

# Die selbsteinstellende Kupplung

Dr.-Ing. Wolfgang Reik

## Einleitung

Leistungstärkere Motoren, wie sie sich heutzutage durchgesetzt haben, brauchen auch Kupplungen mit höheren Übertragungsmomenten. Fast zwangsläufig ist damit auch die Pedalkraft angestiegen. Zwar konnte dieser Anstieg durch verschiedene Maßnahmen (zum Beispiel durch verbesserte Ausrücksysteme) in Grenzen gehalten werden, trotzdem wurden die Forderungen nach Kupplungen mit reduzierter Betätigungskraft immer stärker erhoben.

In diesem Vortrag wird zunächst die Frage untersucht, ob zur Betätigung einer Kupplung überhaupt eine Kraft notwendig ist. Die Antwort darauf ist überraschend.

Im Anschluß daran werden anhand der gewonnenen Erkenntnisse in der Praxis verwirklichte Kupplungen beschrieben, die wesentlich geringere Pedalkräfte erwarten lassen.

## Gleichgewichte zur Kraftreduzierung

Zur Reduzierung von Betätigungskräften werden in der Technik häufig Gleichgewichte eingesetzt. Beispiele sind Seilbahnen mit zwei gegenläufigen Kabinen, Ausgleichsgewichte an vielen Maschinen etc. Das einfachste und sicher auch am leichtesten verständliche ist die Waage oder die Schaukel.

Bild 1 zeigt eine solche Schaukel. Im linken Teilbild ist nur ein Platz besetzt. Es ist deshalb eine große Kraft erforderlich, um die Schaukel zu bewegen.

Wird ein zweites, gleich großes Gewicht auf die Schaukel gesetzt, stellt sich ein Gleichgewicht ein, das in jeder beliebigen Lage bestehenbleibt (rechtes Teilbild). Man nennt dies ein indifferentes Gleichgewicht.

Die beiden Gewichte üben auf die Schaukel entgegengesetzte Kräfte (oder genauer Momente) aus. Die Kräfte heben sich auf oder - anders ausgedrückt - die Summe der von außen auf die Schaukel wirkenden Kräfte ist 0. Das bedeutet aber nicht, daß auch die inneren Kräfte 0 werden, denn zwischen dem jeweiligen Gewicht und dem Schaukelbalken wirkt selbstverständlich die Gewichtskraft. Trotzdem ist jetzt für die

Bewegung der Schaukel nur eine verschwindend geringe Kraft erforderlich, wenn Reibung vernachlässigt wird.

Sind die beiden Gewichtskräfte nicht gleich groß, muß für die Betätigung genau die Differenz der beiden Kräfte aufgebracht werden.

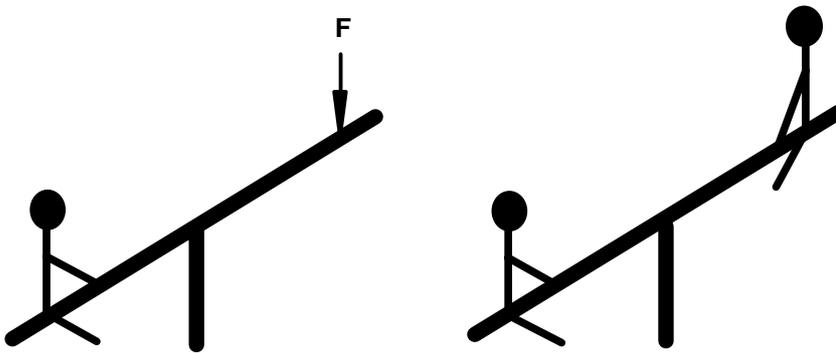


Bild 1: Kräftegleichgewicht

Diese eigentlich triviale, aber trotzdem für unsere Frage entscheidende Erkenntnis wird im folgenden für eine starke Absenkung der Ausrückkraft einer Kupplung benutzt.

## Gleichgewicht von Kräften in der Kupplung

Auch in der Kupplung wirken Kräfte gegensinnig und können zur Einstellung eines Gleichgewichts herangezogen werden.

Bei der konventionellen Kupplung wirken auf die Anpreßplatte im wesentlichen zwei Kräfte (Bild 2). Die Tellerfeder versucht, die Anpreßplatte in Richtung Motor, die Belagfederung zwischen den Belägen in Richtung Getriebe zu verschieben. Ohne Kraft von außen stellt sich ein Gleichgewicht dann ein, wenn diese beiden Kräfte gleich groß sind, die Kupplung also voll eingerückt ist. Das wird verständlich, wenn die Belagfederkennlinie und die Tellerfederkennlinie in ein Diagramm eingezeichnet werden. Gleichgewicht ist erreicht, wenn beide Kräfte gleich sind, also beim Schnittpunkt (Punkt 1) der beiden Kennlinien (rechtes unteres Teilbild).

Wird die Kupplung betätigt, entfernt man sich von dem Gleichgewicht. In Punkt 2 ist die der Tellerfeder entgegenwirkende Belagfederkraft sehr viel geringer geworden. Bei einer konventionellen Kupplung tritt Gleichgewicht also nur an einer einzigen Stelle (Punkt 1) auf, im Gegensatz zu der Schaukel, bei der das Gleichgewicht in jeder beliebigen Lage vorliegt.

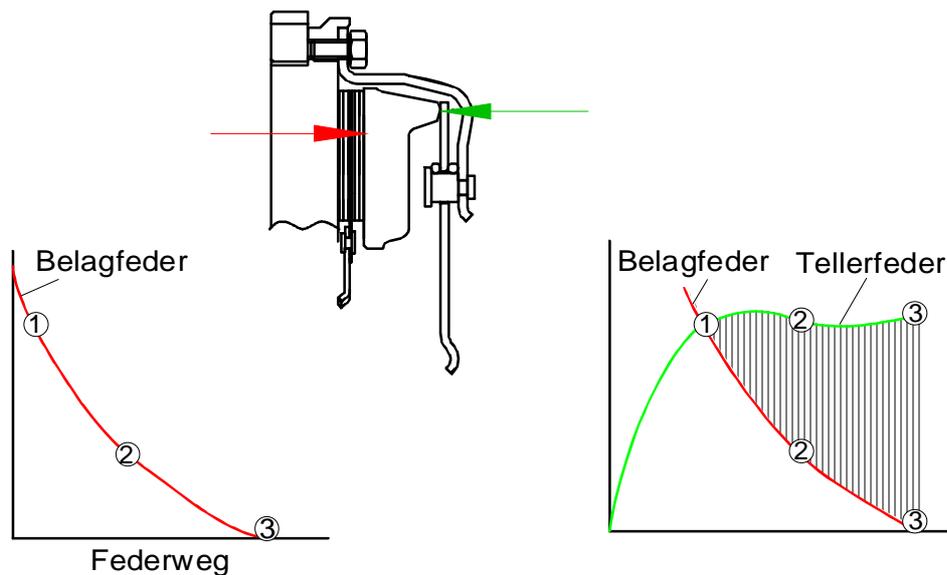


Bild 2: Kräfte in der Kupplung

Wird die äußere Kraft (die Ausrückkraft) wieder entfernt, kehrt die Kupplung stets zu Punkt 1 zurück. Es handelt sich also um ein stabiles Gleichgewicht, das eben nur für eine Position gilt. Deshalb ist zum vollständigen Ausrücken einer Kupplung auch eine relativ hohe Kraft notwendig, nämlich die Differenz zwischen den beiden Kennlinien, die in Bild 2 schraffiert dargestellt ist.

Um exakt zu sein, ist dies die Kraft, die direkt an der Anpreßplatte angreifen müßte, um die Kupplung zu betätigen. Tatsächlich wird die Kupplung aber über die Tellerfederzungen ausgerückt. Diese wirken als Hebel, die die Kraft entsprechend herabsetzen, den Weg allerdings auch dementsprechend erhöhen.

Aus Bild 2 wird nun klar ersichtlich, wie die Kennlinie der Tellerfeder geändert werden muß, um nicht nur in einer ganz bestimmten Position ein Gleichgewicht zu erzeugen. Ihre Kennlinie muß der Belagfederung angepaßt werden (Bild 3).

Belag- und Tellerfederkennlinie sind jetzt über einen großen Bereich deckungsgleich. Es stellt sich also ein ähnliches Gleichgewicht ein wie bei der Schaukel. In allen Positionen von 1 bis 3, d.h. von voll eingerückt bis ausgerückt, sind die beiden gegensinnigen Kräfte gleich groß. Es handelt sich deshalb innerhalb des markierten Bereichs um ein indifferentes Gleichgewicht. Außerhalb des Bereichs liegt selbstverständlich kein Gleichgewicht mehr vor, weil die beiden Kennlinien hier auseinanderlaufen.

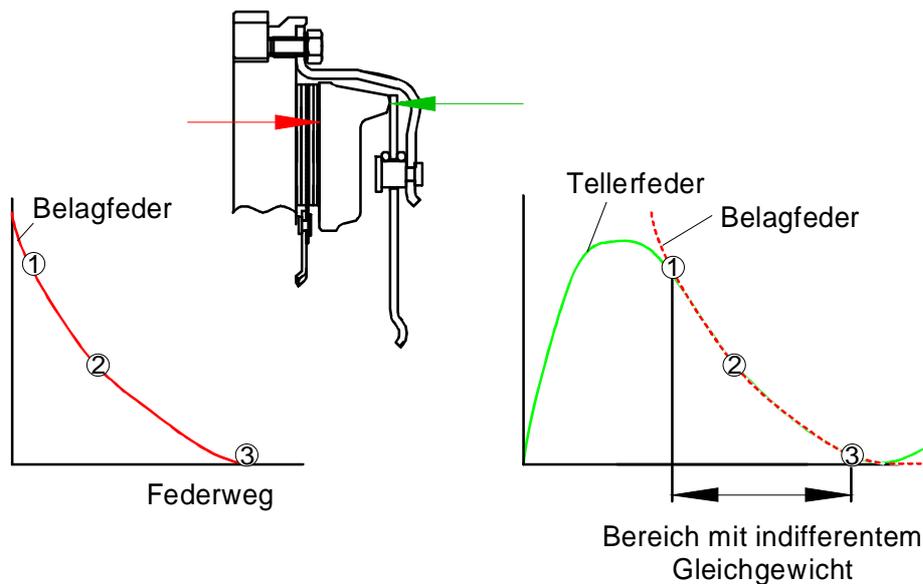


Bild 3: Kräftegleichgewicht in der Kupplung

Die Kennlinie der Tellerfeder aus Bild 3 erscheint recht ungewöhnlich, da man üblicherweise davon ausgeht, daß die Federkraft mit zunehmendem Weg stetig anwächst. Dies ist sicherlich richtig bei den meisten technisch eingesetzten Federn. Es gibt aber auch Exoten, wie die Tellerfeder, mit der sich bereichsweise degressive Kennlinien erzeugen lassen.

Abhängig vom Verhältnis der Aufstellhöhe zur Dicke lassen sich bei Tellerfedern unterschiedlichste Kennlinien herstellen (Bild 4). Im Extremfall läßt sich sogar eine "Schnapp"feder realisieren, die ab einem bestimmten Federweg plötzlich durchschnappt und nur durch eine Gegenkraft wieder in den Ausgangszustand zurückgestellt werden kann. Es ist jedenfalls kein Problem, die in Bild 3 gezeigte Kennlinie zu erzeugen.

In Bild 5 sind die Kennlinien nochmals verdeutlicht. Im Bereich indifferenten Gleichgewichts (Punkt 1 bis 3) kann die Kupplung praktisch kraftlos verstellt werden. Trotzdem liegt zwischen den Reibflächen bei Position 1 die Anpreßkraft (nämlich die Tellerfederkraft) vor, die zur Übertragung des Drehmoments notwendig ist. Erst bei Position 3 ist diese innere Kraft auf 0 abgesunken.

Zum vollständigen Öffnen muß die Kupplung noch etwas weiter ausgerückt werden. Man sagt, die Kupplung muß gelüftet werden, um Schleppmomente auch bei geringer Unebenheit der Kupplungsscheibe sicher zu verhindern. Bild 5 zeigt, daß dann der Bereich indifferenten Gleichgewichts verlassen wird, weil die Tellerfederkennlinie in diesem Bereich wieder steil ansteigt, während die Belagfederung den Kraftnullwert

erreicht hat und deshalb entlang der X-Achse verläuft. Zum Lüften der Kupplung ist deshalb Kraft notwendig.

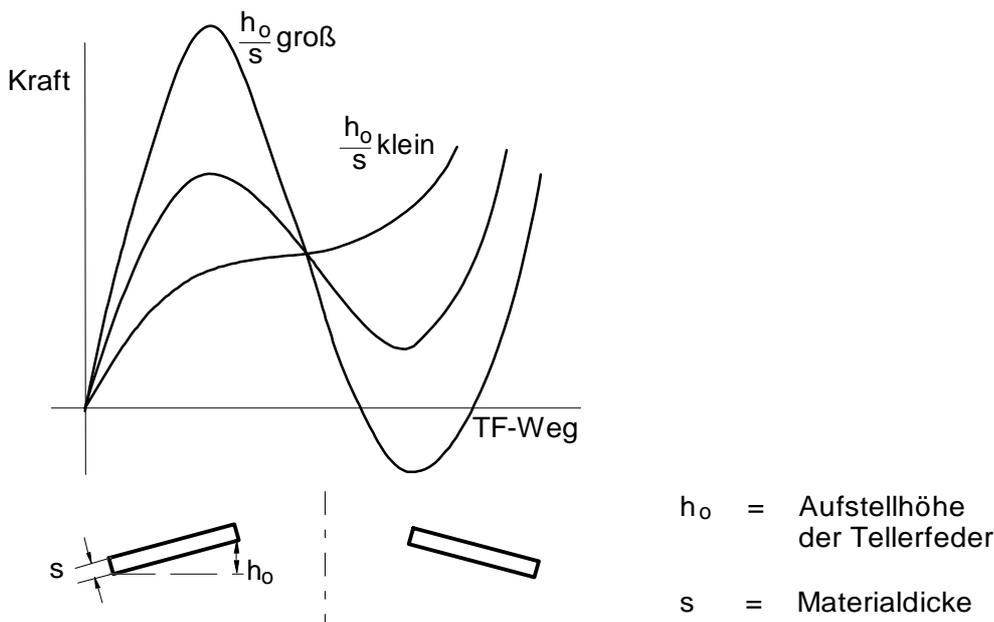


Bild 4: Tellerfederkennlinien in Abhängigkeit von  $h_0 / s$

Die exakte Herstellung des Gleichgewichts würde absolut deckungsgleiche Verläufe von Belag- und Tellerfederkennlinie voraussetzen. Wegen fertigungsbedingter Toleranzen ist das jedoch nicht möglich. Es können deshalb die in Bild 6 dargestellten Abweichungen entstehen.

Hier ist angenommen, daß die Tellerfeder toleranzbedingt im Minimum geringfügig vom geforderten Kraftwert 0 abweichen kann. Liegt die Tellerfederkennlinie im Bereich des Minimums über der Belagfederkennlinie, so wird zum Betätigen, d.h. Ausrücken der Kupplung, die Kraft entsprechend Tellerfederkraft minus Belagfederkraft benötigt.

Liegt jedoch das Tellerfederminimum unter der Nulllinie, ergibt sich folgendes, zunächst überraschendes Verhalten:

Die Differenz zwischen Tellerfeder- und Belagfederkraft wird negativ. Die Kupplung wird sich deshalb gänzlich anders verhalten als eine konventionelle Ausführung. Im Zustand ohne äußere Kraft ist die Kupplung ganz geöffnet und kann nur durch eine negative, also entgegengesetzte Kraft wieder geschlossen werden. Im Klartext: Zum Schließen der Kupplung muß jetzt an den Tellerfederzungen gezogen werden.

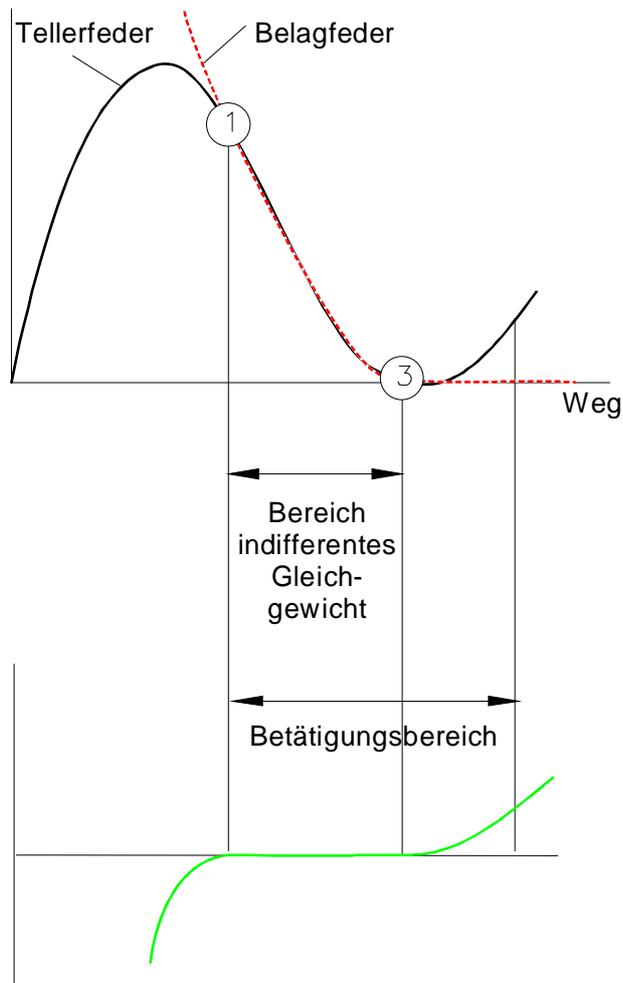


Bild 5: Gleichgewicht zwischen Tellerfeder und Belagfeder

Dieses je nach Toleranzlage vollständig andere Verhalten der Kupplung ist für eine fußkraftbetätigte Kupplung nicht akzeptabel.

Um diesen Effekt sicher zu verhindern, muß ein genügend großer Abstand vom idealen Gleichgewicht eingehalten werden.

Wie weit vom idealen Gleichgewicht abgewichen werden muß, läßt sich aus Bild 7 abschätzen. Dort ist sowohl für die Tellerfeder als auch für die Belagfeder eine Krafttoleranz angenommen. Jeweils im rechten Teilbild ist die Auswirkung der Toleranzen auf die Ausrückkraft dargestellt.

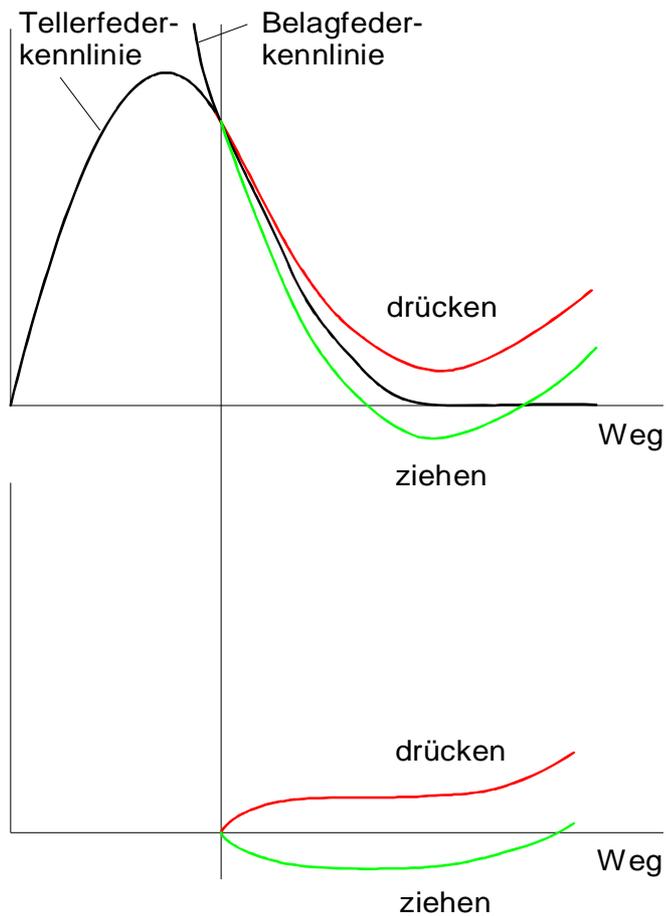


Bild 6: Störung des Gleichgewichts bei Abweichung von idealer Tellerfederkennlinie

Oben ist die konventionelle Kupplung dargestellt. Es ergibt sich eine hohe Ausrückkraft mit einer kleinen relativen Streuung.

Einen Kompromiß zwischen Höhe und relativer Streuung der Ausrückkraft stellt das partielle Gleichgewicht dar (Bildmitte), bei dem das Tellerfeder-Minimum nur auf etwa ein Drittel der maximalen Tellerfederkraft heruntergezogen wird.

Bei vollständigem Gleichgewicht (Bild unten) zeigt sich das bereits in Bild 6 diskutierte Verhalten.

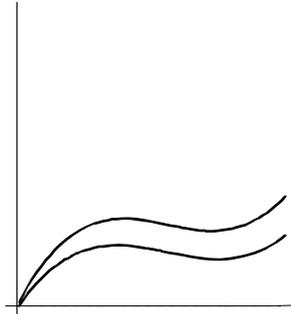
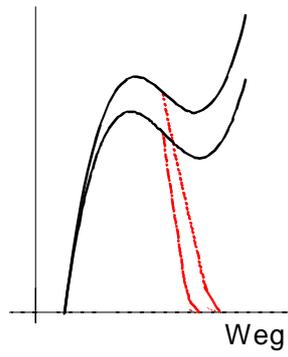
Als Folgerung aus Bild 7 ergibt sich:

Je genauer die wichtigen Kennlinien von Tellerfeder und Belagfederung gefertigt werden können, desto kleiner und konstanter kann die Ausrückkraft eingestellt werden.

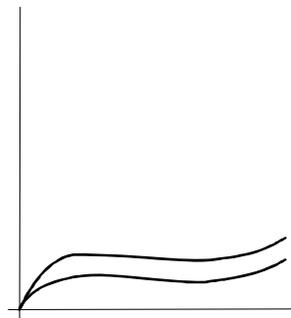
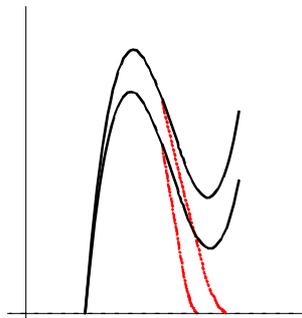
Tellerfeder- und  
Belagfederungskennlinie

Ausrückkraft-  
kennlinie

konven-  
tionelle  
Kupplung



partielles  
Gleich-  
gewicht



volles  
Gleich-  
gewicht

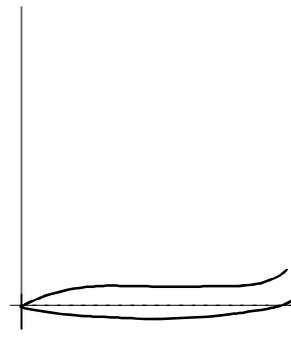
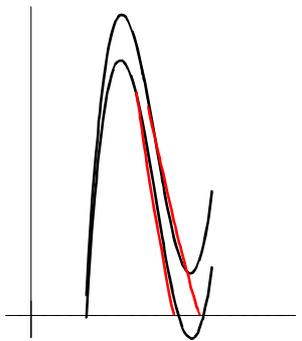


Bild 7: Einfluß der Toleranz der Tellerfeder auf die Ausrückkraftkennlinie

## Verschiebung des Gleichgewichts bei Verschleiß

Bis jetzt wurde davon ausgegangen, daß der Schnittpunkt der beiden Kennlinien unverändert bleibt. Das würde absolut verschleißfreie Beläge erfordern, denn jede Dickenveränderung der Kupplungscheibe führt zu einer Verschiebung der Belagfederkennlinie relativ zur Tellerfederkennlinie (Bild 8).

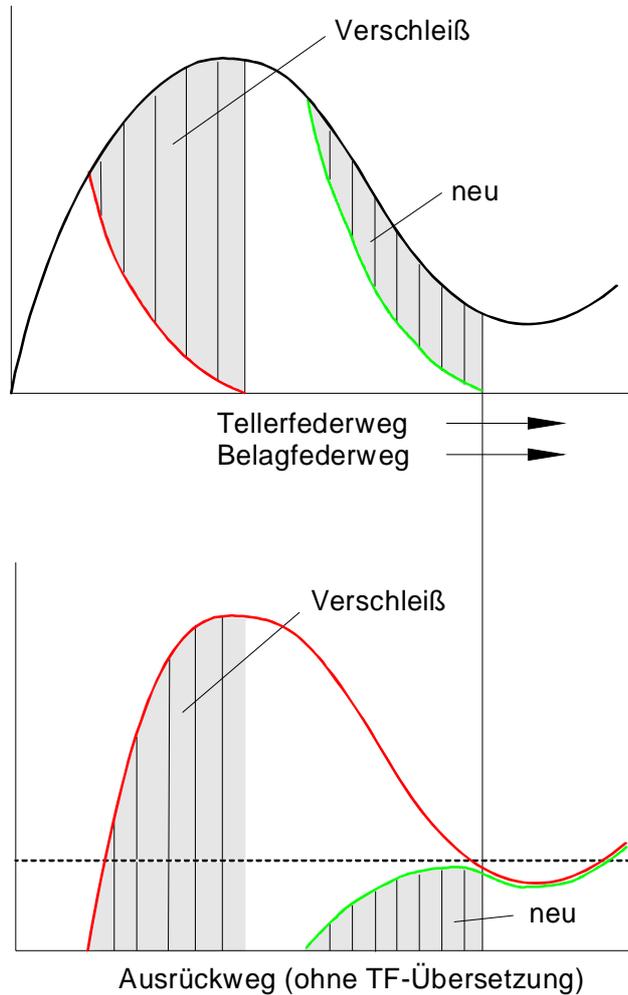


Bild 8: Einfluß der Betriebspunktverlagerung

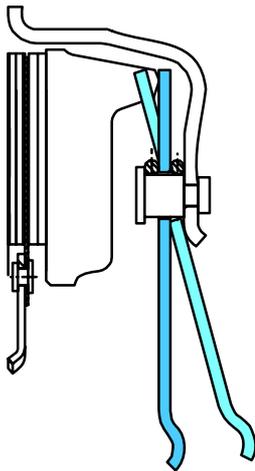
Nach Verschleiß der Beläge ergibt sich die rot eingezeichnete Belagfederungskurve. Da jetzt die Differenz zwischen Tellerfeder- und Belagfederkraft sehr groß geworden ist, wächst die Ausrückkraft entsprechend.

Der Vorteil niedriger Ausrückkräfte würde also nur im neuen Zustand vorliegen.

Um dies zu verhindern, muß der Schnittpunkt der beiden Kennlinien durch eine Verschleißnachstellung wieder an die ursprüngliche Stelle gebracht werden. Das bedeutet, daß die Dickenabnahme der Beläge kompensiert werden muß.

Zur Lösung dieser Aufgabe muß aber zunächst festgestellt werden, ob und wieviel Belagverschleiß aufgetreten ist.

Grundsätzlich bieten sich hierfür mehrere Möglichkeiten an (Bild 9):



**Bei Verschleiß der Beläge ändert sich:**

- Ausrückkraft
- Dicke der Kupplungsscheibe
- Tellerfederlage

**Geeignete Sensoren:**

- Kraftsensor
- Wegsensor

Bild 9: Was ändert sich bei Verschleiß ?

Zunächst kann der starke Ausrückkraftanstieg bei dünner werdenden Belägen als Hinweis für den Verschleiß genommen werden. Diese Methode erfordert also einen Kraftsensor, der sich bei gedrückten Kupplungen sehr elegant und einfach ausführen läßt.

Bei Belagverschleiß ändert sich außerdem die Dicke der Kupplungsscheibe und damit die Position der Druckplatte im eingekuppelten Zustand relativ zum Schwungrad oder die Winkelstellung der Tellerfeder im eingerückten Zustand. Über einen Wegsensor kann diese Positionsänderung ermittelt werden, um Verschleiß festzustellen.

Die letzte Möglichkeit, ebenfalls bei LuK entwickelt, würde sich zum Beispiel bei einer gezogenen Kupplung anbieten. Da jedoch die Ausrückkräfte der in dieser Arbeit beschriebenen SAC in gedrückter Ausführung extrem abgesenkt werden können, gibt es für eine gezogene Kupplung eigentlich keine Vorteile mehr.

LuK hat alle in Frage kommenden Möglichkeiten miteinander verglichen und sich für die einfachste, nämlich den Kraftsensor, entschieden.

Die folgenden Ausführungen beschränken sich deshalb auf den Kraftsensor in gedrückten Kupplungen.

## Kraftsensor

Bei der Verschleißnachstellung mit Kraftsensor soll der Anstieg der Ausrückkraft durch Verschleiß erfaßt und gezielt ein Ausgleich für die abnehmende Dicke der Beläge herbeigeführt werden.

Bild 10 zeigt eine schematische Darstellung. Als wesentlicher Unterschied zu einer herkömmlichen Kupplung wird die Lagerung der (Haupt)-Tellerfeder nicht fest am Deckel angenietet, sondern über eine sogenannte Sensortellerfeder abgestützt.

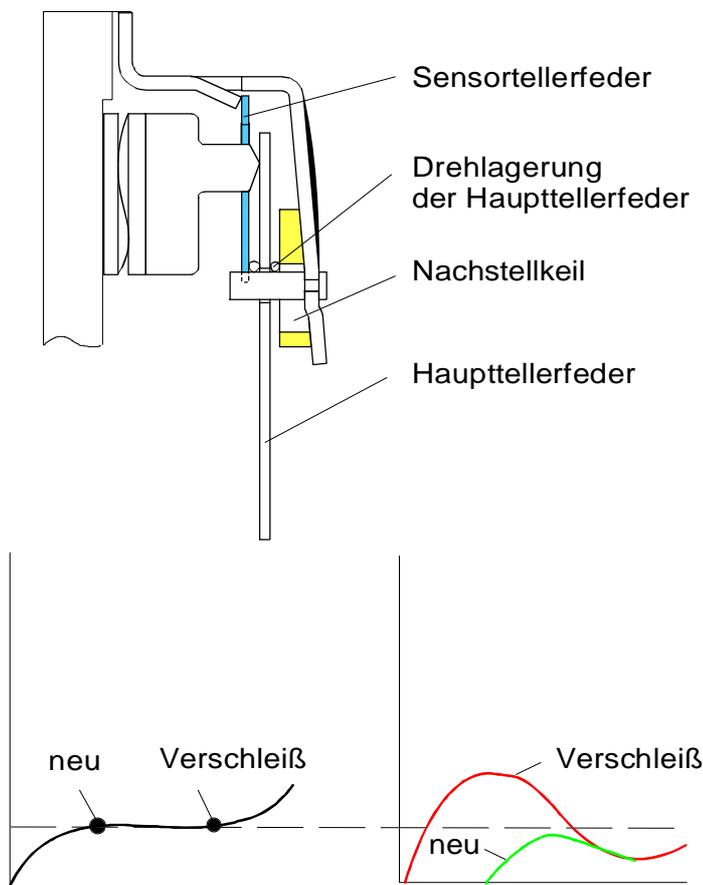


Bild 10: Prinzip der selbsteinstellenden Kupplung

Diese Sensortellerfeder weist einen ausreichend langen Bereich mit fast konstanter Kraft auf im Gegensatz zu der stark degressiven Haupttellerfeder.

Der horizontale Bereich der Sensortellerfeder wird gerade etwas über der gewünschten Ausrückkraft eingestellt. Solange die Ausrückkraft kleiner ist als die Haltekraft der Sensorfeder, bleibt die Drehlagerung der Haupttellerfeder beim Ausrücken an der gleichen Stelle. Wenn sich jedoch durch Verschleiß der Beläge die Ausrückkraft erhöht (Bild 8), wird die Gegenkraft der Sensortellerfeder überschritten und die Drehlagerung weicht in Richtung Schwungrad aus, und zwar genau so weit, bis die Ausrückkraft wieder auf die Sensorkraft abgesunken ist. Das heißt, der Schnittpunkt der Kennlinien von Tellerfeder und Belagfederung ist wieder an die alte Stelle zurückgekehrt. Zwischen der Drehlagerung und dem Deckel entsteht bei ausweichender Sensortellerfeder ein Spalt, der zum Beispiel durch einen Keil ausgeglichen werden kann.

## **Ausführung einer verschleißnachstellenden Kupplung mit Kraftsensor**

Der Kraftsensor mit dem Dickenausgleich über Keile läßt sich recht elegant und einfach verwirklichen. Bild 11 zeigt eine solche Konstruktion. Im Vergleich zur konventionellen Kupplung kommen nur eine Sensorfeder (rot) und ein Rampenring (gelb) hinzu.

Die Sensortellerfeder ist außen im Deckel eingehängt und bildet mit ihren inneren Zungen die Lagerung für die Haupttellerfeder. Die Keile, die die eigentliche Nachstellung bringen, sind wegen der Fliehkräfte nicht, wie im vorherigen Prinzipbild, radial, sondern in Umfangsrichtung angeordnet. Dazu läuft ein Kunststoffring mit 12 Rampen auf gegenüberliegenden Rampen im Deckel. Der Kunststoffring, auch als Rampenring bezeichnet, wird über drei kleine Druckfedern in Umfangsrichtung vorgespannt, damit er bei ausweichender Sensortellerfeder die Lücke zwischen Tellerfederlagerung und Deckel ausfüllen kann.

Bild 12 zeigt die Ausrückkraftverläufe für eine konventionelle Kupplung im Neuzustand sowie im Verschleißzustand der Beläge. Im Vergleich dazu die viel niedrigere Ausrückkraft der selbstnachstellenden Kupplung (SAC), deren Kennlinie sich auch im Verlauf der Lebensdauer praktisch nicht verändert.

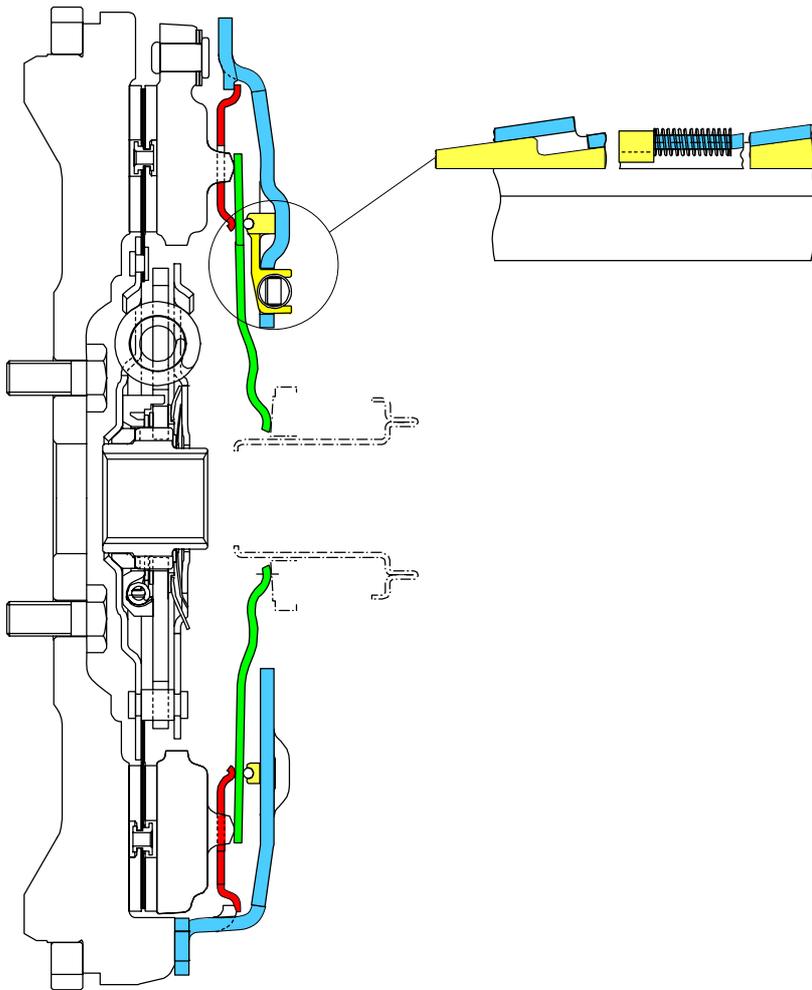


Bild 11: Selbsteinstellende Kupplung (SAC)

Als weiterer Vorteil ergibt sich eine höhere Verschleißreserve, die jetzt nicht mehr, wie bei konventionellen Kupplungen, von der Länge der Tellerfederkennlinie abhängt, sondern von der Rampenhöhe und damit ohne weiteres auf etwa 4 mm bei kleinen und bis zu ca. 10 mm bei sehr großen Kupplungen gesteigert werden kann. Dies stellt einen entscheidenden Schritt in Richtung hohe Lebensdauer der Kupplungen dar.

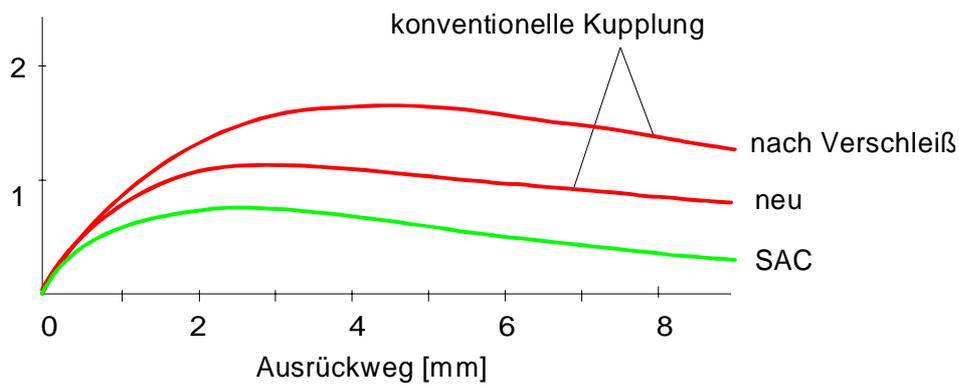


Bild 12: Vergleich der Ausrückkräfte der SAC mit einer konventionellen Kupplung

Beeinflussung durch	Wirkennlinien der		
	Tellerfeder	Belagfeder	Sensorfeder
Tellerfeder	++		
Belagfeder		++	+
Sensorfeder	+		++
Blattfeder	+		
Deckeldurchbiegung		+	
Nachstelldruckfeder			+

Bild 13: Wirkennlinien

Bis jetzt wurde nur über das Zusammenwirken der Kennlinien von Haupttellerfeder, Belagfeder und Sensortellerfeder gesprochen. Tatsächlich kommen aber noch weitere Elastizitäten oder Federungen hinzu, die sich

bei der Auslegung jedoch den drei Hauptkennlinien zuordnen lassen. Man spricht dann von Wirkkennlinien und meint damit, daß die Wirkung anderer Nachgiebigkeiten im System mit berücksichtigt wurde (Bild 13).

So kommt zum Beispiel bei der Wirkkennlinie der Tellerfeder noch die Kennlinie der Blattfeder hinzu, die das Drehmoment von der Anpreßplatte auf den Deckel übertragen und für eine Rückstellung sorgen soll. Falls die Sensortellerfeder die Haupttellerfeder nicht exakt in der Lagerung unterstützt, muß sie ebenfalls berücksichtigt werden.

Bei der Wirkkennlinie der Belagfederung muß die Deckeldurchbiegung hinzugerechnet werden, weil sie eine ähnliche Wirkung besitzt. Übrigens ist eine axiale Durchbiegung des Deckels, soweit sie in gewissen Grenzen bleibt, bei der SAC eher nützlich, da sie über die Lebensdauer immer konstant bleibt.

Zur Wirkkennlinie der Sensortellerfeder muß die Wirkung der Blattfedern und der Nachstelldruckfedern mit berücksichtigt werden.

Mit den so ermittelten Wirkkennlinien lassen sich dann die Gleichgewichte in der Kupplung modellieren.

## **Toleranzbetrachtung**

Eine vollständige Toleranzbetrachtung würde hier den Rahmen sprengen. Jedoch wird versucht, zumindest die Komponenten mit ihren Toleranzen herauszustellen, die bei der selbstnachstellenden Kupplung anders bewertet werden müssen als bei einem konventionellen Aufbau. Bild 14 zeigt Merkmale, die exakter eingehalten werden müssen und solche, die großzügiger gehandhabt werden können.

Bei der SAC muß besonderes Augenmerk auf die Konstanz der Belagfederung, auch über die Lebensdauer, gelegt werden. Weiter ist die Höhe des Tellerfederminimums entscheidend, während das Tellerfedermaximum jetzt keine Bedeutung mehr hat und deshalb grob toleriert werden kann. Die Sensortellerfederkraft ist ebenfalls wichtig.

Dagegen sind die Dicken von Anpreßplatte, Kupplungsscheibe bzw. Belag praktisch unbedeutend geworden, solange die Toleranzen nicht so groß sind, daß die Nachstellmöglichkeit bereits weitgehend aufgebraucht wird.

Die SAC verlangt vom Konstrukteur also eine neue Bewertung der Toleranzen.

**Merkmale, die wichtiger sind als bei einer konventionellen Kupplung:**

- Belagfederkennlinie
- Tellerfederminimum
- Sensortellerfederkraft

**Merkmale, die weniger wichtig sind:**

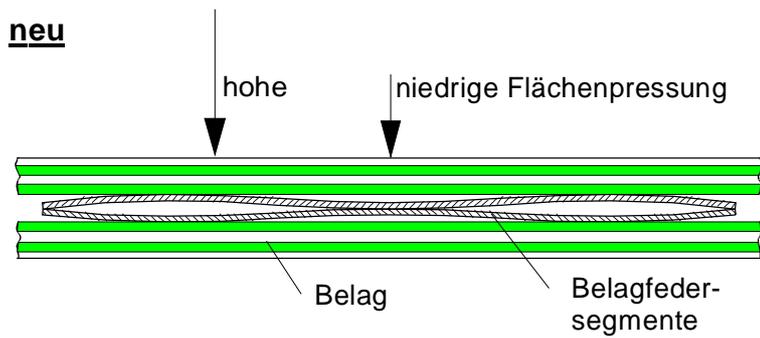
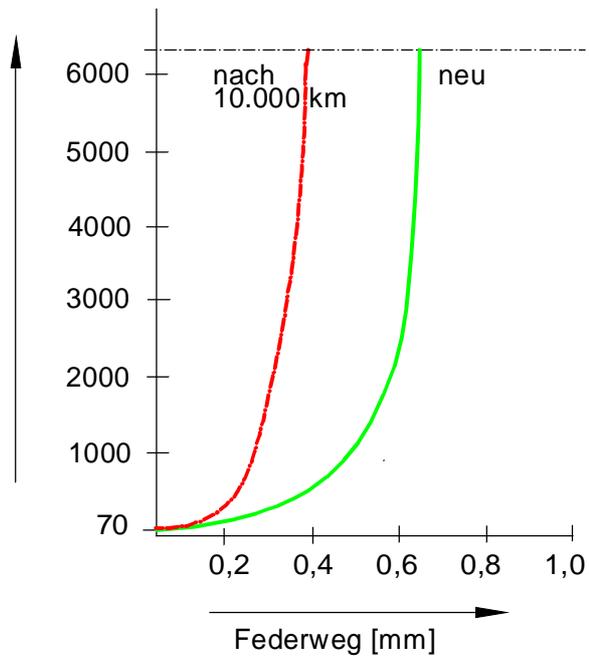
- Tellerfedermaximum
- Anpreßplattenhöhe
- Deckelhöhe
- Kupplungsscheibendicke
- Belagdicke

Bild 14: Merkmale bei verschleißnachstellenden Kupplungen

## **Forderung an Belagfederung**

Da die Belagfederung einen wesentlichen Teil des Gleichgewichts in der SAC darstellt, darf sie sich nicht nennenswert über die Lebensdauer ändern. Dies ist bei heutigen Belagfederungen leider nicht sicher gegeben, wie Bild 15 zeigt. Nach Laufstrecke hat sich die Belagfederung scheinbar gesetzt. Werden die Beläge entfernt, so stellt sich in der Regel fast die ursprüngliche Federung der Segmente ein. Also nicht die Segmente haben sich gesetzt, sondern die Segmente haben sich in den Belag eingebettet. Dies kommt daher, weil der Belag nicht gleichmäßig an der Gegenreibfläche angedrückt wird. Er wird nur lokal von den Segmenten unterstützt und verschleißt an diesen Stellen natürlich stärker. Die danebenliegenden Bereiche bleiben dicker und gehen beim Zusammendrücken der Beläge früher auf Block. Dies ergibt dann eine kürzere Belagfederung.

Bei der SAC muß dies vermieden werden. Es ist deshalb erforderlich, die Belagfederung so abzuändern, daß eine gleichmäßigere Flächenpressung an der Belagreibfläche entsteht (Bild 16). Dies kann bei entsprechend gewählten Materialdicken entweder durch mehr Wellen (3fach-Wellung) mit kürzeren Abständen von Berg (grün) und Tal (braun) oder aber über gefiederte Segmente, bei denen sich Berg und Tal unmittelbar nebeneinander abwechseln, erreicht werden.



**nach Verschleiß**

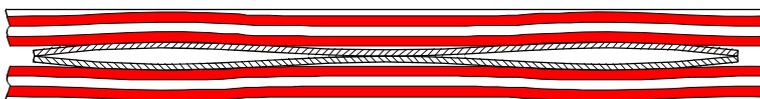
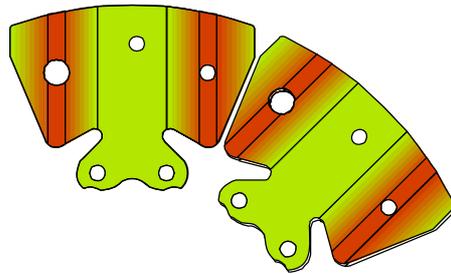
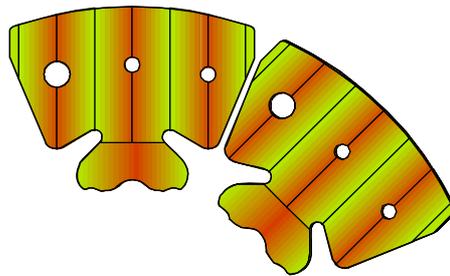


Bild 15: Veränderung der Belagfederung über Lebensdauer

**konventionelle  
Belagfederung**



**3fach-Wellung**



**gefiedertes  
Segment**

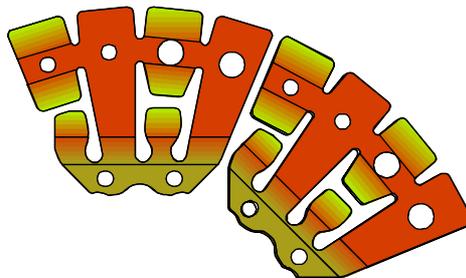


Bild 16: Belagfedersegmente

Damit lässt sich für die meisten Anwendungsfälle eine hinreichende Konstanz über die Lebensdauer der Belagfederung auch bei schwerem Einsatz erreichen.

Für extreme Fälle, bei denen die Ausrückkraft besonders weit abgesenkt werden soll und damit eine absolute Konstanz der Belagfederungskennlinie gefordert werden muß, haben sich auf Stahlträger aufgeklebte Beläge bewährt.

## Forderung an Ausrücksystem

Bei der SAC stellt der Rampenring immer dann nach, wenn die Ausrückkraft größer als die Sensorkraft ist. Dies ist im normalen Bereich nur der Fall, wenn Belagverschleiß aufgetreten ist und der Mechanismus auch tatsächlich nachstellen soll.

Wird die Kupplung jedoch überdrückt, d.h. der zulässige Ausrückweg um über 30 % überschritten, so steigt die Ausrückkraft (siehe Bild 8) gegen Ende des Ausrückwegs an und bewirkt eine ungewollte Nachstellung, obwohl kein Belagverschleiß vorliegt. Dies hat zur Folge, daß die Belagfederungskennlinie (in Bild 8) zu weit nach rechts verschoben wird und sich der Schnittpunkt der beiden Kennlinien, d.h. also die Anpreßkraft der Kupplung, zu niedrig einstellt. Dann kann die Kupplung durchrutschen.

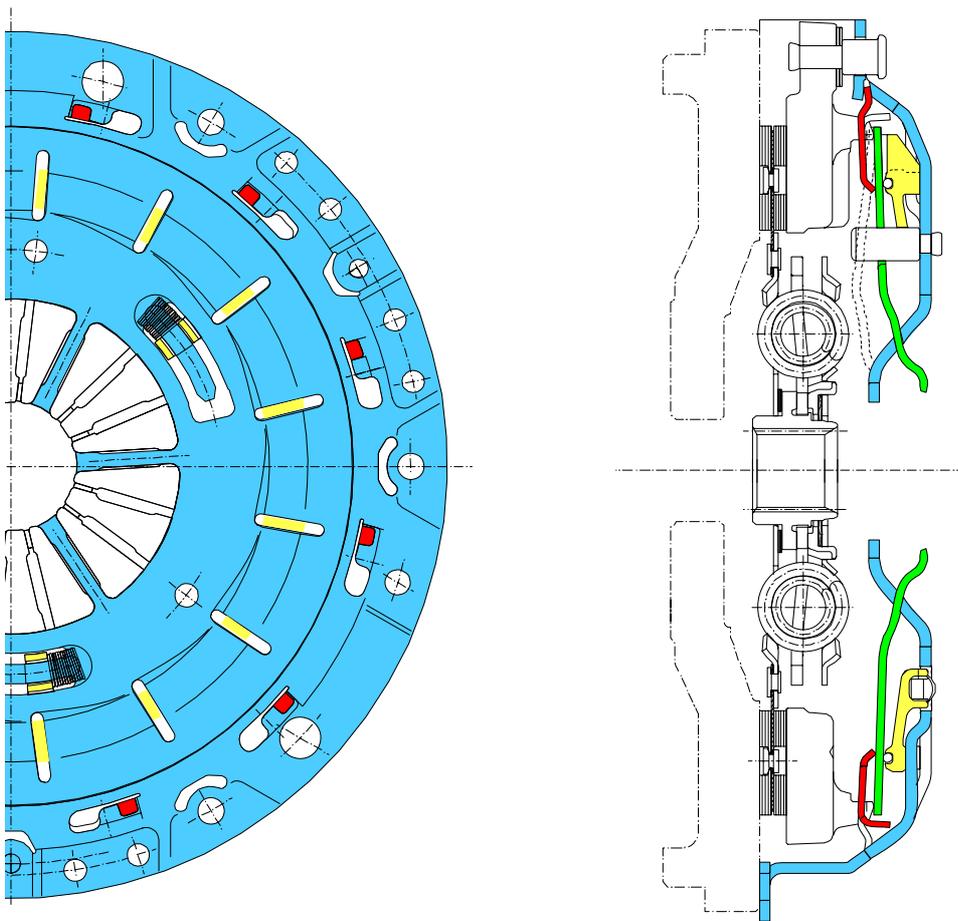


Bild 17: SAC-Serienausführung mit mechanischem Anschlag

Tatsächlich können bei manchen hydraulischen Ausrücksystemen durch schnelles Pumpen am Kupplungspedal erhebliche Überwege provoziert werden. Falls dies nicht zuverlässig vermieden werden kann, muß ein mechanischer Anschlag, zum Beispiel wie in Bild 17, aus dem Deckel herausgeformt werden.

Der Überweg des Ausrücklagers wird begrenzt, sobald die Tellerfederungen auf den Anschlag auftreffen. Selbstverständlich darf der Anschlag nicht zu früh ansprechen, damit die Tellerfederungen bei Verschleiß der Kupplungsbeläge noch in Richtung Schwungrad wandern können. Eine leichte Montage der Tellerfeder in den Deckel ist möglich, weil im vollständig entspannten Zustand der Innendurchmesser der Tellerfederungen größer ist als der Durchmesser des Anschlags.

Die SAC erfordert außerdem ein weitgehend reibungsarmes Ausrücksystem, damit die kleineren Ausrückkräfte noch zuverlässig zurückstellen.

## **Erprobungsstand**

Zum Zeitpunkt des Vortrags ist die erste SAC mit  $\varnothing$  240 mm bereits in großer Stückzahl in Serie. Beim Kunden sowie in LuK-eigenen Fahrzeugen wurden mehr als 2 Millionen Erprobungskilometer absolviert. Eine ganze Reihe von Fahrzeugen hat mehr als 100.000 km zurückgelegt. Teilweise wurde auch die Kupplungsscheibe bereits wegen Belagverschleiß ausgewechselt.

Neben kleineren Problemen, für die sofort eine Lösung gefunden wurde, gab es lediglich ein etwas schwerwiegenderes Problem bei Überweg des Ausrücksystems. Die Lösung dafür, nämlich der Tellerfederanschlag, wurde im vorhergehenden Abschnitt beschrieben.

## **Zusammenfassung**

Die selbsteinstellende Kupplung bietet die zwei Hauptvorteile:

- geringe Ausrückkräfte, die über die Lebensdauer konstant bleiben
- erhöhte Verschleißreserve und damit höhere Lebensdauer durch Verschleißnachstellung

Daraus ergeben sich eine Reihe von möglichen sekundären Vorteilen, wie zum Beispiel:

- Entfall von Servosystemen (bei Nutzfahrzeugen)
- einfachere Ausrücksysteme
- neben kleineren Pedalkräften auch kleinere Pedalwege
- neue Möglichkeiten zur Reduzierung des Kupplungsdurchmessers
- gleiche Pedalkräfte über die ganze Motorpalette
- kleinerer Ausrücklagerweg über die Lebensdauer

