

# 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

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, sich in den dass 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

Alme + Beis

Helmut Beier

Vorsitzender

der Geschäftsführung LuK Gruppe

## Inhalt

1	ZMS – nichts Neues?
2	Der Drehmomentwandler
3	Kupplungsausrücksysteme
4	Der Interne Kurbelwellendämpfer (ICD) 41
5	Neueste Ergebnisse der CVT-Entwicklung 51
6	Wirkungsgradoptimiertes CVT-Anpresssystem 61
7	Das 500 Nm CVT75
8	Das Kurbel-CVT 89
9	Bedarfsorientiert ansteuerbare Pumpen
10	Die temperaturgeregelte Schmierölpumpe spart Sprit 113
11	Der CO2 Kompressor
12	Komponenten und Module für Getriebeschaltungen 135
13	Die XSG Familie
14	Neue Chancen für die Kupplung?
15	Elektromechanische Aktorik
16	Denken in Systemen – Software von LuK
17	Das Parallel-Schalt-Getriebe PSG199
18	Kleiner Startergenerator – große Wirkung 213
19	Codegenerierung contra Manufaktur

# Komponenten und Module für Getriebeschaltungen

Reinhart Malik, INA

## **Einleitung**

Bei jedem Fahrzeuggetriebe sind Einrichtungen und Steuerungen notwendig, die es ermöglichen, die Übersetzung an den jeweiligen Fahrzustand anzupassen. Dies ist unabhängig von der Getriebebauform. Lediglich die Ausführung der elektrischen, hydraulischen oder mechanischen Betätigungsglieder beschreibt die Schaltungsart (Bild 1).

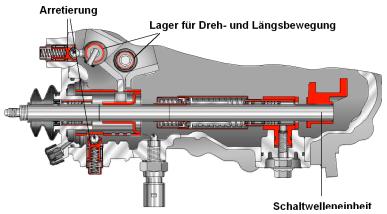


Bild 1: Anwendungsbeispiel 6-Gang-Hand-Schaltung, Quergetriebe

Für das Stufengetriebe sind Schaltelemente erforderlich, die je nach Einsatz unterschiedliche Anforderungen an Steifigkeit, Oberflächengüte, Verschleißverhalten und andere Eigenschaften stellen.

Für nicht automatisierte Schaltungen sind zusätzliche Anforderungen zu beachten, die dem Fahrer das Erleben des Schaltvorganges als perfekten Ablauf fühlen lassen müssen.

Durch konstruktive und technologische Maßnahmen sind an Schaltelementen die unterschiedlichsten Bedürfnisse realisierbar. Dabei sind spanlos hergestellte Präzisionsteile und neue Montagekonzepte für Modulbauweisen richtungsweisend.

## Schaltungshülse / Rastierungshülse

Um einen Schaltkomfort spürbar gut zu empfinden, ist ein abgestimmtes Ablaufverhalten der steuernden Elemente erforderlich. Dies betrifft insbesondere die Rastierfunktion.

Betrachten wir als zentrales Element die Schalthülse/Rastierhülse. Als Verbindungs-

> glied zwischen der zentralen Schaltwelle und den Schaltgabeln wird dadurch der Gangwechsel gesteuert. Funktionen wie Diagonalschaltbarkeit, Verriegelung, etc. werden maßgeblich durch dieses Bauteil beeinflusst.

> Durch die Herstellung der Bauteile aus Bandmaterial werden die Funktionsflächen gezielt ausgeformt. Im Gegensatz zu massiven Bauteilen entsteht somit keine Materialanhäufung überflüssige und damit verbundene Gewichtserhöhung. Dieses kommt dem Kundenwunsch nach Verringerung der Getriebemasse entgegen.

Zur optimalen Gestaltung der Funktionsflächen und Ausnutzung der Vorteile des Bandwerkstoffes wird die Schalthülse/Rastierhülse aus mehreren Komponenten zusammengesetzt.

Im Bild 2 sind die entsprechenden Einzelteile sowie die Art der Montage dargestellt.

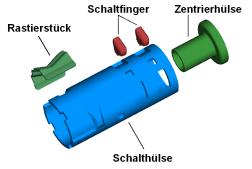


Bild 2: Multifunktionale Schaltungshülse

#### Außenhülse

Diese Hülse bildet die Außenhaut der multifunktionalen Schaltungshülse und beeinflusst durch Konturen und Oberflächen die Funktionen

Durch einen besonderen Arbeitsprozess wird die Außenhülse in nur einem Maschinendurchlauf geformt. Somit sind die Abweichungen der einzelnen Funktionsflächen zueinander nur von den Toleranzen im Werkzeug abhängig. Das Werkzeug erlaubt die Ausbringung einer Vielzahl von Bauteilen, deren Maße und Toleranzlage sehr eng beieinander liegen.

Die Funktionsflächen sind in ihrer Oberflächengüte für den Einsatz geeignet und müssen nicht mehr spanend nachbearbeitet werden. Durch die spanlose Ausprägung der Rampenkonturen für die Arretierungen, welche zur Schaltkrafterzeugung eingesetzt werden, entsteht eine sehr glatte Oberfläche. Bearbeitungsrillen/-strukturen, welche Schaltkomfort negativ beeinflussen, werden somit vermieden (Bild 3).

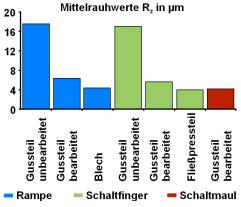


Bild 3: Oberflächenvergleich Rastierungskontur spangebend / spanlos

#### Innenhülse

Die Außenhülse wird mittels einer Stütze - hier als Innenhülse bezeichnet - auf der Schaltwelle fixiert. Die Auslegung dieser Hülse wird bestimmt durch die Art der Montage auf die Schaltwelle und der Anbindung an die Außenhülse.

Abhängig von der/dem zu übertragenden Kraft/Moment wird die Länge und die Wanddicke der Nabe des Pressverbandes der Innenhülse ausgelegt. Diese Verbindungsart der Innenhülse mit der Schaltwelle hat sich als äußerst vorteilhaft erwiesen.

## Schaltfinger

Der Schaltfinger ist in seiner Form auf die Schaltgabelmäuler und die Anforderungen an die Diagonalschaltbarkeit abgestimmt. Die Funktionsflächen sollen möglichst glatt sein, damit bei der "Abroll-/Gleitbewegung" des Schaltfingers im Schaltgabelmaul ein sanfter und glatter Schaltablauf ermöglicht wird. Bei der Diagonalschaltbarkeit sind die Fasen und Übergänge der Schaltfingerkonturen besonders gefragt. Hier soll es ebenfalls zu einem harmonischen Gleiten des Schaltfingers am Schaltgabelmaul kommen. Durch die spanlose Umformung eines Bandmaterials können alle diese Eigenschaften in einem Arbeitsgang sichergestellt werden.

#### Montagewerkzeug

Präzise Einzelteile werden mit einfachen, prozesssicheren Fertigungsmethoden hergestellt. Die Genauigkeit der Baugruppe wird im Montagewerkzeug erzeugt.

Summentoleranzen lassen sich reduzieren. Eine enge Maßeinhaltung ist somit garantiert.

#### Wärmebehandlung

Durch eine Wärmebehandlung lassen sich die zulässigen Spannungswerte sowie die Härte des Bauteils steigern. Eine erhöhte Härte beugt dem Verschleiß der Bauteile an den Funktionsflächen vor. Ein besonderes Augenmerk muss hierbei auf den Schaltfinger und die Rampenkontur für die Arretierung gelegt werden.

Bei Betätigungskräften von F > 2000 N entstehen am Schaltfinger Pressungen von bis zu 6000 N/mm² (Bild 4). Nur mit der richtigen Wärmebehandlung wird eine übermäßige Abnutzung verhindert und das Spiel zwischen dem Schaltfinger und dem Eingriff an der Schaltgabel gering gehalten. Der Schaltweg sowie die Diagonalschaltbarkeit werden während der gesamten Gebrauchsdauer kaum verändert.

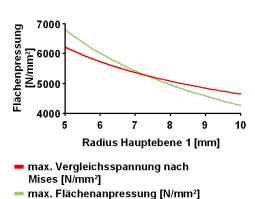


Bild 4: Pressung am Schaltfinger

Für die Rampenkontur ist das Überrollen der Arretierung über den kleinsten Radius entscheidend. Mit den zur Zeit in Schaltgetrieben eingesetzten Arretierungen können Federkräfte von 140 N zum Einsatz kommen. Eine detaillierte Abstimmung der Rampenradien auf die hier vorherrschenden Pressungen ist zwingend erforderlich. Durch eine Veränderung des Rampenradius infolge Verschleiß würde sich die Schaltkraft und damit der Schaltkomfort über die Lebensdauer des Getriebes verändern (Bild 5).

#### Zusammenfassung der Vorteile

Die modulare Bauweise erlaubt es, preisgünstige Bauteile in unterschiedlichsten Variationen miteinander zu paaren. Die Abmessungen der einzelnen Bauteile sind frei wählbar und beispielsweise nicht an die Schieberzahl von Werkzeugen gebunden.

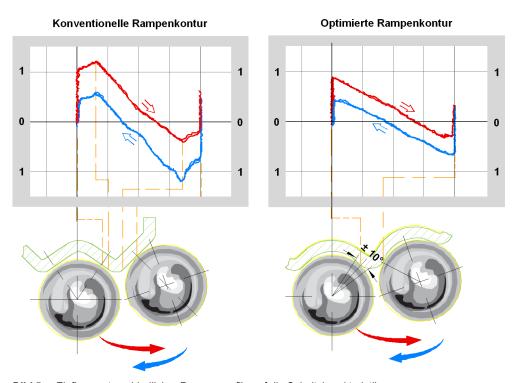


Bild 5: Einfluss unterschiedlicher Rampenprofile auf die Schaltcharakteristik

Durch die mittels Presssitz montierte Hülse lässt sich die Schaltwelle sehr einfach und flexibel gestalten. Die Verbindungsart ist nicht abhängig von der Stahl-Werkstoffpaarung. Die beiden Bauteile benötigen keine mechanische Bearbeitung während der Montage. Eine exakte Positionierung von mehreren Bauteilen zueinander lässt sich über das Montagewerkzeug problemlos umsetzen.

Weiterhin ist die Wahl eines eventuellen Korrosionsschutzes der Welle von Vorteil.

## Neutralstellung

Die Positionierung des Schalthebels im Fahrzeuginneren hängt vom Schalthebelbock, der Ansteuerung der zentralen Schaltwelle und der Positionierung der Schaltwelle im Getriebe ab. Zur Erreichung dieser Stellung sind verschiedene Systeme für die Positionierung der zentralen Schaltwelle bekannt.

## Bewegung in Schaltrichtung

Für die Positionierung der Schaltwelle in Schaltrichtung hat sich die Anordnung der Arretierung in Verbindung mit der Rastierkontur an der zentralen Schaltwelle bewährt. Mit der Arretierung und der Rastierkontur wird in Schaltrichtung ebenfalls die Schaltkraft beeinflusst. Im Zusammenspiel mit mehreren anderen Komponenten trägt sie einen erheblichen Anteil zum gesamten Kraftverlauf bei (Bild 6). Signifikante Punkte wie die Einlegekraft am Ende des Schaltvorganges und die Rückstellkraft beim Auslegen des Ganges lassen sich maßgebend dadurch beeinflussen. Es ist also ein frei wählbarer, einstellbarer Kraftverlauf darstellbar.

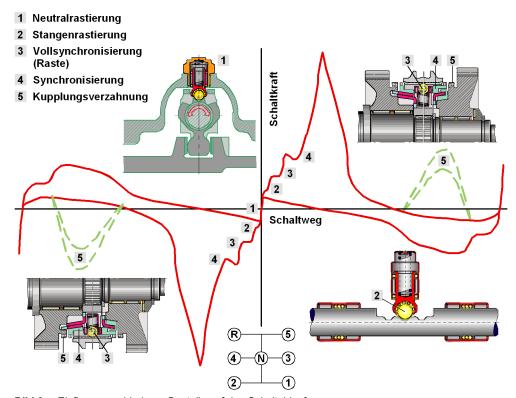


Bild 6: Einfluss verschiedener Bauteile auf den Schaltablauf

## Bewegung in Wählrichtung

Für die Positionierung der Schaltwelle in Wählrichtung sind in der Vergangenheit Druckfedern zum Einsatz gekommen.

Diese Anordnung benötigt in axialer Richtung, abhängig von der Federrate und den Kräften, größeren Bauraum. Die Montage ist aufwendig, da mehrere Einzelteile erforderlich werden.

Hier findet sich die Möglichkeit, eine Arretierung einzusetzen, die mit einer v-förmigen Kontur an der Schaltwelle in Kontakt ist. Hier lassen sich die Bauteile sowie die Montage erheblich vereinfachen. Im Vergleich zur Steuerung mittels Druckfedern kann der Kurvenverlauf beliebig gewählt werden. Vor allem bei den neuen 6-Gang-Getrieben wird dieser Vorteil genutzt. Es kann ein Abfall im Kurvenverlauf in den Endlagen realisiert werden. Dieser Effekt bietet bei der Hochschaltung vom 5. Gang in den 6. Gang Vorteile. Der Schalthebel wird hier nicht durch eine hohe Wählkraft in die Gasse 3 / 4 abgewiesen. Einem Verschalten vom z. B. 6. Gang in den 3. Gang (anstelle in den 5. Gang) wird dadurch vorgebeugt.

Am Ende der Wählbewegung besteht die Möglichkeit die Bewegung durch einen sanften Kraftanstieg abzubremsen. Je nach Anwendungsfall kann eine Begrenzung durch einen in die Kontur eingeformten Radius erfolgen.

Eine Schlagsperre kann durch den Einsatz einer weiteren Arretierung realisiert werden.

Zur weiteren Kostensenkung können die Konturen für Schalten und Wählen zusammengeführt werden. Man benötigt somit nur eine Arretierung zur Schalt- und Wählkrafterzeugung. Die Bearbeitungskosten am Getriebegehäuse oder Schaltdeckel lassen sich senken. Eine Reduzierung der Bauteile, welche sich ebenfalls positiv auf die Kosten auswirkt, lässt sich ebenso erreichen. Durch diese Kombination sind weiterhin die Summentoleranzen sehr klein.

Für die Herstellung dieses 3-D Konturbleches bietet sich ein spanlos umgeformtes Blechbauteil bestens an (Bild 7). Durch die Konturerstellung im Werkzeug ist eine hohe Wiederholgenauigkeit gegeben. Diese Konturbleche

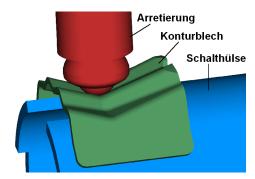


Bild 7: Dreidimensionale Rastierkontur für Wählund Schaltvorgang

werden ähnlich wie eingangs beschrieben mit den anderen Bauteilen gefügt.

Eine Herstellung als Feinguss oder Sinterbauteil ist möglich, jedoch ist die notwendige spanende Nacharbeit zur Erzielung einer guten Oberflächengüte nahezu ausgeschlossen.

Im folgenden wird die Verbesserung des Schaltkomforts eines bestehenden Schaltmoduls beschrieben (Bild 1).

Das untersuchte Schaltmodul zeigte Defizite wegen zu hoher Reibung. Eine saubere Rückstellung des Schalthebels in Neutral 3 / 4 war nicht gegeben. Diese Beeinträchtigung war ebenso in Schaltrichtung spürbar.

Im nachfolgenden soll vorrangig auf die Untersuchung / Abstellmaßnahmen für den Wählkraftverlauf eingegangen werden.

Folgende Komponenten wurden durch Bauteile nach INA Technologie ersetzt:

- 1. Gleitlagerung der zentralen Schaltwelle wurde ersetzt durch Wälzlager mit begrenzter Längs- und Drehbewegung
- 2. Gleitlagerung des Wählhebels wurde ersetzt durch Nadellager
- 3. Ersatz des Faltenbalgs durch Schutzhülse und mit zusätzlichem Dichtring im Gehäuse
- 4. Entfall des Sperrbügelkonzeptes durch den Einsatz einer Trommelsperre
- 5. Austausch des Federpakets durch eine 3-D Rampenkontur zur Erzeugung der Schalt- und Wählkräfte (Bild 8)

#### Auswirkungen:

Zu 1.) Reduzierung der Hysterese für den Schalt- und Wählkraftverlauf

Zu 2.) Senkung der Reibung und damit der Hysterese für den Wählkraftverlauf

Zu 3.) Senkung der Reibung und damit der Hysterese für den Wähl- und Schaltkraftverlauf

Zu 4.) Minimierung der bewegten Bauteile, dadurch Reduzierung der Kontaktstellen zwischen Schaltgabeln und zentralen Schaltwellen. Entfall der gehäusefesten Fixierung des Bügels

Zu 5.) Entfall von Bauteilen, Verbesserung der Zentrierung in 3 / 4

Durch diese Maßnahmen konnte die Hysterese von 30 N auf 6 N gesenkt werden, siehe Bild 8.

In einer subjektiven Beurteilung vom Kunden wurde diese drastische Senkung als äußerst positiv für den Schaltkomfort gewertet.

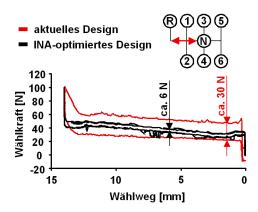


Bild 8: Vergleich der Wählkräfte

## Simulationstechniken in der Entwicklung

Die geforderten Ansprüche bezüglich geringstem verfügbaren Bauraum, maximaler Gewichtseinsparung bei minimalen Entwicklungskosten und kürzesten Entwicklungszeiten lassen sich auch bei der Auslegung von

Schaltsystemen durch Einsatz moderner CAE-Werkzeuge bewältigen. So können bei INA auf die Bedürfnisse von Schaltsystemen ausgerichtete Methoden und Programme verwendet werden (Bild 9).

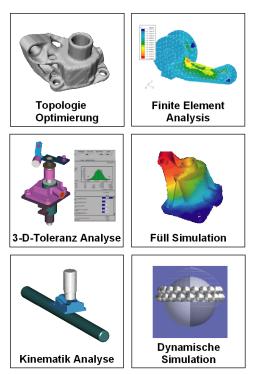


Bild 9: SAE-Methoden zur Auslegung von Getriebeschaltungen

## Topologie – Optimierung der Schaltgehäusegestaltung

Vorgegeben sind der zulässige Bauraum und Randbedingungen, wie Belastung und Kraftangriffspunkte. Aus der Berechnung ergeben sich die mindest erforderlichen Materialanordnungen unter der betrachteten Kräfte- und Momentenbelastung. Manche Ergebnisse können auch als gießtechnischer Unsinn bezeichnet werden. In jedem Fall muss das materialbezogene Minimalmodell nun fertigungsgerecht angepasst/konstruiert werden.

## Finite Element Analysis

Ausgehend vom 3-D-Konstruktionsmodell werden Gitter-/Knotenpunkte und Belastungseingriffe definiert. Die vom berechnungsunterstützenden Programm ermittelten Bauteilverformungen und -spannungen bilden heute generell die Basis zur optimierten Konstruktion.

#### VSA 3-D-Toleranz Analyse

Die Toleranzangabe von Maß, Form und Lage bestimmt den Aufwand in Fertigung und Montage. Gleichzeitig ist sie der Garant für die Funktionalität komplexer Systeme. Im Gegensatz zur nominellen Toleranzbetrachtung berücksichtigt VSA-3-D die statistische Verteilung. Ein weiterer Vorteil ist, mit der Simulation Aussagen über Prozesskennwerte und deren Verursacher treffen zu können. Ausgangspunkt ist das "nominelle" 3-D-CAD Baugruppenmodell mit seinen vorgegebenen Referenzpunkten der einzelnen Komponenten. Es sind nun die für den funktionalen Zusammenhang erforderlichen Kontaktflächen bzw. Berührungspunkte zu definieren.

Das "nominelle" wird also in ein "funktionales" CAD-Modell überführt.

Anschließend sind alle zu analysierenden Maß-, Form- und Lagetoleranzen den Funktionsflächen auf Bauteilebene zuzuordnen.

Die rechnerunterstützte Simulation lässt nun z. B. die Auswertung von Kurven einer Diagonalschaltbarkeit vom 2. in den 3. Gang zu.

Alle Fragestellungen zur Toleranz-Analyse einer Schaltung lassen sich nicht mit nur einem einzigen funktionalen 3-D-CAD-Modell lösen (Bild 10).

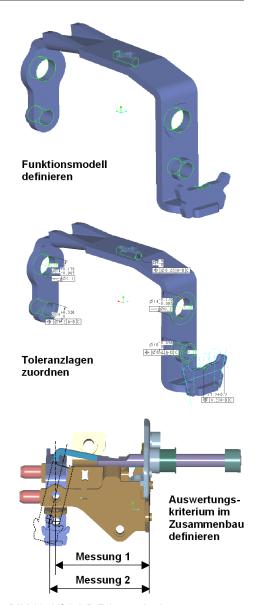


Bild 10: VSA-3-D Toleranz Analyse

Die 3-D-Toleranz Analyse ist anwendbar in der

- Konzeptphase zur Untersuchung von Basisabmessungen und der Montagereihenfolge von Baugruppen
- Konstruktionsphase zur Festlegung der Toleranzen und Validierung der Baugruppenspezifikationen

- Prototypenbauphase zur Überprüfung und Festlegung der Messeinrichtungen
- Produktionsphase zur vorausschauenden Prozesssimulation von Fertigungstoleranzen

#### Füll-Simulation

Hier handelt es sich um ein Berechnungsverfahren zur gießtechnischen Simulation der Abläufe beim Kunststoff- oder Leichtmetallspritzgießen.

Aus der 3-D-Modelldefinition lassen sich mittels der Füllberechnung optimale Anspritzung, Fließverhalten, eventuelle Lufteinschlüsse oder kritische Bindenähte erkennen.

## Kinematische Analyse

Die kinematische Analyse ermöglicht z. B. bei unregelmäßigem Wähl- oder Schaltverhalten eine Simulation der Verschiebekräfte einer Arretierung über die Rampenkontur. Somit lassen sich geeignete Maße bestimmen und das Verhalten neuer Oberflächenprofile vorhersagen.

## Dynamische Analyse

Diese wird genutzt, um die Bewegungsabläufe im Zusammenspiel verschiedener voneinander abhängiger Bauteile oder -gruppen zu erkennen. Beispielsweise beim Ablauf eines nicht geführten (chaotischen) Systems, wie es sich bei der Arretierung mit ca. 60 Stück Kugeln in einer Kalottenform darstellt (Bild 11).

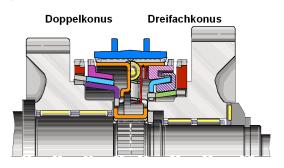


Bild 12: Mehrkonus-Reibsynchronisation mit spanlos Komponenten

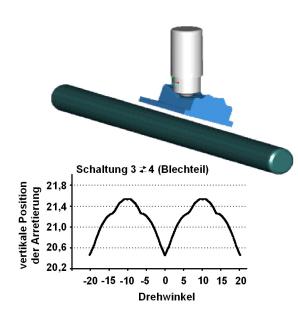


Bild 11: Dynamische Analyse

## **Entwicklung von** spanlos hergestellten Komponenten für die **Synchronisation**

Die heute noch sehr massiv ausgelegten Synchronisationssysteme lassen sich durch spanlos hergestellte Präzisionsprodukte nicht nur hinsichtlich der Gewichtseinsparung oder Kostenbeurteilung verbessern, sondern weisen durch ihre technologisch bedingten Eigenschaften auch indirekte Vorteile auf (Bild 12).

- Vorsynchronisation
- Außensynchronisation
- Zwischenring
- Innensynchronisation
- Kupplungsverzahnungsscheibe
- Radkonusring
- Schiebemuffe
- Synchronkörper

#### Schiebemuffe

Abgeleitet aus dem Fertigungsverfahren eines Wälzlager-Nadelkranzes wird aus einem profilierten Stahlband eine Schiebemuffe erzeugt (Bild 13). Die geprägten Oberflächen weisen eine günstigere Gleiteigenschaft auf als die zerspanten Produkte. Die Genauigkeiten müssen anders beschrieben werden, nicht geometrie-, sondern funktionsbezogen - vergleichsweise wie bei einem, in einem Gehäuse sitzenden Ring.

Bei einem spangebend hergestellten Ring würde dies der Außendurchmesser, bei einer Hülse die Einpresskraft darstellen.



Bild 13: spanlos hergestellte Schiebemuffe

## Kupplungskörper

Separate Kupplungskörper, die zu einem Zahnrad hinzugefügt werden, sind nach heutigem Stand der Technik hergestellt, aus einer vorgestanzten Ronde und einer anschließenden mechanischen Endbearbeitung.

Mit den bei INA angewendeten Produktionsverfahren wird aus einer gestanzten Ronde ohne mechanische Nacharbeit die Dach- und Mitnahmeverzahnung geprägt. Vorteile liegen in der geglätteten Oberflächenstruktur und in den geringeren Herstellkosten (Bild 14).



Bild 14: spanlos hergestellter Kupplungskörper

## Synchronringe

Die Rohlinge werden aus dünnwandigem Stahlband gezogen. Nach der Wärmebehandlung erhalten diese eine präzise geschliffene Oberfläche. Dies ist Grundlage für einen hohen Traganteil im Reibkonus unabhängig davon, welche Reibpaarungen ausgewählt werden.

## Zusammenfassung

Die beschriebenen Bauteile und die damit verbundenen Funktionen und Einsatzmöglichkeiten sind natürlich nicht nur auf manuell betätigte Schaltgetriebe beschränkt. Für die neuen Getriebe ASG. PSG und USG kommen ebenfalls diese Komponenten zum Einsatz. Lediglich die Anbindung an die Aktoren ist anders. Statt einer angelenkten zentralen Schaltwelle über Seilzüge oder Gestänge wird die Bewegung über Zahnsegment, Zahnstange oder andere Elemente eingeleitet. Die Vorteile der spanlosen Herstelltechnologien sowie der Kombination aus verschieden hergestellten Einzelteilen können ebenfalls genutzt werden. Die Arretierung, welche in manuellen Schaltgetrieben überwiegend zur Erzielung eines bestimmten Schaltkomforts eingesetzt wird, wird als Raste mit erhöhter Federkraft ebenso benötigt.