

Testumgebung für heterogene E/E-Fahrzeugtopologien

Vernetzungstest im Verbund für CAN FD, LIN, FlexRay und Automotive Ethernet

Einleitung

Die ausgeprägte Heterogenität sowie die steigende Komplexität moderner E/E-Fahrzeugarchitekturen bieten neue Herausforderungen für das Testequipment. Um trotz komplexer Übertragungsprotokolle, hoher Datenmengen und einer Vielzahl neuer Technologien die Zuverlässigkeit und Sicherheit der elektrischen Anlage des Kraftfahrzeugs sicherzustellen, ist die Anpassung oder Neuentwicklung von Testfällen und Testsystemen notwendig. Im Fokus des Vernetzungstests stehen dabei sowohl etablierte Bussysteme als auch moderne Übertragungstechnologien.

Der CAN-Bus hat sich als effiziente und robuste Kommunikationstechnologie bei der Vernetzung elektrischer Komponenten im Automobil bis heute bewährt. Durch die Erweiterung „FD - Flexible Datarate“ erhält er Optimierungen hinsichtlich Bandbreite und Netto-Datenrate und ist damit für die Anforderungen moderner Fahrzeugarchitekturen gerüstet. Bisher fahrzeugweit eingesetzt, spezialisiert sich die Anwendung dieser Bustechnologie mittlerweile auf einzelne Fahrzeugbereiche oder dient als Backbone bei der Einführung neuer Übertragungstechnologien.

Als Ergänzung zur bewährten CAN-Vernetzung hat sich der FlexRay-Bus etabliert. Das Bussystem zeichnet sich unter anderem durch deterministisches Übertragungsverhalten und eine vergleichsweise hohe Brutto-Datenrate aus. Derzeit findet es vor allem für die Vernetzung der elektrischen Komponenten des Antriebsstrangs Anwendung.

Eine kostengünstige Alternative zur Realisierung von Sub-Bussen bietet der niederfrequente LIN-Bus. Nach dem Master-Slave-Prinzip lässt sich durch ihn die Vernetzung weniger komplexer Steuergeräte, sowie Sensoren und Aktoren, zum Beispiel im Bereich der Sitz- und Türsteuerung, realisieren.

Mit den IEEE-Standards 100Base-T1 und 1000Base-T1 hält nun das aus der Heimelektronik bekannte Ethernet Einzug in deutsche Automobile. Das Automotive Ethernet nimmt eine Sonderrolle unter den etablierten automobilen Kommunikationstechnologien ein, da es erstmalig kein Bussystem im herkömmlichen Sinne mehr darstellt. Es zeichnet sich durch Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zwischen den Teilnehmern und eine Switch-basierte Netzwerk-Topologie aus, was auch die Art des physikalischen Testzugangs zu den Ethernet-Segmenten im Fahrzeug verändert. Vergleichsweise hochfrequente Signale werden mittels ternärer Pulsamplituden-Modulation über das Kommunikationsmedium übertragen. In Verbindung mit hohen Bitraten lassen sich so große Datenmengen, wie sie zwischen modernen Hochleistungsrechnern einzelner Fahrzeugdomänen aufkommen, übertragen.

Pressekontakt:

GOPEL electronic GmbH
Matthias Müller
Goeschwitzer Str. 58-60/66
D-07745 Jena

Tel.: +49-3641-6896-739
Fax: +49-3641-6896-944
E-Mail: press@goepel.com
URL: www.goepel.com

GOPEL electronic GmbH • Göschwitzer Str. 58/60 • 07745 Jena, Deutschland

Tel.: +49-3641 - 6896 - 0
Fax: +49-3614 - 6896 - 944
E-Mail: sales@goepel.com
www.goepel.com

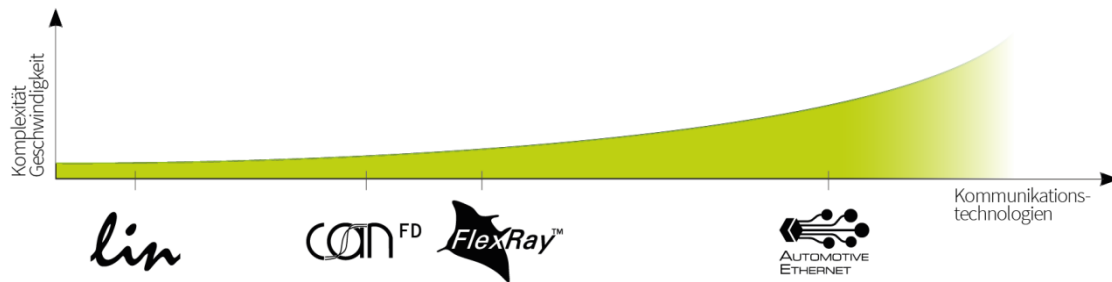


Abbildung 1: Steigende Geschwindigkeit und Komplexität der Kommunikationstechnologien

Mehrstufiger Vernetzungstest

Das Sollverhalten der Bus-Teilnehmer ist in den Lastenheften eines OEMs definiert. Dazugehörige Prüfnormen spezifizieren Methoden zur Prüfung der Netzwerkfunktionen. Sie beschreiben das Sollverhalten des Einzelsteuergeräts oder eines Verbunds mehrerer Steuergeräte.

Beim Vernetzungstest am Gesamtfahrzeug erfolgt die Analyse der Buskommunikation mit einem vorrangig passiv teilnehmenden Testsystem. Die Testaufgaben sind in vier Kategorien untergliedert. In einem iterativen Prozess können frühzeitig Fehler erkannt, beseitigt und so mögliche Folgefehler vermieden werden. Die Bestandteile dieses mehrstufigen Testverfahrens werden im weiteren Verlauf erläutert.

1. Plausibilitätstest

Eine plausible und konsistente Datengrundlage ist entscheidend für einen aussagekräftigen Test. Die heterogene Fahrzeugumgebung und die verschiedenen Ausstattungsvarianten werden dabei durch abgestimmte Beschreibungsdateien (Testbasis) abgebildet. Sie stellen eine Erweiterung zur Datenfestlegung dar und werden bereits im Einzel-Steuergeräte-Test zur Abstimmung mit den Steuergerätlieferanten/–verantwortlichen verwendet. Eine Testbasis dokumentiert Abweichungen von der Datenfestlegung und beinhaltet darüber hinausgehende Informationen bezüglich des Sendeverhaltens, der physikalischen Schnittstellen und der Diagnose eines Steuergerätes.

Abbildung 2 zeigt eine vereinfachte Hierarchie von Testbasen zur Beschreibung eines Steuergeräte-Verbundes mit zwei Bussen (Segmenten), drei Steuergeräten und vier physikalischen Schnittstellen. Damit Fehlkonfigurationen im Test frühzeitig erkannt werden, findet eine Plausibilisierung der Beschreibungsdateien statt. Ein erweiterbares Regelwerk prüft unter anderem die korrekte Parametrierung der einzelnen Dateien, die Plausibilität von Sende- und Empfangsbeziehungen und die Konsistenz der Testbasen untereinander.

Pressekontakt:

GOPEL electronic GmbH
Matthias Müller
Goeschwitzer Str. 58-60/66
D-07745 Jena

Tel.: +49-3641-6896-739
Fax: +49-3641-6896-944
E-Mail: press@goepel.com
URL: www.goepel.com

GOPEL electronic GmbH • Göschwitzer Str. 58/60 • 07745 Jena, Deutschland

Tel.: +49-3641 - 6896 - 0
Fax: +49-3614 - 6896 - 944
E-Mail: sales@goepel.com
www.goepel.com

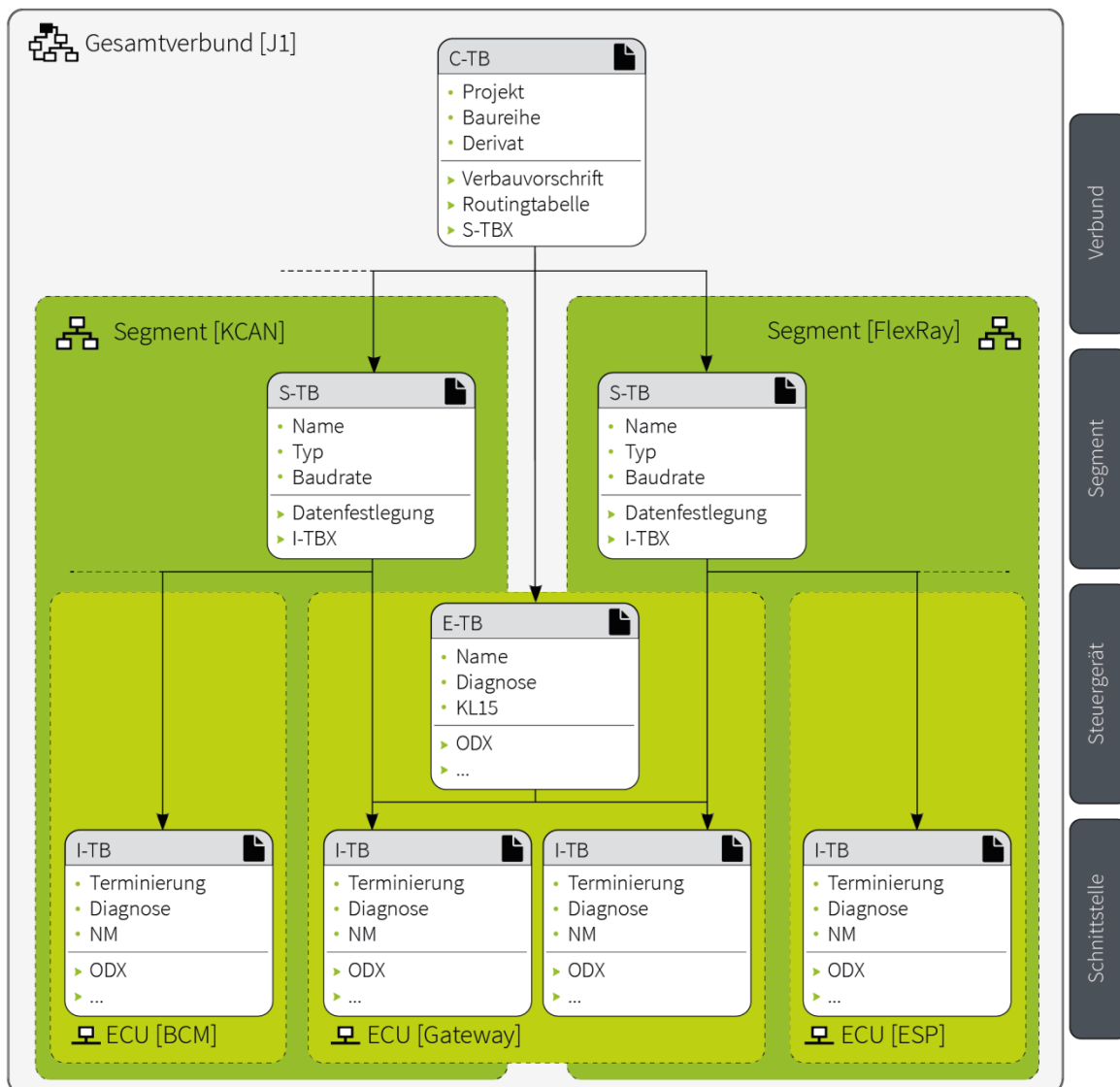


Abbildung 2: Hierarchie von Testbasen (TB) zur Beschreibung eines Steuergeräte-Verbunds

2. Akzeptanztest

Begrenzte Verfügbarkeit von Laborfahrzeugen und unerwartete Konfigurationen von Prototypen führen in der Praxis immer wieder zu Schwierigkeiten bei der Validierung des Steuergeräte-Verbunds. Ein Akzeptanztest prüft deshalb vorab grundlegende elektrische Eigenschaften des Steuergeräte-Netzwerks und dessen Kommunikationsfähigkeit.

Neben der Messung des Busabschlusswiderstands und der Fehlerfreiheit der Segmente ist auch ein Test zur korrekten Verteilung der Klemmeninformationen (z. B. Zündung ein/aus) im Steuergeräte-Netzwerk Bestandteil des Akzeptanztests, da einige Steuergerätefunktionen ohne diese Informationen nicht oder nur eingeschränkt ausgeführt werden.

Pressekontakt:

GOPEL electronic GmbH
 Matthias Müller
 Göschwitzter Str. 58-60/66
 D-07745 Jena

Tel.: +49-3641-6896-739
 Fax: +49-3641-6896-944
 E-Mail: press@goepel.com
 URL: www.goepel.com

GOPEL electronic GmbH • Göschwitzter Str. 58/60 • 07745 Jena, Deutschland

Tel.: +49-3641 - 6896 - 0
 Fax: +49-3641 - 6896 - 944
 E-Mail: sales@goepel.com
www.goepel.com

Zudem prüft ein Algorithmus die Zuordnung der Segmente des Steuergeräte-Verbunds zu den Schnittstellen des Testsystems. Das Testsystem erkennt die angeschlossenen Segmente auf Basis der Buskommunikation und reagiert auf Wunsch flexibel auf Verdrahtungsveränderungen an neuen Versuchsfahrzeugen.

Schließlich muss die Diagnosefähigkeit aller Verbund-Teilnehmer nachgewiesen werden. Sie stellt eine essentielle Vorbedingung für eine Vielzahl späterer Testfälle dar.

3. Teilnehmerkonfiguration

Voraussetzung für die Fehlerfreiheit eines Steuergeräte-Verbunds ist die Korrektheit der SW- und HW-Version, Teilenummer, Datenstand sowie Kodierung aller verbauten Steuergeräte. Das Testsystem ermittelt per Diagnose die entsprechenden Daten der diagnosefähigen Teilnehmer und prüft deren Antworten anhand einer Verbauvorschrift für das konkrete Fahrzeugprojekt.

Von hoher Aussagekraft sind außerdem die Einträge im Fehlerspeicher eines Steuergeräts. Sie geben Aufschluss über eventuelle Konfigurations- oder Steuergerätefehler. In einem seriennahen Verbund sollten keine die Kommunikation betreffenden Einträge im Fehlerspeicher eines Steuergeräts enthalten sein.

4. Verbundtest

Wesentliche Testfälle in diesem Testkomplex betreffen das *Aufstart- und Einschlafverhalten* des Steuergeräte-Verbundes. Alle Teilnehmer müssen dabei innerhalb eines spezifizierten Zeitraumes (bspw. nach Einschalten der Zündung) mit dem Sendevorgang beginnen und das Senden auf dem Bus zu einem späteren Zeitpunkt (z. B. nach Abschalten der Zündung) wieder einstellen und diesen Zustand der Busruhe beibehalten. Abbildung 3 zeigt den Start der Buskommunikation aller Bussegmente eines Verbunds nach Einschalten der Zündung (KL15). Der Sendestart jedes Steuergeräts innerhalb einer bestimmten Zeit ist ein wichtiges Prüfkriterium und essentielle Bedingung für die korrekte Funktionsweise des Gesamtfahrzeugs.

Pressekontakt:

GÖPEL electronic GmbH
Matthias Müller
Goeschwitzer Str. 58-60/66
D-07745 Jena

Tel.: +49-3641-6896-739
Fax: +49-3641-6896-944
E-Mail: press@goepel.com
URL: www.goepel.com

GÖPEL electronic GmbH • Göschwitzer Str. 58/60 • 07745 Jena, Deutschland

Tel.: +49-3641 - 6896 - 0
Fax: +49-3614 - 6896 - 944
E-Mail: sales@goepel.com
www.goepel.com

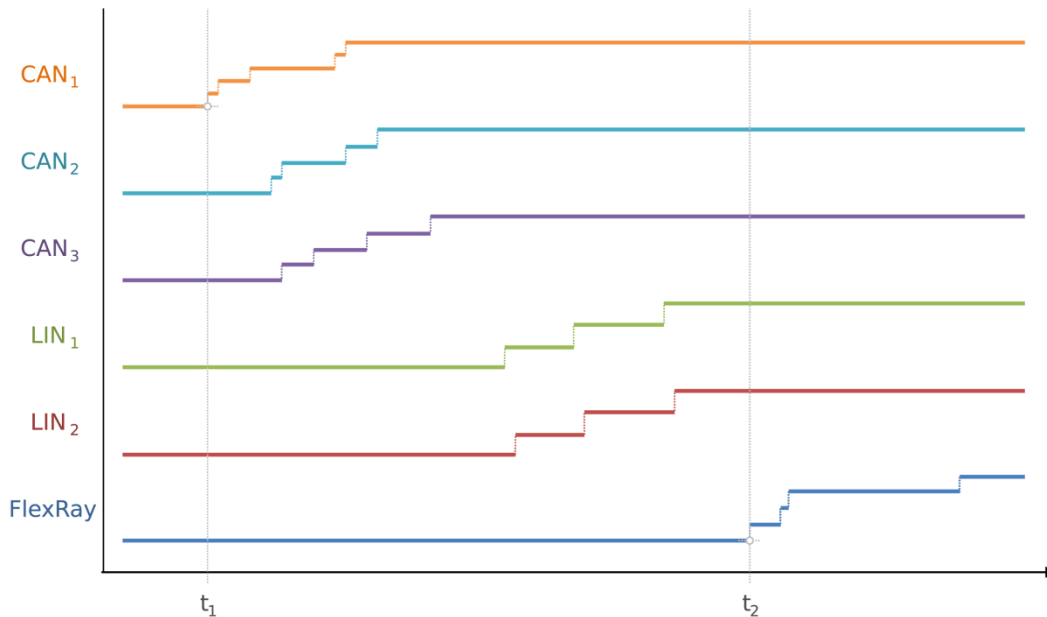


Abbildung 3:
Darstellung der Sendestartzeit aller Steuergeräte je Bussegment nach dem Einschalten der KL15.
Die Stufen entsprechen dem Zeitpunkt der ersten Sendeaktivität eines Steuergeräts.
Zum Zeitpunkt t₁ startet das erste Bussegment, zum Zeitpunkt t₂ das letzte Bussegment.

Eine gesonderte Rolle in diesem Testkomplex nehmen Steuergeräte eines Funktionsclusters ein, die sich im Rahmen des Teilnetzbetriebes bereits vorzeitig in den Ruhezustand versetzen dürfen, wenn das Funktionscluster nicht mehr angefordert wird.

Ein Fehler in diesen wichtigen Betriebszuständen eines Steuergeräts kann zu unerwünschten Fehlerspeichereinträgen in Steuergeräten sowie zu erhöhter Ruhestromaufnahme des Gesamtverbundes führen.

Um die Testtiefe weiter zu erhöhen, ist es sinnvoll, zusätzliche *Stresstests* durchzuführen. Dabei wird iterativ die Zeit zwischen dem Einschlafen des Verbundes und dem Wiederwecken durch das Testsystem verkleinert, um die Stabilität des Steuergeräteverhaltens zu verifizieren. Oft erfordern solche Tests echtzeitfähige, busübergreifende Mechanismen, die bezugnehmend auf das Einschlafen eines Segments (z. B. eines Ethernet-Links), das aktive Wecken auf einem anderen Segment (z. B. einem CAN-Bus) auslösen. Die Realisierung eines solchen Event-/Action-Konzepts innerhalb eines Testsystems für einen Steuergeräte-Verbund ist in Abbildung 4 dargestellt.

Pressekontakt:

GÖPEL electronic GmbH
Matthias Müller
Goeschwitzer Str. 58-60/66
D-07745 Jena

Tel.: +49-3641-6896-739
Fax: +49-3641-6896-944
E-Mail: press@goepel.com
URL: www.goepel.com

GÖPEL electronic GmbH • Göschwitzer Str. 58/60 • 07745 Jena, Deutschland

Tel.: +49-3641 - 6896 - 0
Fax: +49-3614 - 6896 - 944
E-Mail: sales@goepel.com
www.goepel.com

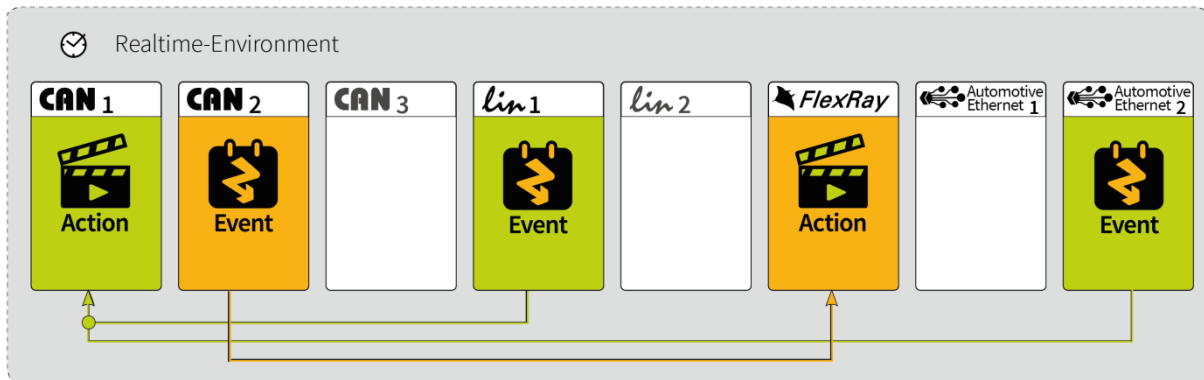


Abbildung 4: Bus-übergreifender Echtzeitmechanismus
Auf ein Ereignis folgen Aktionen mit parametrierbarer Verzögerung

Zwischen dem Aufstart- und Einschlafvorgang ist das *spezifikationsgerechte Sendeverhalten der Steuergeräte im Verbund unter verschiedenen Betriebsbedingungen* zu prüfen.

Die Kommunikation während und nach Normal-, Unter-, Überspannung und verschiedenen Spannungsimpulsen sind ebenso wichtige Prüfzenarien, wie die Kommunikation nach physikalischen Leitungsfehlern und durch das Testsystem eingebrachten Störungen, die von den Busteilnehmern erkannt werden müssen.

Bei der Auswertung der Buskommunikation werden die gesendeten Daten der Steuergeräte entsprechend den Angaben der Datenfestlegung überprüft. Darunter fallen unter anderem die Einhaltung der Zykluszeit und der Datenlänge auf Botschafts- oder PDU-Ebene als auch die korrekte Berechnung von Zählern und Checksummen in den entsprechenden Signalen. Die parallele Aufzeichnung der Bussegmente und busunabhängige Testwerkzeuge ermöglichen dabei die Anwendung einheitlicher Testroutinen auf unterschiedliche Bustechnologien. Durch die gemeinsame Zeitbasis der Aufzeichnungen können weiterführende Tests hinsichtlich Wakeup-Weiterleitung oder PDU-/Signal-Routing für Gateway-Steuergeräte durchgeführt werden.

Eine weitere Rubrik wichtiger Tests betrifft das *Netzwerkmanagement* der Busteilnehmer. Darunter zählen Zustandsübergänge, Weckursachen und die Einhaltung der Busruhe. Auch in diesem Zusammenhang ist ein Stresstest sinnvoll, um die Stabilität der Netzwerkmanagement-Zustandsmaschine zu validieren.

Die *Prüfungen zur Eigendiagnose* von Steuergeräten umfassen alle Betriebsbereiche des Verbunds. Grundlegend sind Tests zur Überprüfung der relevanten Diagnoseservices aller diagnosefähigen Steuergeräte über den CAN- und Ethernet-Fahrzeugdiagnosezugang.

Der Testkomplex der Diagnostesttests beinhaltet beispielsweise die korrekte Befüllung der Fehlerspeicher nach Unter-/ Überspannung, Spannungseinbrüchen, Leitungsfehlern und Botschaftsausfall.

Pressekontakt:

GOPEL electronic GmbH
Matthias Müller
Goeschwitzer Str. 58-60/66
D-07745 Jena

Tel: +49-3641-6896-739
Fax: +49-3641-6896-944
E-Mail: press@goepel.com
URL: www.goepel.com

GOPEL electronic GmbH • Göschwitzer Str. 58/60 • 07745 Jena, Deutschland

Tel.: +49-3641 - 6896 - 0
Fax: +49-3641 - 6896 - 944
E-Mail: sales@goepel.com
www.goepel.com

Hardware

Um die Kommunikation des Steuergeräte-Verbunds messtechnisch zu erfassen, verfügt die Firma Göpel electronic GmbH über verschiedene Testsysteme.

Kompaktsysteme

Das mobile Testsystem magicCAR compact steht für den effizienten Test von Funktionen/Applikationen im Automotive Umfeld. Die neue Geräteserie zeichnet sich durch eine kompakte Bauweise aus in der alle notwendigen Ressourcen (Versorgung, Relaismatrix, Kommunikations-Interfaces, Strommessung und evtl. Analyse-/Störmodule) vereint sind. Das Gerät basiert auf einer internen Ethernet-Architektur und kann durch externe Ethernet-fähige Geräte, wie Oszilloskop oder Multimeter erweitert werden. Wesentlicher Bestandteil ist die interne Verwendung von GÖPEL-Standardprodukten für CAN-FD, LIN, Flexray, Automotive Ethernet und LVDS.

Im Rahmen von Vernetzungstests kann der magicCAR compact .NET sowohl für Einzelschnittstellentests als auch für Verbundtests am Brett Aufbau bzw. realen Fahrzeug verwendet werden.

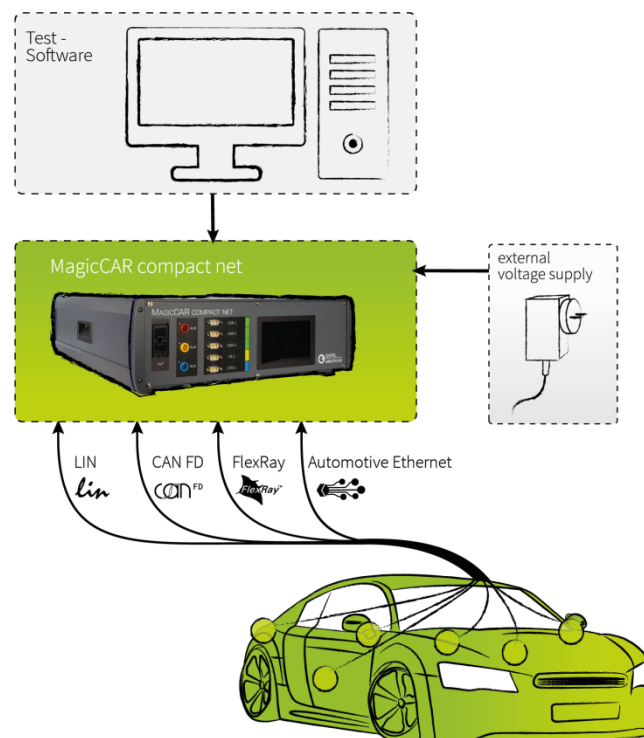


Abbildung 5: magicCAR compact .NET am Gesamtfahrzeug

Pressekontakt:

GÖPEL electronic GmbH
Matthias Müller
Goeschwitzer Str. 58-60/66
D-07745 Jena

Tel.: +49-3641-6896-739
Fax: +49-3641-6896-944
E-Mail: press@goepel.com
URL: www.goepel.com

GÖPEL electronic GmbH • Göschwitzer Str. 58/60 • 07745 Jena, Deutschland

Tel.: +49-3641 - 6896 - 0
Fax: +49-3614 - 6896 - 944
E-Mail: sales@goepel.com
www.goepel.com

Netzwerktestsysteme

Im Labor dienen die leistungsfähigen 19“- Netzwerktestsysteme der detaillierten Überprüfung physikalischer Eigenschaften von Businterfaces, deren Kommunikationsverhalten sowie der Simulation von Übertragungsfehlern am Einzelsteuergerät als auch im Verbund.

Die Vernetzungstestsysteme von GÖPEL electronic sind modular, OEM-unabhängig und können busübergreifend genutzt werden. Alle verfügbaren Ressourcen (Versorgung, Oszilloskop, Multimeter, Kommunikations-Interfaces, Strom- und Spannungsmessung und evtl. Analyse-/Störmodule) können über eine vielseitige Relaismatrix miteinander verschaltet werden.



Abb. 5: Beispiele CAN/FD-, LIN-, Flexray-, Ethernet-Vernetzungstestsysteme

Zusammenfassung

Der Test moderner E/E-Fahrzeugarchitekturen stellt vielfältige Herausforderungen an das Testequipment. Eine plausibilisierte und abgestimmte Datengrundlage sowie ein mehrstufiger Testprozess helfen, Folgefehler zu vermeiden. Durch den Einsatz einheitlicher Testmechanismen können heterogene Fahrzeugnetzwerke effizient getestet werden. Detaillierte Prüfungen zum spezifikationsgerechten Verhalten der Steuergeräte im Verbund können auf Basis der skalierbaren Testumgebung flexibel umgesetzt werden. Die Firma GÖPEL electronic zeichnet sich dabei durch langjährige Erfahrungen in der Zusammenarbeit mit OEMs und Zulieferern, sowie durch Kundennähe und Flexibilität aus.

Pressekontakt:

GÖPEL electronic GmbH
Matthias Müller
Goeschwitzer Str. 58-60/66
D-07745 Jena

Tel: +49-3641-6896-739
Fax: +49-3641-6896-944
E-Mail: press@goepel.com
URL: www.goepel.com

GÖPEL electronic GmbH • Goeschwitzer Str. 58/60 • 07745 Jena, Deutschland

Tel.: +49-3641 - 6896 - 0
Fax: +49-3614 - 6896 - 944
E-Mail: sales@goepel.com
www.goepel.com

Über den Autor:

M. Sc. Christopher Manthey studierte Praktische Informatik an der Berufsakademie Gera. 2017 absolvierte er sein Masterstudium in der Fachrichtung Informatik an der Friedrich-Schiller-Universität Jena. Seit 2010 entwickelt er als Applikationsingenieur im Geschäftsbereich „Automotive Test Solutions“ kundenspezifischen Lösungen für den Test und die Simulation von Kommunikationsschnittstellen im Fahrzeug.

Pressekontakt:

GÖPEL electronic GmbH
Matthias Müller
Goeschwitzer Str. 58-60/66
D-07745 Jena

Tel: +49-3641-6896-739
Fax: +49-3641-6896-944
E-Mail: press@goepel.com
URL: www.goepel.com

GÖPEL electronic GmbH • Göschwitzer Str. 58/60 • 07745 Jena, Deutschland

Tel.: +49-3641 - 6896 - 0
Fax: +49-3614 - 6896 - 944
E-Mail: sales@goepel.com
www.goepel.com