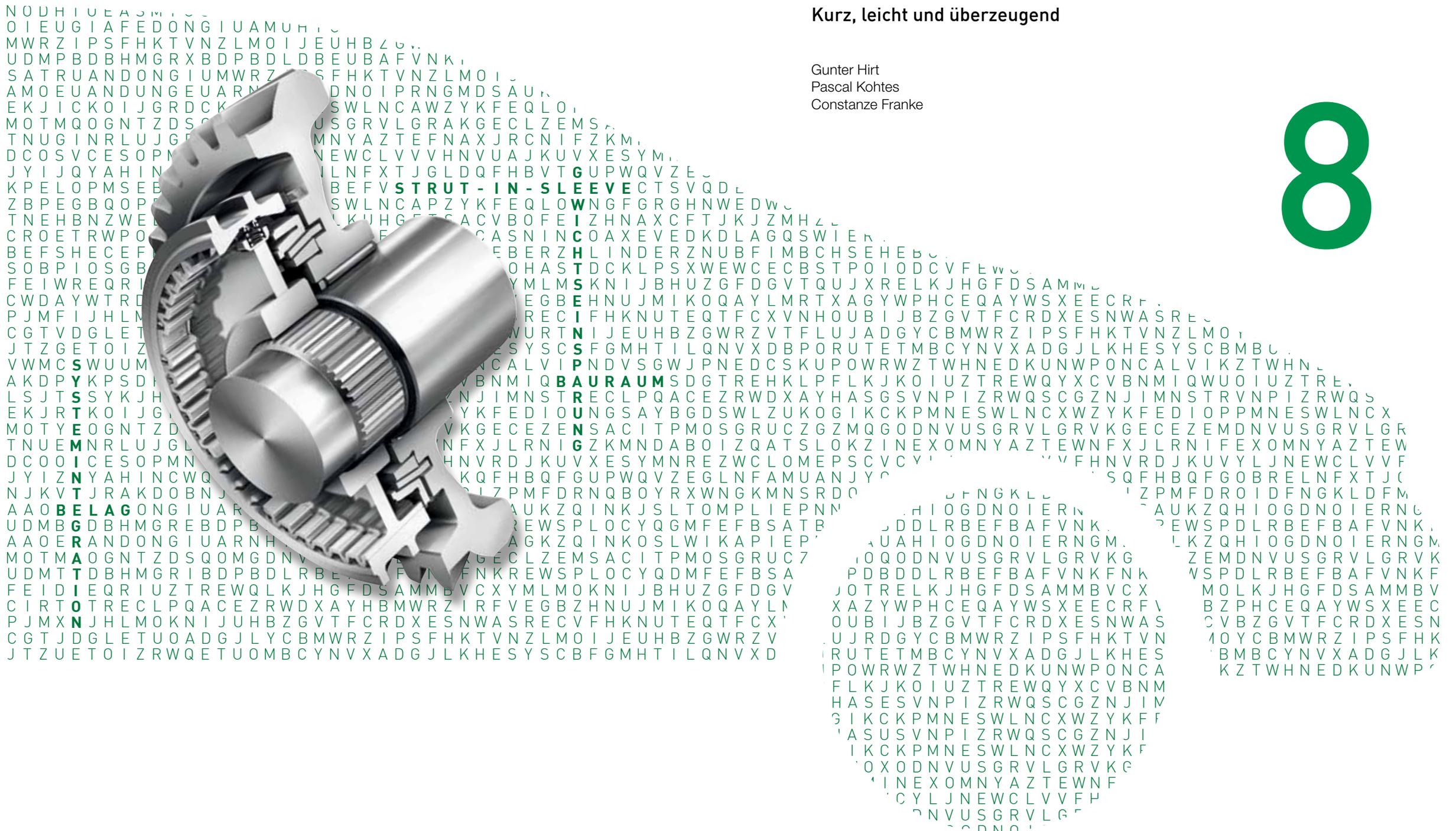


Ganzheitliche Entwicklung von Synchronisierungssystemen

Kurz, leicht und überzeugend

Gunter Hirt
Pascal Kohtes
Constanze Franke

8



Einleitung

Derzeit ist die Struktur der Wertschöpfung von Schaltgetrieben dadurch gekennzeichnet, dass die großen Automobilhersteller in der Triade die einzelnen Komponenten des Synchronisierungssystems von jeweils unterschiedlichen Zulieferern beziehen (Bild 1). In den neuen Märkten dagegen arbeiten die Hersteller schon seit geraumer Zeit bevorzugt mit Lieferanten, die das gesamte Synchronisierungssystem auslegen, entwickeln und montagefertig liefern. Es zeichnet sich ab, dass auch in den westlichen Industrieländern die Wertschöpfungskette dahingehend reorganisiert wird. Treiber dieser Entwicklung ist die Anforderung zum Leichtbau, der nun zunehmend im Antriebsstrang Einzug hält. Wenn die Getriebe kompakter und leichter werden sollen, müssen Subsysteme wie die Synchronisierung leistungsfähiger werden. Der Weg dorthin führt über Komponenten, die zum einen bei gleichen Anforderungen weniger Bauraum und Material beanspruchen und zum anderen noch besser aufeinander abgestimmt sind.

Schaeffler ist auf diese neue Situation vorbereitet. Letzter Baustein dafür ist auf Komponentenebene die bereits abge-

schlossene Entwicklung leistungsfähiger Reibbeläge im Synchronisierungssystem. Klassischerweise bewegen sich die Hersteller von Synchronisierungen im Bauraum zwischen den beiden zu schaltenden Gangrädern. Schaeffler beherrscht zudem die Auslegung der Anschluss-Bauteile – wie beispielsweise die Lager für Wellen und Losräder – sowie Verzahnungen im Allgemeinen. Darüber hinaus steht unternehmensweit ein umfassendes Know-how in der Antriebstechnik zur Verfügung. Damit kann das Kraftübertragungssystem von der Kupplung bis zum Getriebeausgang so aufeinander abgestimmt werden, dass aus systemischer Sicht hinsichtlich Kosten, Bauraum, Gewicht und Schaltkomfort ein Optimum erreicht wird.

Entwicklung und Fertigung aus einer Hand

Die Praxis zeigt, dass Systemkompetenz dann zu den besten Lösungen führt, wenn sie von einem entsprechenden Know-how auf der Komponentenebene flankiert wird. Schaeffler entwickelt und fertigt deshalb



Bild 2 Schaeffler entwickelt und fertigt das komplette Synchronisierungssystem selbst

alle Komponenten des Synchronisierungssystems ausschließlich im eigenen Haus. Im Einzelnen sind dies (Bild 2):

- Schiebemuffe
- Vorsynchronisationsarretierung
- Trägerkörper
- Kupplungskörper
- Ringpaket mit Reibbelägen auf Carbonbasis

Mit der Entwicklung der Reibbeläge hat Schaeffler das Produktportfolio komplettiert und ist jetzt in der Lage, ein komplettes Synchronisierungssystem aus einer Hand anzubieten. Diese Wertschöpfungstiefe bedeutet weltweite Alleinstellung. Bei den Reibbelägen reicht sie von der Rohstoffauswahl über die Entwicklung und Herstellung des Reibmaterials bis zu dessen Montage auf dem Träger.

Allerdings führt die Aggregation von optimierten Bauteilen oft nicht zu einem Optimum im Gesamtsystem. Die Entwicklungshistorie des Trägerkörpers ist ein Beispiel dafür: Durch die Verkleinerung der Arretierung kann das Bauteil im Prinzip robuster oder auch schmäler ausgelegt werden. Das Umstellen des Herstellungsverfahrens von Sintern auf Blechumformung ermöglicht, Baugröße und Gewicht ein weiteres Mal zu reduzie-

ren. Dieser Schritt endet allerdings ohne die im Weiteren noch näher beschriebene Entwicklung des Strut-in-Sleeve-Konzepts in einer Sackgasse. Eine ganze Reihe von Leichtbaueffekten bleibt dann außer Reichweite, weil die Funktion nicht mehr sichergestellt ist.

Weitere Potenziale können erschlossen werden, wenn die Systemkenntnis über die Synchronisierungseinheit hinausreicht. Die Vorteile einer solchen Herangehensweise konnten an konkreten Kundenaufträgen bereits demonstriert werden.

Potenziale aus dem Systemansatz

Beispiel aus der Praxis

Wirtschaftliche Gründe veranlassten den Kunden, künftig eine Kupplungsscheibe mit Fliehkraftpendel von LuK einzusetzen. Dies hätte aber zu einem Schaltkomfort geführt, der als nicht mehr marktgerecht eingestuft worden wäre (Bild 3). Ursächlich dafür war eine um 45 % höhere Massenträgheit am Getriebeeingang, die ohne Gegenmaßnahmen zu erhöhten Schaltkräften geführt hätte. Zu berücksichtigen war, dass die Parameter Fahrerverhalten, Schaltsystem, Temperaturniveau im Ge-

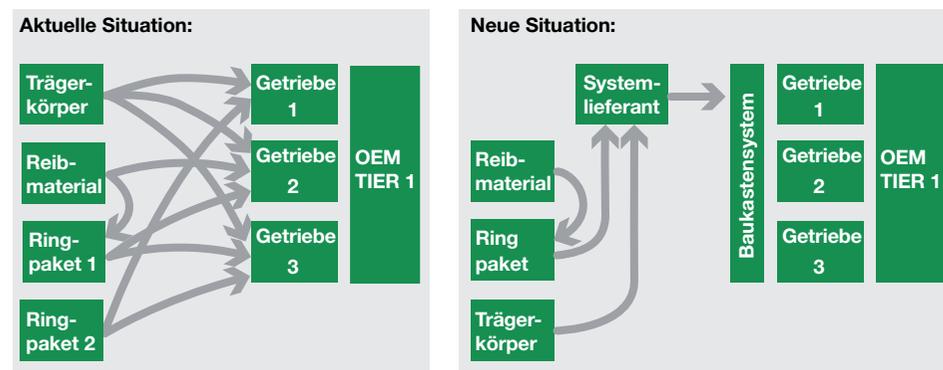


Bild 1 Neue Anforderungen in der Wertschöpfungskette von Schaltgetrieben

triebe sowie das zu verwendende Getriebeöl als Vorgabe gesetzt waren.

Deshalb wurde die Entwicklungsarbeit auf folgende zwei Hauptansätze ausgerichtet:

- Neue Auslegung der Verzahnungsgeometrie von Schiebemuffe und Schaltverzahnung
- Überprüfung des Reibbelags sowie Änderung von Konusgeometrie und Reibsystem

Die Maßnahmen des ersten Arbeitsfelds waren bereits so wirksam, dass der bestehende Reibbelag beibehalten und ein zufriedenstellendes Gesamtergebnis erzielt werden konnte. Die Erprobung und Evaluation des modifizierten Getriebes erfolgte bei Schaeffler und beim Kunden. Insbesondere Lebensdauer und Schaltverhalten wurden ausführlich untersucht und bewertet. Die Simulation ließ bereits erwarten, dass der neue Schaltverlauf deutlich harmonischer ausfällt. Auf dem Prüfstand wurde dieses Ergebnis bestä-

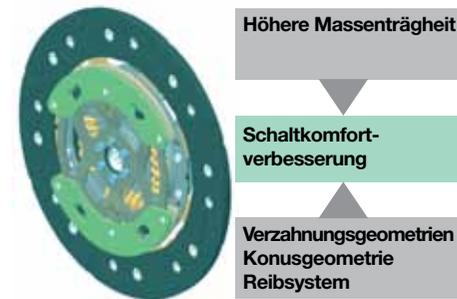


Bild 3 Optimierung des Schaltkomforts, abgestimmt auf eine Kupplungsscheibe mit Fliehkraftpendel (FKP)

tigt (Bild 4). Der Vergleich des optimierten Getriebes mit dem Seriengeräte im Fahrzeug hat schließlich bestätigt, dass die Optimierung nicht nur auf den Datenblättern nachzuvollziehen ist: Der wahrgenommene Schaltkomfort erreicht auf der ATZ-Bewertungsskala einen besseren Wert als die vom Kunden ausgegebene Zielmarke.

| | Kundenziel |
|---|------------|
| Serie (5,6 g m ²) | 7,25 |
| Serie mit FKP (8,1 g m ²) | 6,5 |
| Optimiert mit FKP (8,1 g m ²) | 7,75 |

Wahrgenommener Schaltkomfort ATZ Skala

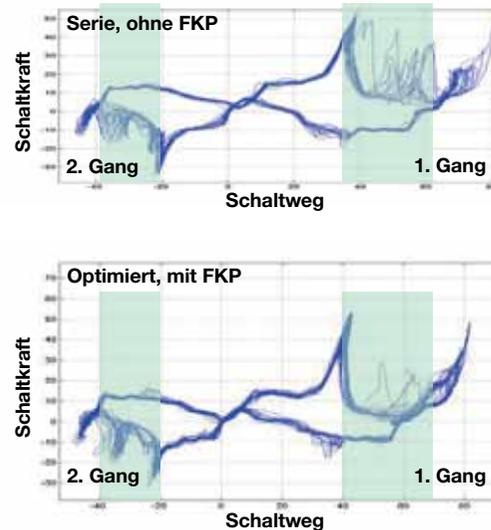


Bild 4 Messungen (rechts) des Schaltverlaufs vorher (oben) und nachher: Trotz größerer Massenträgheit konnte der wahrgenommene Schaltkomfort verbessert werden

Carbon-Reibbeläge aus eigener Entwicklung und Fertigung

Anforderungen, den Bauraum und das Gewicht des Getriebes zu minimieren, sowie der Anspruch auf erhöhten Schaltkomfort und höhere Leistungsdichte erfordern ganzheitlich optimierte Synchronisierungssysteme.

In Doppelkupplungsgetrieben etwa ergibt sich der hohe Leistungsanspruch aus dem Überspringen von Gängen: die Synchronisation muss eine Drehzahldifferenz ausgleichen, wie sie in manuell geschalteten Getrieben in der Regel nicht vorkommt – und dies in äußerst kurzer Zeit. Denn bei automatisierten Getrieben erwartet der Autofahrer viel schnellere Schaltvorgänge, als er sie selbst bewerkstelligen könnte. Solche Einsatzbedingungen verlangen Synchronisierungssysteme der Spitzenklasse. Sie verfügen meist über Reibbeläge auf Carbonbasis. Schaeffler hat mit seinem „Friction-Pad“-System ein solches Material bereits vorgestellt. Dies wurde nun zum Reibbelag STC 300 weiterentwickelt. Das Akronym steht für „Schaeffler Technologies Carbon“ und verweist auf das Grundmaterial.

Auch der zweite neue Reibbelag STC 600 basiert auf diesem Werkstoff, stellt jedoch eine völlige Neuentwicklung dar. Sie ist darauf ausgelegt, höchsten Anforderungen zu genügen.

STC 300: Reibmaterial aus Carbon-Verbundwerkstoff

STC 300 wird nach dem Verfahren massegepresster Reibbeläge hergestellt – eine Fertigungstechnologie, die Schaeffler Friction Products seit vielen Jahren beherrscht. Der Reibbelag besteht aus einem Verbund aus



Bild 5 STC 300: Reibbelag aus Verbundmaterial auf Carbonbasis

Carbon und weiteren Materialien, die durch Harz gebunden werden (Bild 5). Schaeffler hat den Fertigungsprozess selbst entwickelt und industrialisiert. Der STC 300 ist insbesondere in Bezug auf die Reibwertstabilität und den Verschleiß deutlich leistungsfähiger als Messing- und Streusinterprodukte, aber auf ähnlichem Kostenniveau wie diese.

STC 600: Reibmaterial aus Carbon-Fasern

STC 600 ist ein Carbon-Reibbelag der höchsten Leistungsklasse. Der Belag entsteht in einem Verfahren, das aus der Papierherstellung abgeleitet ist (Bild 6). Der dafür selbst entwickelte Fertigungsprozess bietet gegenüber einem gewebten Material deutliche Kostenvorteile und liefert



Bild 6 STC 600: In der Spitzenklasse positionierter Reibbelag auf Carbonbasis

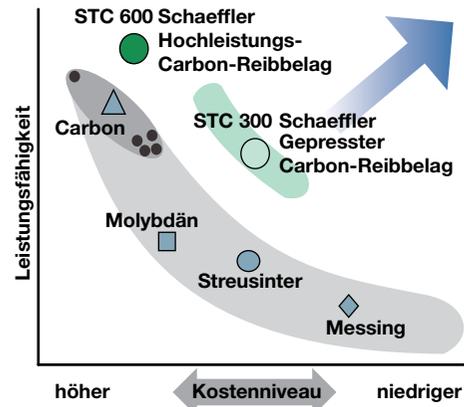


Bild 7 Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Reibbelagarten in Relation zum Kostenniveau

im Vergleich mit Produkten aus der gleichen Leistungsklasse gleichwertige, teilweise auch bessere Ergebnisse (Bild 7).

Leistungsfähigkeit

Der Reibbelag STC 600 erzielt auf allen relevanten Feldern wie Reibwertkonstanz über den Gebrauch, Reibwertgradient und Reibwertniveau innerhalb eines Schaltvorgangs sowie Verschleißbeständigkeit sehr gute Ergebnisse. Die dauerhaft ertragbare Reibarbeit des STC 600 liegt im Bereich höchster Beanspruchbarkeit. Dies zeigen die Mess- und Prüfergebnisse absolut und im Vergleich zu den bislang führenden Produkten im Markt. Sie werden im Folgenden eingehender vorgestellt.

Dynamischer Reibwert

Wesentlichen Einfluss auf die Beurteilung des Schaltkomforts haben die Geschwindigkeit, mit der der Reibbelag im Kontakt mit dem Synchronring seinen Reibwert aufbaut, sowie der Reibwertverlauf während eines Schaltvorgangs. Idealerweise baut sich der Reibwert sprunghaft zu seinem Höchstniveau auf und bleibt bis zum Erreichen des Gleichlaufs von Getriebewelle und Gangrad konstant. In der

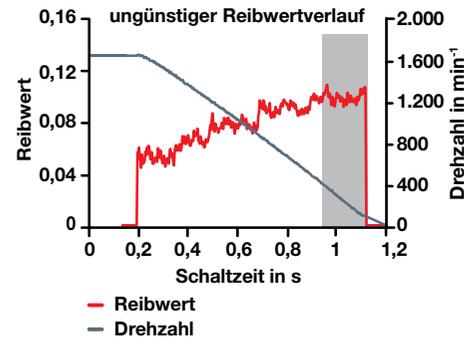
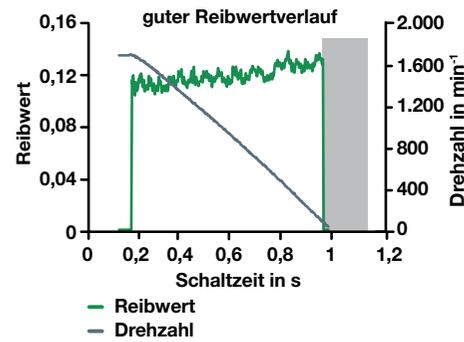


Bild 8 Ungünstiger (unten) gegenüber gutem Reibwertverlauf (oben)

Praxis wird der maximale Reibwert erst nach und nach mit dem Verdrängen des Öls im Kontaktpalt erreicht. Ein unerwünschtes Beispiel zeigt die untere Grafik in Bild 8: Bei einem solchen Reibwertverlauf ist die Funktion nicht mehr sichergestellt oder wirkt sich negativ auf den Schaltkomfort aus. Die Messungen belegen, dass der tatsächliche Reibwertverlauf des STC 600 nur unwesentlich vom Idealverlauf abweicht (Bild 8 oben). Zurückzuführen ist dieses Ergebnis unter anderem auf die hervorragende Drainagefähigkeit des STC 600 (Bild 9).

Reibwertniveau

Der Reibwert ist maßgeblich für die maximal erreichbare Reibleistung. Die Steigerung des Reibwertes führt zu einer höheren Reibleistung, wodurch in kürzerer Zeit synchronisiert

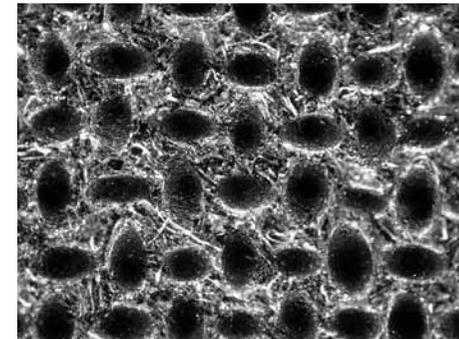


Bild 9 Oberflächenstruktur des Reibbelags STC 600

werden kann. Ein Wert von 0,11 und darüber weist den Reibbelag STC 600 als Spitzenprodukt aus (Bild 10). Das Reibmaterial trägt somit zu einer Vergrößerung der Leistungsdichte bei. Durch seine hohe Belastbarkeit – absolut und auch gegenüber dem Benchmark – kann die notwendige Kontaktfläche verkleinert und damit das gesamte Synchronisierungssystem verkürzt werden. Der Bauraumgewinn addiert sich über alle Gangpaarungen hinweg und trägt dazu bei, das ganze Getriebe kompakter und leichter auszuführen.

Kennzeichnend für die Qualität ist darüber hinaus die Reibwertstabilität. Sie hat insofern praktische Bedeutung, als dadurch ein im Zeit-

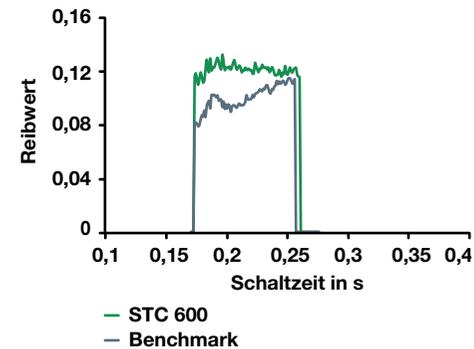


Bild 10 Überzeugender Reibwert im Benchmark-Vergleich

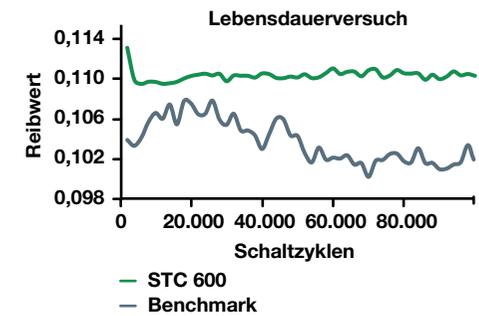


Bild 11 Geringe Streuung des Reibwertkoeffizienten über die Gebrauchsdauer

ablauf immer gleiches Schaltgefühl gewährleistet ist. Beim STC 600 bleibt das Ausgangsniveau über die gesamte Gebrauchsdauer hinweg praktisch unverändert (Bild 11). Der Verlauf der Kurve ist als gelungenes Entwicklungsergebnis zu interpretieren, weil hoher Reibwert und hohe Reibwertstabilität gleichzeitig erreicht werden. Technologisch vergleichbare Materialien zeigen statistisch gesehen über die Lebensdauer hinweg ein Reibwertniveau mit geringer Gleichmäßigkeit. Im Vergleich mit den am Markt gebräuchlichen Materialien wird deutlich, dass der Belag STC 600 diesen insbesondere in Bezug auf den Reibwertgradienten und -verlauf überlegen ist (Bild 12).

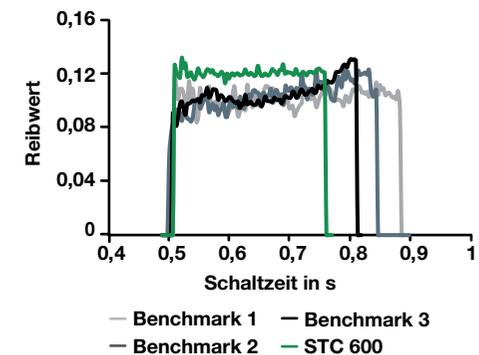


Bild 12 Reibwert verschiedener Materialien im Vergleich

Ölsensitivität und Verschleiß

Abhängig vom Öl zeigt ein Reibmaterial insbesondere in Bezug auf die Kriterien Reibwertniveau und Verschleiß ein unterschiedliches Verhalten. Aus Kundensicht ideal ist ein Reibmaterial, das in Verbindung mit jedem beliebigen Öl bei allen Kriterien gleich leistungsfähig ist. In der Praxis ist das bisher nicht erreicht worden. Bei der Auswahl des Getriebeöls steht primär meist nicht die Optimierung des Schaltkomforts im Mittelpunkt, sondern man konzentriert sich auf den Verschleißschutz der Gangradverzahnungen und die Minimierung der Schleppverluste.

Der Reibbelag STC 600 weist gegenüber den bisher getesteten Ölen eine vergleichsweise geringe Sensitivität auf (Bild 13). Die nächste Entwicklungsstufe beinhaltet die Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten zum Beispiel auf ein im konkreten Anwendungsfall präferiertes Getriebeöl. Diesen Schritt unternimmt Schaeffler vorzugsweise Hand in Hand mit den Kunden, um ein bestmögliches Ergebnis sicherzustellen.

In Bezug auf den Verschleiß schneidet der Reibbelag STC 600 im Vergleich zum Benchmark deutlich besser ab: Unter den gegebenen Versuchsbedingungen und dem eingesetzten Öl ist die erforderliche Verschleißreserve beim STC 600 nur halb

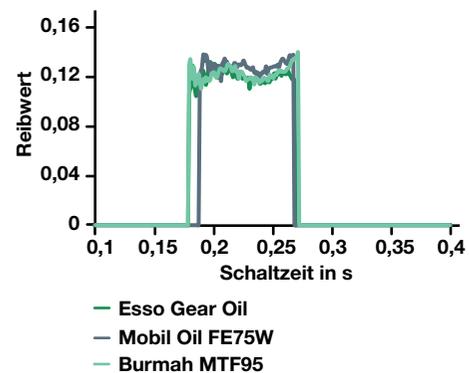


Bild 13 Geringe Ölsensitivität des STC 600

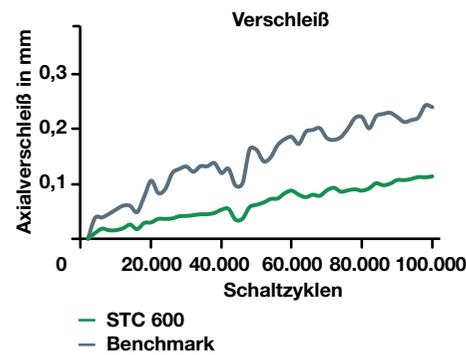


Bild 14 Geringer Verschleiß über die Gebrauchsdauer

so groß, wodurch der dafür vorzuhaltende Bauraum entsprechend geringer ausfällt (Bild 14).

Ergebnisse im Überblick

STC 300 und STC 600 begründen zwei unterschiedliche Produktkategorien. Beide wurden von der Rohstoffauswahl bis zum fertigen Produkt einschließlich der Herstellungsprozesse selbst entwickelt, und sie werden ausschließlich auf eigenen Anlagen gefertigt. Die Beläge sind in verschiedenen Leistungsklassen positioniert, ihnen gemeinsam ist das Reibmaterial auf Carbonbasis. Der STC 300 ist insbesondere in Bezug auf die Reibwertstabilität und den Verschleiß leistungsfähiger als Messing- und Streusinterprodukte, aber auf ähnlichem Kostenniveau.

Der STC 600 erzielt bei den wichtigen Kriterien dynamischer Reibwert, Reibwertniveau und -stabilität bessere Resultate als die derzeit besten Produkte im Markt. In der kombinierten Betrachtung der Reibwertstabilität über die Gebrauchsdauer und der Streuung, mit der die Reibwerte der einzelnen Schaltungen voneinander abweichen, liegt dieser nahe am Optimum (Bild 15). Die Ölsensitivität gegenüber den

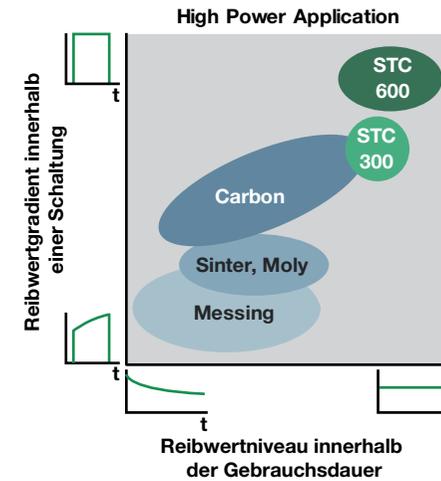


Bild 15 Leistungsfähigkeit von STC 300 und STC 600 im Überblick

bisher getesteten Getriebeölen ist gering. Auch in Bezug auf den Verschleiß schneidet der STC 600 im Vergleich zum Benchmark besser ab.

Innovative Komponenten mit Systemwirkung

Bauraum- und Gewichtseinsparung

Das Ziel, Systeme und Komponenten unter Einhaltung der Kostenvorgaben so leicht wie möglich auszuführen, gilt auch für das Getriebe und seine Subsysteme. Auch das Motiv, den erforderlichen Bauraum zu minimieren, gewinnt immer mehr an Bedeutung. Mit dem „Strut-in-Sleeve“-Konzept ist diesbezüglich ein großer Schritt gelungen. Die Bezeichnung überschreibt die konsequente Weiterentwicklung von Schiebemuffe, Arretierung und Trägerkörper sowie deren optimierte Abstimmung

aufeinander. Wenn alle Optionen ausgeschöpft werden, entfallen pro Synchronisierungseinheit rund 90 g an Masse, bei einem Sechsganggetriebe also etwa 350 g, Sekundäreffekte auf Getriebeebene nicht eingerechnet.

Wirkprinzip

Bei konventionellem Design sind im Steg des Trägerkörpers die Druckfedern der Vorsynchronisationsarretierung untergebracht. Dieser Einbauraum erfordert eine mechanische Festigkeit, die durch entsprechende Materialstärke erreicht wird. Eine Weiterentwicklung dieses Grunddesigns ist eine Konstruktion mit flachen Druckstücken. Sie reduzieren die erforderliche Aussparungstiefe im Steg des Trägerkörpers, wodurch sich auch die Spannungsspitzen im kritischen Querschnitt verringern. Bei unveränderter Geometrie kann so ein höheres Moment übertragen werden. Umgekehrt gilt: Für ein gleiches Übertragungsmoment genügt ein schmalerer Steg.

Im Prinzip ermöglicht dieser Ansatz, den gesamten Trägerkörper und damit

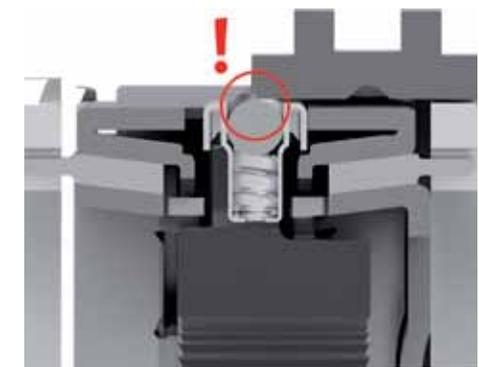


Bild 16 Bei konventionell montierter Arretierung kann der Trägerkörper nur begrenzt schmaler ausgeführt werden

auch die Schiebemuffe schmäler auszu-
legen. Da der Schaltweg vorgegeben ist, ist
diese Option jedoch limitiert. Denn bei ein-
gelegtem Gang besteht die Gefahr, dass die
Kugeln der Arretierung klemmen, weil die
Schiebemuffe sie nicht mehr vollständig
überdeckt (Bild 16).

Den Weg zu einem schmaleren Träger-
körper ebnet das Strut-in-Sleeve-Konzept.
Dabei ist das Druckstück nicht mehr im
oder am Synchronkörper montiert, sondern
in einer Aussparung in der Innenverzahnung
der Schiebemuffe. Beim Schaltvorgang
wird es daher nun von der Schiebemuffe
mitgeführt (Bild 17).

Durch diese Innovation wird der Träger-
körper in keiner Weise mehr beeinträchtigt,
so dass auch keine kritischen Querschnitte
mehr vorliegen. Jetzt kann die Breite der
Schiebemuffe frei gewählt und die
Möglichkeit, einen deutlich schmaleren
Steg zu verwenden, voll ausgeschöpft
werden. Daraus resultiert ein weitrei-
chender Vorteil: Jedes einzelne Synchroni-
sierungssystem baut um etwa 2 mm kür-
zer. In der Folge rücken die Gangräder
näher zueinander. Dadurch wiederum
können kürzere Wellen sowie letztlich ein
kürzeres Getriebegehäuse verwendet wer-
den.

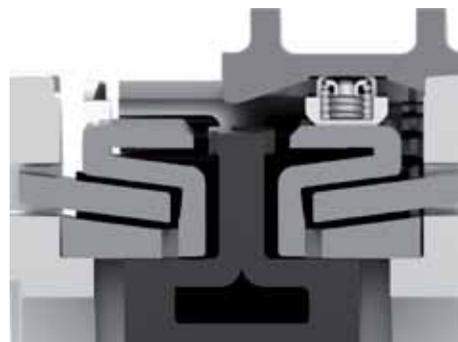


Bild 17 Bei einer Strut-in-Sleeve-Schiebemuffe wird das Druckstück in Schallrichtung mitgeführt

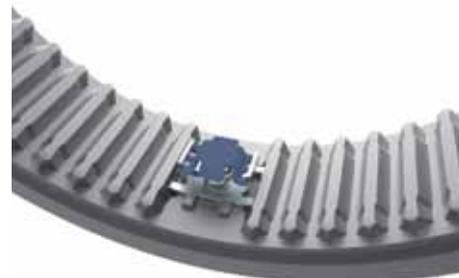


Bild 18 Schiebemuffe mit integrierter Arretierung (Strut-in-Sleeve)

Systemvoraussetzungen

Das Strut-in-Sleeve-Konzept ist kostenneutral umzusetzen. Die Basis dafür schafft die spanlos geformte Schiebemuffe, die Schaeffler bereits in Serie herstellt. Anders als bei Komponenten, die in spanabhebenden Verfahren aus Schmiederohlingen gefertigt werden, können die üblicherweise drei Aussparungen zur Aufnahme der Druckstücke ohne zusätzlichen Arbeitsschritt integriert werden. Die Aussparungen sind so gestaltet, dass die Druckstücke nur noch eingesteckt werden müssen (Bild 18).

Der Trägerkörper in einem Pkw-Getriebe wird heute fast ausnahmslos aus Sintermetall gefertigt. Da die Schiebemuffe das Moment außermittig in den Trägerkörper einleitet, ist dieser einer hohen Torsions- und Biegebelastung ausgesetzt. Deshalb ist der Trägerkörper massiv gebaut und wiegt mehrere hundert Gramm. Neue, auf einer Blechkonstruktion basierende Produktkonzepte gehen in zwei Entwicklungsrichtungen: von gewichtsoptimierter bis hin zu festigkeitsoptimierter Ausführung.

Bei einer gewichtsoptimalen Ausführung (Bild 17), liegt die Festigkeit zum derzeitigen Entwicklungsstand noch in derselben Größenordnung wie die eines Sinterbauteils. Der Gewichtsvorteil liegt für ein Sechsgang-Schaltgetriebe in der Drehmomentklasse von 350 Nm bei etwa 350 g. Dies

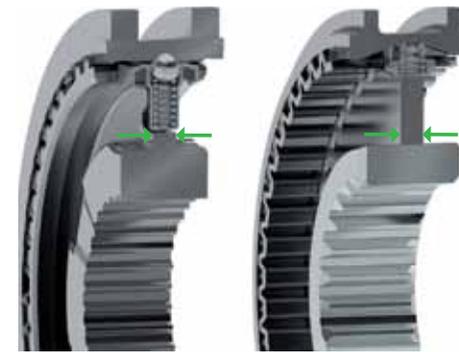


Bild 19 Trägerkörper aus Stahl (rechts) gegenüber Sintermetall (links)

entspricht in Bezug auf die Synchronisationseinheiten 25%.

Das Festigkeitspotenzial einer Blechkonstruktion kann gezielt zur Bauraum-Reduzierung genutzt werden. Die Stegbreite, aber auch die Breite der Innenverzahnung des Blechträgerkörpers können im Ergebnis so weit zurückgenommen werden (Bild 19), dass die leicht höhere Dichte von Stahl überkompensiert wird.

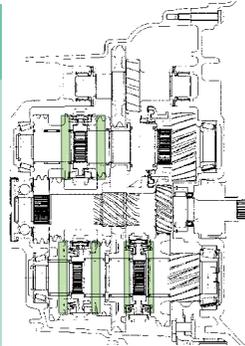
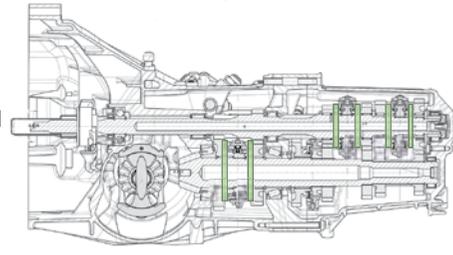
Einsparungen am Getriebe

Schaeffler hat die möglichen Sekundäreffekte für ein mit Strut-in-Sleeve und verbesserten Synchronringpaketen optimiertes Getriebe bewertet (Bild 20). Bei einer Einheit für Front-Quer-Einbau fällt das Getriebegehäuse aufgrund kürzerer Wellen um ungefähr 8 mm kürzer aus. Je nach den Voraussetzungen im Fahrzeug kann dieser Bauraumgewinn einen wichtigen Beitrag leisten, um die notwendige Vergrößerung anderer Bauteile im Motorraum zu kompensieren. Die Gewichtsersparnis allein aus den Sekundäreffekten summiert sich auf etwa 450 g. Primär- und Sekundäreffekte zusammengenommen betragen etwa 800 g.

Bei einem längs eingebauten Getriebe reduziert sich die Baulänge um rund 12 mm. Der Sekundäreffekt in Bezug auf Gewicht und Materialkosten entspricht in etwa dem des front-quer-eingebauten Getriebes.

Gewichtseinsparung an den Bauteilen:

- Getriebegehäuse
- Hauptwelle
- Nebenwelle
- Abtriebswelle
- Losräder 1.-6. G.
- Synchronisierung

| Gewichtspotenzial | Front-Quer-Getriebe | Längs-Getriebe |
|-------------------|---------------------|----------------|
| sekundär | ca. 450 g | ca. 450 g |
| primär | ca. 350 g | ca. 350 g |
| gesamt | ca. 800 g | ca. 800g |
| Bauraumpotenzial | -8 mm | -12 mm |

Bild 20 Einsparpotenziale bei Gewicht und Bauraum

Zusammenfassung und Ausblick

Die Kunden in den Wachstumsmärkten und zunehmend auch in den Industrieländern suchen für ihre Getriebefertigung die Zusammenarbeit mit Lieferanten, die nicht nur einzelne Komponenten, sondern komplette Synchronisierungssysteme anbieten. Schaeffler hat deshalb den Schritt zum Systemlieferanten vollzogen und mit der Entwicklung von Reibbelägen auf Carbonbasis das Produktportfolio komplettiert. Es besteht nun aus Blechträgerkörper, Schiebemuffe, Vorsynchronisations-Arretierung, Ringpaket und Kupplungskörper. Schaeffler hat alle Komponenten und Fertigungsverfahren selbst entwickelt und produziert weltweit ausschließlich im eigenen Haus.

Im Zuge der Angebotserweiterung wurde kontinuierlich die Kompetenz aufgebaut, um Synchronisierungssysteme ganzheitlich auszulegen. Dabei werden nicht nur Bauteilspezifika validiert, sondern bei Bedarf in Fahrzeugversuchen auch die Kraftübertragung von der Kupplung bis zum Losrad einschließlich der Schwingungsisolation funktional optimiert. Seine Leistungsfähigkeit auf diesem Gebiet hat Schaeffler in entsprechenden Projekten bereits nachgewiesen.

Bei der Systemoptimierung greift Schaeffler auf sein langjähriges Know-how in der Komponentenentwicklung zurück. Durch die hohe Wertschöpfungstiefe können die Komponenten so präzise aufeinander abgestimmt werden, dass auf Systemebene ein Optimum erreicht wird. Konzepte



Bild 21 Weitere Potenziale zur Bauraumreduzierung liegen in der Integration von Losrad und Lagerung in den Optimierungsprozess

wie Strut-in-Sleeve gepaart mit Blechmuffenträger zeigen das Potenzial: Ein kürzer bauendes Synchronisierungssystem führt über Sekundäreffekte zu einem kompakteren und leichteren Getriebe.

Dem Ziel der Bauraumreduzierung kommt künftig noch stärkere Aufmerksamkeit zu. Ein Entwicklungsansatz, der über Systemgrenzen hinausreicht, eröffnet die Chance, noch bessere als die bisher beschriebenen Ergebnisse zu erzielen – beispielsweise, wenn das Losrad in die Optimierung der Synchronisierung einbezogen wird (Bild 21). Konzepte, die über die bisher im Markt anzutreffenden hinausgehen, erfordern jedoch neue Lösungen für die Lager und Zahnräder. Deshalb bezieht die Weiterentwicklung der Synchronisierungssysteme die im Unternehmen gebündelte Kompetenz auf dem Gebiet der Verzahnungstechnik und Lagerung verstärkt mit ein.