



# **7. LuK Kolloquium**

**11./12. April 2002**



Herausgeber: LuK GmbH & Co.  
Industriestrasse 3 • D -77815 Bühl/Baden  
Telefon +49 (0) 7223 / 941 - 0 • Telefax +49 (0) 7223 / 2 69 50  
Internet: [www.LuK.de](http://www.LuK.de)

Redaktion: Ralf Stopp, Christa Siefert

Layout: Vera Westermann

Druck: Konkordia GmbH, Bühl  
Das Medienunternehmen

Printed in Germany

**Nachdruck, auch auszugsweise, ohne  
Genehmigung des Herausgebers untersagt.**

# Vorwort

---

Innovationen bestimmen unsere Zukunft. Experten sagen voraus, dass sich in den Bereichen Antrieb, Elektronik und Sicherheit von Fahrzeugen in den nächsten 15 Jahren mehr verändern wird als in den 50 Jahren zuvor. Diese Innovationsdynamik stellt Hersteller und Zulieferer vor immer neue Herausforderungen und wird unsere mobile Welt entscheidend verändern.

LuK stellt sich diesen Herausforderungen. Mit einer Vielzahl von Visionen und Entwicklungsleistungen stellen unsere Ingenieure einmal mehr ihre Innovationskraft unter Beweis.

Der vorliegende Band fasst die Vorträge des 7. LuK Kolloquiums zusammen und stellt unsere Sicht der technischen Entwicklungen dar.

Wir freuen uns auf einen interessanten Dialog mit Ihnen.



Bühl, im April 2002

A handwritten signature in black ink that reads "Helmut Beier". The script is cursive and fluid.

Helmut Beier

Vorsitzender  
der Geschäftsführung LuK Gruppe

---

# Inhalt

---

1	ZMS – nichts Neues? .....	5
2	Der Drehmomentwandler .....	15
3	<b>Kupplungsausrücker</b> .....	<b>27</b>
4	Der Interne Kurbelwellendämpfer (ICD) .....	41
5	Neueste Ergebnisse der CVT-Entwicklung .....	51
6	Wirkungsgradoptimiertes CVT-Anpresssystem .....	61
7	Das 500 Nm CVT .....	75
8	Das Kurbel-CVT .....	89
9	Bedarfsorientiert ansteuerbare Pumpen .....	99
10	Die temperaturgeregelte Schmierölpumpe spart Sprit .....	113
11	Der CO2 Kompressor .....	123
12	Komponenten und Module für Getriebebeschaltungen .....	135
13	Die XSG Familie .....	145
14	Neue Chancen für die Kupplung? .....	161
15	Elektromechanische Aktorik .....	173
16	Denken in Systemen – Software von LuK .....	185
17	Das Parallel-Schalt-Getriebe PSG .....	199
18	Kleiner Startergenerator – große Wirkung .....	213
19	Codegenerierung contra Manufaktur .....	227

---

# Kupplungsausrückssysteme

Matthias Zink  
René Shead  
Roland Welter

## Einleitung

Die Verbindung zwischen Pedal und Kupplung, das Kupplungsaustrücksystem, wird in Personenkraftfahrzeugen und leichten Nutzfahrzeugen mit manuellem Schaltgetriebe heutzutage fast ausschließlich hydraulisch ausgeführt. Betätigungssysteme mit Seilzug sind trotz der günstigeren Anschaffungskosten in der Erstausrüstung nahezu völlig vom Markt verschwunden. Ursache für die Verbreitung der Hydraulik sind die einfachere Verlegung der hydraulischen Druckleitung in immer dichter gepackten Motorräumen (Rechts- und Linkslenker), die einfache Nachstellfunktion sowie die Möglichkeit, Zusatzfunktionen mit geringem Aufwand zu integrieren.

Mit dem Einsatz von hydraulischen Zentralaustrückern, die seit 1995 einen stetig steigenden Marktanteil in Europa errungen haben, wurde zusätzlich noch eine erhebliche Vereinfachung in der Getriebemontage erzielt.

Die Weiterentwicklung der hydraulischen Austrücksysteme konzentriert sich derzeit primär auf die Kostenreduzierung, beispielsweise durch den Einsatz von Kunststoff statt Metall sowie auf Maßnahmen zur Steigerung des Betätigungskomforts, wie der Reduzierung der Pedalkrafthysterese und der Vermeidung von Pedalvibrationen [1].

Zudem erlaubt der Übergang auf das Kunststoffdesign die technisch und wirtschaftlich optimale Integration von Zusatzfunktionen (Schwingungsdämpfung, Spitzenmomentbegrenzung).

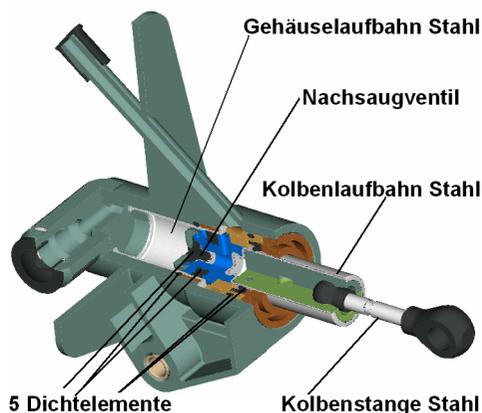
Darüber hinaus hat LuK sich zum Ziel gesetzt, durch konsequente Umsetzung des Systemgedankens 'Kupplung und Betätigung' völlig neue technische Lösungen zu erarbeiten.

Erster Meilenstein auf diesem Weg ist die Entwicklung eines „fehlertoleranten Kupplungs-systems“.

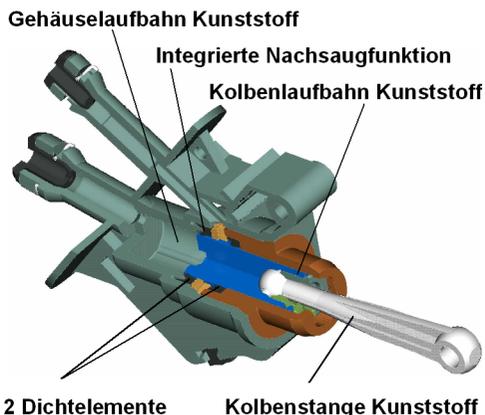
## Entwicklungstendenzen

### Kupplungsgeberzylinder

Bei den ersten hydraulischen Kupplungsgeberzylindern bestand das Gehäuse aus Metall mit teilweise aufwändiger Bearbeitung. Mit der Einführung der Kunststoffgeberzylinder wurden die Potenziale einer kunststoffgerechten Konstruktion zunächst noch nicht konsequent ausgeschöpft.



*Bild 1: Geberzylinder altes Design*



*Bild 2: Geberzylinder neues Design*

Sowohl die Kolben- als auch die Dichtungslaufbahnen bestanden aus oberflächengehärtetem Metall, die Pleuelstangen waren üblicherweise aus Stahl und die Zylinder besaßen eine Vielzahl von einzelnen Dichtungen (Bild 1).

Durch konsequente Weiterentwicklung ist es LuK inzwischen gelungen, die Anzahl der Einzelteile auf etwa die Hälfte zu reduzieren und gleichzeitig weitgehend auf kostenaufwändige Metallteile zu verzichten (Bild 2).

Funktionssichere Dichtungslaufbahnen aus Kunststoff sind mit geeigneten Materialkombinationen zu bewältigen und glasfaserverstärkte Thermoplaste ersetzen zunehmend die Pleuelstangen aus Stahl.

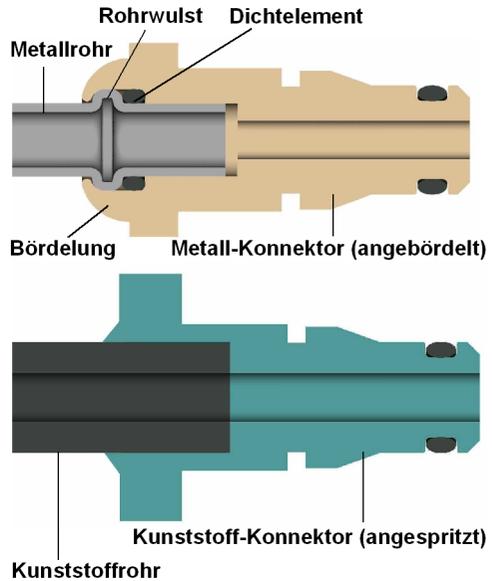
Durch die Kombination von Funktionen wurde die Anzahl der Dichtungen von ursprünglich fünf auf zwei reduziert.

Nachteil der leichtbauenden Kunststoffgehäuse der Geberzylinder ist die stärkere Neigung zu Quietschgeräuschen, deren Ursache in dem geschwindigkeitsabhängigen Reibwert zwischen den Elastomerdichtungen und der Dichtungslaufbahn liegt.

Hierzu wurden inzwischen probate Abhilfemaßnahmen entwickelt. Wird als Kolben eine Stahlbüchse verwendet, bietet sich eine Kohlenstoff-Beschichtung an, die sehr wirkungsvoll jedoch auch kostentreibend ist. Alternativ liefert LuK einen Kolben aus duroplastischem Material. Damit können ebenfalls störende Quietschgeräusche mit verschiedenen Bremsflüssigkeiten auch unter kritischen klimatischen Bedingungen zuverlässig vermieden werden.

## Kupplungsleitungen

Die Notwendigkeit von Kostenreduktionen hat bei dem vermeintlich einfachen Bauteil hydraulische Druckleitung zu einer Vielzahl von Entwicklungsstufen geführt. Der Stand der Technik bei den Kupplungsleitungen ist am deutlichsten an der Gestaltung der Leitungskonnektoren zu erkennen. Aktuelle Designs sind in Bild 3 dargestellt.



**Bild 3:** Konnektortechnik

Gegenüber Leitungen aus Stahl-Gummi gewinnen Kunststoffleitungen aus PA12 zunehmend an Bedeutung. Ihre weitläufige Verbreitung im Markt ist noch durch die Dauereinsatztemperatur (max. 120 °C), die Temperaturabhängigkeit der Volumenaufnahme und die schwache Entkopplung von Druckschwingungen begrenzt.

Durch Weiterentwicklungen, wie z. B. verbesserte Rohstoffe und optimierte Extrusionsverfahren (Mehrschichtrohre), ist hier in Zukunft eine deutlich höhere Marktdurchdringung zu erwarten.

LuK als Systemlieferant beschränkt sich nicht nur auf die Abstimmung der Leitungsverlegung und die Teillieferung, sondern entwickelt in Zusammenarbeit mit kompetenten Partnern die Leitungstechnologien weiter.

Ein Beispiel hierfür ist der in Bild 4 dargestellte neuartige Konnektor, der durch die Anordnung innerhalb des Zylindergehäuses eine erhöhte Funktionssicherheit der Verbindungsstelle von Leitung zu Zylinder gewährleistet.

Der Herstell- und insbesondere der Prüfprozess der Leitung wird dadurch vereinfacht.

Der Funktionstest erfolgt im Rahmen der ohnehin notwendigen Dichtheitsprüfungen der Zylinder.

Bearbeitung und nachgeschaltete Imprägnier- bzw. Eloxalbehandlung erfordern (Bild 5).

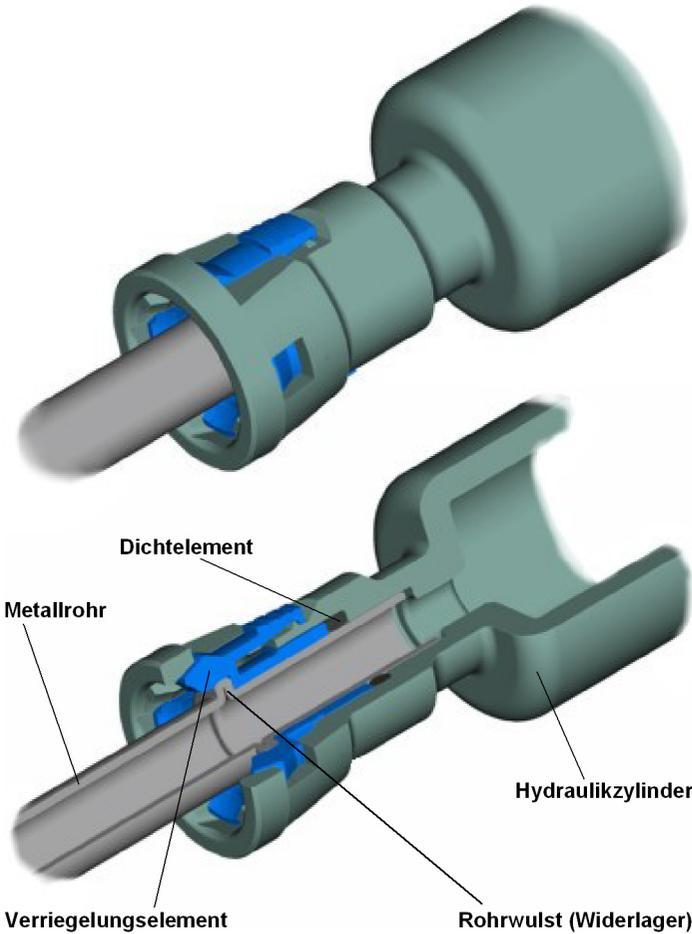
Eine deutliche Reduktion des Bearbeitungsaufwandes wird durch spritzfertig hergestellte Kunststoffgehäuse aus glasfaserverstärktem thermoplastischem Material erreicht (Bild 6).

Die hohe Temperaturbeständigkeit des gewählten Materials (Polyphthalamid, PPA) garantiert, dass die Funktion und Dauerhaltbarkeit der Zentralausrücker mit Kunststoffgehäuse gegenüber denen mit Aluminiumgehäuse nicht nennenswert eingeschränkt sind. Die Medienverträglichkeit des eingesetzten PPA's gegenüber Bremsflüssigkeit und anderen im Motorraum vorhandenen Stoffen ist ausgezeichnet.

Durch eine intelligente Formgebung des Gehäuses kann die Spreizkraft zwischen der Führungshülse und dem Gehäuse so gestaltet werden, dass die Verschraubung völlig entlastet ist bzw. die resultierende Druckkraft den Ausrücker sogar gegen das Getriebegehäuse drückt (Bild 7).

So führt z. B. eine Ausrückkraft von 2000 N bei dem CSC (Bild 7 links) zu einer von den Befestigungsschrauben aufzunehmenden Spreizkraft zwischen Führungshülse und CSC-Gehäuse von ca. 4400 N (!). Bei dem rechts dargestellten CSC ergibt sich bei identischer Hydraulikfläche von 630 mm<sup>2</sup> eine resultierende Kraft von ca. 350 N, die das CSC-Gehäuse an das Getriebe drückt und damit die Verschraubung vollständig entlastet.

Die Volumenaufnahmen der Zentralausrückervarianten in Aluminium bzw. Kunststoff sind bis zu einer Temperatur von 120 °C praktisch vergleichbar (Bild 8).

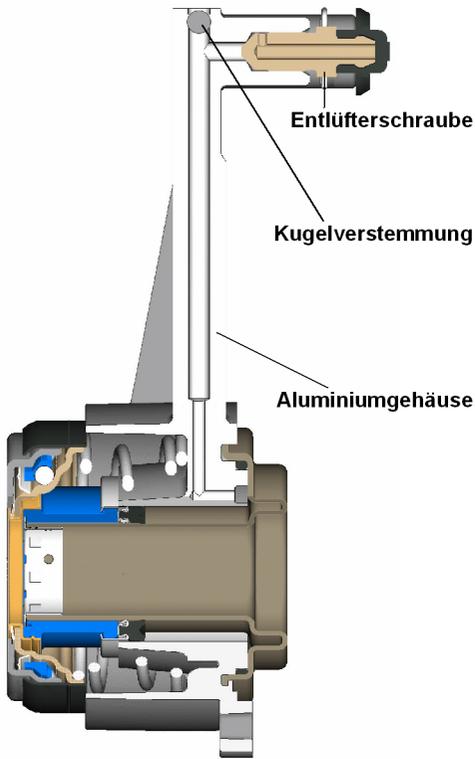


**Bild 4:** Integration Leitungskonnetor im Zylinder

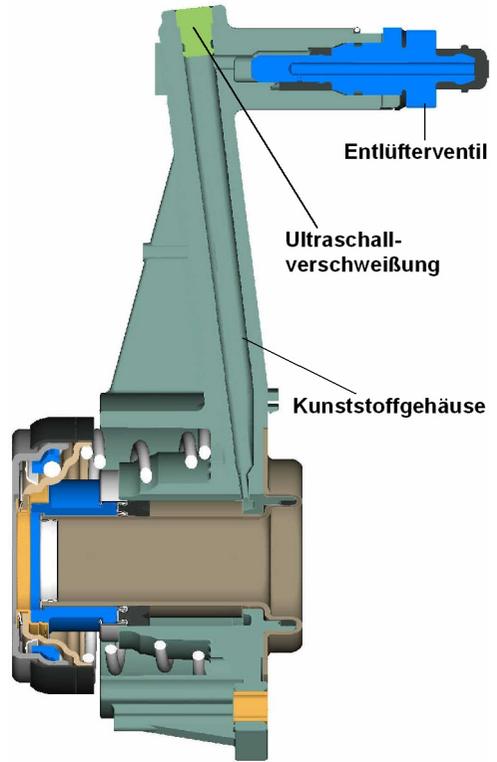
## Kupplungsnehmerzylinder

In hydraulischen Zentralausrückern (CSC) sind unterschiedliche Funktionen in einer kompakten und einfach an das Getriebe zu montierenden Einheit integriert.

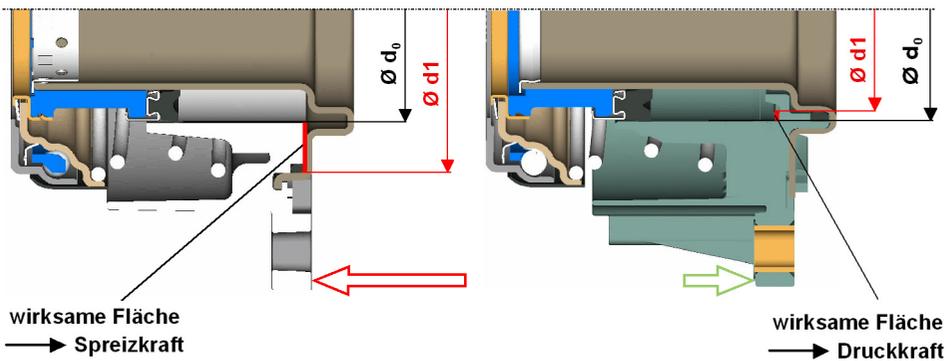
Derzeit bestehen die meisten Zentralausrückergehäuse aus Aluminium in druckgegossener oder geschmiedeter Form, die eine aufwändige



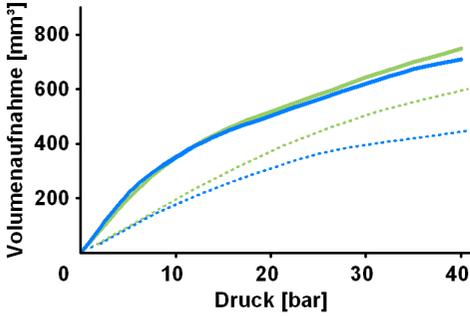
**Bild 5:** CSC altes Design



**Bild 6:** CSC neues Design



**Bild 7:** Spreizkraftoptimierung am Nehmerzylindergehäuse



- Kunststoff - CSC +80 °C
- Kunststoff - CSC -40 °C
- Aluminium - CSC +80 °C
- Aluminium - CSC -40 °C

**Bild 8:** Vergleich Volumenaufnahme CSC

Die geringfügig größere Volumenaufnahme der Kunststoffgehäuse bei höheren Temperaturen ist durch eine geeignete Auslegung des

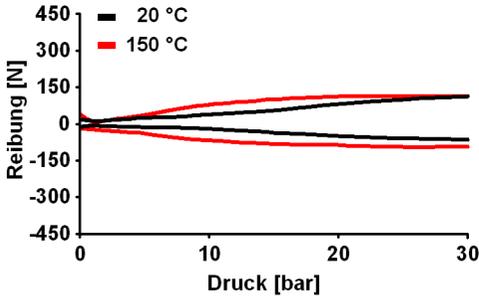
Systems Kupplung und Betätigung problemlos zu kompensieren.

Mit der Serieneinführung des LuK Kunststoffzentralaustrückers kommt eine neue Fettqualität zum Einsatz. Dieses Fett sorgt über die gesamte Lebensdauer des Austrückers für eine konstant niedrige Reibung (Bild 9).

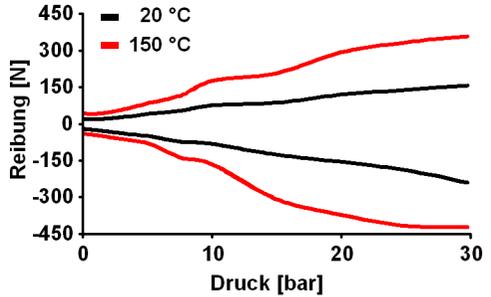
Die dadurch geringen Kraft- und Weghysteresen sind Voraussetzung für eine exakte Modulation der Kupplung in fußbetätigten und automatisierten Systemen.

LuK nutzt konsequent die Potenziale des Kunststoffdesigns, um den Grad der Funktionsintegration zu erhöhen. Für die Kunststoffnehmerzylinder wurde ein Zweistufenventil entwickelt, das im Servicefall eine einfache manuelle Bedienung ohne Werkzeug bei der Befüllung und Entlüftung ermöglicht (Bild 10).

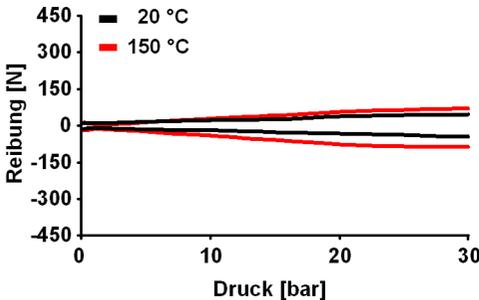
Aluminium - CSC Neuzustand



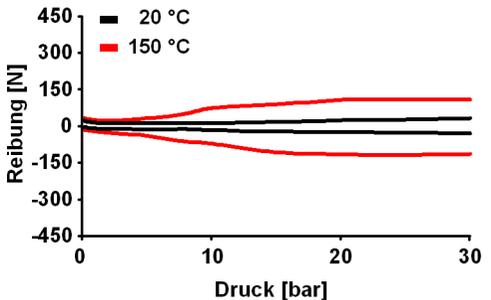
Aluminium - CSC nach Laufstrecke



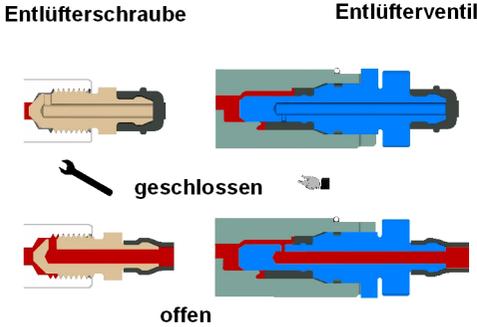
Kunststoff - CSC Neuzustand



Kunststoff - CSC nach Laufstrecke

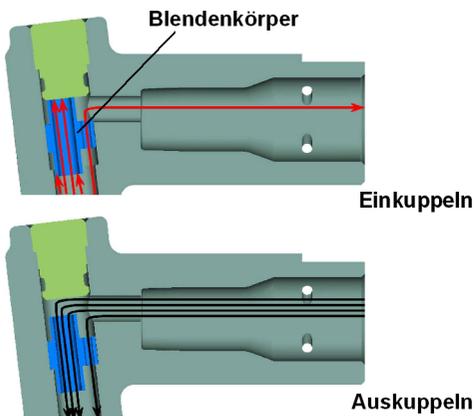
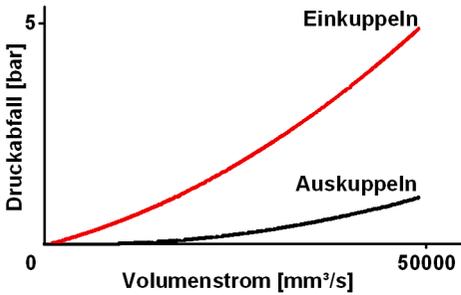


**Bild 9:** Vergleich Reibung CSC



**Bild 10:** Neues Entlüfterdesign

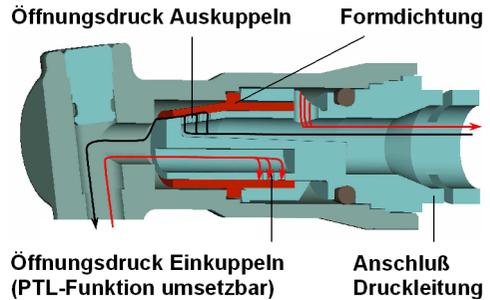
Die Funktion des Spitzenmomentbegrenzers wurde als schaltbare Blende in den Ausrücker integriert. Durch den in Einkuppelrichtung verkleinerten Öffnungsquerschnitt wird der Volumenstrom verzögert und damit die Einkuppelzeit verlängert.



**Bild 11:** Integrierter Spitzenmomentbegrenzer

Beim Auskuppeln strömt das Fluid nahezu ungehindert und ohne Druckwiderstand durch die Zulaufbohrung (Bild 11).

Eine neue Variante des bisher als Kribbelfilter bekannten Schwingungsdämpfers löst mittels einfacher Formdichtungen das bisherige Feder-Ventil-Design ab. Durch unterschiedliche Vorspannungen der Formdichtungen lässt sich der Öffnungsdruck und damit die Amplitude der gefilterten Druckschwankung anwendungsspezifisch abstimmen. Das Design erlaubt eine einfache Integration in das Gehäuse bzw. in die Anschlussadapter (Bild 12).



**Bild 12:** Schlauchkribbelfilter

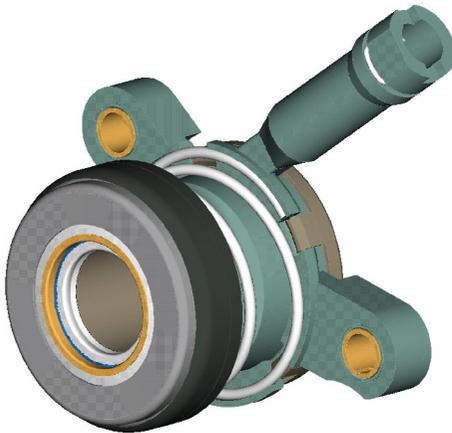
Um den kleiner werdenden Bauräumen innerhalb der Getriebeglocke durch vergrößerte Wellenlagerungen und in den Kupplungsraum hineinragende Schaltstangenabstützungen Rechnung zu tragen, bietet sich die in Bild 13 dargestellte Bauform des Zentralausrückers mit Kunststoffgehäuse und nur noch zwei Anschraubbohrungen an.

Die Besonderheit dieser konstruktiven Variante ist, dass die Anschraubung nur zur Lagefixierung dient und unter Druckbeanspruchung lastfrei bleibt. Die Druckneutralität wird durch eine im Montageprozess an das Gehäuse angebördelte Führungshülse realisiert.

Gleichzeitig bietet diese Bauform den kürzesten axialen Bauraum ohne eine Einschränkung des Kolbenhubes.

Der Anschluss zur Leitung bzw. der Ausgang aus dem Getriebe wird über entsprechende Adapter dargestellt. In diese Bauteile lassen sich ebenso die Zusatzfunktionen wie Entlüfter, Spitzenmomentbegrenzer und Schwingungsdämpfer integrieren.

Durch dieses modulare Design ist es möglich, verschiedene Getriebe eines Herstellers mit dem identischen CSC - Grundkörper zu kombinieren. Die Anpassung an die getriebespezifischen Randbedingungen erfolgt über die Adapter.

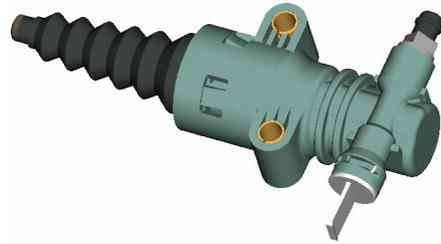


**Bild 13:** Zwei-Punkt-CSC

Beide Bauformen sind nach LuK-Nomenklatur „Semi - Kunststoffausrucker“, d. h. Ausrucker mit Kunststoffgehäuse und Stahlführungshülse.

Die Entwicklung einer Kunststoffführungshülse bzw. eines Voll - Kunststoffausrückers ist weit vorangeschritten. Der Kunststoffführungshülse wird hinsichtlich Material und Oberflächendefinition besondere Beachtung geschenkt, da die Hülse zusätzlich zur Funktion als Dichtungslaufbahn auch die Abstützung und Führung des Kolbens gewährleisten muss.

Bei den außenliegenden Nehmerzylindern hat eine vergleichbare Entwicklung wie bei den Kupplungsgeberzylindern stattgefunden (siehe Abschnitt *Kupplungsgeberzylinder*). Die Integration von Zusatzfunktionen ist analog den Zentralausrückern realisierbar (Bild 14).



**Bild 14:** Semihydraulischer Nehmerzylinder

## Fehlertolerante Kupplungssysteme

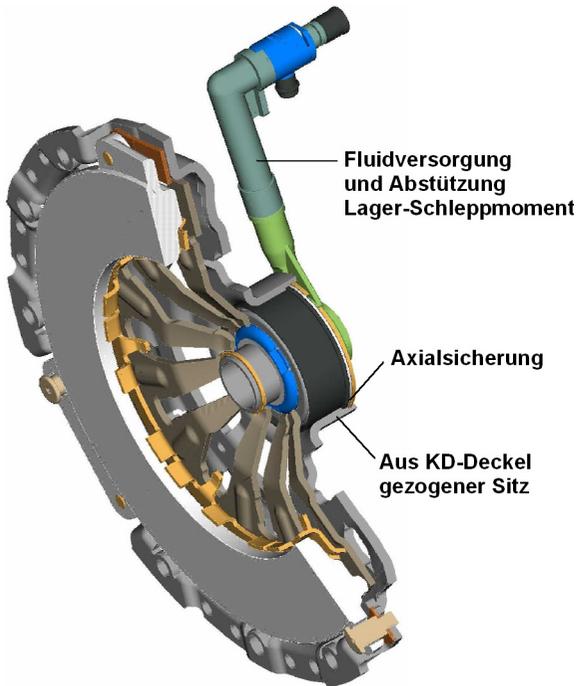
Die immer empfindlicher werdenden Antriebsstränge sowie die zunehmenden Schwingungsanregungen durch höhere Ungleichförmigkeiten der Motoren haben die Kupplungssysteme hinsichtlich der Fertigungstoleranzen an die Grenze des wirtschaftlich Machbaren getrieben.

Ein großer Schritt in Richtung „fehlertolerantes Kupplungssystem“ lässt sich durch die Verbindung des Zentralausrückers mit der Kupplung zu einem Modul erreichen (Bild 15).

Hierbei wird ein hydraulischer Zentralausrucker am Gehäuse mit einem zusätzlichen Wälzlager versehen, welches sich gegen den Kupplungsdeckel abstützt (Bild 16).

Die Baueinheit, bestehend aus Kupplung und Ausrucker, wird in der gezeigten Ausführung an das Schwungrad angeschraubt.

Axialschwingungen der Kurbelwelle, die durch den Verbrennungsprozess des Motors verursacht werden, stützen sich bei heutigen Systemen 'Kupplung und Betätigung' am getriebefesten Ausrucker ab und führen damit einerseits zu Druckschwankungen im Ausrücksystem bzw. Pedalvibrationen, andererseits zu Momentenschwankungen im Kupplungsaggregat (Bild 17 links).

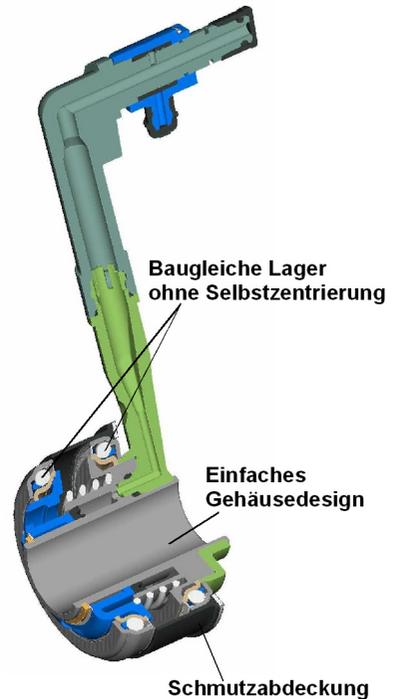


**Bild 15:** Modul Kupplung / Ausrücker

Durch die Unterbrechung des Kraftflusses zwischen dem Ausrücker und dem Getriebe werden Axial- und Biegeschwingungen der Kupplungsseite nicht mehr in das hydraulische System übertragen. Pedalvibrationen können somit effektiv bekämpft werden (Bild 17 rechts).

Messungen an einem Prototypenfahrzeug sind in Bild 18 dargestellt.

Ebenso lassen sich alle in der Schlupfphase durch Axial-schwingungen erzeugten Momenten- bzw. Getriebedrehzahlschwankungen auf ein Minimum reduzieren. In einem Versuchsfahrzeug (Dieselmotor, Direkteinspritzung, Hubraum 1.7 l) wurde die in Bild 19 dargestellte Drehzahlschwankung erreicht; dies entspricht einer Verringerung der Momentenschwankung um  $\pm 6$  Nm. Diese Reduzierung ist beträchtlich in Anbetracht der Tatsache, dass empfindliche Antriebsstränge schon ab  $\pm 1$  Nm zu Rumpfschwingungen neigen.



**Bild 16:** Lagerdesign

Ein weiterer Vorteil ist die völlige Entlastung der Kurbelwellenlagerung von den Ausrückkräften.

Die Hubauslegung für den Ausrücker beschränkt sich auf den Ausrück- sowie Verschleißweg, d. h. bezogen auf die Kurbelwellenanschraubung ist die Gesamteinheit um ca. 11 mm kürzer, da die Toleranz Kurbelwellenüberstand zu Getrieberückwand bzgl. des Ausrückerverfahrweges nicht mehr berücksichtigt werden muss. Zudem bietet dieses Modul die Möglichkeit, Kupplungen im ausgerückten Zustand zu liefern und damit gegenkraftefrei sowie verzugsarm an das Schwungrad zu verschrauben.

Technisch sowie organisatorisch wird die Anzahl der Schnittstellen minimiert, die Kupplung und der Ausrücker werden als ein Modul im Motorenwerk montiert, der Ausrücker ist nicht mehr – wie heute üblich – auf die Schnittstelle zum Getriebe abzustimmen (Anflanschung, Radialwellendichtring etc.).

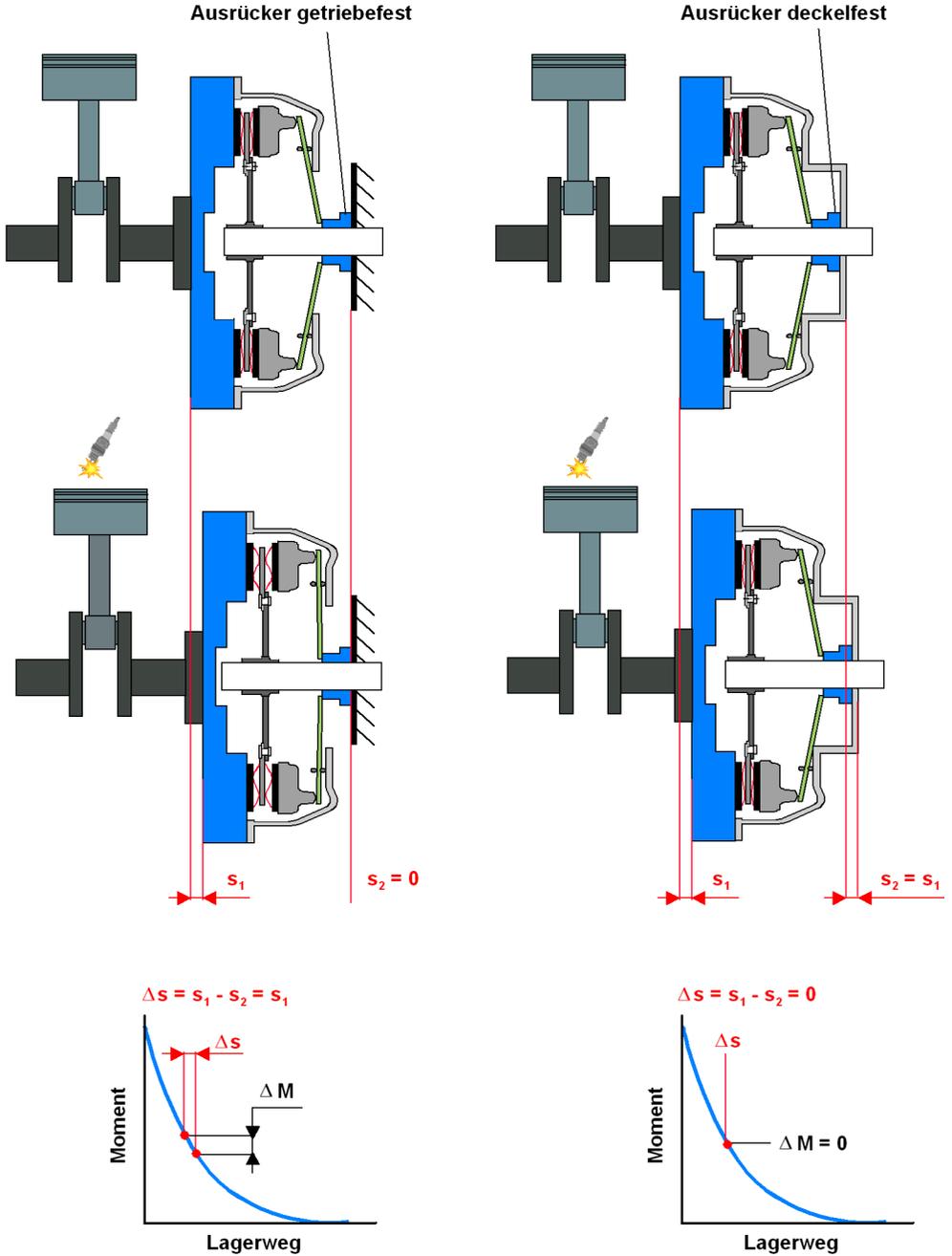


Bild 17: Momentenschwankung auf Grund von Kraftfluss zwischen Ausrücker und Getriebe

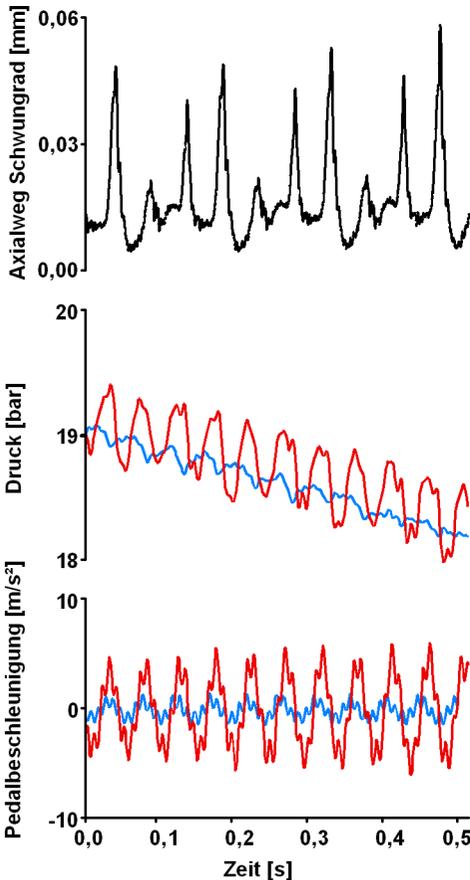


Bild 18: Funktion im Fahrzeug (Legende Bild 19)

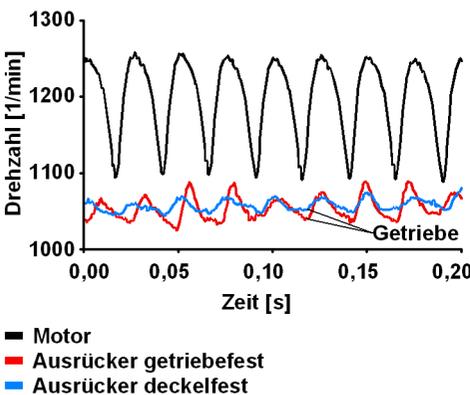


Bild 19: Drehzahlgleichförmigkeit der Ausrückkonzepte

Die im Vergleich zu konventionellen Systemen weiter getriebeseitig liegende Trennebene beim Getriebeausbau wurde von LuK an diversen kritischen Fahrzeugen geprüft, bislang konnte kein Einbauzustand bzw. Fahrzeug gefunden werden, in dem die Montage dieses Moduls nicht möglich ist.

Durch den Einsatz eines Ausrücklagers mit Schlagausgleich kann dem Kupplungssystem ein weiterer Freiheitsgrad gegeben werden, dessen Einengung bislang bei hohen Schief-lagen der Tellerfederzungen bzw. bei empfindlichen Antriebssträngen zu geometrisch angeregtem Rupfen geführt hat.

## Aktives Kupplungsmoment

Nicht nur Fahrschüler können ein Lied von der Schwierigkeit eines kontrollierten Einkuppel-vorganges singen, sondern oft auch geübte Fahrer, wenn sie auf ein ungewohntes Fahrzeug umsteigen. Die geringen Leerlaufdreh-zahlen und -momente sowie die über der Drehzahl nahezu „explosiv“ verlaufenden Drehmomentkurven der heutigen Dieselmotoren sind alleine über das Last- bzw. Kupp-lungspedal schwer zu modulieren [2].

Wer würde sich da nicht wünschen, dass eine helfende Hand automatisch eingreift, um das Abwürgen des Fahrzeuges zu vermeiden? Vergleichbar sind die ABS - Funktion, die auch bei Bremsvorgängen unter Extrembeding-ungen das Blockieren der Räder verhindert, und das ESP, welches das Fahrzeug trotz über-mütiger Fahrweise in der Kurve hält.

Um ein Abwürgen beim Anfahren zu vermei-den, wird der Anfahrvorgang überwacht und im Bedarfsfall eingegriffen. Die Überwachung übernimmt ein Steuergerät, welches auf ohnehin schon vorhandene Signale (Motor-, Raddrehzahl, ...) zurückgreift, zusätzliche Sen-soren sind nicht erforderlich. Eine Regelstrate-gie bewertet den Anfahrvorgang im Hinblick auf ein drohendes Abwürgen. Beim Auftreten eines kritischen Zustandes wird die Schließ-geschwindigkeit der Kupplung gedrosselt.

Diese Aufgabe übernimmt beim hydraulischen Ausrückssystem ein elektromagnetisches Ventil, welches aktiv den Leitungsquerschnitt verringert und damit den Strömungswiderstand erhöht. Dadurch wird der Momentenaufbau der Kupplung verzögert bzw. im Bedarfsfall auch kurzzeitig gestoppt.

Durch dieses System wird das Abwürgerisiko erheblich reduziert. Im normalen Fahrbetrieb ist das System deaktiviert und für den Fahrer nicht wahrnehmbar.

Zur Erprobung werden mit einem Testfahrzeug Anfahrmessungen im Leerlauf durchgeführt (Bild 20). Zur Betätigung wird ein Kupplungspedalaktor verwendet, der ein definiertes und reproduzierbares Einkuppeln ermöglicht [3].

Die Bilder der linken Spalte zeigen das Ergebnis ohne Anfahrhilfe, die Bilder der rechten

Spalte das Ergebnis mit Anfahrhilfe. Ohne Verwendung des Lastpedals lässt sich der Fahrzeugzustand links mit einer Einkuppelgeschwindigkeit von 25 mm/s bei starkem Ruckeln gerade noch anfahren.

Rechts im Bild wird die oben beschriebene Anfahrhilfe verwendet, die beim Erkennen des kritischen Zustandes das elektromagnetische Drosselventil ansteuert. Jetzt verhält sich dieses Fahrzeug deutlich besser, die Grenzsituation wird von dem Steuergerät erkannt und durch die Querschnittsverengung entschärft, ein deutlicher Komfortgewinn ist erkennbar. Erst bei einer Einkuppelgeschwindigkeit von 55 mm/s stößt das System an seine Grenzen (Bild 21).

Zusätzlich beinhaltet das beschriebene System auch die Funktion eines Spitzenmomentbegrenzers.

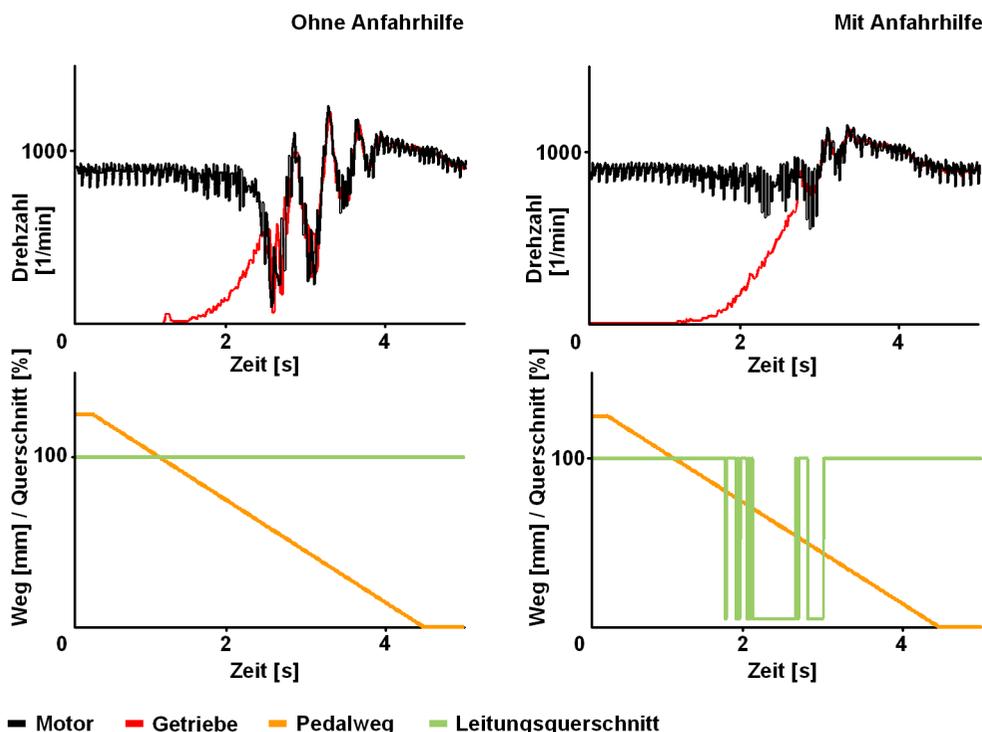


Bild 20: Fahrzeugmessungen (22 mm/s)

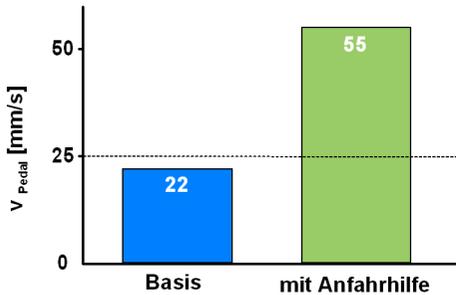


Bild 21: Grenzeinkuppelgeschwindigkeiten [3]

## Literatur

- [1] Welter, Dr. R.; Zink, M.; Shead, R.: Kupplungssysteme, ATZ-MTZ Systempartner 2001, S. 42 - 47.
- [2] Seebacher, R.; Zink, M.: Anfahruntersuchungen mit Simulationsunterstützung, Systemanalyse in der KFZ-Antriebstechnik, Expert-Verlag 2000.
- [3] Zink, M.; Shead, R.: Kupplung und Betätigung als System, 6. LuK Kolloquium 1998.

## Zusammenfassung

Für das scheinbar vollständig ausgereifte Produkt der Kupplungsbetätigung werden Wege aufgezeigt, wie durch den Einsatz von Kunststoffen und durch intelligente Konstruktionen Kostenreduktionen erzielt werden können. Gleichzeitig wird die Funktionalität erweitert, um den Betätigungs- und Fahrkomfort zu erhöhen.

Für den Großserieneinsatz sind folgende Lösungen umgesetzt:

- Kupplungsgeberzylinder mit Kolben aus Duroplast zur Geräuschvermeidung
- Zentralausrücker mit Kunststoffgehäuse und interner Druckentlastung
- optimierter Entlüfter
- integrierter Spitzenmomentbegrenzer

LuK betreibt mit Nachdruck die Entwicklung von fehlertoleranten Systemen, mit denen die höheren Anforderungen bzgl. Fahr- und Schaltkomfort wirtschaftlich erfüllt werden können:

- ein Modul, bestehend aus Kupplung und Ausrücker
- ein intelligentes Ausrücksystem, welches in der Lage ist, den Einkuppelvorgang zu kontrollieren

Für die Zukunft ist zu erwarten, dass dieser Systemgedanke zu völlig neuen technischen Lösungen führt.