion des Kupplungssystems zu erwarten.

Durch diese Systembetrachtung muß die gesamthafte Sicht garantiert werden, die bisher durch die unterschiedlichen Verantwortungen beim Automobilkunden für Motor, Getriebe und Fahrgestell erschwert wurde.

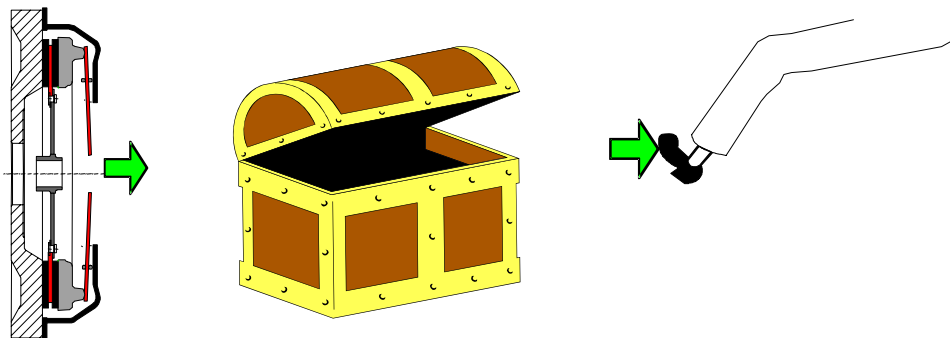


Bild 3: Ausrücksystembetrachtung durch LuK

Die bisherige Black-Box "Ausrücksystem" (Bild 2) soll im folgenden mit dem Ziel aufgebrochen werden, das Potential von Kupplung und Betätigung besser auszuschöpfen und damit das System gesamthaft zu optimieren. Bei LuK wurde deshalb vor einigen Jahren eine Arbeitsgruppe mit fünf Ingenieuren gegründet, die sich diese Aufgabe vorgenommen und eine Reihe neuer Effekte gefunden hat. Im folgenden werden die wichtigsten Parameter, die das Gesamtsystem beeinflussen, zusammenfassend behandelt.

Elastizitäten im System Kupplung/Betätigung

Bild 4 zeigt die Wegübertragungsfunktion „Ausrückweg über Pedalweg“ eines Betätigungssystems. Dargestellt sind der ideale Verlauf sowie eine Messung bei Raumtemperatur (grüne Kurve) und im betriebswarmen Zustand (rote Kurve); Abweichungen vom idealen Verlauf stellen die Wegverluste des Ausrücksystems dar. Die Zunahme der Elastizität des Ausrücksystems als Funktion der Temperatur führt zu einer deutlichen Verschiebung des Trennpunktes der Kupplung in Richtung Pedalwegende.

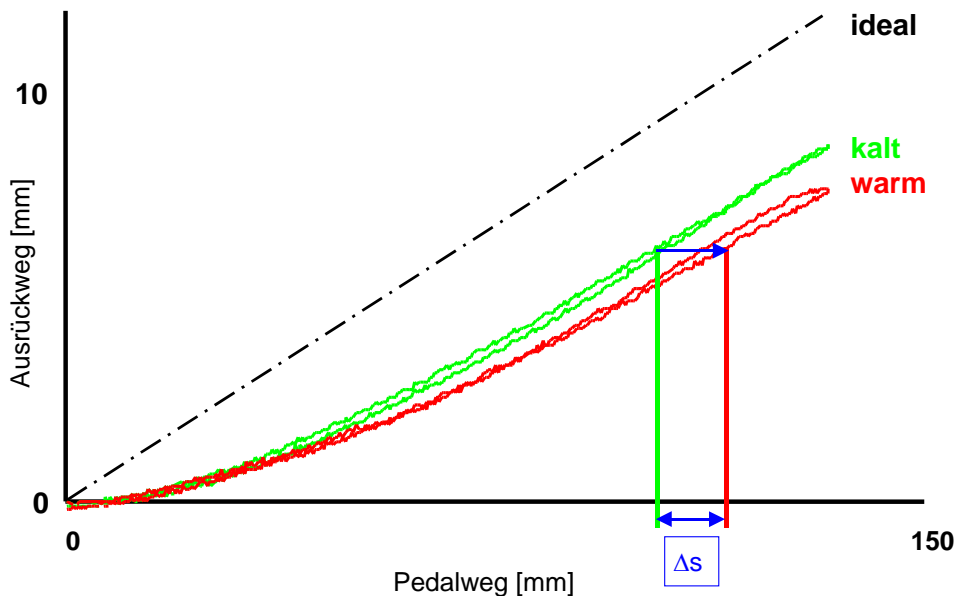


Bild 4: Ausrückwegmessung kalt / warm

Grundsätzlich lässt sich die Übertragungsfunktion des gesamten Ausrücksystems durch eine einzige Übersetzung und eine Nachgiebigkeit beschreiben.

Um jedoch die Verlustanteile der einzelnen Betätigungskomponenten sowie deren Temperaturabhängigkeit zu ermitteln, wird bei der Gesamtsystemanalyse die in Bild 5 aufgeführte Darstellung verwendet.

Hierbei sind die bei definierter Ausrückkraft an der Kupplung (y-Achse) vorliegenden Verlustwege am Pedal (x-Achse) dargestellt. So wächst bei maximaler Ausrückkraft der Verlustweg von 30 % des Gesamtpedalweges auf 55 % im warmen Zustand.

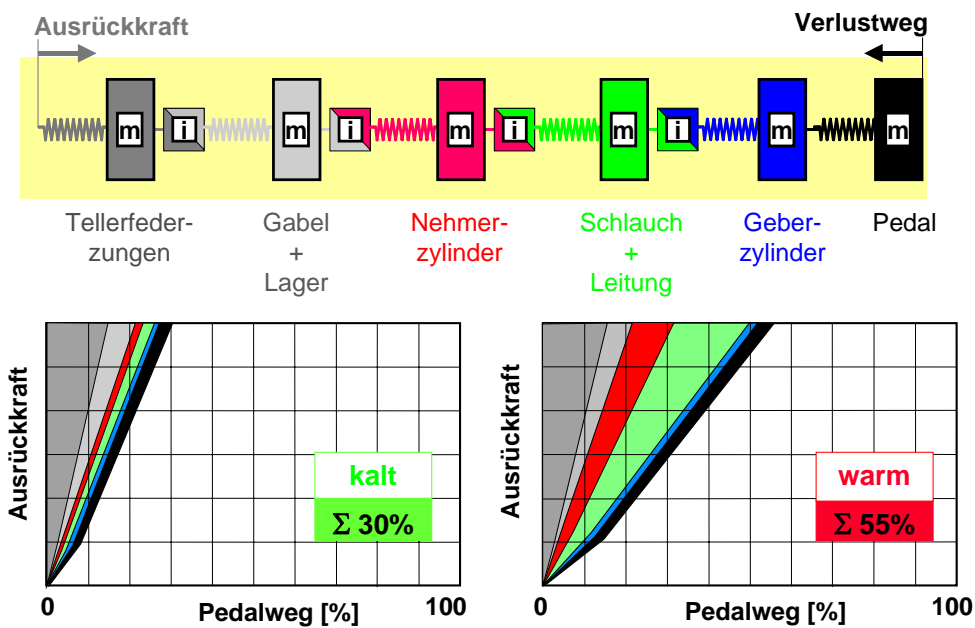


Bild 5: Elastizitäten (auf Pedalweg reduziert, Deckelsteifigkeit nicht dargestellt)

Die Darstellung der auf den Pedalweg reduzierten Einzelelastizitäten zeigt, welche Elastizitäten den Gesamtverlustweg am stärksten beeinflussen.

Je nach Güte des Systems beträgt der Verlustweg bis zur Hälfte des Pedalweges. Die auf hohem Kraftergebnis und niedriger Übersetzungsstufe befindlichen Bauteile (Tellerfederzungen, Ausrückgabel) haben den größten Einfluß auf die Lage der Kuppelpunkte, das heißt auf den Beginn des Momentenaufbaus bzw. auf das Trennverhalten. Gleichzeitig wird sichtbar, wie sich die Elastizitäten unter Temperatur verändern. Im obigen Beispiel zeigen die Bauteile Nehmerzylinder und Hydraulikleitung das größte Verbesserungspotential.

Mit dieser Darstellung ist auch eine sinnvolle Beurteilung der verschiedenen Elastizitäten in Mechanik, Semihydraulik bzw. Zentralhydraulik möglich.

Eine vergleichende Betrachtung kann ebenfalls mit den Reibungen im Gesamtsystem durchgeführt werden. Die Kombination beider Betrachtungen ermöglicht die Untersuchung der Einflüsse von Kraft- und Weghysterese.

Schwingungen im System Kupplung und Betätigung

Für kaum ein anderes Phänomen sind die Bezeichnungen variantenreicher als für Pedalvibrationen und Betätigungsgeräusche (z. B. Eak, Whoop, Kribbeln, etc.). Dies gibt einen deutlichen Hinweis darauf, daß in einem derart komplexen System die Arten der Anregung und der Schwingungsübertragung vielfältig sind.

Beispiele für Anregungen von Schwingungen im System Kupplung und Betätigung:

- Axial- oder Biegeschwingungen von Kurbelwelle und Schwungrad
- Schiefstellung des Ausrücklagers
- Schwingungen des Motor-Getriebeverbandes
- Versatz Motor zu Getriebe
- Versatz Betätigung

Um das ganze schwingungsfähige System zu verstehen, die verschiedenen Einflußgrößen zu trennen und entsprechende Abhilfemaßnahmen rechnerisch und in der Praxis darstellen zu können, wurde bei LuK das Gesamtsystem als Schwingungsmodell aufgebaut.

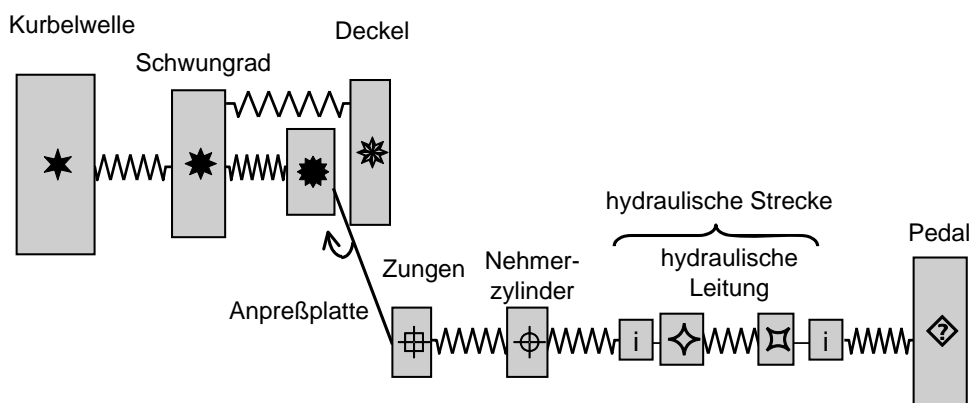


Bild 6: Schwingungsmodell

Stellvertretend für viele Probleme, die damit gelöst werden konnten, wird die Aussagekraft dieses Modells am folgenden Fall unter Beweis gestellt.

An einem Fahrzeug trat ein starkes, hochfrequentes und pedalgewegabhängiges Betätigungsgeräusch auf.

Eine Eigenfrequenzanalyse am Schwingungsmodell ergibt eine Übereinstimmung der Deckeleigenfrequenz und der Frequenz einer stehenden Welle in der Fluidsäule der hydraulischen Strecke, was zu einer guten Geräuschübertragung im Ausrücksystem führt.

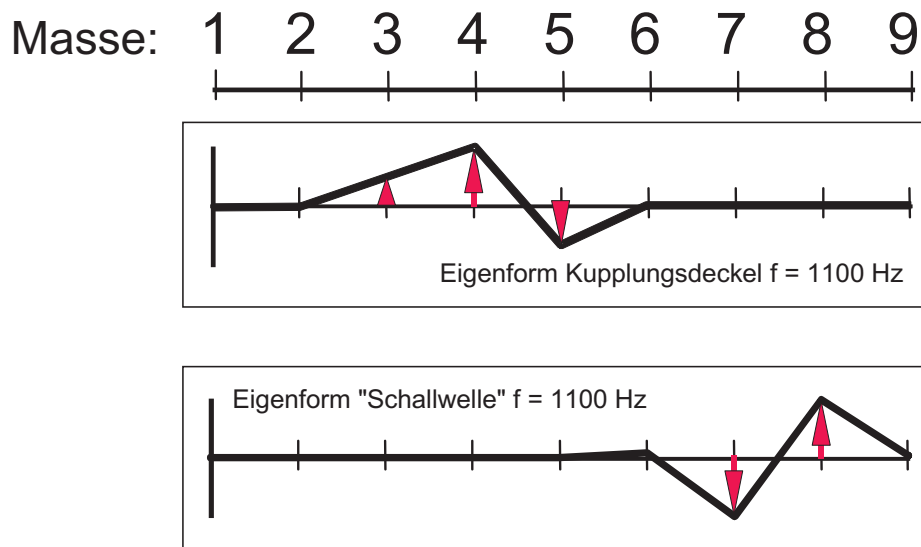


Bild 7: Eigenformen Ausrücksystem

Die Eigenform dieser stehenden Schallwelle in der Flüssigkeit entspricht in der Mechanik einer beidseitig eingespannten Saite.

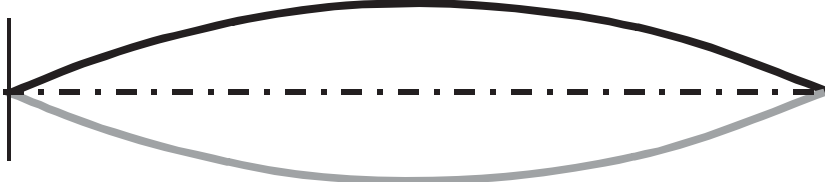


Bild 8: Eigenform einer eingespannten Saite

Theoretisch lässt sich diese Übereinstimmung durch Verstärken der beiden Frequenzen, also durch Verändern der Deckelsteifigkeit oder der Länge der Hydraulikleitung vermeiden. Im vorliegenden Fall wurde als einfachste Lösung die Stahlhydraulikleitung um ca. 20 cm verlängert. Dies beseitigte die Betätigungsgeräusche vollständig, ohne die Elastizität im Ausrücksystem zu verschlechtern.

Dieses Beispiel zeigt, wie mit diesem Simulationsprogramm Schwingungen, die in Kupplung und Ausrücksystem angeregt bzw. übertragen werden, beschrieben und Verbesserungen erarbeitet werden können. Es werden die kritischen Bereiche der einzelnen Bauteile aufgezeigt. Das Simulationsprogramm berücksichtigt auch, daß z. B. für die Anpreßplatte durch die umgebenden Federn eine vom Ausrückweg abhängige Eigenfrequenz entsteht. Über eine "weiche Anbindung" der Anpreßplatte können je nach Problemfall Abhilfemaßnahmen dargestellt werden.

Die Auswirkungen der Kurbelwellendynamik (Axial-, Biegeschwingungen) oder Anregungen durch schiefstehende Ausrücklager ("Schieflage der Tellerfeder") auf das Betätigungssystem ergeben Reaktionen am Kupplungspedal, die durch Simulationen im Zeitbereich erkannt und damit auch verhindert werden können.

Es wird damit möglich, die Einflüsse von Reibung und Dämpfung darzustellen. Durch die Simulation wird die Auslegung von Dämpfungselementen für die Anpreßplatte ebenso wie die Dimensionierung von Reib- und Dämpfungseinrichtungen im hydraulischen oder mechanischen Betätigungssystem ermöglicht.

Ebenfalls kann der Vorgang "schnelles Einkuppeln" simuliert werden. Hier spielt neben Reibungen und Dämpfungen insbesondere die Verteilung der Massen und Übersetzungen im Ausrücksystem eine entscheidende Rolle.

Kupplungsmodulation beim Anfahrvorgang

Änderungen der Fahrprofile durch höheren Anteil von Stadt- und Staufahrt, aber auch massive Veränderungen am Gesamtfahrzeug haben bei vielen Fahrzeugen zu einer kritischen Bewertung des Anfahrverhaltens, insbesondere im Leergas, geführt.

Als markante Änderungen am Gesamtfahrzeug, die die Kupplungs- bzw. Ausrücksystemauslegung hinsichtlich Modulation erschweren, können folgende Punkte genannt werden:

- Kleinvolumige, aufgeladene Motoren erreichen hohe Maximalmomente, jedoch geringe Drehmomente im Leerlauf.
- Höhere maximale Motordrehmomente bedingen höhere Kupplungsmomente und höhere Ausrückkräfte.
- Die Absenkung der Leerlaufdrehzahl sowie die Verkleinerung der motorseitigen Schwungmassen verringern die Schwungenergie beim Anfahrvorgang.
- Neue Einspritztechnologien (insbesondere bei Dieselmotoren) verändern die Drehzahlstabilität beim Anfahrvorgang.
- Kraftreduzierte Kupplungssysteme bieten Potential zur Baugruppenvereinheitlichung im Bereich Kupplung und Ausrücksystem mit kleineren Ausrücksystemübersetzungen.
- Die Einführung längerer Achsen ergibt eine Erhöhung der effektiven, auf die Getriebeeingangswelle reduzierten Fahrzeugmasse.

Erschwerend kommt hinzu, daß Fahrzeuge bisher überwiegend subjektiv in gut anfahrbar oder schlecht anfahrbar klassifiziert werden, da keine objektiven Kenngrößen und keine hinreichenden Meß- und Simulationsmöglichkeiten zur Beschreibung von Anfahrvorgängen vorhanden sind.

Probleme während des Anfahrvorganges werden in den meisten Fällen pauschal der Kupplung zugeordnet, da sie die „drehende Masse Motor“ und die „stehende Masse Fahrzeug“ verbindet. Wie vielfältig die Einflußfaktoren während des Anfahrvorganges jedoch sind, und wie diese per Messung und Simulation analysiert und gewichtet werden können, wird nachfolgend gezeigt.

Die am Anfahrvorgang beteiligten Größen können entsprechend Bild 9 eingeordnet werden:

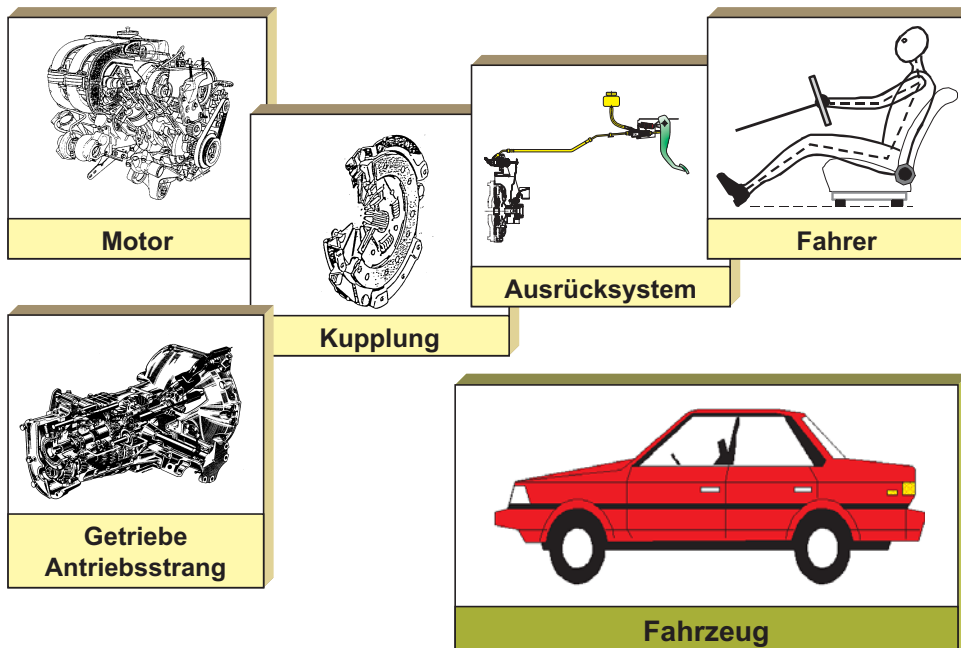


Bild 9 : Einflußparameter beim Anfahrvorgang

In der Praxis zeigt sich fast immer, daß die Kupplung nur einen Teil der Einflußgrößen darstellt. Um diese einzelnen Faktoren und ihr Zusammenwirken besser zu verstehen, zu wichten und um positive Änderungen bewirken zu können, wurden bei LuK verschiedene Meß- und Simulationsmöglichkeiten erarbeitet.

Beispielhaft für diese systematische Vorgehensweise wird nachfolgend die Anfahrbarkeit von drei Fahrzeugen vergleichend untersucht.

Dazu werden die Fahrzeuge **A**, **B** und **C** in die entsprechenden Teilsysteme (Kupplung, Ausrücksystem, Motor, Fahrzeug) zerlegt. Es handelt sich um drei verschiedene, jedoch hubraumähnliche Fahrzeuge mit unterschiedlichen Betätigungssystemen.

Zunächst wird die Kupplung betrachtet. Dies entspricht dem bisherigen „klassischen“ Aufgabenumfang eines Kupplungsherstellers sowie dessen Möglichkeiten zur Einflußnahme auf den Anfahrvorgang.

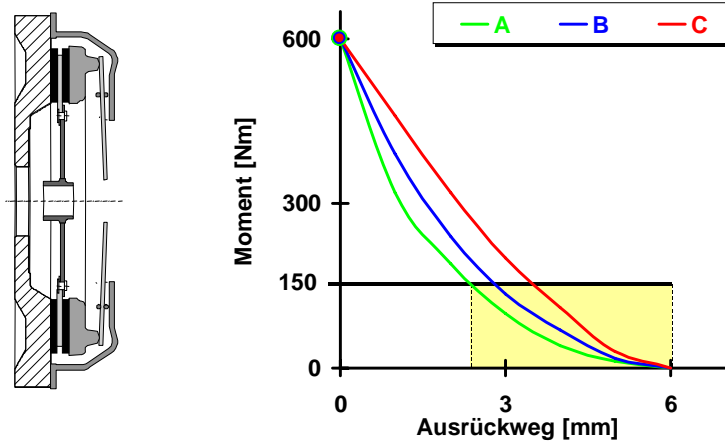


Bild 10 : Kupplungsmoment als Funktion des Ausrückweges

Bild 10 zeigt die drei grundsätzlich verschiedenen Kupplungsmomentenverläufe (A, B, C), die alle auf das gleiche maximale Kupplungsmoment bei gleichem Ausrückweg führen.

Kupplung C zeigt hier im für das Anfahren entscheidenden Momentenbereich (≤ 150 Nm) den steilsten, Kupplung A den weichsten Momentenaufbau. Somit würde also Kupplung A zunächst als am besten dosierbar eingestuft.

Diese drei Kupplungen wurden in die zugehörigen Fahrzeuge verbaut und vermessen (siehe Bild 11).

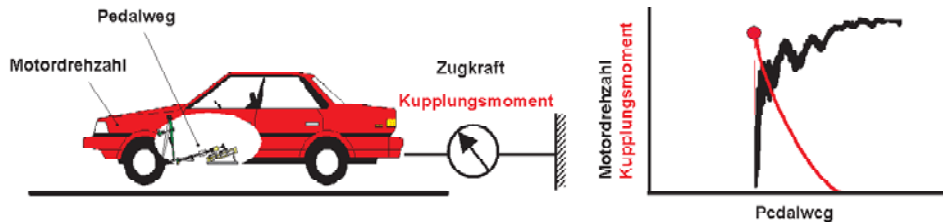


Bild 11 : Ermittlung von Kennwerten beim Einkuppeln zur Beschreibung des Ausrücksystems

Um den Einfluß des Betätigungssystems zu ermitteln, wird die Kupplung über eine Spindeleinheit, die am Kupplungspedal angreift, geschlossen; das Fahrzeug ist über eine Kraftmeßdose fixiert. Diese Kraftmeßdose liefert den Momentenaufbau der Kupplung als Funktion des Pedalweges, der durch die Übersetzung und die Elastizität des Ausrücksystems ent-

sprechend beeinflusst wird. Gleichzeitig wird bei dieser Messung die Motordrehzahl erfaßt. Das Verhalten des Motors sowie die Höhe des erreichten Abwürgemomentes im Leergas beim Schließen der Kupplung mit verschiedenen Geschwindigkeiten gibt Aufschluß über die Güte des Motors bzw. der Motorregelung.

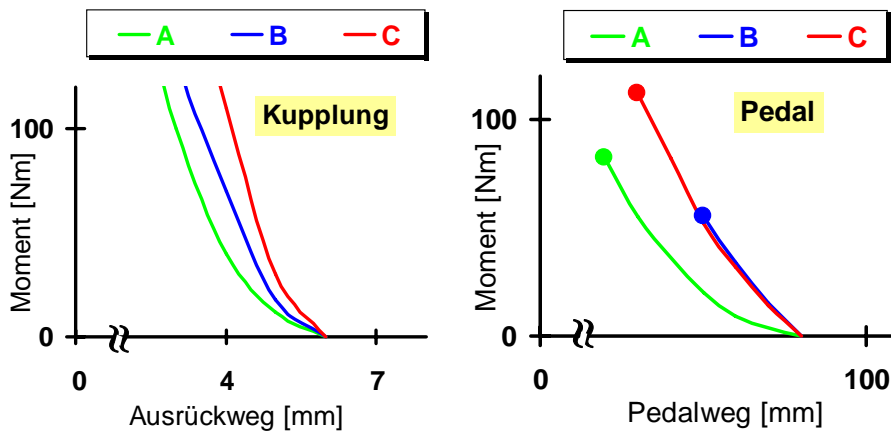


Bild 12: Kupplungsmoment über Ausrückweg und Pedalweg

Die in Bild 12 (rechts) dargestellten Verläufe **A**, **B** und **C** der drei verschiedenen Kupplungen mit den entsprechenden Ausrücksystemen in den Fahrzeugen zeigen nun die Dosierwege für das Kupplungsmoment am Pedal. Alle drei Verläufe sind auf den gleichen Greifpunkt normiert, sie haben also alle den gleichen Pedalweg bei Moment Null. Die Kurve verläuft über dem Pedalweg bis zum im Leerlauf erreichbaren "STALL-Moment", bei dem der Motor abgewürgt wird. Dieser Wert ist durch einen dicken Punkt gekennzeichnet.

System **A** zeigt weiterhin über dem Pedalweg den weichsten Momentenverlauf. Die Momentenverläufe **B** und **C** sind aufgrund der größeren Ausrücksystemübersetzung von Fahrzeug **C** über dem Pedalweg nahezu identisch. Somit stellen System **B** und **C** nun an den Fahrer bzw. an den Motor identische Anforderungen, obwohl die zugehörigen Kupplungen über dem Ausrückweg (siehe Bild 12, links) stark unterschiedlich ausgelegt sind.

Die Einflüsse der Motoren ergeben sich aus dem im Leerlauf erreichten STALL-Moment. Das Fahrzeug **C** stellt im Leergas das höchste Motormoment zur Verfügung, Fahrzeug **B** erreicht nur die Hälfte dieses Wertes und kann deshalb beim Anfahren leichter abgewürgt werden.



Bild 13 : Anfahrmessungen

Dies wird durch den Anfahrversuch bestätigt (Bild 13), bei dem die Kuppelung ebenfalls über eine Spindleinheit am Kupplungspedal geschlossen wird, das Fahrzeug jedoch nicht fixiert ist. Die hierbei ermittelte Grenzeinkuppelgeschwindigkeit am Kupplungspedal (PGEG), bei der das Fahrzeug im Leergas gerade noch anfährt, liefert einen Kennwert, anhand dessen Fahrzeuge bezüglich der Anfahrbarkeit objektiv verglichen werden können.

Bisherige Untersuchungen von LuK an 20 verschiedenen Fahrzeugen haben ergeben, daß eine subjektiv gute Bewertung (> Note 6) ab einer Grenzeinkuppelgeschwindigkeit von 25 mm/s erreicht wird. Bei noch höheren Grenzeinkuppelgeschwindigkeiten läßt sich das Fahrzeug absolut problemlos anfahren.

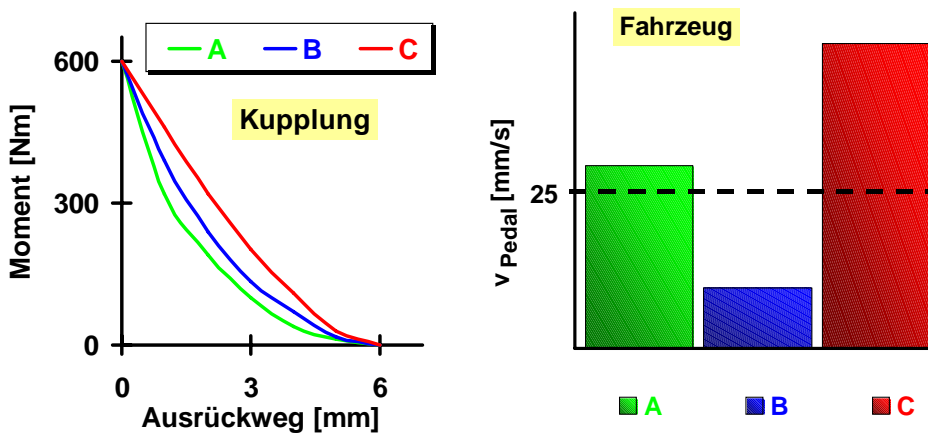


Bild 14: Vergleich Kupplungsmoment, Abwürgegeschwindigkeit

Bild 14 zeigt die maximal möglichen Einkuppelgeschwindigkeiten am Kupplungspedal der drei Vergleichsfahrzeuge. Fahrzeug **C** wurde hierbei subjektiv mit Note 10, Fahrzeug **B** mit Note 3, Fahrzeug **A** mit Note 7 bewertet; also entspricht der erreichte Kennwert der subjektiven Bewertung.

Das Ergebnis ist zunächst überraschend, denn anhand der Kupplungskennlinien hätte man in Fahrzeug **A** eine bessere Anfahrbarkeit als in **C** erwartet. Hier zeigt sich erneut, daß die Auslegung der Einzelkomponenten ohne Betrachtung des Gesamtfahrzeuges falsch ist.

Die Bandbreite aller bisher gemessenen Grenzanfahrgeschwindigkeiten von 5 mm/s bis 60 mm/s bzw. von Note 1 bis Note 10 bei verschiedenen Fahrzeugen zeigt, daß hier Handlungsbedarf ist.

Die durch diese Messungen gewonnenen Informationen reichen aus, um Fahrzeuge systematisch vergleichen zu können und sich von dem subjektiven Bewertungsschema zu lösen.

Um das Verhalten des realen Fahrers bzw. dessen reale Betätigungs-geschwindigkeit am Kupplungspedal nachzubilden, wurden bei LuK Grund-satzbetrachtungen durchgeführt. Hierbei wurde untersucht, inwieweit ergo-nomische Gesichtspunkte bzw. die Charakteristik der Pedalkraftkennlinie den Einkuppelvorgang beeinflussen.

Man denke an folgendes einfache Experiment (Bild 15).

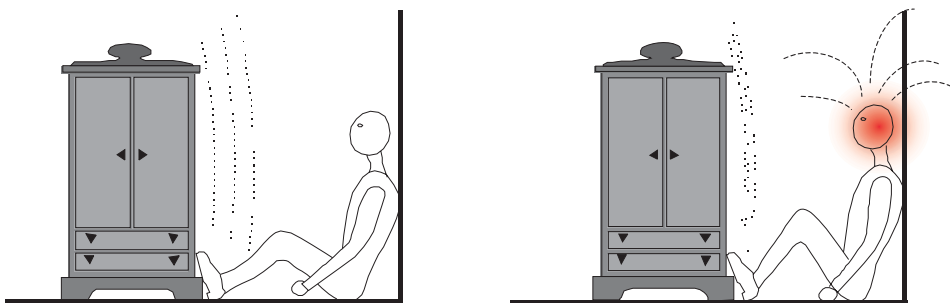


Bild 15 : Einfache Ergonomiebetrachtung

Obwohl in beiden Fällen gleiche Verschiebekräfte erforderlich sind, ist bei der Sitzposition links subjektiv eine geringere Kraftanstrengung nötig als rechts. Aus dieser biomechanischen Überlegung wurde für die folgende Betrachtung die zur Betätigung notwendige "Stellgröße" nicht als Pedalkraft am Fuß, sondern als Drehmoment im Hüftpunkt angesetzt.

Insofern ist also das Bein des Fahrers ein Teil des Ausrücksystems; das Gewicht des Beines wirkt als Vorlast auf das Pedal.

In Bild 16 ist eine Studie zur Fahrersitzposition dargestellt. Die vergleichende Betrachtung zweier unterschiedlicher Sitzpositionen zeigt, inwieweit dieses Drehmoment bei gleicher Pedalkraftkennlinie durch ergonomische Gesichtspunkte beeinflusst wird. Sitzposition 1 führt zu einem starken "Drop-off" in der Momentenkennlinie. Es ist leicht vorstellbar, daß der Fahrer das Pedal mit diesem stark fallenden bzw. steigenden Gradienten schlechter dosieren kann als mit einem horizontalen Momentenverlauf.

Die Sitzposition muß also in Zukunft ebenfalls mitbetrachtet werden.

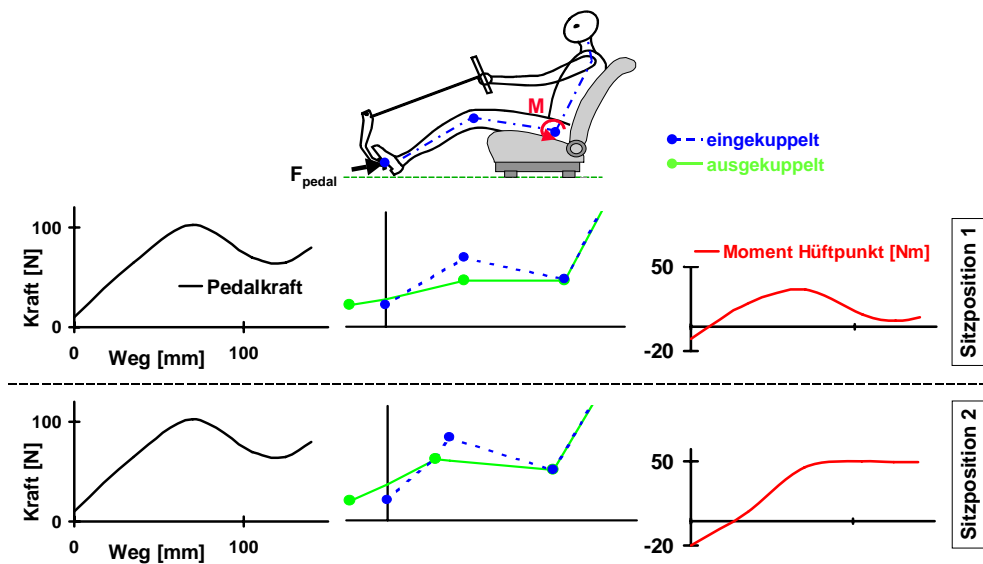


Bild 16 : Einfaches Fahrermodell

All die beschriebenen Einflußparameter von der Drehzahlregelung des Motors über die Kupplung, das Ausrücksystem bis hin zum Antriebsstrang wurden von LuK in einem einzigen Simulationsprogramm zusammengefaßt. Als Basis diente das bewährte Torsionsschwingungsberechnungsprogramm. Damit konnte ein wichtiger Schritt zur Simulation von realen Anfahrvorgängen vollzogen werden. Mit diesem Simulationswerkzeug ist es nun möglich, jede der in Bild 9 angeführten, den Anfahrvorgang beeinflussenden Größen, zu variieren und zu bewerten.

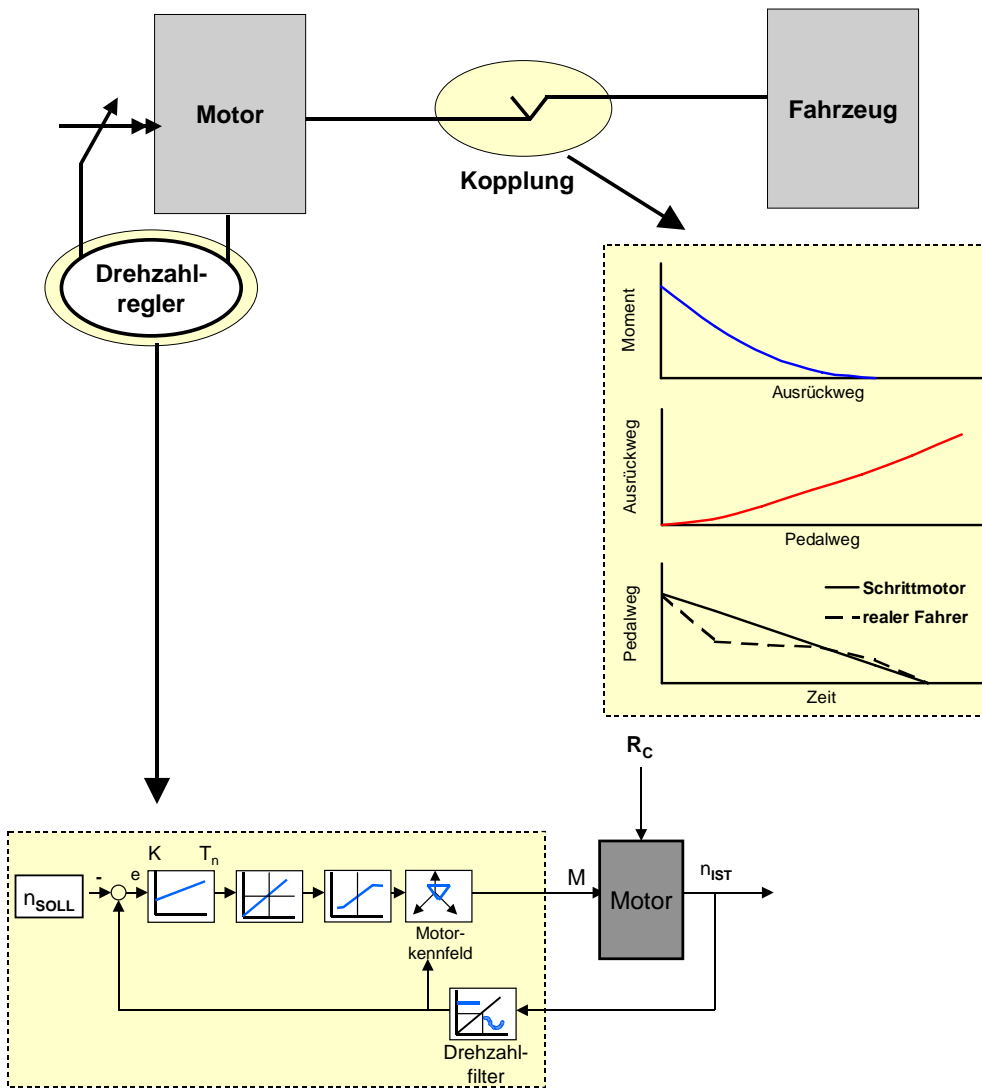


Bild 17 : Simulationsmodell Anfahrvorgang

Bild 17 zeigt die einzelnen Module des Programmes. Die Reibungskopplung R_C beschreibt die Schnittstelle von Motor und Fahrzeug, sie stellt somit die Funktion von Kupplung, Ausrücksystem und Fahrer dar. An dieser Stelle werden Elastizitäten, Übersetzungen und Reibungen des Ausrücksystems integriert.

Die Kupplung wird also vom Fahrer bzw. von einem Spindelsystem (vgl. Messung) am Pedal über die Vorgabe „Pedalweg über Zeit“ geschlossen. Diese Funktion kann ebenfalls beliebige Verläufe annehmen, beispielsweise kann der Einfluß von Kraft- und Weghysteresen bei Umkehr der Pedalbewegungsrichtung auf das Anfahrverhalten sichtbar gemacht werden.

Die Regelung der Motordrehzahl kann auf zwei unterschiedlichen Wegen erfolgen. Zum einen kann die Drehzahl über einen PI- bzw. PID-Regler geregelt werden, zum anderen über das reale Motorkennfeld; hier wird der Regler den im Kennfeld vorgegebenen Abhängigkeiten von Lasthebelstellung, Drehzahl und Moment unterworfen.

Derzeit werden die Daten für die Nachbildung der Motorregelungen im Simulationsmodell am Fahrzeug durch einen einfachen Versuch gewonnen. Hierzu wird, ähnlich wie bei der Zugkraftmessung in Bild 11, die Reaktion des Motors bei Beaufschlagung mit definierten Momentensprüngen vermessen. Dies ermöglicht außerdem eine kupplungsunabhängige vergleichende Betrachtung von Motorregelungen.

Bild 18 und Bild 19 zeigen zwei Beispiele. Aus den Reaktionen des Motors auf die Momentensprünge kann auf die Güte der Motorregelung geschlossen werden. Bild 18 zeigt nach jedem Momentensprung starke Schwingungen der Motordrehzahl. Der Motor in Bild 19 weist nur kurze Einbrüche in der Drehzahl auf, regelt dann aber sofort nach.

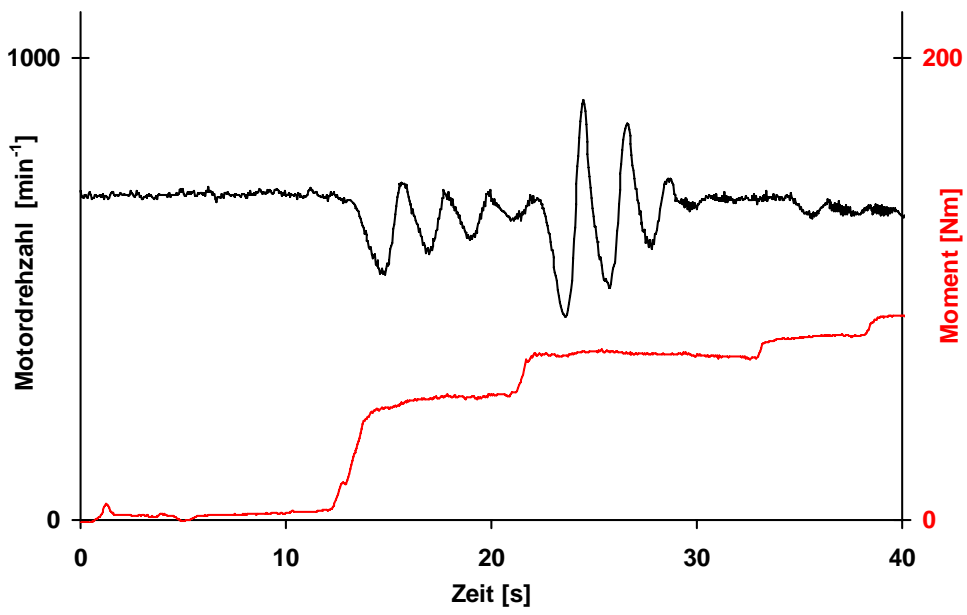


Bild 18: Identifikation Leerlaufregler (Fahrzeug 1)

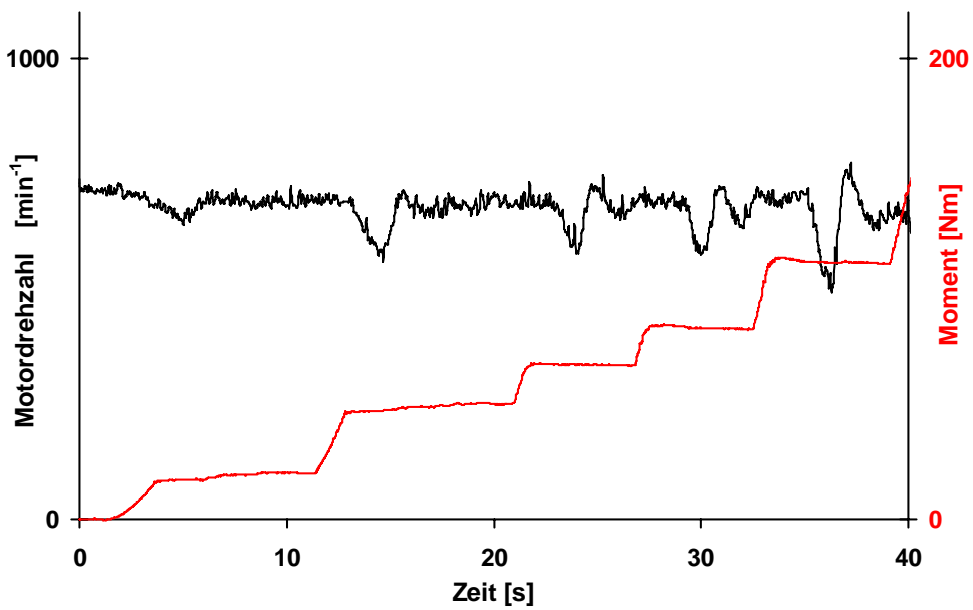


Bild 19: Identifikation Leerlaufregler (Fahrzeug 2)

Sicherlich kann auf diesem Wege die Motorregelung mit all ihren Spezialfällen nur mit eingeschränkter Genauigkeit abgebildet und beeinflusst werden; trotzdem können ausgehend von den Simulationen konkrete Vorschläge erarbeitet werden, wie die Anfahrbarkeit eines Fahrzeuges verbessert werden kann.

Die anderen Einflüsse aus Antriebsstrang und Ausrücksystem können sehr exakt simuliert und hinsichtlich ihrer Einflüsse gewertet werden.

Von Bild 20 bis Bild 22 sind einige Beispiele dargestellt. Als Basis diente ein reales Fahrzeug. Zusätzlich wurden bei den Variationen drei verschiedene Motorregelungen simuliert.

Bewertet wird die Grenzeinkuppelgeschwindigkeit am Kupplungspedal (PGEG), die in den Balkendiagrammen als y-Achse aufgetragen ist und über dem Grenzwert von 25 mm/s liegen sollte, damit der Motor beim Einkuppeln nicht zu leicht abgewürgt werden kann.

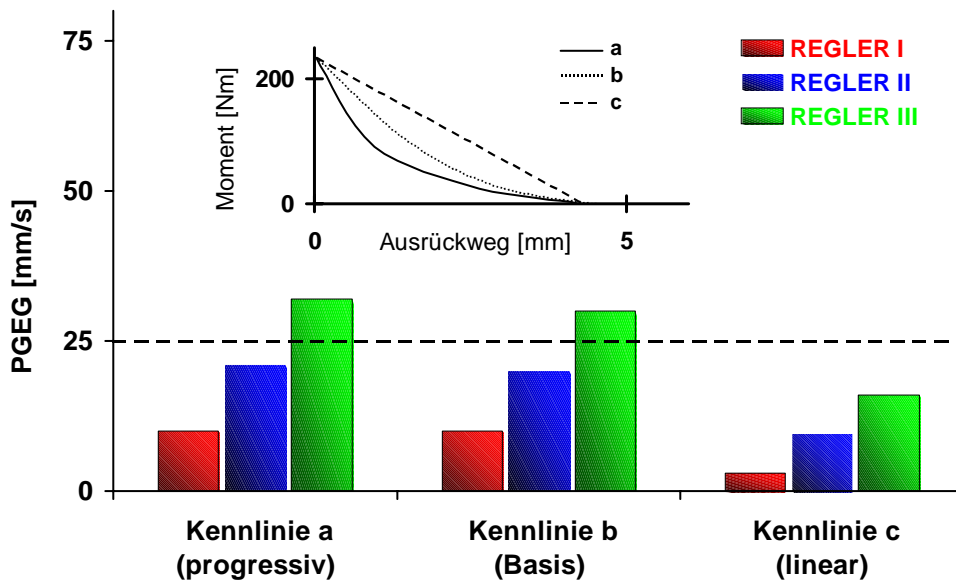


Bild 20: Variation Kupplungsmomentenverlauf

Bild 20 zeigt den Einfluß verschiedener Kupplungsmomentenverläufe. In diesem Fall wäre selbst der sehr weiche Momentenverlauf von Kennlinie a nur mit den Regelparametern von Regler III zu beherrschen.

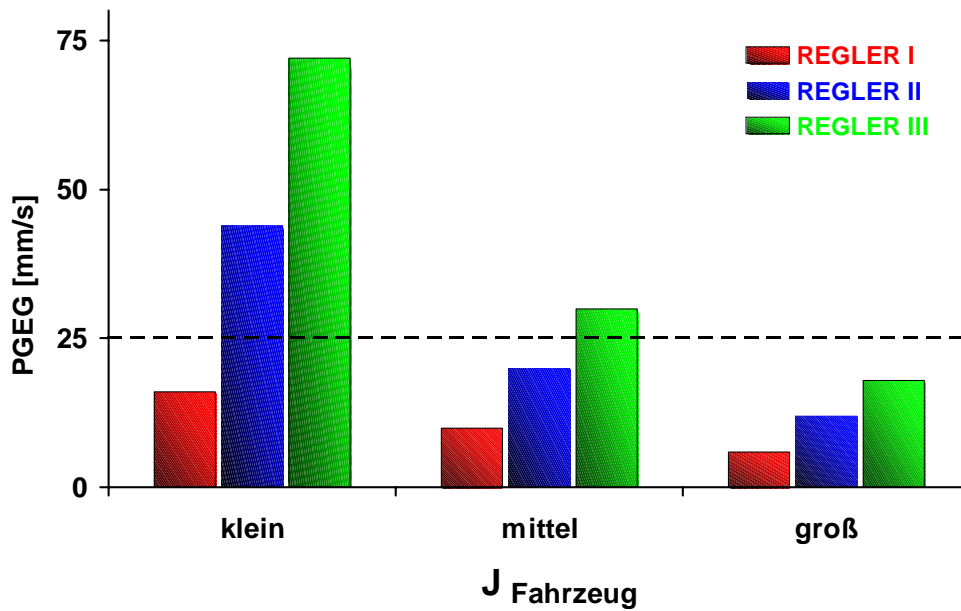


Bild 21: Variation der reduzierten Fahrzeugmasse

Bild 21 zeigt den Einfluß der auf die Getriebeeingangswelle reduzierten Fahrzeugmasse. Dabei wird die translatorische Fahrzeugmasse mit der Getriebe- und Differentialübersetzung sowie dem Rollradius der Reifen in eine rotatorische Masse umgerechnet. Insbesondere eine „lange Achse“, die zu großen reduzierten Massenträgheitsmomenten des Fahrzeugs führt, wird hier zu Anfahrproblemen führen, sofern dies andere Parameter nicht kompensieren.

Bild 22 zeigt den Einfluß der motorseitigen Schwungmassen auf die Anfahrtschwindigkeit eines Fahrzeuges; je geringer die motorseitige Schwungmasse wird, desto geringer ist auch die zur Verfügung stehende Schwungenergie für den Anfahrvorgang.

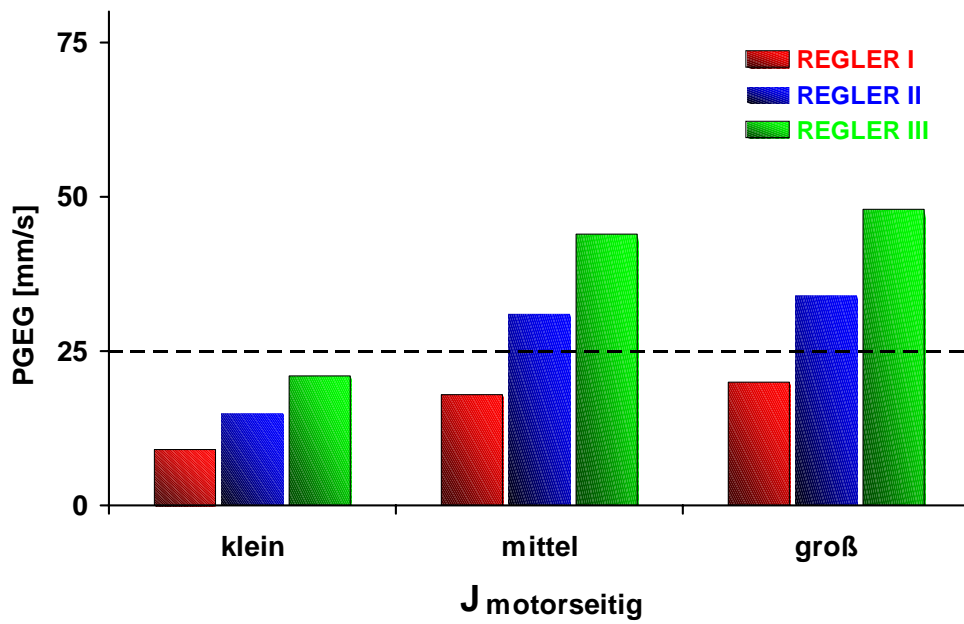


Bild 22: Variation der motorseitigen Schwungmasse

Diese Beispiele sollen zeigen, daß die Wirkung aller wesentlichen Parameter durch die Simulation erfaßt wird und damit Vorhersagen getätigt werden können.

Zusammenfassung

Die Erfahrungen der letzten Jahre bei LuK haben gezeigt, daß eine starre Trennung von Kupplung und Ausrücksystem nicht zu einer technisch optimalen Lösung führen kann.

Nur durch genaue Analyse aller im Kraftfluß von Kupplung und Ausrückung befindlichen Elemente unter Beachtung bestimmter Fahrzeug- und Motor-daten ist eine optimale Funktion der Kupplung gewährleistet, so daß sich eine Systembetrachtung nahezu aufdrängt.

In Zukunft sollte daher bei allen Optimierungen und Neuauslegungen von Kupplungen ein Projektmanagement dafür einstehen, daß alle Elemente in der Funktionskette richtig aufeinander abgestimmt sind.