

# 13

## Innovative Technologien für Getriebesteuerungen

Schlüssel zum Produkterfolg

Rudolf Stark  
Bernhard Schuch  
Continental AG

## Einleitung

Automatikgetriebe erlangen eine immer größere Marktbedeutung, da neben der ursprünglichen Motivation nach mehr Komfort für den Fahrer heute zusätzlich die effektive Treibstoffeinsparung wichtig ist. Continental bietet seit 1982 Getriebesteuergeräte an (Bild 1), angefangen von Steuergeräten für einfache 3-Gang Stufenautomaten (Kunde Renault) über erste Continental Allradanwendungen 1985 (Ford), Allradanwendungen 1985 (Ford), CVT Anwendungen erstmals 1999 (Audi Multitronic), erste LKW-Anwendungen in 2000 (Eaton) bis zu den heute weit verbreiteten Doppelkupplungsgetrieben. Heute ist der Continental Geschäftsbereich Transmission weltweiter Technologieführer im Markt der Getriebesteuerungen für das gesamte Spektrum von Automatikgetrieben.

## Continental bietet das komplette Produktportfolio

Die Produkte des Continental Geschäftsbereichs Transmission sind ausschließlich kundenspezifische Lösungen. Grundsätzlich wird je nach Einbausituation unterschieden zwischen Wegbau-Steuergeräten („Stand-alone“-Lösungen), Anbau-Steuergeräten

(„Attached-to“-Steuergeräte) und integrierten Steuergeräten. Wegbau-Steuergeräte (externe Lösungen) beinhalten in der Regel keine Sensoren. Der Einbauort ist hier nicht am oder im Getriebe. Diese externen Lösungen, die als separate Elektronikbox unter relativ moderaten Umgebungsbedingungen (Temperatur, Vibration) an dazu geeigneten Einbau-räumen im Fahrzeug untergebracht werden, sind meistens Leiterplattenbaugruppen: Bauteile mit eigenem Gehäuse sind aufgelötet auf Leiterplatten für Einsatztemperaturen nicht größer als +125 °C. Die „Attached-to“-Steuergeräte sind am Getriebe angebaut und sehen daher vergleichbare Vibrationsbelastungen wie das Getriebe und erhöhte Temperaturen im Vergleich zu den Wegbau-Steuergeräten. Auch bei den Anbau-Steuergeräten werden Sensorik und Aktoren im Regelfall über einen Kabelbaum am Steuergerät angeschlossen. Die höchste Integrationsstufe stellen die Mechatroniklösungen integrierter Getriebesteuerungen dar. In diesem Fall werden Mechanik, Hydraulik, Elektronik mit Sensoren und Aktoren zu einer Einheit integriert. Die Vorteile ergeben sich hier durch reduzierte System- und Montagekosten, durch die vollständige Testmöglichkeit der Getriebeeinheit (Getriebe und Steuergerät) vor Verbau bereits im Getriebewerk und eine erhöhte Systemzuverlässigkeit durch Verringerung von Kabeln bzw. Kontakt- und Steckübergängen. Bei in-

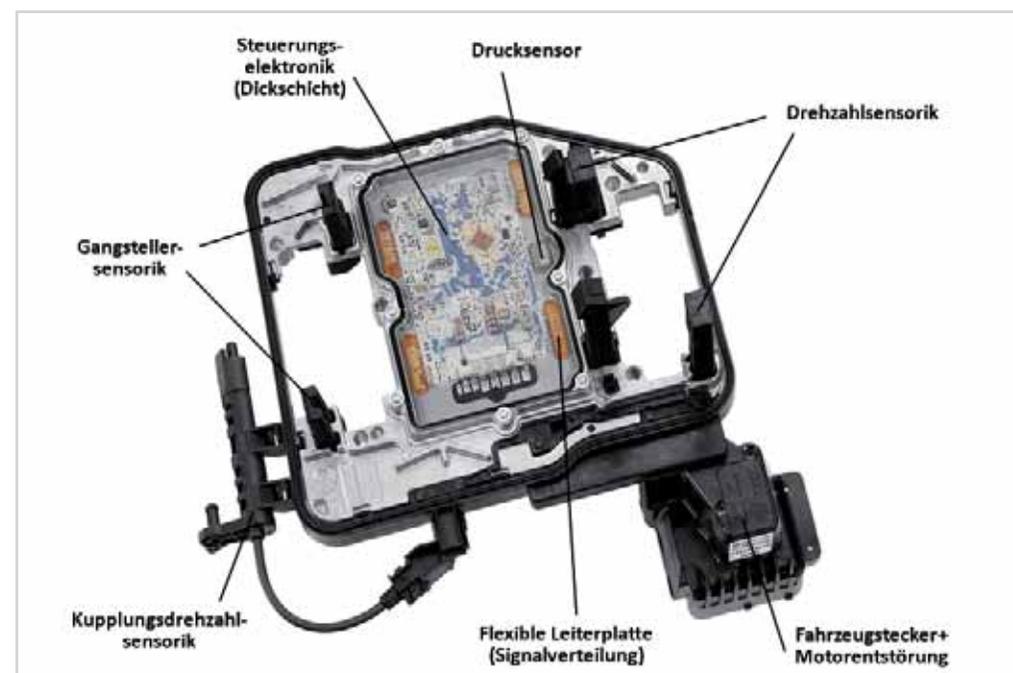


Bild 2 Getriebesteuerung DQ200 für Kunde Volkswagen

tegrierten Steuergeräten steigen die Anforderungen an Vibrationsbeständigkeit und vor allem an Temperatureinsatzfähigkeit noch weiter an. Auf dem Schaltungsträger herrschen punktuell Temperaturen bis +180 °C. Dazu müssen spezielle Schaltungsträger, in der Regel auf Basis von Keramik, eingesetzt werden. Die Halbleiterbauteile selbst werden ohne eigenes Gehäuse als Chip direkt auf solche Schaltungsträger elektrisch leitfähig geklebt. Gehäusete Bauteile können hier in der Regel nicht eingesetzt werden, da die erforderliche Wärmeabfuhr und die Vibrationsfestigkeit nicht mehr gegeben sind. Durch den direkten Einbau im Getriebe ergeben sich zusätzlich erhöhte Anforderungen an die Dichtheit und die Medienbeständigkeit der Materialien. Insgesamt werden mit den aufgezählten Lösungsansätzen folgende Applikationen abgedeckt:

- Stufenautomaten
- CVT (Continuous Variable Transmission)
- DCT (Double Clutch Transmission)
- AMT (Automatic Manual Transmission)
- Shift-by-wire-Funktionen

Als herausragenden Vorteil kann Continental hier verbuchen, nicht nur Steuergeräte als Hard-

ware zu realisieren, sondern seinen Kunden die komplette Lowlevel- und Funktionssoftware für alle genannten Applikationsfelder anzubieten. Das ist ein weiteres entscheidendes Alleinstellungsmerkmal im Vergleich zu Wettbewerbern. Durch die Akquisition der ehemaligen Wettbewerber Motorola Automotive und SiemensVDO hat der Geschäftsbereich Transmission eine herausragende Marktposition erhalten: Continental ist unangefochtener Marktführer mit großem Abstand vor seinen Wettbewerbern. Bei Steuerungen für Doppelkupplungsgetriebe deckt Continental einen Großteil des weltweiten Marktes ab. Als Beispiel einer integrierten Getriebesteuerung kann das Produkt DQ200 herangezogen werden, eine direkt im Getriebe eingebaute Steuerung für das 7-Gang-Trocken-Doppelkupplungsgetriebe des Kunden VW (Bild 2). Es wird durch einen 32-Bit-Mikrocontroller gesteuert. Im Steuergerät sind alle Getriebesensoren (z. B. für Temperatur, Drehzahl, Wegerkennung) integriert. Es arbeitet im Einsatztemperaturbereich von -40 bis +140 °C. Als Aktoren werden 8 Ventile sowie ein bürstenlos angeregter Elektromotor für eine Ölpumpe angesteuert. Sämtliche Verbindungen nach außen sind in einem 11-poligen Stecker zusammengefasst.

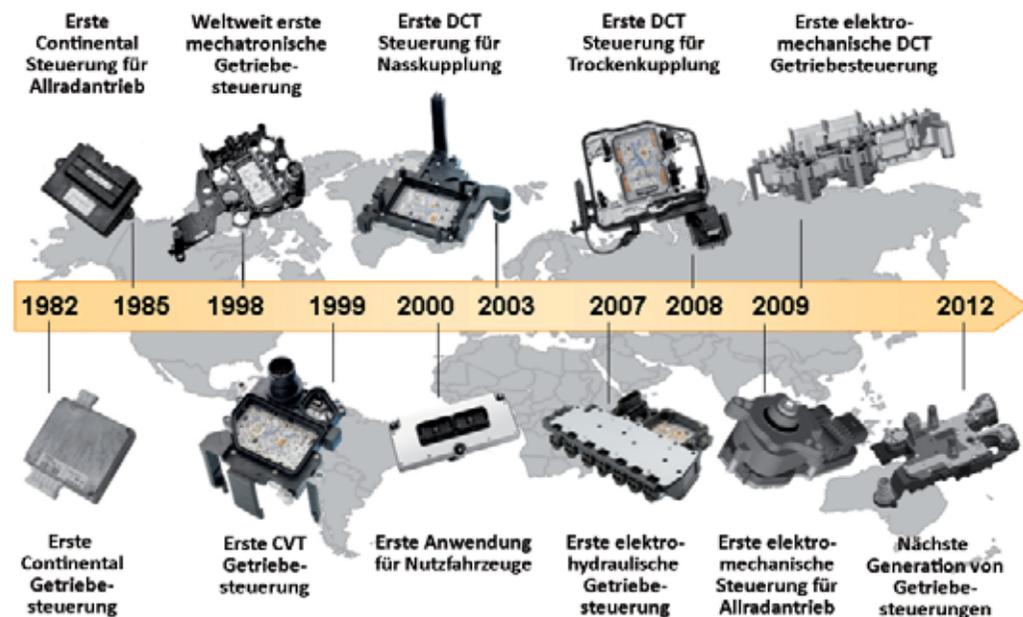


Bild 1 Historie der Continental Getriebesteuerungen

# Plattformen und Schlüsseltechnologien

## Mechanische Plattformen

Zur Realisierung der Getriebesteuerungen verwendet Continental im Wesentlichen drei mechanische Plattformen (Bild 3), eine Plattform auf Stanzgitter-Basis und zwei Plattformen unter Verwendung von flexiblen Leiterplatten zur Anbindung von Sensoren und Aktoren. Bei allen Grundaufbauten wird die Schaltung auf einem keramischen Schaltungsträger realisiert. Für eine optimierte Wärmeabfuhr ist der Schaltungsträger direkt auf eine metallische Grundplatte geklebt. Der wesentliche Unterschied der Plattformen besteht in der Anbindung der Sensoren und Ventile an den Hauptschaltungsträger. Bei der Stanzgitterlösung werden die Signale und Ströme über metallische Stanzgitter geleitet. Das hat technische Vorteile z. B. bei der Strombelastbarkeit, aber auch Nachteile hinsichtlich Flexibilität und Änderungsmöglichkeiten. Bezüglich Änderungsmöglichkeiten haben flexible Leiterplatten (FPC = Flexible Printed Circuit) als Zwischenverbinder auf der Basis von Polyimid ihre Vorteile. Ändert sich die Position eines Sensormoduls muss nur die dazugehörige flexible Leiterplatte geän-

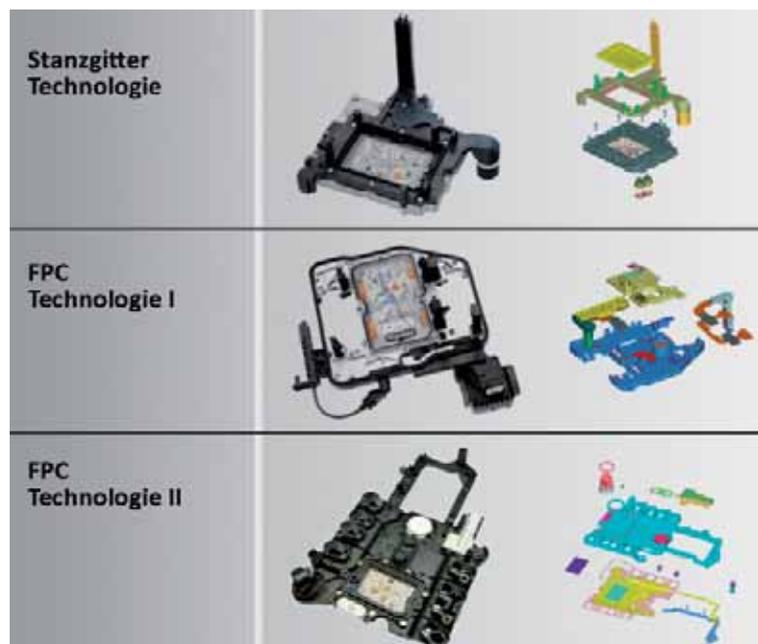


Bild 3 Mechanik-Plattformen zur Realisierung von integrierten Getriebesteuerungen

dert werden. Das Hauptgehäuse kann dabei unverändert bleiben. Die beiden FPC-Plattformen unterscheiden sich dadurch, dass im ersten Fall mehrere einzelne Flexschaltungen verwendet werden, im zweiten Fall nur eine gemeinsame Flexschaltung. Konkrete Kundenprojekte werden je nach spezifischer Anforderung mittels einer dieser Lösungen oder auch einer Kombination davon realisiert.

## Schaltungsträgerplattformen

Die Auswahl des richtigen Schaltungsträgers ist ein wesentliches Schlüsselement für den Produkterfolg. Die Funktionalität des Steuergerätes wird auf einem oder mehreren Schaltungsträgern in Form der montierten Bauteile, ihrer Verdrahtung und Verbindungstechnik zueinander realisiert. Der Schaltungsträger beeinflusst maßgeblich die Größe der Steuergeräte sowie deren elektrische Eigenschaften und deren Kosten. Bei den Schaltungsträgerplattformen wird unterschieden zwischen organischen Schaltungsträgern (Leiterplatten) und keramischen Schaltungsträgern.

## Leiterplattentechnik

Leiterplattenlösungen werden sowohl für Wegbau-Steuergeräte als auch zum Teil für Anbau-Steuergeräte eingesetzt. Dabei kann Continental auf die ganze technische Vielfalt der starren, flexiblen und starr-flexiblen Leiterplattentechnik auf dem Markt zurückgreifen. Typische Einsatztemperaturen liegen zwischen -40 und +125 °C. Im Vordergrund stehen Standard-Leiterplatten (Multilayer zwischen vier und acht Lagen), wie sie auch bei anderen Kfz-Elektronikprodukten eingesetzt werden. Zur Anwendung kommen aber auch spezielle, eigene Lösungen für höhere Einsatztemperaturen bis ca. +140 °C oder besonders hohe Verdrahtungsdichten. Klares Kennzeichen solcher Lösungen sind gehäuste Bauteile, die mittels geeigneter Löttechniken kontaktiert werden.

## Keramische Schaltungsträger

Bei integrierten Steuergeräten können lokal am Bauteil bzw. auf dem Schaltungsträger Temperaturen von weit über +150 °C auftreten, kombiniert mit Vibrationsbelastungen bis zu 50 g. Diese Belastungen sind für die meisten gehäusten Halbleiterbauteile viel zu hoch. Deshalb kommen Aufbau- und Umlösungen mit keramischen Schaltungsträgern und ungehäusten Halbleiterbauteilen zum Einsatz. Continental hat, im Gegensatz zu den Wettbewerbern, das komplette Knowhow, die Serienerfahrung und den Zugriff auf alle drei technisch und ökonomisch interessanten Keramiktechnologien zur Realisierung von Getriebesteuerungen (Bild 4):

1. Dickschichtschaltungen
2. keramische Mehrlagenschaltungen mit der Bezeichnung LTCC (Low Temperature Cofired Ceramic)
3. Leistungssubstrate mit der Bezeichnung DCB (Direct Copper Bonding)

Jede Keramiksubstratetechnik hat spezifische Vor- und Nachteile hinsichtlich der Implementierung digitaler, analoger und leistungsbehafteter Schaltungsbauteile. Da die Kundenanforderungen sich von Produkt zu Produkt unterscheiden wird die Auswahl der produktspezifisch optimalen Schaltungsträgerlösung im jeweiligen Einzelfall sehr wichtig. Mit der Verfügbarkeit und Serienerfahrung in allen Technologien kann Continental jede spezielle Kundenanforderung mit optimierter Substratetechnologie abdecken. Die Kunden erhalten so die jeweils beste technische Lösung.



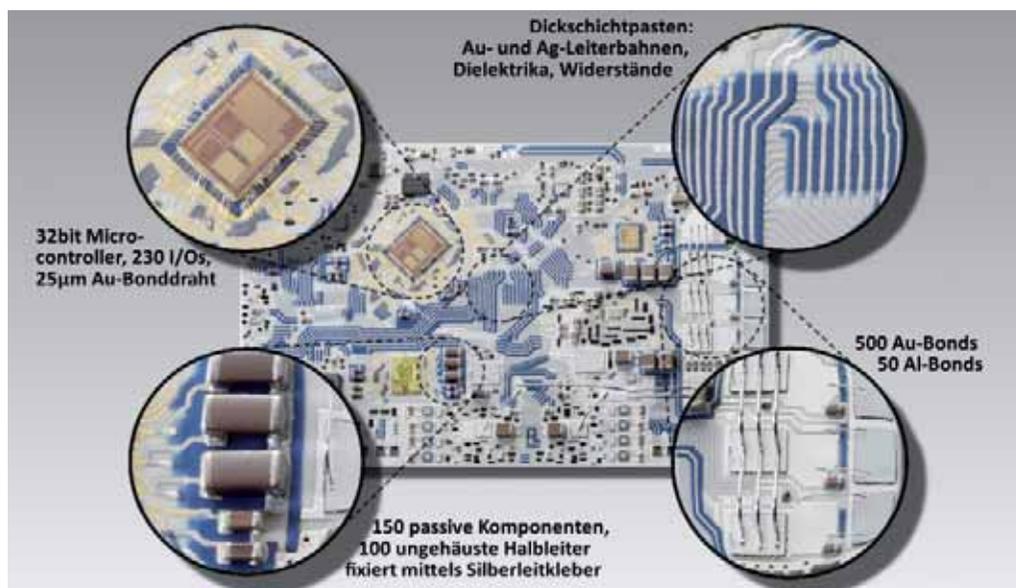
Bild 4 Plattform der verfügbaren keramischen Schaltungsträger-Technologien

## Integrierte Getriebesteuerung mit Continental Dickschichtsubstratetechnologie

Schaltungsträger in LTCC- und DCB-Technologie werden von externen Lieferanten bezogen. Im Gegensatz dazu entwickelt und produziert Continental Dickschichtsubstrate seit 1972 im eigenen Hause und ist dabei führend auf dem Gebiet komplexer Dickschichtschaltungen. Durch konsequente Weiterentwicklung der hauseigenen Technologie sowie Entwicklung innovativer Lösungen können bis heute die Erfordernisse an Getriebesteuerungen erfüllt werden. Während die Hauptanwender von Dickschichttechnik (z. B. Hersteller von Sensormodulen) vorwiegend analoge Schaltungstechnik in ihren Produkten umsetzen, musste Continental die Technologie zur Verdrahtung digitaler Schaltungen selbst weiterentwickeln. Zum besseren Verständnis der technischen Lösungen auf der Schaltungsträgerseite ist in Bild 5 als Beispiel für eine integrierte Getriebesteuerung die Dickschichtschaltung des Produktes DQ200 dargestellt. Ausgangsprodukt ist eine Aluminiumoxidkeramik (Dicke ca. 0,6 mm), auf der mittels Siebdruckverfahren Leiterzüge, Widerstände und Dielektrika aufgebracht und eingebrannt werden. Widerstände können in der Toleranz sehr genau per Laserschnitt getrimmt werden. Durch Abtragen von Widerstandsmaterial (Einschnitte in die Schicht) mit einem fokussierten Laserstrahl wird der Querschnitt des Widerstands verringert oder dessen wirksame Länge vergrößert. Dadurch erhöht sich der elektrische Widerstand. Nach Fertigstellung des Schaltungsträgers

erfolgt das Aufbringen eines hoch silberhaltigen Leitklebers im Schablonendruck, sowie die Bauteilbestückung mit Halbleiter-Chips als sogenannte „Bare dies“ (Bauteile ohne eigenes Gehäuse) und mit passiven Bauteilen wie Kondensatoren und Spulen.

Abschließend werden die Signalanschlüsse auf den Chips mit den Anschlusspunkten des Substrates mit Gold-



**Bild 5** Schaltungsträger auf Basis Dickschichttechnologie mit bestückten Bauteilen und elektrischen Verbindungen mittels Drahtbondverbindungen (Produkt DQ200)

bondverbindungen (Durchmesser 25 - 50 µm) und die Leistungsbauteile mit Al-Dickdrahtbondverbindungen (Durchmesser 125 - 400 µm je nach Stromstärke) kontaktiert.

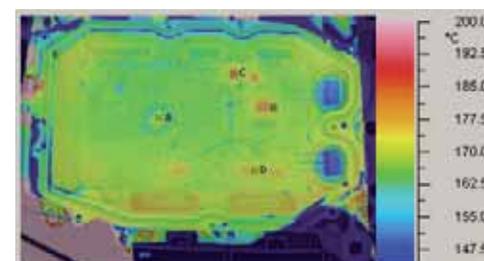
## Anforderungen und Treiber zu Technologien für Getriebe-steuerungen

### Kundendominierte Anforderungen und Treiber

Motiviert durch permanent steigende Anforderungen an die Leistungsfähigkeit treibt Continental neue Technologien voran. Ziel dabei ist es, mehr Funktionen unterzubringen bei gleichzeitig reduziertem Volumen und Gewicht und das bei gleichbleibend hoher Qualität und Zuverlässigkeit. Durch neue Funktionen wie der Ansteuerung von Pumpen und Motoren steigen die zu übertragenden Ströme bis zu 60 A und die Verlustleistungen dementsprechend an. Das wirkt sich auf die Schaltungs-

trägertechnologie aus, aber auch auf die Entwärmung der Schaltung. Höhere Betriebsfrequenzen bis 200 MHz und mehr erfordern aufwändigere EMV-Lösungen (elektromagnetische Verträglichkeit). Stellvertretend für derartige Kundenanforderungen an neue Getriebesteuerungen wird im Folgenden auf die geforderten Temperaturprofile eingegangen.

Zunehmend kritisch sind steigende Lebensdaueranforderungen bei ebenfalls steigenden Einsatztemperaturen. Heutige Lebensdauerziele von in Serie befindlichen Produkten liegen bei PKWs im Bereich von 6000 - 8000 h, bei LKWs bei bis zu 42 000 h. In den Lastenheften werden diese Anforderungen in Form von Lastprofilen/Temperaturprofilen („Mission profiles“) fixiert mit Angaben zur Umgebungstemperatur und den jeweiligen prozentualen Zeitanteilen (s. Tabelle). Die tatsächlich im Steuergerät herrschenden Temperaturen sind aufgrund der Verlustleistung der Bauteile insbesondere bei Leistungsendstufen punktuell auf den Schaltungsträgern deutlich höher und betragen bis zu 180 °C. Bei der Entwicklung entsprechender Steuergeräte muss Continental Materialien auswählen und Aufbaukonzepte umsetzen, die den Spitzentemperaturen standhalten. Gleiches gilt für die daraus abgeleiteten deutlich höheren Zuverlässigkeitsanforderungen.



**Bild 6** Thermographie der Schaltung mit Temperaturspitzen bis +180 °C

Temperaturprofil einer PKW-Getriebeanwendung (typische Angaben)

Umgebungs- temperatur in °C	Zeit in % von Gesamtdauer	Dauer in h
135 ... 150	1 %	70
120 ... 135	15 %	1050
20 ... 120	64 %	4480
-20 ... 20	10 %	700
-40 ... -20	10 %	700

Die Tabelle oben zeigt typische Werte einer von Continental entwickelten Getriebesteuerung für eine PKW-Anwendung mit Umgebungstemperaturen bis +150 °C. Die maximale Bauteiltemperatur liegt wegen der zusätzlichen Verlustwärme der Bauteile zum Teil deutlich höher, wie das zugehörige Thermographiebild zeigt (Bild 6).

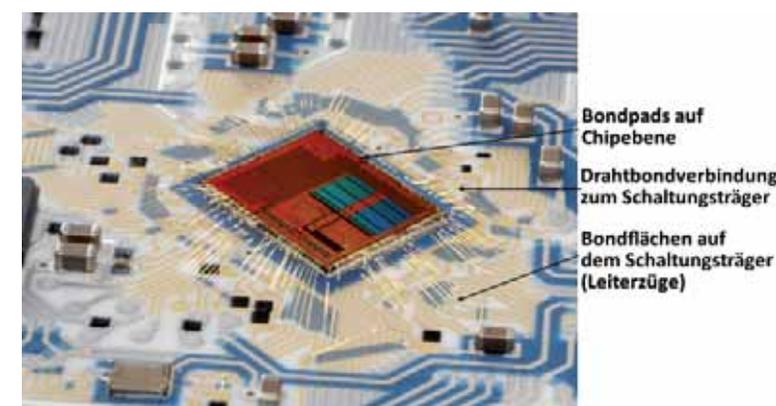
Die hohen Temperaturen sind eine große Herausforderung für Continental. Bisher eingesetzte Lösungen zum Aufbau von Getriebesteuerungen stoßen an physikalische und/oder chemische Materialgrenzen. Oft sind die Materialeigenschaften bei höheren Einsatztemperaturen nicht genau bekannt und müssen für ihre Tauglichkeit im erweiterten Temperaturbereich erst neu erprobt und qualifiziert werden. Ganz sicher sind keine ausreichenden Daten für Materialien vorhanden, die dem Einfluss von Getriebeölen ausgesetzt sind, z. B. Dichtwerkstoffe oder Gehäusematerialien.

en. Die Getriebeöle unterscheiden sich von Kunde zu Kunde und von Produkt zu Produkt. Es gibt auch Änderungen des Getriebeöles während der Laufzeit der entsprechenden Getriebesteuerung, so dass bei allen Änderungen die Materialeigenschaften neu zu prüfen sind. Die Zuverlässigkeitsgrenzen sind neu zu ermitteln und abzusichern. Da es sich meist um ganz spezifische, kombinierte Belastungen der Elektronik im Feld handelt (Temperatur + Vibration + Einfluss von Ölen +...) ist das Wissen über relevante Fehlermechanismen essentiell für Continental.

Falls mit verfügbaren Material- und Aufbau Lösungen ein neues Produkt nicht darstellbar ist, sind alternative Lösungen zu entwickeln. Solche Innovationen auf dem Gebiet Materialien und Prozesse werden im nächsten Abschnitt beispielhaft dargestellt.

## Herausforderungen und Treiber durch neue Bauteilformen

Wesentliche Treiber für neue Aufbaukonzepte resultieren aus der Vielfalt neuer Bauteilformen. Die funktionalen Anforderungen an die Getriebesteuerungen werden oft in Form von höher integrierten Siliziumchips verwirklicht. Bedingt durch Technologieschritte bei der Halbleitertechnologie geschieht dies durch verkleinerte Strukturen auf den Halbleitern. Solche Schritte zur Verkleinerung der Chipfläche machen die Halbleiterhersteller auch von sich aus, um die Anzahl der Chips pro Wafer zu steigern und so die Kosten pro Chip zu senken. Als Konsequenz daraus erhält Continental in der Regel beim Wechsel zur nächsten Halblei-



**Bild 7** Fotoausschnitt einer Getriebesteuerung mit aufgebautem 32-Bit-Mikrocontroller-Chip

tergeneration Siliziumchips mit deutlich mehr Anschlüssen bei verkleinerten Abmessungen der Anschlussflächen. Das hat drastische Auswirkung auf Continental als Verarbeiter solcher Siliziumchips: Bild 7 erläutert diese Treiberfunktion neuer Bauteile am Beispiel des 32-Bit-Mikrocontrollers als zentralen Steuerbaustein der Getriebesteuerung.

32-Bit-Mikrocontroller-Chips für heute produzierte Getriebesteuerungen haben ca. 200 - 250 Anschlüsse auf dem Chip im jeweiligen Abstand („pitch“) zueinander von 80  $\mu\text{m}$  und mit Anschlussflächen von 65 x 65  $\mu\text{m}^2$ . Die entsprechenden Mikrocontroller für Entwicklungsprodukte haben bereits 300 - 400 Anschlüsse im reduzierten Abstand von jetzt 60  $\mu\text{m}$  und Anschlussflächen von nur noch 52 x 52  $\mu\text{m}^2$ . Vergleichbare Verkleinerungen der Bauteilegrößen gibt es natürlich auch für die passiven Bauteile.

Continental muss permanent den Auswirkungen neuer Bauteillösungen folgen und entsprechende Weiterentwicklungen der Aufbautechnologie vornehmen, um Produktlösungen anbieten zu können: Am Beispiel des o. g. neuen Mikrocontrollerchips waren bei der Einführung folgende Anpassungen notwendig.

- Die Verbindung der verkleinerten Chipanschlüsse mit dem Schaltungsträger mittels Drahtbonden konnte zu Entwicklungsbeginn der Steuerung nicht mehr mit der damaligen Drahtstärke von 25  $\mu\text{m}$  realisiert werden. Eine reduzierte Drahtstärke wurde notwendig; eine neue Material- und Prozessqualifikation war durchzuführen.
- Alle notwendigen Anschlüsse mussten vom Chip auf den Schaltungsträger heruntergebondet werden. Für den dünneren Draht war aber die zulässige Drahtlänge aus Stabilitätsgründen deutlich verkürzt. Als Konsequenz daraus waren auch die Abstände der Bondflächen für die Bonddrähte auf dem Substrat und Leiterzüge zu verkleinern (beim gezeigten Beispiel 150  $\mu\text{m}$ ). Es war eine Weiterentwicklung der Substrattechnologie erforderlich, da diese neue Anforderung die technischen Möglichkeiten der bisherigen Siebdrucktechnik für feinere Leiterzüge überstieg.
- Die Keramiksubstrate in den integrierten Getriebesteuerungen von Continental sind generell mittels Wärmeleitkleber auf der Gehäuseplatte montiert. Die Höherintegration auf Silizium-

chipebene führt in der Regel auch zu einer Erhöhung der Verlustleistungsdichte. Um trotzdem den Chip ausreichend zu erwärmen waren konkrete Verbesserungen beim Wärmeleitkleber notwendig (Material mit größerer Wärmeleitfähigkeit bzw. verringerte Schichtdicke des Wärmeleitklebers).

Diese Aufzählung notwendiger Weiterentwicklungen in der Aufbautechnik am Beispiel des Mikrocontrollerchips auf Dickschichtsubstrat unterstreicht die Notwendigkeit, auch neuartige Lösungswege im Bereich Schaltungsträgertechnologien und Verbindungstechniken zu gehen.

## Continental Innovationen sichern technische Lösungen und Wettbewerbsfähigkeit

Die herausragende Marktposition von Continental in bestimmten Produktsegmenten (z. B. DCT) muss auch bei gesteigerten Produkthanforderungen gehalten werden – Wettbewerbsvorteile durch weiterentwickelte Technologien sind dazu eine Lösung. Als Beispiele für aktuelle Innovationen auf dem Gebiet neuer Materialien können folgende Lösungen genannt werden:

- Neue, hochoberflächstabile Gehäusematerialien
- Spezielle Metallisierungen auf Siliziumchips für hochzuverlässige Drahtbondverbindungen (damit lassen sich Hochtemperaturbelastungen von mind. 10 000 h bei +175 °C überstehen)
- Verbesserte thermische Wärmeleitmaterialien zur Wärmeabfuhr vom Bauteil bis zur Gehäusegrundplatte
- Verbesserte Materialien für elektrische Anbindung von Bauteilen auf den Schaltungsträgern, z. B. Leitklebmaterialien und hochoberflächstabile Drahtbondmaterialien
- Qualifikation neuer Materialien generell für Einsatztemperaturen bis zu +175 °C



**Bild 8** Testsubstrat zu Leitklebverbindungen neuer Bauteilformen für den Einsatz in Getriebesteuerungen (Ausschnitt)

Solche neuen Materiallösungen werden standardmäßig in der Entwicklung im Continental Geschäftsbereich Transmission mit geeigneten Testaufbauten untersucht und qualifiziert. Als Beispiel dafür sind in Bild 8 Testaufbauten dargestellt zur Qualifikation neuer Leitklebmaterialien zusammen mit neuen Bauteilegehäusetypen. Ziel ist es, neue Bauteile selbst und ihre Leitklebverbindungsstellen für produktrelevante Temperaturanforderungen (bis +200 °C) und sehr hohe Vibrationsanforderungen abzusichern.

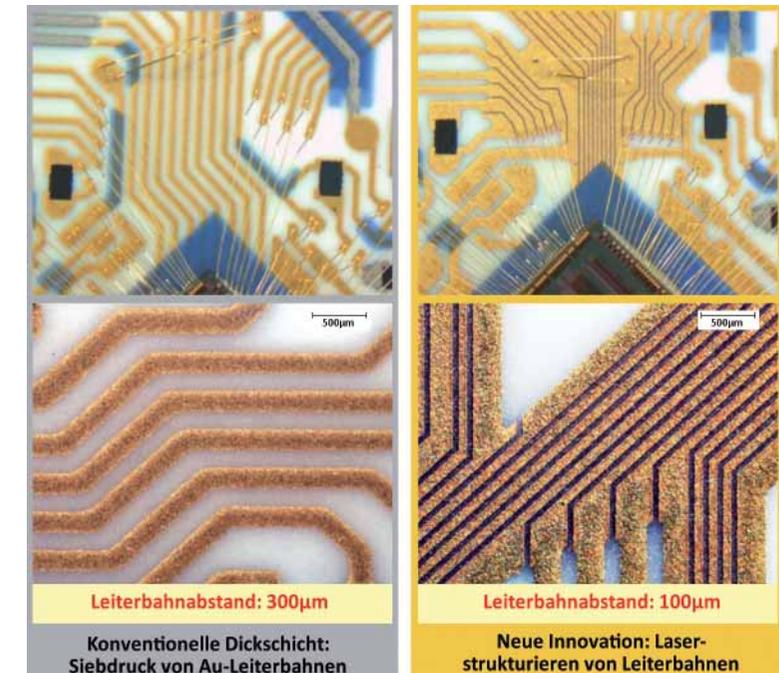
Sämtliche Materialentwicklungen erfordern eine begleitende Charakterisierung der neuen Materialien durch passende Analysemethoden und -einrichtungen. Der Continental Geschäftsbereich Transmission hat die eigene Analyse- und Testkompetenz konsequent ausgebaut, mit dem Fokus auf thermische und chemische Analysen, und spezifische Testmethoden angepasst an die Erfordernisse für Getriebe-schaltungen.

Als Beispiel für Innovationen auf dem Gebiet der Schaltungsträger-

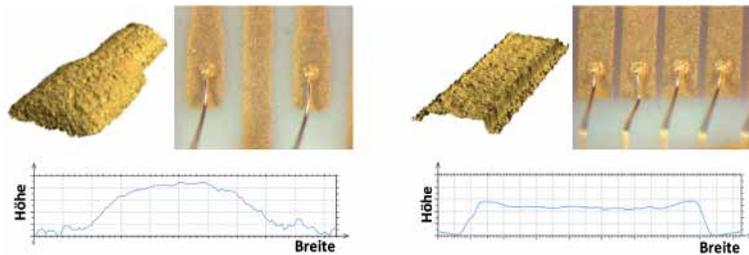
technologie und der Verbindungstechnik werden im Folgenden neue Entwicklungsergebnisse zur Miniaturisierung von Dickschichtschaltungen dargestellt.

Wie bereits erläutert, erfordern neue, hochpolige Halbleiterbauteile angepasste Leiterbahnbreiten und -abstände auf dem Schaltungsträger. Durch das verfahrensbedingte Fließen der Leiterpasten beim Einbrennen sind die erreichbaren Strukturbreiten begrenzt. Unter Großserienbedingungen sind mit der Goldpaste minimale Leiterbreiten von 150  $\mu\text{m}$  und Abstände von 100  $\mu\text{m}$  realisierbar. Diese Struktur ist zu grob für zukünftige hochpolige Chips. Bei größerem Verdrahtungsbedarf müssen zusätzliche Dielektrikumlagen und eine 2. Metallisierungsebene eingeführt werden.

- Die neue Lösung „Laserstrukturierung“ von Continental vermeidet diese verfahrensbedingten Grenzen. Statt Leiterzüge per Siebdruck direkt zu drucken, werden diese Bereiche zuerst als zusammenhängende Fläche gedruckt. Dann werden per Laser die Leiterzugabstände einge-



**Bild 9** Vergleich zwischen konventioneller Dickschichttechnik (links) mit Goldleiterzügen per Siebdrucktechnik und neuem Verfahren der Laserstrukturierung von Goldleiterzügen (rechts)



**Bild 10** Qualitätsverbesserung für den Golddrahtprozess durch Laserstrukturierung  
Links: Ebenheit konventionell gedruckter Bondpads auf Keramiksubstrat  
Rechts: Ebenheit von Bondpads nach dem Prozess Laserstrukturieren

schnitten und abschließend die Paste eingebrannt. Das Ergebnis hat im wahrsten Sinne des Wortes „einschneidende“ Vorteile:

- Verfahrensbedingt sind sehr geringe Leiterbahnabstände von 35 - 40  $\mu\text{m}$  realisierbar, also Abstände, die mit reiner Siebdrucktechnik auf einem Keramiksubstrat sonst nicht möglich sind. In Großserie sind mit Laserstrukturierung heute Leiterzugpitches (= Leiterzugabstand plus -breite) von 100  $\mu\text{m}$  zu realisieren (im Vergleich zu 250 - 300  $\mu\text{m}$  für bisherigen Siebdruck von Goldleiterbahnen).
- Die Verringerung der Abstände liefert insgesamt eine Reduktion der benötigten Fläche für Leiterbahnen auf dem Dickschichtsubstrat. Die Keramiksubstrate können insgesamt kleiner ausfallen.
- Durch Verringerung der Abstände kann eine dichtere Verdrahtung realisiert werden, meist unter Wegfall von zusätzlichen Metallisierungsebenen und entsprechenden Dielektrika. Das spart Material, Fertigungsschritte und insgesamt Kosten.

Gleichermaßen, wie die Leiterzugabstände, verringern sich die Abstände der Bondflächen für Golddrahtverbindungen. Es können geringere Bondabstände dargestellt werden als bisher und damit auch höherpolige Halbleiterchips verwendet werden.

Im Vergleich zur bisherigen Dickschichttechnik können jetzt die Bondbereiche nicht nur sehr viel gleichmäßiger und kürzer angeordnet werden. Da die Bondflächen bei der Laserstrukturierung aus einer größeren Leiterflächenebene herausgeschnitten werden, sind die Bondflächen auf dem Substrat sehr viel ebener als jene, die mit Siebdrucktechnik dargestellt werden (Bild 10). Daraus resultiert eine deutliche Steigerung der Zuverlässigkeit solcher Drahtbondverbindungen.

## Wettbewerbsvorteil durch effektive Zusammenarbeit in Technologienetzwerken

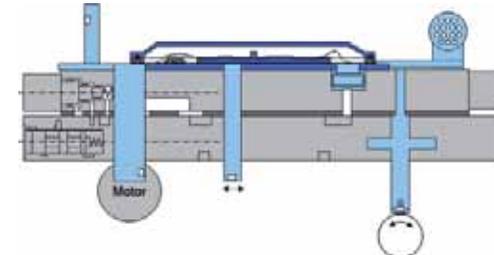
Innovationen in der Aufbautechnik von Steuergeräten ergeben sich nicht allein durch eigene Ideenfindung während der Produktentwicklung. Der Continental Geschäftsbereich Transmission profitiert zusätzlich von einem aktiven Technologienetzwerk zu Forschungsinstituten, Universitäten, Lieferanten und anderen externen und internen Stellen. Die gemeinsamen Forschungs- und Förderprojekte – nicht selten unter Mitwirkung unserer Kunden und sogar unserer Wettbewerber – ermöglichen den Einblick in andere Industrieenanwendungen und liefern Innovationsimpulse von außen. Aktuelle Themenbeispiele dafür sind verbesserte Aufbaukonzepte für Mikroprozessoren oder auch neue Lotmaterialien für höhere Lebensdauer.

Das Thema „Innovative Technologien“ hat für Continental einen sehr hohen Stellenwert: Die eigene Basisentwicklung/Vorausentwicklung von Technologien ist notwendig, um für die nächste Generation von Steuergeräten einen technischen Vorsprung zu erarbeiten und dadurch die Wettbewerbsfähigkeit der Produkte von morgen abzusichern. Dieses Ziel wird unterstützt durch die Zusammenarbeit in konzerninternen Technologienetzwerken z. B. zu Designrichtlinien, neuen Materialien oder Fertigungsprozessen.

## Neue Produkte durch Systemintegration

Die Automobilkunden von Continental und Schaeffler streben eine höhere Integration an zwischen Getriebeelektronik, Sensormodulen und Hydraulikeinheiten.

Zusammenfassend hat die Innovation der Laserstrukturierung von Leiterzügen die Anwendbarkeit der haus-eigenen Dickschichtschaltungsträger für die steigende Schaltungskomplexität und -dichte der nächsten Jahre gesichert.



**Bild 11** Schematische Darstellung für höher integrierte Systeme und Produkte

ten. Das spart Einbauraum, zusätzliche Verbindungen und damit auch Kosten und erhöht die Zuverlässigkeit. Bild 11 zeigt, welche Produktebenen Continental bisher abdeckt und wie durch weitere Integrations-schritte neue Produkte entstehen.

Der dunkelblaue Bereich stellt schematisch den Umfang der reinen Getriebeelektronik ohne Sensorik dar, wie sie bei Wegbau-Steuergeräten und auch Anbau-Lösungen als Produkte produziert und den Kunden angeboten wird. Durch Einbeziehung der Sensormodule (hellblau gekennzeichnet) vergrößert sich der Funktionsumfang zur integrierten Getriebebesteuerung – eine Produktform, wie sie heute standardmäßig in modernen Automatikgetrieben (Stufenautomaten, Doppelkupplungsgetriebe und CVT) zu finden ist.

Aktuelle Produktentwicklungen und ebenso neue Produktanfragen gehen noch einen Schritt weiter und beziehen die Ansteuerung von Pumpen und Motoren mit ein. Typische Nennleistungen dafür liegen im Bereich von 150 - 500 W. Diese zusätzlichen Funktionen im Steuergerät mit unterzubringen ist schon heute eine technische Herausforderung vor allem wegen der hohen Ströme und des Zusatzaufwands für Entstörung. Fasst man schließlich noch die Ventile selbst und die Hydraulikeinheiten zusammen (grau gekennzeichnet), so entstehen noch höher integrierte Einheiten bzw. Produkte für Continental und Schaeffler. Das schließt wiederum neue technische Fragestellungen ein und erfordert neue Lösungen für Werkstoffe und Aufbautechnik solcher Produkte.

## Neue Lösungsansätze in der Aufbau- und Verbindungstechnik

Die Automobilelektronik hat am gesamten Elektronikmarkt einen Anteil von 5 bis 7 % des Umsatzes.

Wichtige Entwicklungstrends etwa in der Halbleitertechnik, der Gehäuse- und Bauteiltechnik, den Schaltungsträgertechnologien usw. werden durch andere Anwendungsfelder gesetzt (z. B. Telekommunikation, Industrie, Wehrtechnik).

Erfolgreiche Getriebesteuerungen der nächsten Generation erfordern daher von Continental, sowohl Trends in der gesamten Elektronikwelt zu erkennen, aufzunehmen als auch ihre Anwendbarkeit auf die spezifischen Erfordernisse für Getriebesteuerungen zu prüfen. Manchmal müssen bereits vorhandene Lösungen (nur noch) qualifiziert werden für die erhöhten Anforderungen im Kfz. Meistens sind jedoch umfangreiche Anpassungen notwendig (z. B. höhere Isolationsabstände, größere Leiterzüge für höhere Ströme, andere Basismaterialien ...) oder ganz eigene Lösungswege (wie am Beispiel der Laserstrukturierung an Dickschichtschaltungen gezeigt wurde).

Entwicklungsschwerpunkte zukünftiger Elektroniksysteme für Getriebesteuerungen sind:

- Mehr Funktionalität (in kleineren Einbauräumen)
- Systemintegration (Steuerelektronik, Aktorik, Sensorik, Mechanik)
- Miniaturisierung auf allen Ebenen (Bauteile, Schaltungsträger, Verbindungsstellen, Gesamtgerät)
- Kostenreduktion
- Robustheit (höhere Einsatztemperaturen, längere Lebensdauern, geringere Fehlerraten ...)

Bei vielen Kundenanfragen ist die Frage des Bauraumes für die Elektronik entscheidend, insbesondere bei integrierten Getriebesteuerungen. Stellvertretend für die genannten Themenschwerpunkte werden daher zukünftige Lösungsmöglichkeiten für die Miniaturisierung ungehäuster Halbleiterchips kurz dargestellt (Bild 12).

Bisherige Halbleiterchips werden mittels Leitleben und anschließendem Drahtbondprozess kontaktiert. Das Verfahren ist etabliert, benötigt aber den Zusatzbedarf an Drahtbondfläche außerhalb vom Chip abhängig von der Anzahl der Drahtbonds und der Bondreihen, die für diese Verbindungen notwendig sind. Continental arbeitet an Verfahren, um bis zu vier Drahtreihen mit einem Drahtdurchmesser von 23  $\mu\text{m}$  zu realisieren. Mit dieser Methode lassen sich Mikrocontroller-Chips mit bis zu 600 Anschlüssen unterbringen (Bild 12 links).

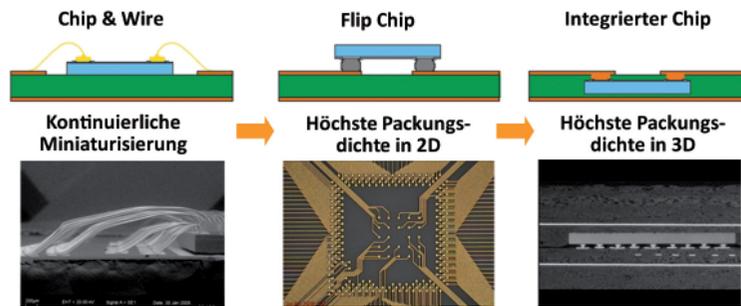


Bild 12 Neue Lösungskonzepte zur Miniaturisierung von Chipaufbauten

Die Größe der Getriebesteuerungen wird maßgeblich durch die notwendige Fläche des Schaltungsträgers bestimmt: Durch die Anzahl und Größe passiver Bauteile, die Anzahl der Chips, durch die Chipflächen selbst und die zusätzlich notwendigen Flächen für Drahtbondverbindungen und Anschlüsse auf dem Schaltungsträger. Der geringste Flächenbedarf für Chips in der Ebene des Schaltungsträgers (2D) entsteht, wenn Drahtbondverbindungen ganz vermieden werden und stattdessen die Chips mittels winziger Lotdepots (= Lotbumps) auf dem Anschlusspad des Schaltungsträgers aufgelötet werden (Bild 12 Mitte). Systembedingt setzt diese sogenannte Flipchip-Technik (FC) auf dem Schaltungsträger vergleichbare Leiterzugbreiten und -abstände voraus, wie auf dem Chip selbst. Zusätzlich ist die Fertigungstechnologie zur Bestückung und Prüfung sehr aufwändig, so dass FC-Technologien bis jetzt Nischencharakter haben. Continental arbeitet auch an diesem Thema. Es laufen dazu Technologieuntersuchungen zur Klärung, ob bzw. unter welchen Voraussetzungen Mikrocontroller für Getriebenanwendungen mittels Flipchip-Technik aufgebaut werden können (Bild-Mitte: Continental Testschaltung für Flipchip-Montage von Mikrocontrollern).

Die kleinste 2D-Lösung kann nur noch weiter im Aufbau miniaturisiert werden, indem die Montage nicht auf dem Schaltungsträger erfolgt, sondern im Schaltungsträger (3D).

Die Chips werden dabei mit unterschiedlichen Verfahren in die Schaltungsträger eingebettet. Diese neuen Konzepte, Fertigungstechnologie zur Bestückung und Prüfung unter der Bezeichnung „Chip embedding technologies“, beherrschen aktuell die Entwicklungsszene der Leiterplattentechnik für zukünftige Anwendungen außerhalb aber auch inner-

halb der Automobilelektronik. Vergleichbar mit laufenden Aktivitäten anderer Industriebereiche verfolgt Continental auch solche Lösungsansätze z. B. in Form von Forschungsprojekten. So leitet der Continental Geschäftsbereich Transmission aktuell das BMBF-Forschungsprojekt VISA (Vollintegrierte

leistungselektronische Systeme in der Automobilelektronik). Ziel des Projektes ist es, aktive Bauteile (z. B. Mikrocontroller-Chips für Getriebesteuerungen) und passive Bauteile (z. B. Widerstände) in Leiterplatten zu vergraben und ihre Einsatzfähigkeit für Getriebeanwendungen zu testen.

## Zusammenfassung

Für den Continental Geschäftsbereich Transmission sind innovative Technologien der wesentliche Schlüsselfaktor für den technischen und kommerziellen Erfolg sowie um die Wettbewerbsfähigkeit und die Marktposition zu erhalten und weiter auszubauen. Die Bedeutung dieser Themenfelder ist offensichtlich. Mit der richtigen Auswahl von Materialien und Werkstoffen und der Umsetzung neuer Aufbaukonzepte können künftige Getriebesteuerungen maßgeblich mitbestimmt werden. Dies betrifft kundenrelevante Eigenschaften wie Abmessung, Gewicht, Zuverlässigkeit, Qualität, Umweltfreundlichkeit und natürlich auch die Kosten.

Getriebesteuerungen sind kundenspezifische Gesamtlösungen. Jedes Produkt unterscheidet sich von anderen in wichtigen Punkten wie Funktionalität, Sensorik, Design, Anforderungen für Lebensdauer, Temperaturfestigkeit, Zuverlässigkeit, usw. Daher sind immer maßgeschneiderte Lösungen gefragt, um für jeden Kundenwunsch die optimale technische Lösung anbieten zu können und wettbewerbsführend zu sein. Continental entwickelt dazu eigenständige, großserientaugliche Konzepte wie am Beispiel der Dickschichttechnologie erläutert wurde.

Die Produktion der Getriebesteuerungen ist voll globalisiert: Die Fertigungen stehen in Europa, Asi-

en (China) und Amerika, also in Ländern, in denen die Fahrzeughersteller produzieren.

Das gesamte Themengebiet wird auch in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen. Für neue Produkte nur Materiallösungen aus bereits entwickelten Produkten vorzuhalten ist völlig unzureichend. Selbst für laufende Serienprodukte müssen immer wieder neue Materialanpassungen und -qualifikationen gemacht werden, etwa wenn vom Kunden das Getriebeöl geändert wird. Die weiter steigen-

den Kundenanforderungen nach höherer Einsatztemperatur und längeren Laufzeiten der Elektronik bei gleichzeitig gesteigerter Zuverlässigkeit erzwingen neue Anstrengungen zur Weiterentwicklung bekannter Materialien, Werkstoffe und Aufbaukonzepte sowie zur Untersuchung, Qualifikation und Einführung neuer Lösungen. Continental ist dazu hervorragend aufgestellt durch eigene Grundlagenentwicklungen, eine aktive Rolle in Forschungsprojekten und durch ein effektives Technologiennetzwerk nach innen und außen.