

3D-MID Komponente in einem Radarsensor zur adaptiven Geschwindigkeitsregelung

Christian Goth
Frank Wittwer
Michael Grätz
Uwe Rudy

Kurzfassung

Im Beitrag wird ein Radarsystem zur adaptiven Geschwindigkeitsregelung vorgestellt, das bei der automatischen Abstandsregelung unterstützt. Der Fahrer kann eine konstante Geschwindigkeit wählen, ohne den Sicherheitsabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug zu unterschreiten. Eine wesentliche Komponente des Sensorsystems ist eine räumliche elektronische Baugruppe, ein 3D-MID. Durch den Einsatz der Technologie MID (Molded Interconnect Devices) kann die Baugröße des Radarsensors deutlich reduziert und gleichzeitig eine höhere Präzision der Bauelementanordnung (Hall-Sensoren, Lichtschranke) erreicht werden.

1. Einleitung

In der Automobilindustrie ist neben der Optimierung der Wirtschaftlichkeit und der Umweltfreundlichkeit sowie der Integration von Informations-/Kommunikationssystemen die Steigerung der passiven und aktiven Sicherheit einer der fokussierten Aspekte.

Systeme zur Verbesserung der passiven Sicherheit mindern die Folgen eines Unfalls. Trotz annähernd gleich bleibender Zahl an Unfällen konnte die Zahl der Verkehrstoten durch beispielsweise Airbag oder Gurtstraffer deutlich reduziert werden. Aktive Fahrerassistenzsysteme ermöglichen dem Fahrer ein stressfreies Fahren und helfen in kritischen Situationen, einen Unfall zu vermeiden. Im Fokus der Entwicklung stehen dabei Systeme mit dem höchsten Unfallvermeidungspotential. Gemäß der Unfallstatistik resultieren ca. 30 % aller Unfälle durch Auffahren, Frontalzusammenstöße und Kollisionen mit Hindernissen auf der Fahrbahn, ca. 25 % sind durch Spurwechsel oder unbeabsichtigtes Verlassen der Fahrbahn bedingt, ca. 31 % entstehen durch Kollisionen an Kreuzungen. [10]

Systeme, die den genannten Unfallursachen entgegen wirken, unterstützen daher beispielsweise als Spurwechsel- oder Spurhalteassistent, zur Bremsunterstützung, zur Müdigkeitserkennung, als Fernlicht-Assistent oder zur Nachtsichtverbesserung. Insbesondere prädiktive Fahrerassistenzsysteme werden zunehmend wichtiger, da sie vorausschauend mit Hilfe von Rundumsichtsensoren die Umgebung des Fahrzeugs erfassen und den Fahrer warnen oder aktiv das Fahrzeug steuern. Beispiele hierfür sind Einparkhilfen oder Fahrgeschwindigkeitsregler, wobei je nach Objektstand (Nah-/Fernbereich) andere Sensorsysteme zum Einsatz kommen.

Im Folgenden wird ein Radarsystem zur adaptiven Geschwindigkeitsregelung (ACC, Adaptive Cruise Control) vorgestellt, das bei der automatischen Abstandsregelung unterstützt. Der Fahrer kann eine konstante Geschwindigkeit wählen, ohne den Sicherheitsabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug zu unterschreiten.

2. Adaptive Geschwindigkeitsregelung mit einem Adaptive Cruise Control System

Geschwindigkeitsregelsysteme unterstützen den Fahrer klassischerweise bei langen Fahrten mit gleichbleibender Geschwindigkeit. Vor allem in den USA haben diese sogenannten Cruise-Control-Systeme eine weite Verbreitung, aber auch in Europa sind mittlerweile ca. 30 % aller Fahrzeuge damit ausgestattet. Um der zunehmenden Verkehrsdichte Rechnung zu tragen, sind Systeme zur adaptiven Geschwindigkeitsregelung (Adaptive Cruise Control, ACC) entwickelt worden, die den Fahrer durch das Einbeziehen von Informationen der Fahrzeugumgebung zusätzlich bei der automatischen Abstandsregelung unterstützen (Bild 1).

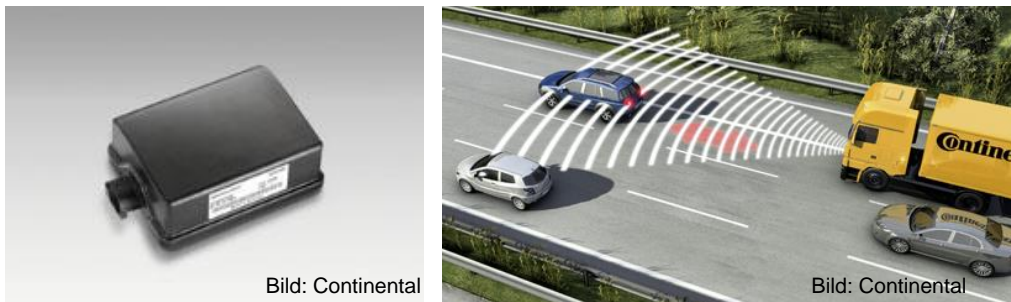


Bild 1: ACC (Abstandsregelautomat) sorgt für stressfreies Fahren und hält den Abstand zum vorausfahrenden Verkehr.

2.1. Aufgabe und Funktion des ACC-Systems

Der adaptive Geschwindigkeitsregler (Adaptive Cruise Control, ACC) regelt über die Entfernungsmessung zu den anderen Verkehrsobjekten die Geschwindigkeit. Dadurch wird sichergestellt, dass der Mindestabstand eingehalten wird. Der Fahrer kann also eine konstante Geschwindigkeit wählen, ohne dabei den Sicherheitsabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug zu unterschreiten. Unabhängig von Witterungseinflüssen wird die Fahrbahn vor dem Fahrzeug auf Hindernisse geprüft und mittels Vernetzung und Kommunikation mit anderen Steuergeräten im Fahrzeug der erforderliche Bremsvorgang signalisiert oder autonom eingeleitet.

Mit dem Radarsystem ARS300, das sich durch einen breiten Erfassungswinkel und eine hohe Auflösung auszeichnet, sind Fahrzeuge aus noch höheren Geschwindigkeiten als bisher bis zum Stillstand abbrembar. Reichweite und Strahlaufweitung des Radarsensors im Nah- und Fernbereich sind in Bild 2 dargestellt. Die Reichweite im Fernbereich liegt bei 0.25 bis 200 m, im Nahbereich bei 0.25 bis 60 m. Die Strahlaufweitung (Gesichtsfeld) ist im Fernbereich bei $\pm 8.5^\circ$, im Nahbereich bei $\pm 28^\circ$. [5]

Ferner erkennt das System, wenn sich das vorausfahrende Fahrzeug wieder in Bewegung setzt und leitet den Beschleunigungsvorgang ein. Das ACC-System warnt

den Fahrer rechtzeitig vor möglichen Auffahrunfällen. Mit vorausschauender Vorkonditionierung der Bremsen kann es zudem den Anhalteweg lebensrettend verkürzen. ACC-Sensoren erkennen auch Fußgänger und andere Objekte, wodurch die Fahrsicherheit für Fahrer und andere Verkehrsteilnehmer deutlich erhöht wird. Eine Fehlinformation des Fahrers oder ein unnötiges Abbremsen des Fahrzeugs (z. B. durch ein Fahrzeug auf der rechten Spur, insbesondere in Kurven) kann durch die immer schneller rechnenden Steuergeräte, den breiten Erfassungswinkel und die Detektion der Winkelveränderung anderer Verkehrsobjekte vermieden werden. Das System wird in PKWs, in LKWs und industriell eingesetzt. [2][3]

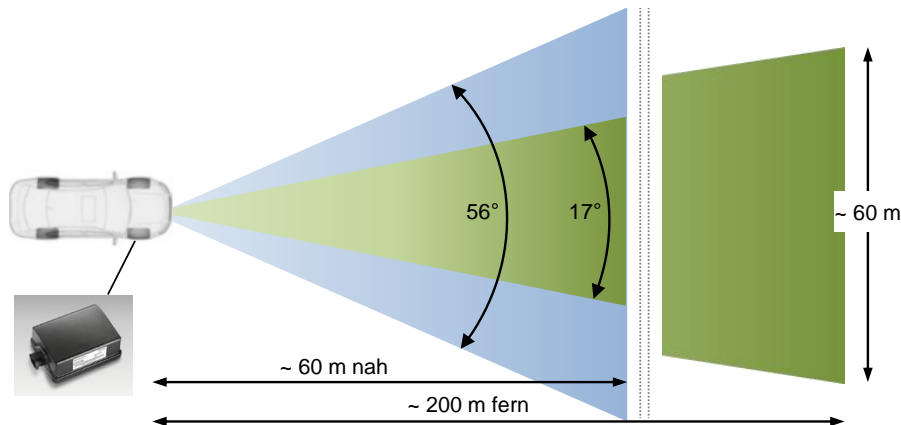


Bild 2: Reichweite und Strahlaufweitung des Radarsensors im Nah- und Fernbereich [5].

2.2 ACC-Systemarchitektur

Die Bestimmung des Abstandes zu anderen Verkehrsobjekten und der Geschwindigkeit anderer Fahrzeuge erfolgt mit dem in Abschnitt 3 beschriebenen Radarsensor. Für die Veränderung und Regelung der Geschwindigkeit sind bestehende, auf das ACC-System angepasste Subsysteme verantwortlich. Bild 3 zeigt die Systemstruktur des Adaptive Cruise Control Systems.

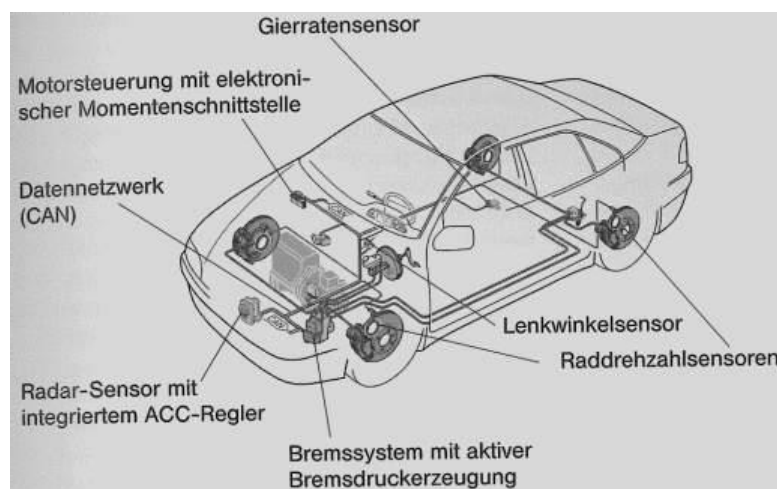


Bild 3: ACC-Systemstruktur [10].

Eine intelligente ACC-Systemarchitektur ist für eine Verknüpfung der einzelnen Teilfunktionen erforderlich. Die ACC-Funktion ist nicht als eigenständiges System realisiert, weshalb eine koordinierte Vernetzung der einzelnen Subsysteme erforderlich ist. In der obersten Funktionsebene wird die Sollbewegung des Fahrzeugs berechnet, woraus sich eine Fahrzeugsollbeschleunigung ergibt. In der nächsten Ebene ist diese Sollbewegung einzuregeln, entweder über den Antriebsstrang oder das Bremssystem. Demzufolge sind entsprechende Stellgrößen wie Bremsdruck oder Einspritzmenge abzuleiten. [10]

2.3. Sensorprinzip des ACC-Systems

Für die Erkennung von Objekten im Fahrzeugumfeld ist eine Reihe von Sensoren erforderlich. Für die Fahrzeug-Abstandsmessung eignen sich Ultraschall-Laufzeitverfahren (Nahbereich), Laufzeit- oder Trilaterationsverfahren mit Strahlung im nahen Infrarotbereich (Lidar; Mittelbereich) und Mikrowellen-Radar (Fernbereich) (Bild 4).

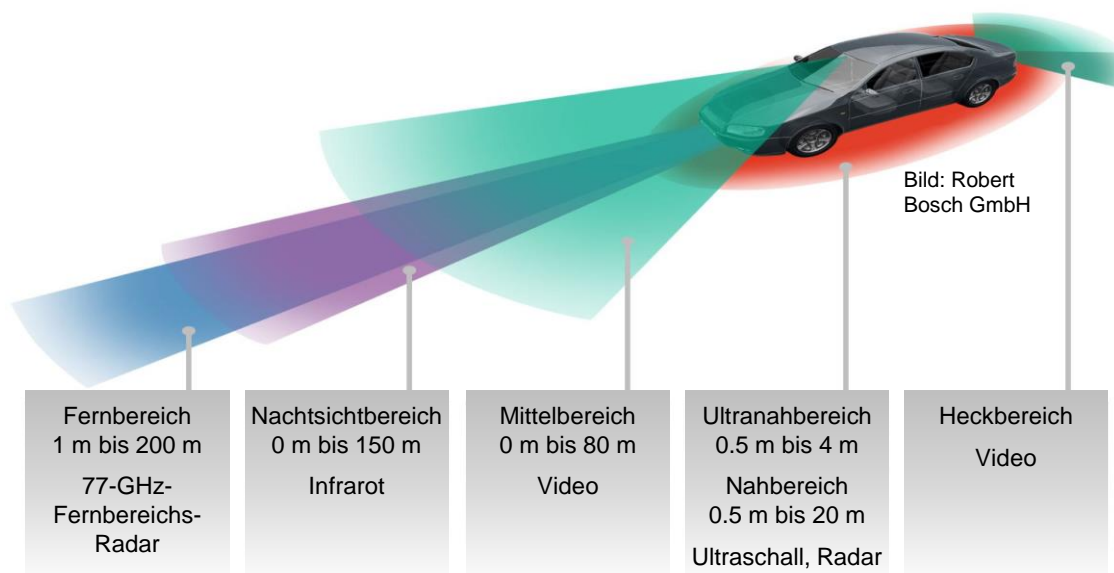


Bild 4: Erfassungsbereiche von Umfeldsensoren.

Radar ist allgemein die Abkürzung für **Radio Detection and Ranging**. Die vom Radargerät ausgesendeten elektromagnetischen Wellen (Primärsignal) werden an Objekten reflektiert und können als Sekundärsignal vom Empfangsteil wieder aufgenommen und nach verschiedenen Kriterien ausgewertet werden. Im Automobilbereich finden Radargeräte vorwiegend in der Erfassung von Abstand, Geschwindigkeit und Horizontalwinkel anderer Fahrzeuge Anwendung. Man unterscheidet Puls- und Dauerstrichgeräte. Das Pulsradar wird mit einer Frequenz von 24 GHz im Nahbereich eingesetzt. Für das Fernbereichsradar im Straßenverkehr ist das Frequenzband 76-77 GHz (Wellenlänge ca. 4 mm) freigegeben, das auf dem Dauerstrichradar basiert.

Bei einem pulsmodulierten Signal wird die Laufzeit zwischen Aussenden und Empfang gemessen. Über die Lichtgeschwindigkeit kann aus der Zeitdifferenz der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug berechnet werden. Bei einer Frequenz-Modulation mit einem Dauerstrichradar (FMCW) wird während des Aussendens die

Sendefrequenz zeitlich verändert und über die Frequenzdifferenz der Abstand bestimmt. Die Berechnung der Relativgeschwindigkeit erfolgt mittels Doppler-Effekt aus der gemessenen Frequenzänderung zwischen gesendetem und reflektiertem Signal. [10]

Der ACC-Sensor misst unabhängig mit einer Echtzeitabtastung von 15/sec die Distanz und Geschwindigkeit von Objekten ohne Reflektor in einem Messzyklus auf der Basis von FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave – Dauerstrichradar) mit sehr schnellen Rampen. Eine Besonderheit stellt die gleichzeitige Messung von großen Distanzen bis zu 200 m, Relativgeschwindigkeit und das Winkelverhältnis zwischen zwei Objekten dar. [4]

Die Bildgebung funktioniert vereinfacht dargestellt wie beim Fernseher. Eine Radarzeile strahlt eine rotierende Reflektorfläche mit Segmenten für den Nah- und Fernbereich des Sichtbereichs an. Die Segmente sind zudem mit einer Struktur versehen, damit die Zeilen differenziert werden können. Die Spaltenauflösung erfolgt über eine präzise geregelte Rotation und synchron dazu ausgesendete Impulse werden durch einen Spiegel weitergeleitet. Die Empfangssignale werden ebenso in der Radarzeile erfasst und mittels einer nachgeschalteten Software ausgewertet. Die Relativbewegung zwischen Sender und Objekt kann somit aus der Verschiebung der Frequenz des reflektierten Signals berechnet werden.

4. 3D-MID Komponente im Radarsystem

Eine wesentliche Komponente des Radarsystems ist ein 3D-MID. Die Technologie MID (Molded Interconnect Devices) ermöglicht eine präzise Kommutierung der Motoreinheit. Dies ist ausschlaggebend für die Qualität des Radarsignals, das über die Rotation einer metallischen Trommel ausgeformt wird. Die Trommel ist mit einer definierten Struktur an der Oberfläche versehen und sorgt in Abhängigkeit der Positionierung für die Ablenkung des Radarstrahls im Nah- und Fernbereich.

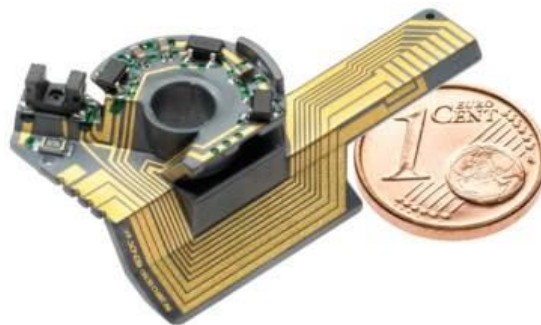


Bild 5: 3D-MID Komponente im Radarsystem [Bildquelle: HARTING AG].

Das 3D-MID ist Träger für drei Hallsensoren und einen Optokoppler (Bild 5). Des Weiteren sind ein Steckverbinder, über den die Signale nach außen übertragen werden und Löt pads für die Versorgungsleitungen der Motorwicklungen integriert. Durch die Verbindung des MID über die Achse mit der Trommel ist somit zusätzlich zur elektrischen auch eine mechanische Funktionalität in die räumliche Baugruppe integriert.

5. Technologie 3D-MID

3D-MID sind räumliche elektronische Baugruppen, die durch die hohe Gestaltungsfreiheit eine Miniaturisierung und eine damit einhergehende Gewichtsreduzierung des Gesamtsystems ermöglichen. Weiterhin können eine Vielzahl mechanischer und elektrischer Funktionalitäten direkt integriert werden.

Durch den Einsatz der 3D-MID Technik kann die Baugröße des Radarsensors deutlich reduziert und gleichzeitig eine höhere Präzision der Bauelementanordnung (Hall-Sensoren, Lichtschranke) erreicht werden. Ferner kann durch die MID Komponente die Achse genauer mechanisch fixiert und die elektrische Verdrahtung vereinfacht werden.

5.1 Potenziale der Technologie MID

Die Nutzenpotenziale der Technologie MID können durch die Geometrie des Formkörpers und die selektive Strukturierung und Metallisierung erreicht werden. Die dreidimensionale Anordnung ermöglicht definierte Winkel zwischen Bauelementen (z. B. für LED-Applikationen), das Stapeln und präzise Positionieren von Chips (z. B. für Sensoren) sowie die Erzeugung von Kavitäten zum Schutz oder zur einfachen Kontaktierung von Bauelementen. Durch die Flexibilität des MID Layouts ist die direkte Darstellung von Antennen- (z. B. für RFID oder Mobiltelefon) oder Taststrukturen und die Realisierung einer EMV-Abschirmung durch eine vollflächige Metallisierung des Gehäuses möglich. Mechanische Funktionen (z. B. Befestigungselemente oder Versteifungen), fluidische Funktionen (z. B. Fluidkanal als Teil des Gehäuses) und thermische Funktionen (z. B. Kühlrippen) lassen sich durch den Spritzgussprozess direkt in das Gehäuse integrieren. [6][7]

5.2 Fertigungsverfahren für 3D-MID Komponenten

Für die Strukturierung und Metallisierung spritzgegossener 3D-Schaltungsträger werden vor allem die Laserstrukturierung und der Zweikomponentenspritzguss in der Serienfertigung eingesetzt, wobei heute ca. 90 % aller MID Komponenten mit der Laserdirektstrukturierung produziert werden. Die beiden Verfahren sind in Bild 6 schematisch dargestellt.

Durch den Einsatz der Laserdirektstrukturierung (LDS), lassen sich MID Komponenten mit einer feinen und dichten Leiterbahnarchitektur realisieren – bei hoher 3D-Gestaltungsfreiheit. Bei dem additiven LPKF-LDS[®]-Prozess erfolgt die Strukturierung mittels Laserstrahl durch Freilegen und Aktivieren spezieller Additive im Kunststoff. Das infrarote Laserlicht bildet dabei eine mikrorauhe Oberfläche in den bestrahlten Bereichen mit Metallpartikeln und Mikrokavitäten. Die Metallpartikel werden dabei durch die eingebrachte Laserenergie derart verändert, dass sie im folgenden Metallisierungsschritt katalytisch wirken und eine selektive Metallabscheidung erfolgt. Die Rauheit ermöglicht eine optimale Haftfestigkeit der Leiterbahnen.

Durch den Einsatz des Zweikomponentenspritzgussverfahrens lassen sich MID Komponenten in sehr hohen Stückzahlen realisieren – bei maximaler 3D-Gestaltungsfreiheit. Bei diesem Verfahren werden die Leiterbahnen durch zwei aufeinanderfolgende Spritzgussvorgänge aus unterschiedlichen Kunststoffen

gefertigt. Der das Leiterbild tragende Kunststoff ist mit Additiven versehen und wird im Anschluss metallisiert.

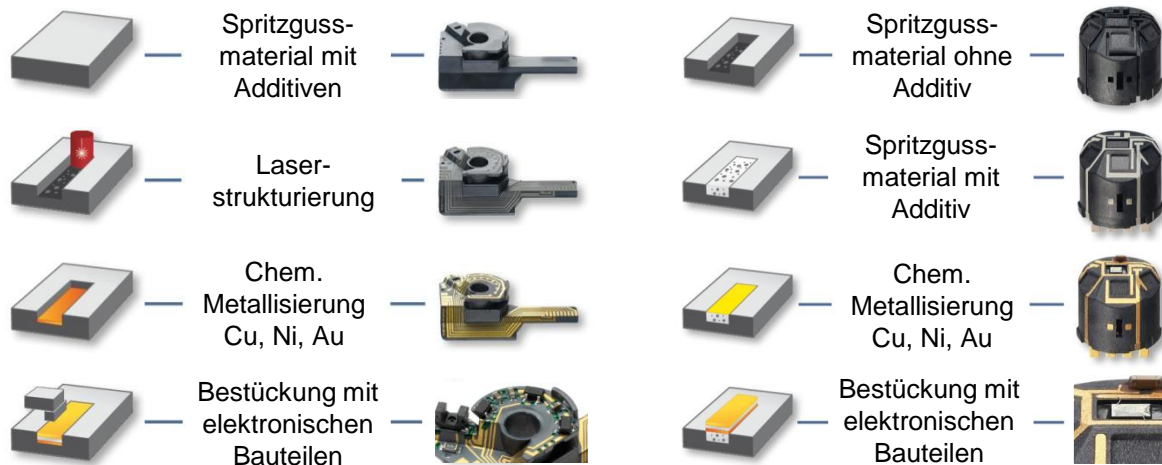


Bild 6: Prozessablauf Laserdirektstrukturierung (links) und Zweikomponentenspritzguss (rechts) [Bildquelle: HARTING AG].

Die Metallisierung von 3D-MID erfolgt meist außen-stromlos durch einen additiven Leiterbahnaufbau, da die thermoplastischen Werkstoffe aufgrund ihrer isolierenden Eigenschaften nicht direkt mit galvanischen Verfahren metallisiert werden können. Die benötigten Elektronen werden von einer Komponente des Metallisierungsbades und nicht von einer äußeren Stromquelle bereitgestellt. Sind für spezielle Anwendungen eine höhere Stromtragfähigkeit oder besondere Oberflächeneigenschaften für die Verbindungstechnik erforderlich, kann die chemisch aufgetragene Kupferschicht mit galvanischen Verfahren nachverstärkt werden.

6. Qualität und Zuverlässigkeit der 3D-MID Komponente

Im Zuge der fortschreitenden Elektrointegration im Automobil, die zumeist eine steigende Komplexität und einen höheren Miniaturisierungsgrad der Systeme bedingt, kommt der Qualitäts- und Zuverlässigkeitsabsicherung eine immer größere Bedeutung zu. Die Automobilindustrie hat zudem die Anforderungen an die Zuverlässigkeit elektronischer Baugruppen in den letzten Jahren stetig erhöht. Die aktuellen und zukünftigen Forderungen sind in Bild 7 im Überblick für PKW und LKW dargestellt. Für motornaher Anwendungen bzw. für Baugruppen am Getriebe muss die Zuverlässigkeit in einem Temperaturbereich von $-40\text{ °C}/+125\text{...}150\text{ °C}$ gewährleistet sein.

Belastungen elektronischer Systeme durch Umwelteinflüsse können im Feldeinsatz durch Alterungsmechanismen und Überbeanspruchung zu Ausfällen führen. Demzufolge ergeben sich auf der einen Seite entsprechend dem Einbauort Anforderungen an die Zuverlässigkeit der eingesetzten Materialien und der Aufbau- und Verbindungstechnik. Andererseits ist es aber auch entscheidend, in der Fertigung eine hohe Qualität und Prozesssicherheit zu gewährleisten.

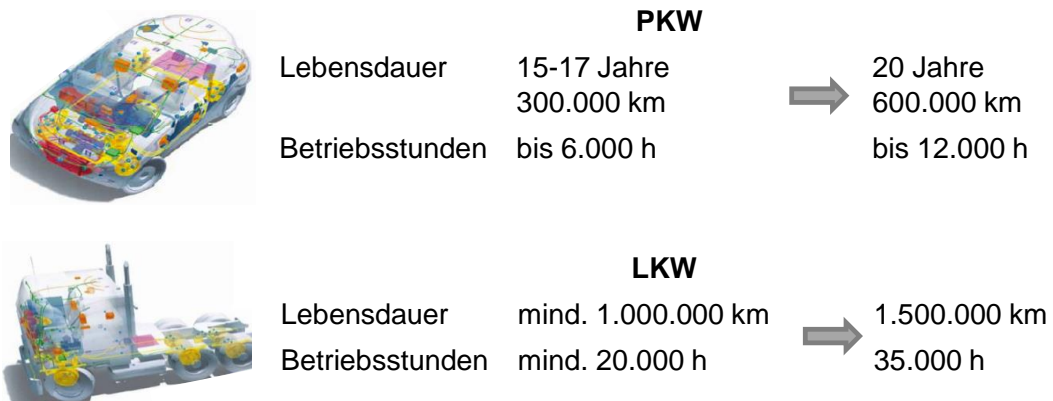


Bild 7: Anforderungen an die Lebensdauer in der Automobilindustrie [8].

Typischerweise werden zur Lebensdauerprognose Prüfungen mit zeitlicher Begrenzung, Sudden-Death-Prüfungen (bis zum ersten Ausfall) und End-of-Life-Tests (bis zum Ausfall aller Prüfobjekte) unterschieden [9]. Die Bewertung der Zuverlässigkeit erfolgt mittels statistischer Auswertung. Die Bestimmung der charakteristischen Lebensdauer (MTTF – Mean time to Failure) kann, basierend auf Lebensdaueranalysen in der Standard-Elektronikproduktion, mittels Weibull-Verteilung erfolgen. Eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 63,21 % wird hierbei als die charakteristische Lebensdauer bezeichnet und als Mittelwert der Verteilung verstanden.

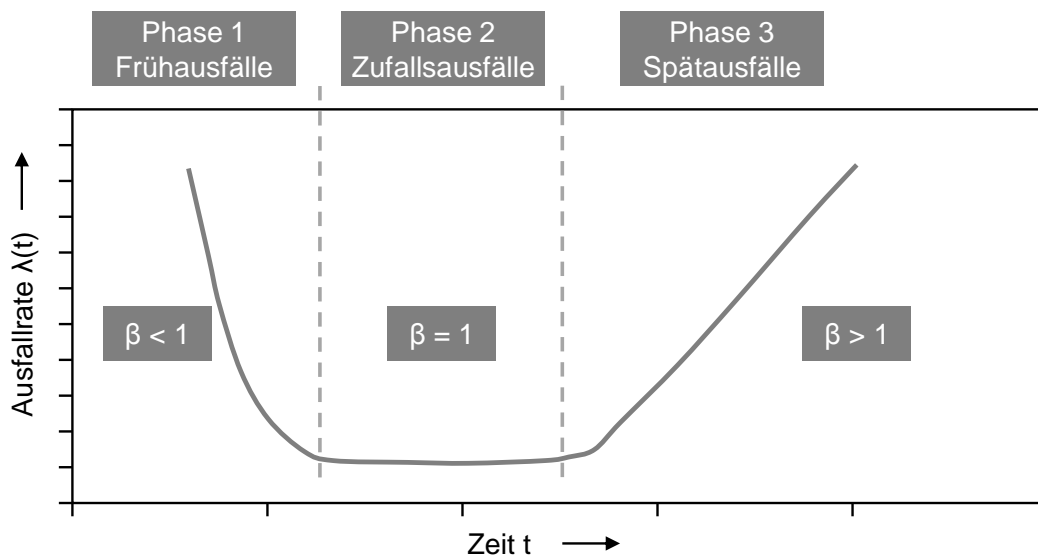


Bild 8: Ausfallrate als statistische Funktion – Phasen 1 bis 3 der Badewannenkurve [9].

Die Ausfallhäufigkeit der Baugruppen wird üblicherweise mit der sogenannten „Badewannenkurve“ beschrieben (Bild 8). Frühausfälle ($0 < \beta < 1$) stellen Montage-, Prozess-, Werkstoff- und Designfehler dar. Zufallsausfälle ($\beta = 1$) zeichnen sich durch eine konstante Ausfallrate aus und charakterisieren zufällige Ausfälle während

der Einsatzzeit des Systems. Gegen Ende der Lebensdauer kommt es zu Verschleiß- und Ermüdungserscheinungen ($\beta > 1$). [9]

6.1 Fertigungsbegleitende Qualitätssicherung

Das Ziel einer fertigungsbegleitenden Qualitätssicherung ist das Vermeiden von Frühausfällen (Phase 1 der Badewannenkurve). Zur Gewährleistung der erforderlichen Qualität der 3D-MID Komponenten wurde daher in der Fertigung eine hochautomatisierte Montage- und Prüfanlage aufgebaut. Die Montage der Bauelemente wird auf einer speziell dafür angepassten Montagelinie im konventionellen Pick&Place Verfahren durchgeführt. Als Verbindungstechnik wird das Dampfphasenlöten eingesetzt. Zur Vermeidung der Migration des Lotes entlang der metallisierten Leiterbahnen wird an kritischen Stellen Lötstopplack disperst. Die hohen Qualitätsanforderungen der Automobilindustrie an die Prozessfähigkeit werden u. a. mit einem automatischen optischen Inspektionssystem (AOI) sichergestellt (Bild 9). Nach der Metallisierung werden die Schaltungsträger auf Leiterbahndefekte (Unterbrechungen, Brücken, Risse, Delamination sowie Fremdabscheidungen) untersucht. Der Test nach der Bestückung entspricht den Standards gemäß IPC650 der Leiterplattenindustrie, wobei das AOI-System bei HARTING Mitronics die Prüfungen an 3D-Objekten durchführen kann. Abschließend erfolgt ein Test der Funktionsfähigkeit und Signalintegrität.

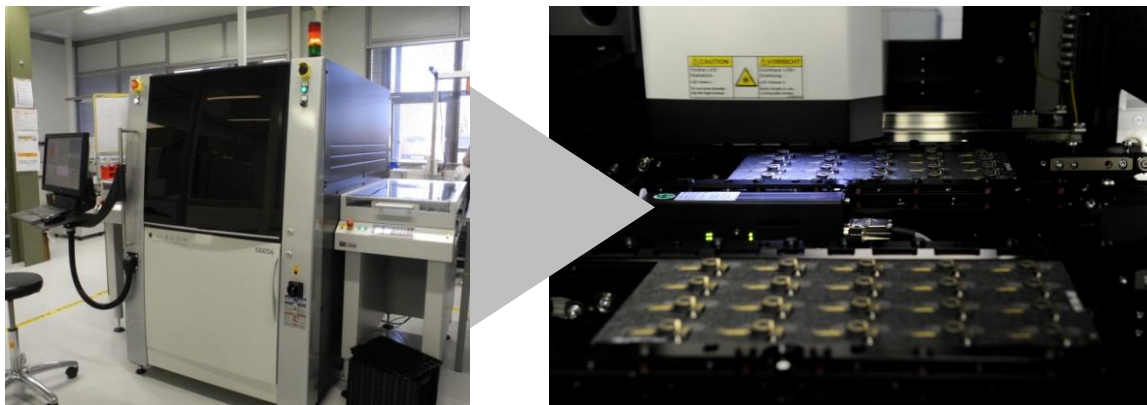


Bild 9: AOI-System der HARTING AG für die 3D-Prüfung von MID Komponenten [Bildquelle: HARTING AG].

6.2 Lebensdaueruntersuchungen

Für die Lebensdauer der MID Komponenten sind die Verschleißausfälle relevant (Phase 3 der Badewannenkurve). Um diese Verschleißausfälle gezielt hervorzurufen, werden entwicklungsbegleitend entsprechende Qualifizierungen der Komponenten als Nachweis der Langzeitzuverlässigkeit durchgeführt. Für eine hohe Langzeitzuverlässigkeit sind aufgrund der CTE-Unterschiede und der Anisotropie der thermoplastischen Substrate insbesondere thermische Wechselbelastungen für MID Komponenten äußerst kritisch. Dabei kommt es zwischen Schaltungsträger, Verbindungsstelle und Bauelement zu thermomechanischen Spannungen, die zu kritischen Ausfällen führen können.

In einem Temperaturschocktest $-70^{\circ}\text{C}/+150^{\circ}\text{C}$ nach IEC 60512 Test Nr. 11d(01/2003) werden die Baugruppen jeweils über mehrere 1.000 Zyklen belastet und in regelmäßigen Abständen die Durchgangswiderstände der Leiterbahnen ermittelt. Der zu erwartende Hauptfehler ist eine Rissbildung an den Leiterbahnen (Bild 10) oder ein Versagen der Verbindungsstelle bei bestückten Baugruppen.

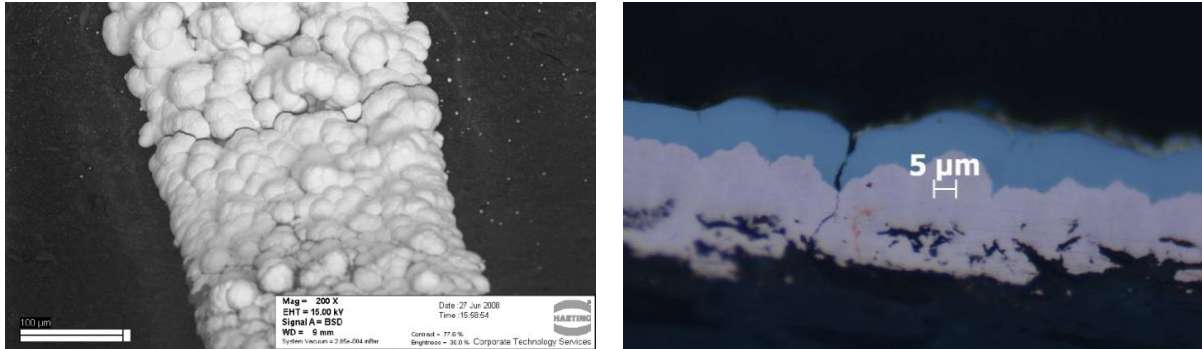


Bild 10: Riss in einer MID Leiterbahn, REM-Aufnahme (links) und Querschliff (rechts) [Bildquelle: HARTING AG].

Ziel dieser Untersuchungen ist die vollständige Aufnahme der Ausfallstatistik und darauf aufbauend die Ermittlung der charakteristischen Lebensdauer α über die Methodik der Weibull-Verteilung. Im Test befinden sich aktuell insgesamt 80 Baugruppen mit je 9 Leiterbahnen (ohne elektronische Bauelemente), das sind insgesamt 720 Prüfobjekte. Von diesen sind erstmalig nach 16.000 Zyklen zwei Bauteile ausgefallen, nach 22.000 Zyklen wurden vier defekte Leiterbahnen gefunden. Der Test wird weitergeführt.

Eine vorläufige Abschätzung nach dem BMW Group Standard 95003-1 für härteste Bedingungen (Motor-/Getriebekomponenten) [1] auf Basis dieser Ergebnisse zeigt, dass die dort geforderten Werte erfüllt werden und damit 99,5 % der im Test befindlichen MID Komponenten mit 95 % statistischer Sicherheit eine Lebensdauer von mindestens 17 Jahren erreichen werden.

Die nachgewiesene Lebensdauer der reinen MID Komponente ohne elektronische Bauelemente entspricht damit den aktuellen Anforderungen der Automobilindustrie für harte Bedingungen.

7. Zusammenfassung

Im Beitrag wird ein Radarsystem zur adaptiven Geschwindigkeitsregelung vorgestellt, das bei der automatischen Abstandsregelung unterstützt. Der Fahrer kann eine konstante Geschwindigkeit wählen, ohne den Sicherheitsabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug zu unterschreiten. Eine wesentliche Komponente des Sensorsystems ist ein eine räumliche elektronische Baugruppe, ein 3D-MID. Durch den Einsatz der Technologie MID (Molded Interconnect Devices) kann die Baugröße des Radarsensors deutlich reduziert und gleichzeitig eine höhere Präzision der Bauelementanordnung erreicht werden.

Die 3D-MID Komponente wird mittels Laserdirektstrukturierung und anschließender nasschemischer Metallisierung hergestellt. Die Montage der elektronischen Bauelemente erfolgt mit einer speziell dafür angepassten Fertigungslinie. Die fertigungsbegleitende automatische optische Inspektion gewährleistet das Einhalten

der erforderlichen Qualität zur Vermeidung von Frühausfällen. Entwicklungsbegleitende Tests zur beschleunigten Alterung gemäß Automotive-Standard zeigen die Robustheit des MID Systems.

8. Literatur

- [1] BMW AG Normung (Hrsg.): BMW Group Standard GS 95003-4: Electrical/Electronic Assemblies in Motor Vehicles – Climatic Requirements. München, März 2003.
- [2] Brand, A.: Developing technical and economical potentials in MID with successful serial products. In: Proceedings: 8th International Congress Molded Interconnect Devices, 3-D MID e.V., Fürth, September 2008.
- [3] Continental AG (Hrsg.): Abstandsregeltempomat. <http://www.conti-online.com>
Zugriff am 09.01.2014.
- [4] Continental AG (Hrsg.): ARS 300 Fernbereichs Radar Sensor 77 GHz. <http://www.conti-online.com>
Zugriff am 09.01.2014.
- [5] Continental AG (Hrsg.): Datenblatt ARS 30X /-2 /-2C/-2T/-21 Long Range Radar. Stand 31.05.2012. <http://www.conti-online.com>
Zugriff am 09.01.2014.
- [6] Franke, J. (Hrsg.): Räumliche elektronische Baugruppen (3D-MID) – Werkstoffe, Herstellung, Montage und Anwendungen für spritzgegossene Schaltungsträger. München: Carl Hanser Verlag, 2013.
- [7] Goth, C.: Analyse und Optimierung der Entwicklung und Zuverlässigkeit räumlicher Schaltungsträger (3D-MID). Bamberg: Meisenbach Verlag, 2013.
- [8] Kohl, R.: Beschleunigte Lebensdauertests in der Kfz-Elektronik. In: SMT-Tutorial 2009: Beschleunigte kombinierte Lebensdauertests elektronischer Systeme, Nürnberg, Mai 2009.
- [9] Matzner, C.: Konzeption produktspezifischer Lösungen zur Robustheitssteigerung elektrischer Systeme gegen die Einwirkung von Betauung im Automobil. Bamberg: Meisenbach Verlag, 2010.
- [10] Wallentowitz, H., Reif, K. (Hrsg.): Handbuch Kraftfahrzeugelektronik. 2. Auflage 2011, S. 413 ff., Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden, 2001.