

Die selbsteinstellende Kupplung SAC der 2. Generation

Dipl.-Ing. Karl-Ludwig Kimmig

Einleitung

Die selbsteinstellende Kupplung SAC hat sich mittlerweile in fast 1 Million Fahrzeugen ausgezeichnet bewährt. Besonders bei stark motorisierten Fahrzeugen konnte mit der SAC das Betätigen der Kupplung deutlich komfortabler gestaltet werden. Auch ist mit der SAC das Ziel, mit einer Kupplung die gesamte Fahrzeuglebensdauer abzudecken, erreicht.

Trotz des Mehraufwands für die SAC, konnten die Gesamtkosten für das Kupplungssystem (Kupplung + Betätigung) sogar in einigen Fällen reduziert werden, z. B. durch:

- Wegfall eines Servoverstärkers
- Reduzierung der Kupplungsgröße
- Reduzierung der Variantenvielfalt bei Kupplung und Betätigungssystem
- Wegfall einer Übertotpunktfeder

Bild 1 und 2 zeigen eine Übersicht über die aktuellen SAC-Anwendungen und die erwartete Entwicklung bis zum Jahr 2000.

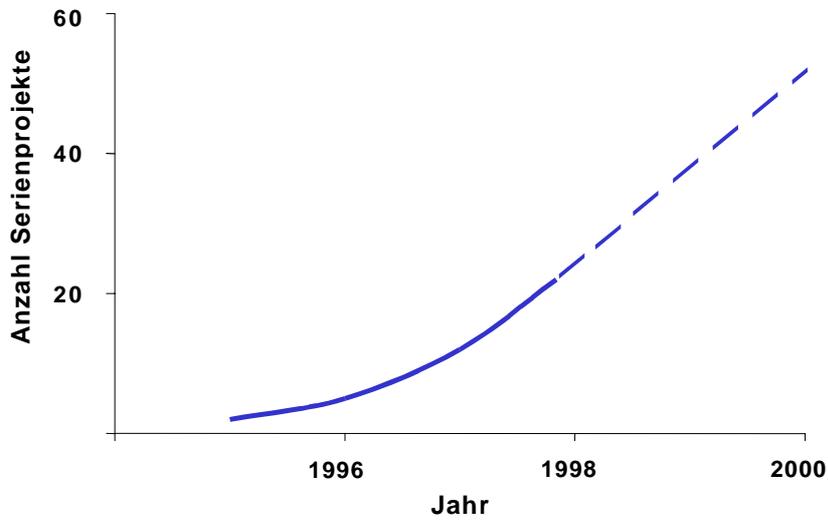


Bild 1: Entwicklung der Anzahl der SAC-Anwendungen

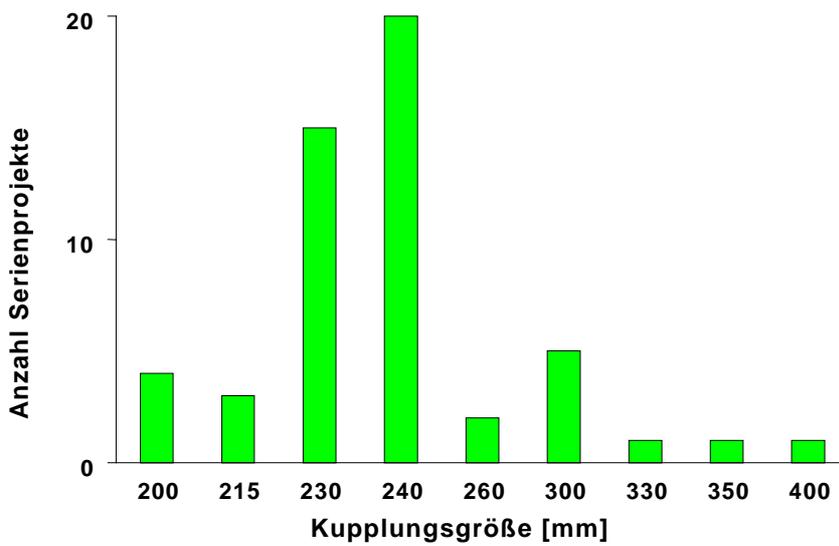


Bild 2: Erwartete Verteilung der SAC Projekte im Jahr 2000

Aus der Erfahrung der in Serie befindlichen Projekte kann folgendes Resumé gezogen werden:

- Die SAC hat eine hohe Funktionalität und Funktionssicherheit.
- Das System ist trotz hoher Ansprüche an die Einzelteile wie Federn, Nachstellring, Kupplungsdeckel und Belagfederung sowie der komplexeren Funktion in der Großserie problemlos herstellbar.
- Mit der Einführung der SAC wurden die Pedalkräfte im Vergleich zur konventionellen Kupplungsdruckplatte deutlich abgesenkt. Jedoch konnten mit den in Serie befindlichen Ausführungen wegen der Dosierbarkeit und der möglichen Rumpfanregung, die Pedalkräfte bisher nicht drastisch abgesenkt werden.

In den vorangegangenen Jahren sind nun Ideen entstanden, wie die SAC hinsichtlich Pedalkraft und Momentenaufbaukenlinie weiter verbessert werden kann. Zusätzlich ist ein großes Entwicklungspotential vorhanden, die Material- und Herstellkosten bei vergleichbarer Funktionalität zu reduzieren.

Nachfolgend werden die verschiedenen Lösungswege näher beschrieben.

Funktionsbeschreibung der SAC (Self Adjusting Clutch)

Bei konventionellen Kupplungen steigt mit zunehmendem Belagverschleiß die Betätigungskraft an. Bei der SAC wird der Belagverschleiß über ein Verschleißnachstellsystem ausgeglichen, so daß keine Veränderung der Betätigungskraft auftritt.

Die SAC unterscheidet sich von der konventionellen Kupplungsdruckplatte im wesentlichen durch eine Nachführung der Tellerfeder bei Verschleiß (Bild 3). Die Nachführung erfolgt so, daß unabhängig vom Verschleiß (hauptsächlich Belagverschleiß), die Winkellage der Tellerfeder und somit die Betätigungs- und Anpreßkräfte konstant bleiben. Realisiert wird dieser Verschleißausgleich, indem die Haupttellerfeder nicht, wie bei der konventionellen Kupplungsdruckplatte, fest am Kupplungsdeckel angenietet oder über Laschen eingehängt, sondern nur mit einer definierten Kraft (Sensorkraft) axial gegen den Deckel verspannt wird. Zwischen Tellerfeder und Kupplungsdeckel befindet sich ein Rampenring, der in die Rampen des Deckels eingreift und in Umfangrichtung über Druckfedern angetrieben wird.

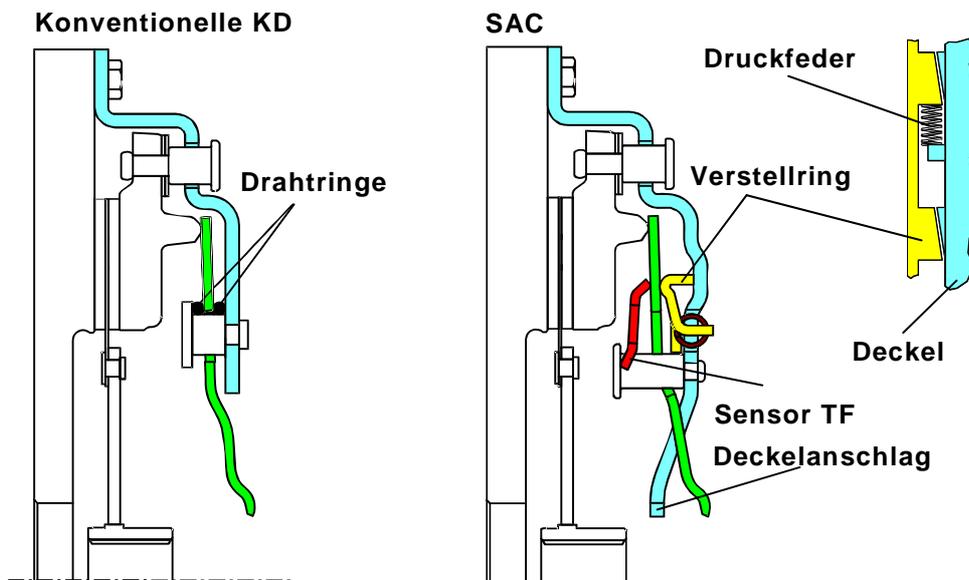


Bild 3: Vergleich konventionelle Kupplung mit SAC

Die Sensorkraft wird so dimensioniert, daß sie normalerweise der Betätigungskraft widerstehen kann. Wird bei Verschleiß der Beläge die Betätigungskraft höher und reicht die Sensorkraft als Gegenkraft an der Haupttellerfeder nicht mehr aus, bewegt sich die Haupttellerfeder axial in Richtung Motor von der Deckelauflage weg. Das dabei entstehende Spiel wird über den vorgespannten Rampenmechanismus, der zwischen Tellerfeder und Kupplungsdeckel angeordnet ist, ausgeglichen. Der Nachstellvorgang dauert so lange, bis die Betätigungskraft auf die Sensorkraft und damit auf das gewünschte Niveau abgesunken, und die ursprüngliche Tellerfeder-Winkellage wieder erreicht ist.

Der Vorgang der Verschleißnachstellung ist durch die an der Tellerfeder angreifenden Kräfte in den Bildern 4a und 4b schematisch dargestellt.



Bild 4a: Konventionelle KD bei Neuzustand und bei Verschleiß

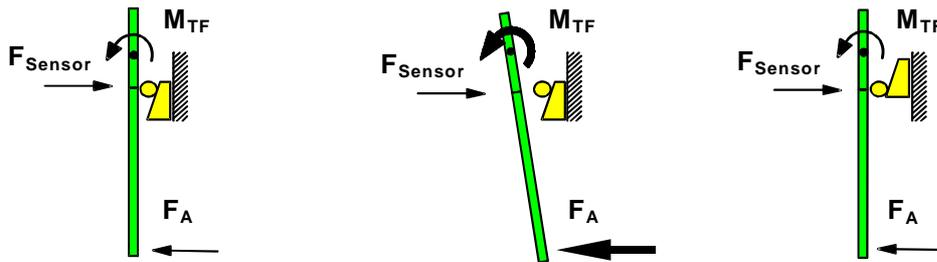


Bild 4b: SAC bei Neuzustand und bei Verschleiß, vor und nach dem Nachstellen

In Bild 4a ist die Tellerfeder einer konventionellen Kupplung symbolisch im Drehpunkt fest gelagert dargestellt. Die Tellerfeder liefert ein Drehmoment, was beim Betätigen (Drehen) der Tellerfeder über die Betätigungskraft (F_A) an den Tellerfederzungen überwunden wird. Bei Verschleiß ändert sich die Winkellage der Tellerfeder, was aufgrund der tellerfedertypischen Kennlinie einen Anstieg des Tellerfederdrehmoments und der Betätigungskraft bedeutet.

Bei der SAC ist die Tellerfeder im Gegensatz zur konventionellen Kupplung nicht fest gelagert, sondern nur axial über die Sensorkraft abgestützt (Bild 4b). Im Neuzustand besteht ein Kräftegleichgewicht zwischen Sensorkraft und Betätigungskraft. Bei Verschleiß steigt die Betätigungskraft an und drückt die Tellerfeder gegen die Sensorkraft nach links, so daß der federvorgespannte Keil auf der rechten Tellerfederseite entlastet wird und nachstellen kann. Am Ende des Nachstellvorgangs hat die Tellerfeder wieder die Ausgangswinkellage erreicht, und zwischen Sensorkraft und Betätigungskraft besteht wieder ein Kräftegleichgewicht.

SAC Betätigungskraftkennlinie

Mit der SAC, wie sie heute bei den verschiedensten Fahrzeugen in Serie läuft, konnten im Vergleich zur konventionellen Kupplung die Pedalkräfte deutlich reduziert und damit der Kupplungskomfort erhöht werden.

Der Betätigungskraftverlauf ist bei der SAC zunächst etwas ungünstiger, weil systembedingt über den Betätigungsweg ein höherer Unterschied zwischen der maximalen und minimalen Betätigungskraft vorliegt. Deshalb ist eine Anpassung des Ausrücksystems an die geänderte Betätigungskraft-Kennlinie erforderlich.

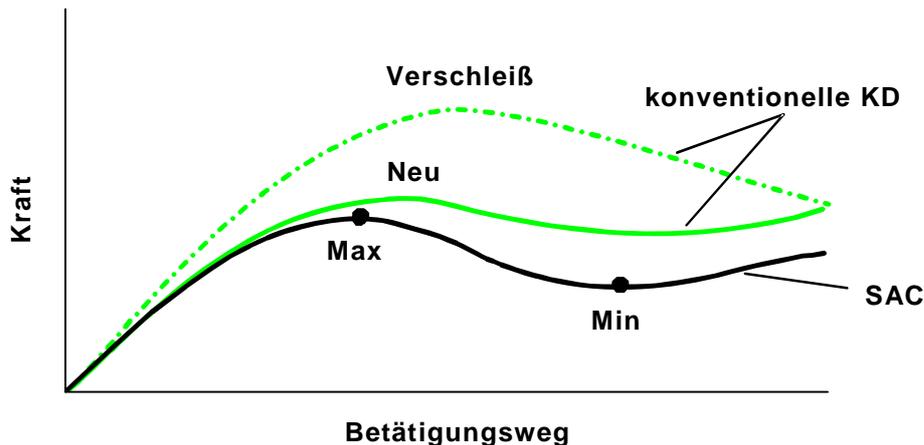


Bild 5: Vergleich der Betätigungskraft-Kennlinien konventionelle Kupplung zu SAC

Die Ursache für diesen spezifischen Betätigungskraftverlauf läßt sich durch das Kräftegleichgewicht an der Kupplungstellerfeder erklären. Wird die Tellerfeder freigeschnitten (Bild 6), so erkennt man, daß auf der einen Seite die Kraft der Belagfeder (F_{BF}), der Blattfedern (F_B) und der Sensortellerfeder (F_{SF}), und entgegengesetzt auf der anderen Seite die Betätigungskraft wirkt. Die Summe aus Belag-, Blatt- und Sensorfeder kann auch als Summensensorkraft (F_S) bezeichnet werden, welche die Höhe der Betätigungskraft begrenzt. Falls beim Ausrücken der Kupplung die Betätigungskraft größer wird als die Summensensorkraft, was bei Verschleiß auftritt, so wird die Tellerfeder vom Kupplungsdeckel (Rampenring) weggedrückt und der Rampenmechanismus kann nachstellen.

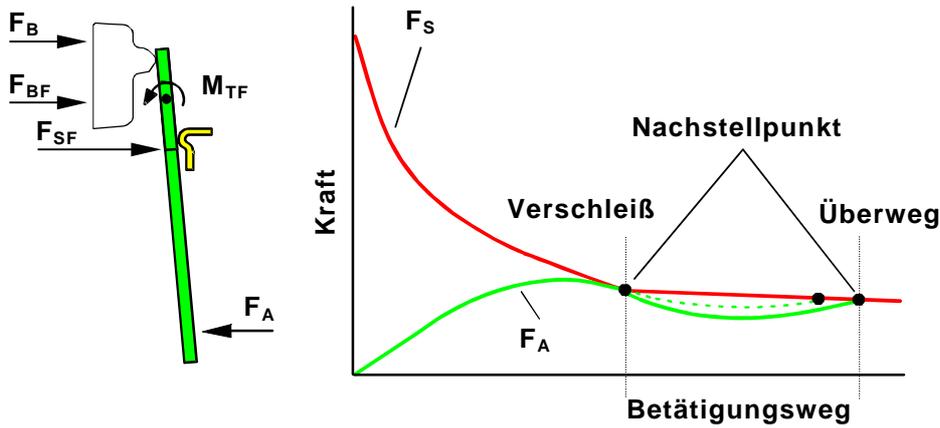


Bild 6: Kräfte an der Haupttellerfeder bei der SAC

In Bild 6 ist erkennbar, daß über dem Betätigungsweg grundsätzlich an zwei Stellen ein Überschreiten der Summensensorkraft durch die Betätigungskraft möglich ist. Die erste Stelle ist der Verschleißnachstellpunkt. Dieser Punkt liegt in dem Bereich, wo die Belagfederkraft nahezu Null erreicht. Hier erfolgt die Nachstellung bei Verschleiß. Im weiteren Verlauf des Ausrückens ergibt sich im Überwegnachstellpunkt noch eine zweite Stelle, ab der ungewolltes Nachstellen auftritt. Bei maximalem Betätigungshub muß zum Überwegnachstellpunkt ein genügend großer Abstand vorliegen. Dies kann nur sicher gewährleistet werden, wenn das Betätigungskraftminimum deutlich tiefer liegt als die Summensensorkraft und/oder Überweg durch einen Deckalanschlag vermieden wird.

Aus derzeitiger Sicht gibt es bei der SAC zwei technisch realisierbare Möglichkeiten, die Betätigungskraftkennlinie freier zu gestalten, bzw. die Betätigungskräfte weiter abzusenken.

SAC mit Zusatzfeder

Ein relativ einfacher Weg zur Erzeugung einer möglichst flachen Betätigungskraft-Kennlinie an der Kupplung ist das Zuschalten einer Feder mit linearer Federkennlinie, die am Kupplungsdeckel aufgenietet wird. Die Zusatzfeder hebt, bezogen auf die Betätigungskraft-Kennlinie, die minimale Betätigungskraft an und führt somit zu einer flacheren Gesamtkennlinie.

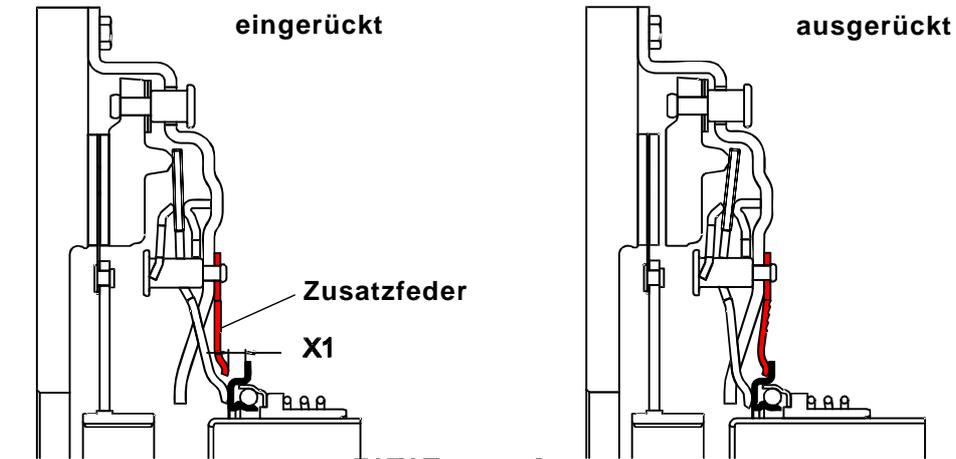


Bild 7: SAC mit Zusatzfeder

Die Zusatzfeder, wie sie im Bild 7 dargestellt ist, wirkt direkt auf das Ausrücklager und beeinflusst nur die Betätigungskraft-Kennlinie, nicht jedoch die inneren Kräfte der Kupplung und damit auch nicht den Nachstellmechanismus bzw. die Nachstellfunktion der SAC. Bedingt durch die Wanderung der Tellerfederzungen in Richtung Motor bei Verschleiß, bleibt die maximale Betätigungskraft nur bis ungefähr 1,5 mm Belagverschleiß nahezu konstant. Bei noch größerem Verschleiß, z. B. bei 2,5 mm, ist eine leichte Zunahme der Betätigungskraft von ca. 10 % vorhanden.

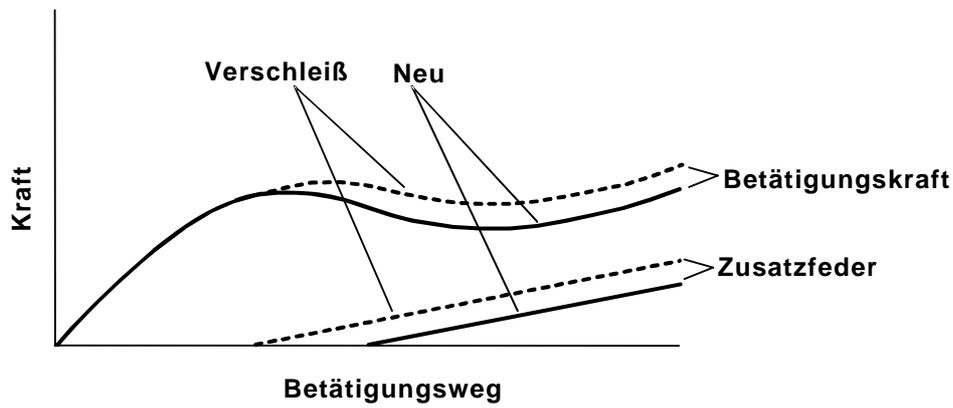


Bild 8: Betätigungskraft-Kennlinien mit Zusatzfeder

Ohne eine zusätzliche Feder kann die gleiche Funktion auch durch einzelne tiefergerichtete Tellerfederzungen erreicht werden. Beim Betätigen der Kupplung laufen die tiefergerichteten Zungen nach Erreichen des Betätigungskraftmaximums am Deckelanschlag an und werden bei weiterer Betätigung elastisch verspannt.

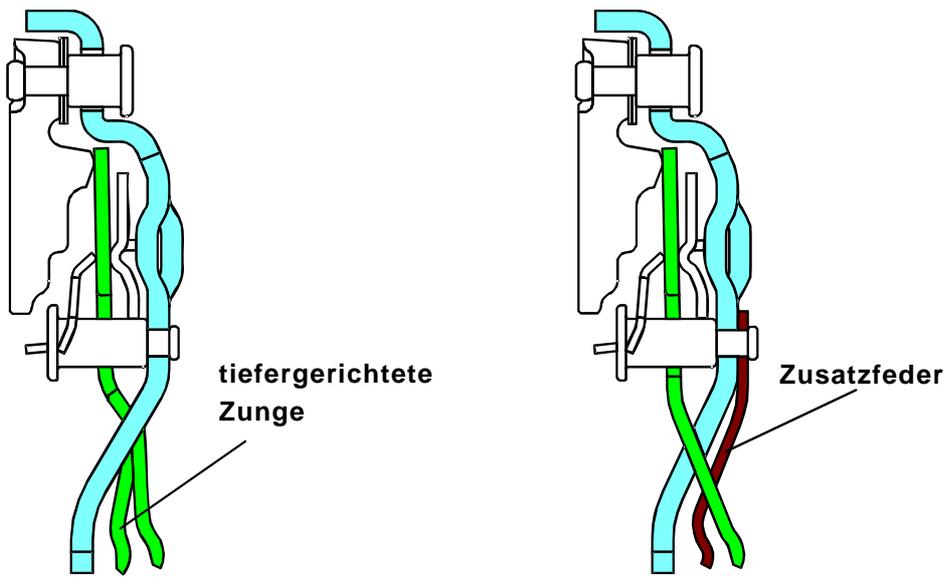


Bild 9: Vergleich SAC mit tiefergerichteten Zungen zu SAC mit Zusatzfeder

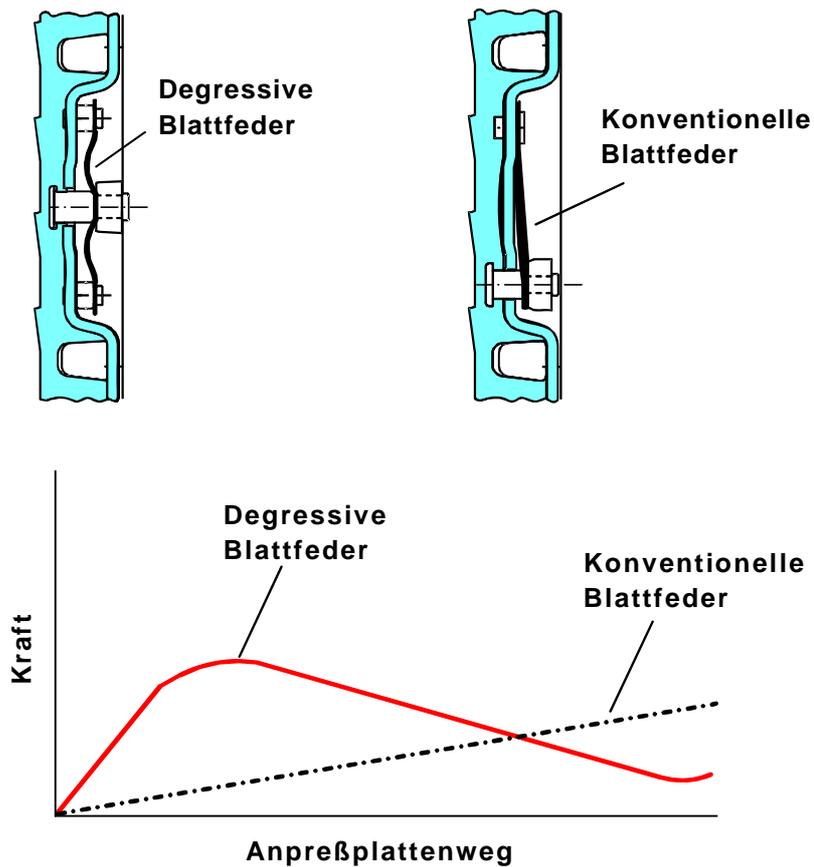


Bild 11: Blattfederanordnung mit linearer und degressiver Kennlinie

Der Sensorkraftanstieg über dem Ausrückweg wird zusätzlich noch verstärkt, wenn die Sensortellerfeder mit ansteigender Kraftcharakteristik statt im Drehpunkt der Haupttellerfeder radial weiter innen an den Tellerfederzungen angreift (Bild 12).

Bisher greift die Sensortellerfeder auf dem gleichen Durchmesser wie der Nachstellring, im Drehpunkt, an der Haupttellerfeder an. Dadurch bleibt die Abstützkraft der Sensortellerfeder beim Betätigen der Kupplung konstant.

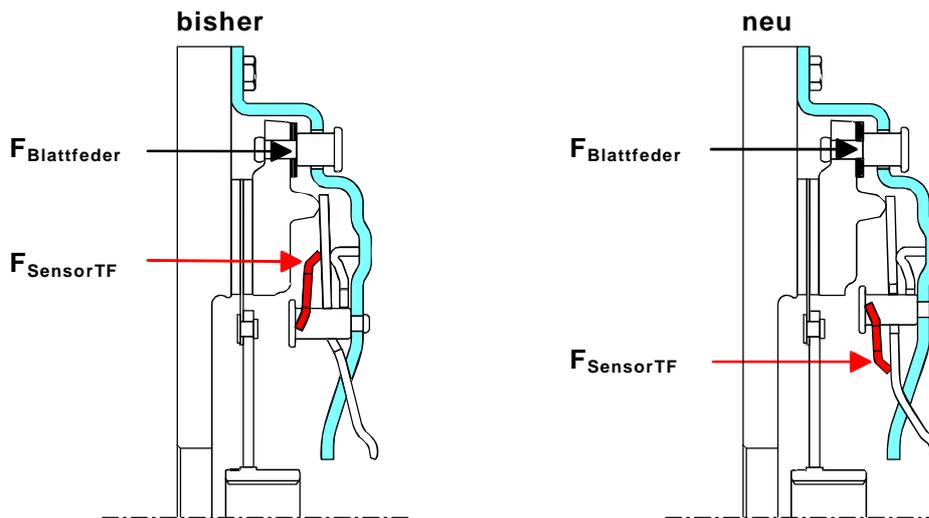


Bild 12: Sensorkraftanstieg durch die Sensortellerfederkraft

Im Vergleich zur heutigen SAC ist eine weitere Absenkung der Betätigungskräfte um 20 – 30 % möglich. Der Abfall in der Betätigungsstärkekennlinie (Drop off) kann durch den Einsatz von Blattfedern mit degressiver Kennlinie halbiert werden und ist damit vergleichbar mit konventionellen Kupplungen.

Die bisher dargestellten Lösungswege ermöglichen eine weitere Absenkung der Betätigungskräfte, was zum Beispiel bei drehmomentstarken Motoren oder elektromotorischer Kupplungsbetätigung von Vorteil ist. Es gibt jedoch eine sehr große Anzahl von Anwendungen (Kleinfahrzeuge), wo eine weitere Absenkung der Betätigungsstärkung im Neuzustand nicht notwendig ist. Jedoch sind auch bei diesen Anwendungen die weiteren Vorteile der SAC, wie

- konstante Betätigungsstärkung über Lebensdauer
- höhere Verschleißreserve
- geringerer axialer Bauraum im Bereich der Tellerfeder-Zungen

ohne nennenswerte Kostenerhöhung im Vergleich zur konventionellen Kupplung wünschenswert.

Aus diesem Grund hat die Kostenreduzierung bei der SAC-Weiterentwicklung einen hohen Stellenwert.

Kostenreduzierung

Zur Realisierung einer Verschleißnachstellung in einer Kupplung sind im wesentlichen ein Verschleißsensor und ein Nachstellmechanismus erforderlich. Bei der SAC sind deshalb im Vergleich zu einer konventionellen Kupplung folgende zusätzliche Bauteile bzw. Bauteil-Modifikationen vorhanden.

- Sensortellerfeder
- Nachstellring
- Rampen im Kupplungsdeckel
- Druckfedern zum Verdrehen des Verstellrings

Zusätzlich ist auch die Montage der SAC im Vergleich zur konventionellen Kupplung aufwendiger.

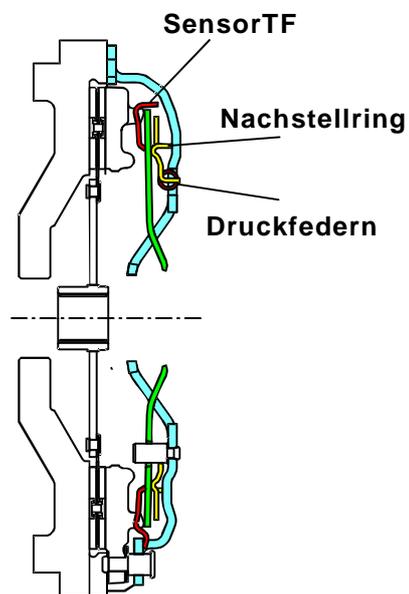


Bild 13: Zusätzliche Bauteile bei der SAC

Es wurde versucht, die Anzahl der zusätzlichen Teile zu reduzieren und verschiedene Funktionen in den einzelnen Bauteilen zusammenzufassen.

Im folgenden sollen zwei Wege beschrieben werden:

Sensorkraft aus Tangentialblattfedern

Die Summensensorkraft im Verschleiß- und Überwegnachstellpunkt wird bei der SAC im wesentlichen über die Kraft der Sensortellerfeder und den Blattfedern gebildet. Beide Federkräfte werden so abgestimmt, daß über dem Verschleißweg (z. B. 2,5 mm) die Summe aus beiden Federkräften konstant verläuft. Da die Blattfederkraft bei Belagverschleiß aufgrund einer erhöhten Vorspannung ansteigt, muß die Sensortellerfederkraft mit zunehmendem Verschleißweg (Vorspannweg) abfallen. Die Sensortellerfeder muß somit eine degressive Kennlinie haben. Für die Funktion der Verschleißnachstellung kann die Sensortellerfederkraft in jedem Punkt der Haupttellerfeder angreifen, so daß die Sensortellerfeder auch durch Zusatzblattfedern mit degressiver Kennlinie ersetzt werden kann (siehe Bild 14).

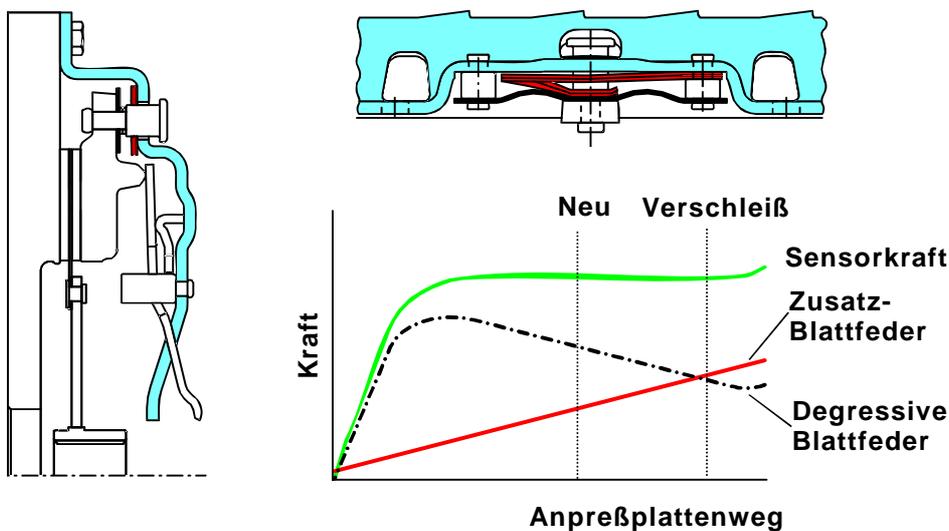


Bild 14: Sensorkraft aus Blattfedern

Da bei dieser Ausführung die Sensorkraft an der Anpreßplatte angreift, wird damit die Tellerfederkraft reduziert. Dies muß bei der Tellerfeder-Auslegung entsprechend vorgehalten werden. Diese selbsteinstellende Kupplung hat neben den geringeren Kosten auch den Vorteil, durch den Wegfall der Sensortellerfeder axial weniger Bauraum zu benötigen.

Sensorkraft aus der Haupttellerfeder (SAC II)

Die erforderliche Sensortellerfederkraft kann auch von einzelnen entsprechend ausgebildeten Tellerfederzungen aufgebracht werden. Damit wird die Haupttellerfeder mit definierter Kraft (Sensorkraft) gegen den Deckel abgestützt (Bild 15).

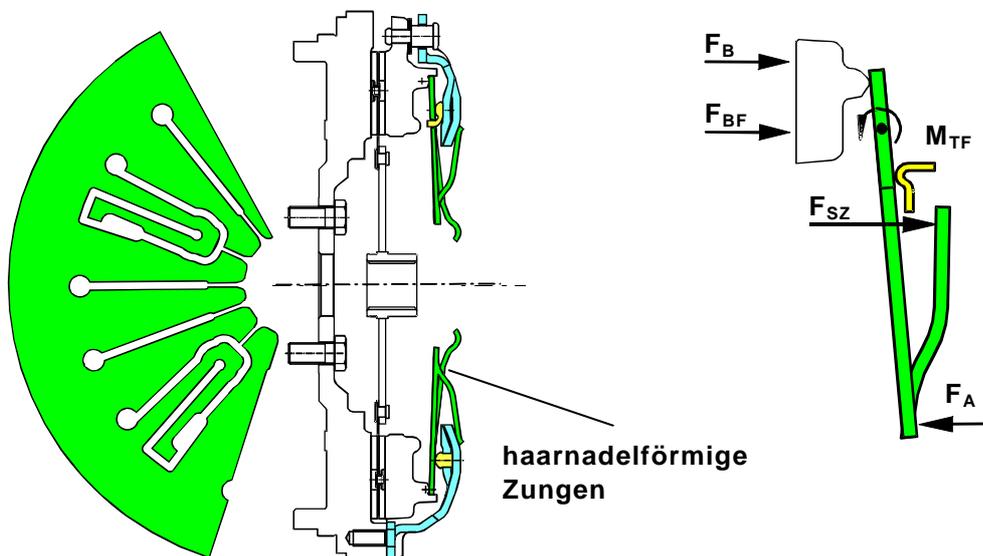


Bild 15: SAC mit Sensorkraft aus der Haupttellerfeder

Bei Verschleiß der Kupplung wird wiederum die erhöhte Betätigungskraft die Tellerfeder vom Deckel wegdrücken, so daß zwischen Tellerfeder und Deckel der Verschleiß ausgeglichen werden kann.

Damit jedoch über dem Verschleiß die Vorspannung der haarnadelförmigen Zungen konstant bleibt, muß die Auflage am Deckel als Rampe ausgeführt sein und die Tellerfeder bei Verschleiß sich entsprechend zum Deckel verdrehen. Das Drehmoment zum Verdrehen der Haupttellerfeder ergibt sich beim Betätigen der Kupplung durch die Radialbewegung der Haarnadelzungen auf der tangential geneigten Deckelrampe.

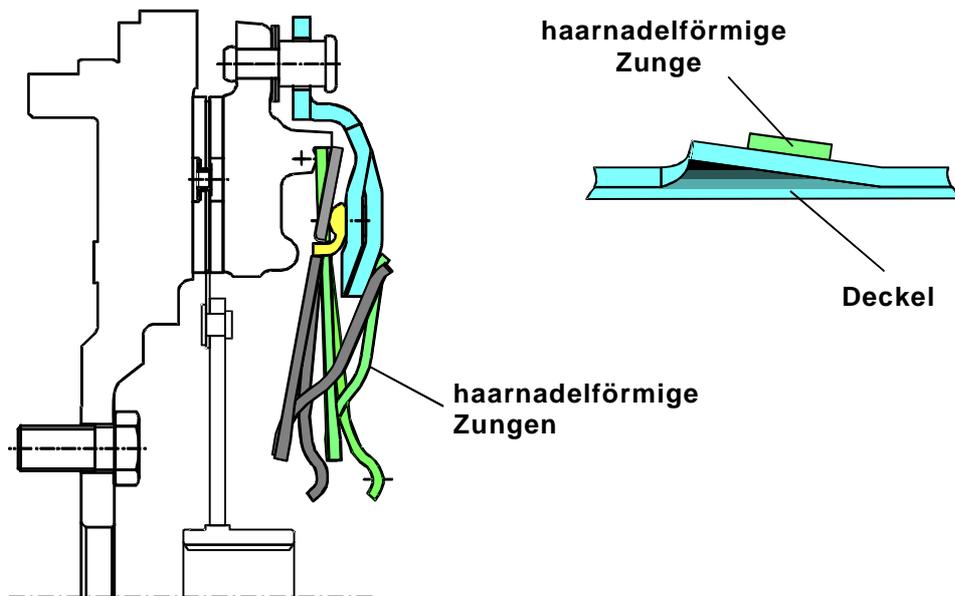


Bild 16: Gleitbewegung der haarnadelförmigen Sensorzungen auf den Deckelrampen

Da bei diesem Prinzip die Tellerfeder sich bei Verschleiß relativ zum Deckel verdreht, können die Druckfedern entfallen, welche bei der SAC am Verstellring eine Vortriebskraft erzeugen. Der Verstellring muß hierzu verdrehfest mit der Tellerfeder verbunden werden.

Gegenüber einer herkömmlichen Kupplung kommt bei der SAC II neben der komplizierten Tellerfeder lediglich ein Rampenring hinzu. Dafür entfallen die Tellerfederhaltebolzen und die Kippringe.

Drehzahlschwankungen im Antriebsstrang und insbesondere die Ungleichförmigkeit des Motors erzeugen wechselnde Momente an der Tellerfeder, die bei der SAC II zu ungewolltem Verstellen führen können. Deshalb ist die SAC II in erster Linie für kleine Kupplungen geeignet, bei denen das Massenträgheitsmoment der Tellerfeder klein gehalten werden kann.

Zusammenfassung

Die verschleißnachstellende Kupplung SAC hat sich bei vielen drehmomentstarken Motoren in der Kupplungsgröße 200 – 300 mm durchgesetzt. Neben der Beschreibung der Grundfunktion galt es, vor allem das Weiterentwicklungspotential der SAC aufzuzeigen.

Die Entwicklungsziele sind zum einen die weitere Absenkung der Betätigungskraft bzw. die Optimierung des Betätigungskraftverlaufs und zum anderen die Reduzierung der Kosten.

Möglichkeiten und Vorteile der verschiedenen Entwicklungen sind:

SAC mit Zusatzfeder

- Günstigerer Betätigungskraftverlauf

SAC mit ansteigender Sensorkraft

- Niedrigere Betätigungskraft
- Günstigerer Betätigungskraftverlauf

SAC mit Sensorkraft aus Blattfedern

- Geringere Kosten

SAC mit Sensorkraft aus Haupttellerfeder

- Geringere Kosten

Die SAC hat noch ein hohes Weiterentwicklungspotential und wird mit ihren Vorteilen auch in der unteren Fahrzeugklasse zum Einsatz kommen.

Literatur

- [1] Offenlegungsschrift DE 195 10 905
- [2] US-Patent 54 50 943
- [3] SAE Presentation 1992 „LuK Self-Adjusting Clutch“
- [4] LuK-Kolloquium 1994
- [5] Albers, A.:
Selbsteinstellende Kupplung (SAC) und Zweimassenschwungrad (ZMS) zur
Verbesserung des Antriebsstrangkomforts, VDI-Berichte 1175, S. 153 – 168
- [6] Offenlegungsschrift DE 43 22 677
- [7] Offenlegungsschrift DE 43 06 505
- [8] Offenlegungsschrift DE 44 18 026
- [9] de Briel, SAE 960981:
Self-Adjusting Technology in a Clutch
- [10] Offenlegungsschrift DE 42 39 289
- [11] VDI-Band Nr. 1323, März 1997: Selbsteinstellende Kupplungen für Kraftfahrzeuge