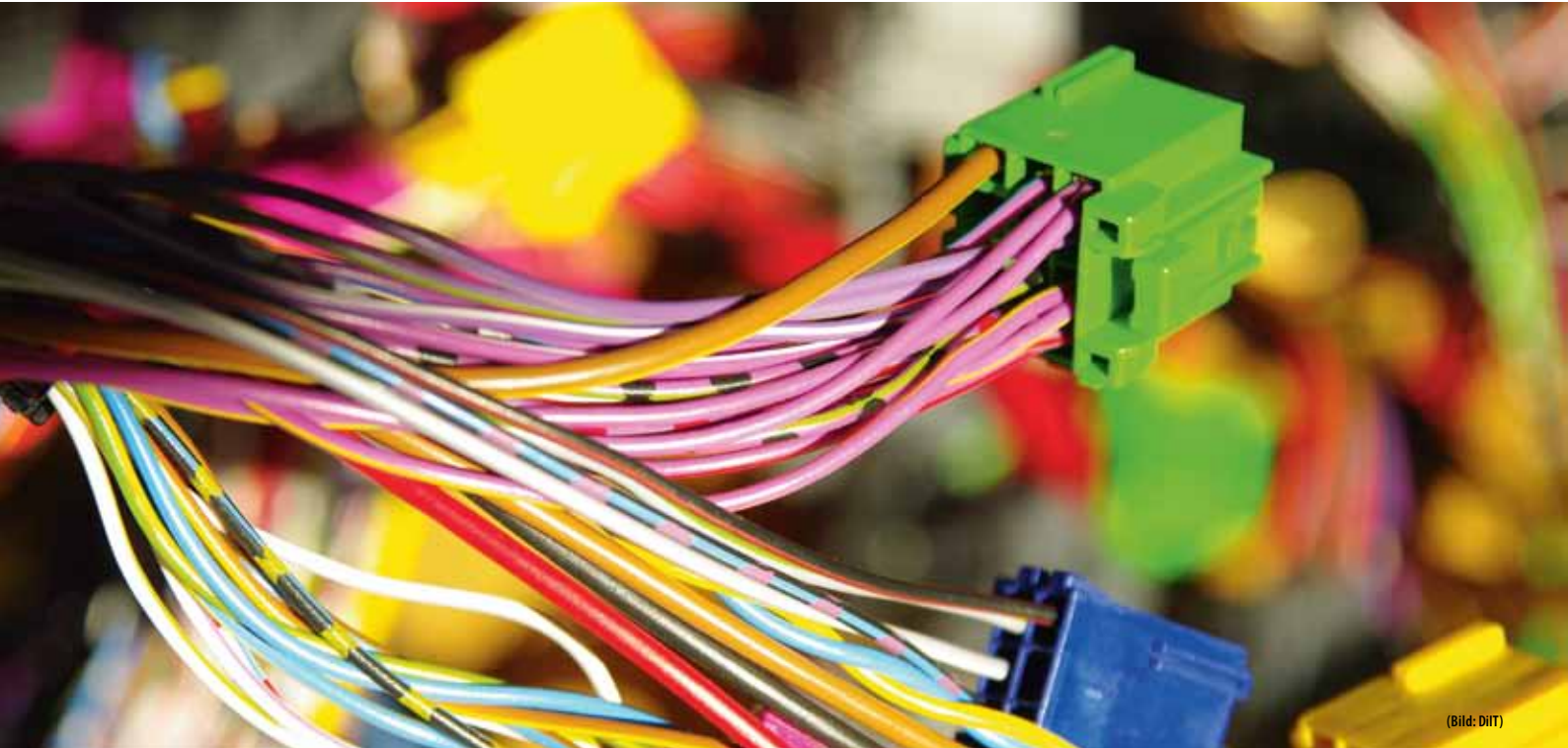


Rückverfolgbarkeit in der Produktion von Bordnetzen:

Die „gläserne“ Fertigungskette



(Bild: DIT)

In einer mehr und mehr digitalisierten Fahrzeugtechnik sind Qualitätskontrolle und Rückverfolgbarkeit ohne entsprechende Software wirtschaftlich nicht möglich. Beispielsweise lässt sich in den komplexen Prozessen der Herstellung von Bordnetzen die nötige Qualität anders nicht gewährleisten.

Von Bernd Jost

Bordnetze sind die Lebensader moderner Kraftfahrzeuge: Die Fülle von digitalen Systemen, die für Assistenzsysteme oder Connected Car benötigt werden, macht immer komplexere Bordnetze von höchster Zuverlässigkeit notwendig. Hergestellt werden sie in einer Mischung von hochgradiger Automatisierung und komplizierter Handarbeit. Die Qualitätssicherung dieser aufwändigen Prozesse ist eine anspruchsvolle Herausforderung, die hoch spezialisierte Software-Lösungen erfordert.

Die nun allerorten beschworene Digitalisierung ist in der Fahrzeugtechnik schon seit mehr als einem Jahrzehnt zu Hause: von der Motorsteuerung über

Assistenzsysteme wie Brems-, Spurwechsel- oder Einparkassistent bis hin zu Mediocentern mit Web-Anschluss. Die Hersteller implementieren in jeder Modellgeneration mehr IT und haben die Fahrzeuge längst zu fahrenden Rechenzentren gemacht. Diese Entwicklung scheint nun erst richtig in Fahrt zu kommen, denn Connected Car und das viel diskutierte autonome Fahren bedingen immer auch einen deutlichen Ausbau der digitalen Systeme.

In jedem Fall ist das Bordnetz das Rückgrat der Fahrzeug-IT. Es verbindet die digitalen Komponenten untereinander beziehungsweise mit analogen Fahrzeugkomponenten wie Motor oder Fahrwerk und zugleich versorgt es die

diversen Systeme mit Strom. Das Bordnetz ist daher entscheidend für Effizienz und Sicherheit eines Fahrzeugs. Bei Multimediasystemen mag man Fehlfunktionen oder gar Ausfälle noch als Ärgernis abhaken, bei Assistenzsystemen kann ein aufmerksamer Fahrer Systemfehler noch ausgleichen, aber bei autonomen Fahrzeugen ist das natürlich nicht mehr möglich. In diesem Fall sind Fehler nicht mehr akzeptabel, weder in den einzelnen Komponenten noch in den sie verbindenden Bordnetzen.

Ein kleiner Fehler kann Menschenleben kosten

Die Anforderungen an die Qualität von Bordnetzen steigen mit zunehmendem Umfang und wachsender Bedeutung der digitalen Fahrzeugsysteme drastisch. Fehlerhafte Verbindung von Kabeln, Kabelbruch oder ein loser Stecker in einem Bordnetz können nicht nur über den Erfolg einzelner Modellreihen, sondern auch über Menschenleben entscheiden.

Diese hohen Anforderungen sind natürlich auch eine Herausforderung an

die Produktion von Bordnetzen beziehungsweise Kabelbäumen. Und als wäre das nicht schon Aufgabe genug, kommt erschwerend dazu, wie die moderne Produktpolitik nahezu aller Fahrzeughersteller strukturiert ist: Modelle werden in einer wachsenden Zahl unterschiedlicher Varianten angeboten, um das Marktpotenzial möglichst umfassend auszuschöpfen. Konnte man früher Farbe und Motorleistung wählen – sowie eventuell noch Autoradio und Schiebedach dazubestellen – so werden heute in großer Vielfalt Ausstattungen und Assistenzsysteme angeboten. Die Zubehörlisten sind umfangreiche Dokumente. Ein Fahrzeug in „Vollausstattung“ kann schnell um 50 bis 70 Prozent teurer sein als das schlichte Grundmodell. Insofern ist der Variantenreichtum auch ein erheblicher wirtschaftlicher Faktor für die Hersteller, oft wird gerade damit Geld verdient.

Ausstattungsvarianten bedeuten heute fast immer – wenn es nicht gerade um Sitzbezüge geht – zusätzliche elektronische Systeme, sodass mit den Modellvarianten notwendigerweise auch die Bordnetze stark differenzieren. Darin unterscheiden sich die Hersteller entsprechend ihrer jeweiligen Produkt- und Markenphilosophie. Während sich beispielsweise asiatische Automobilhersteller in einem Modell auf eine überschaubare Zahl unterschiedlicher Bordnetzvarianten beschränken, ist es besonders im deutschen Premium-Segment üblich geworden, jede mögliche Kombination von Ausstattungsvarianten auch mit einem speziellen Bordnetz zu versehen. Ein hoher Aufwand, für den es nachvollziehbare Gründe gibt: Durch den beschränkten Platz im Fahrzeug wird zum einen versucht, das Verlegen von nicht benötigten Kabeln möglichst zu vermeiden. Zum anderen spielt das Gewicht der Kabel eine Rolle: Moderne Bordnetze (Bild 1) sind nicht nur mehrere Kilometer lang, sie erreichen damit auch ein hohes Gewicht, 50 bis 60 Kilogramm sind keine Seltenheit. Da die Hersteller aber alle Möglichkeiten zur Gewichtseinsparung nutzen müssen, um Kraftstoffverbrauch und Schadstoffausstoß zu reduzieren, werden auch die Bordnetze diesem Kriterium unterworfen. Sie werden daher immer stärker an individuelle Varianten angepasst und außerdem immer weiter miniaturisiert.

Vor diesem Hintergrund ist klar, dass Hersteller von Bordnetzen, zum Beispiel

Leoni oder Delphi, nicht nur höchste Qualität sicherstellen müssen, sondern dabei auch sehr große Flexibilität in der Herstellung. Bordnetze müssen aus den genannten Gründen mitunter in recht kleinen Losgrößen, manchmal sogar in Losgröße eins, gefertigt werden – ohne dass es dadurch zu Qualitätseinbußen kommen darf.

Qualität muss komplett rückverfolgbar sein

Je komplexer industrielle Fertigungsprozesse sind, desto aufwendiger und schwieriger ist es, die nötigen Qualitätsstandards sicherzustellen: Es gilt dabei ja, nicht nur zigtausende von Bauteilen und Komponenten, vom Kabelbaum bis zum kompletten Getriebe, ständig im Blick zu behalten. Alle diese Teile stammen ja auch von einer kaum übersehbaren Vielzahl von Zulieferern, die sich ihrerseits tief gestaffelter Strukturen von Vorlieferanten bedienen.

Zur Sicherung ihrer Qualitätsstandards müssen Hersteller für jedes verwendete Bauteil durchgängige Rückverfolgbarkeit sicherstellen. Sie müssen also nicht nur wissen, wer ein Bauteil wann produziert hat, sondern auch welche Chargen von Vorprodukten oder Rohstoffen verwendet wurden, welche Maschinen und Anlagen eingesetzt wurden und in letzter Konsequenz sogar, welche Mitarbeiter damit befasst waren.

Rückverfolgbarkeit ermöglicht eine genaue Fehlermittlung, weil man exakt feststellen kann, welche Charge an welcher Maschine für einen Fehler verantwortlich ist, sodass Gegenmaßnahmen schnell umgesetzt werden können. Rückverfolgbarkeit ermöglicht es, Fehler eng einzugrenzen, sodass Her-

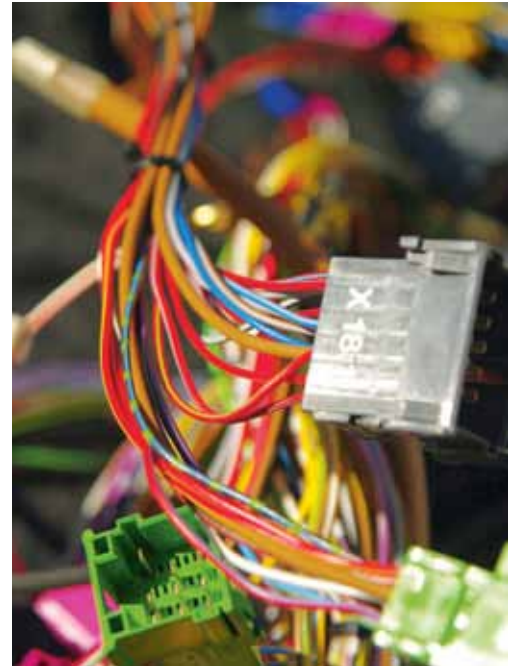


Bild 1. Moderne Bordnetze sind mehrere Kilometer lang, sie erreichen damit auch ein hohes Gewicht.

(Bilder: DiIT)

steller bei größeren Störungen nicht gleich komplette Serien zurückrufen müssen, sondern sich auf Fahrzeuge beschränken können, in denen die als fehlerhaft identifizierten Teile verbaut wurden.

Dieser Aspekt ist von großer wirtschaftlicher Bedeutung, denn damit entscheidet sich womöglich, ob 100 oder 100.000 Fahrzeuge zurückgerufen werden müssen. Rückverfolgbarkeit erlaubt es schließlich auch festzustellen, von welchem Zulieferer fehlerhafte Teile stammen. Auf diese Weise lassen sich dann möglicherweise Schadenersatzforderungen im Rahmen der Produkthaftung erheben – oder auch abwehren. Eine durchgängige Rückverfolgbarkeit lässt sich natürlich nur in



Bild 2. Eine durchgängige Rückverfolgbarkeit lässt sich nur mit einem Software-System herstellen, das die Daten im gesamten Prozess lückenlos erfasst.

einem entsprechenden Software-System (**Bild 2**), das die Daten im gesamten Prozess lückenlos erfasst, herstellen. Schon aus diesem Grund ist eine Automobilproduktion auf aktuellem Niveau nur noch Software-gesteuert und hoch automatisiert möglich.

Allerdings erfolgt die Produktion von Bordnetzen noch immer weitgehend manuell und ist damit sehr personalintensiv. Die Hersteller von Bordnetzen suchen daher immer wieder (neue) Standorte in Ländern mit niedrigen Arbeitskosten, was wiederum zur

Produktionsplan. Dieses Design enthält alle möglichen Varianten eines Bordnetzes, also zum Beispiel diverse Ausführungen von Mediacentern und Klimaanlagen. Der Bordnetzhersteller erstellt daraus einen Arbeitsplan und entsprechende Stücklisten. Aus Erfahrung erfolgen allerdings seitens der Fahrzeughersteller regelmäßig und in sehr kurzen Abständen Planänderungen; mit jedem dieser Updates muss die Planung angepasst werden.

Die Transformation des Designs in Arbeitsplan und Stücklisten wird von

Auf Basis eines solchen Regelwerks generiert das System aus dem Design Arbeitspläne und Stücklisten. Neben einer erheblichen Einsparung von Arbeitszeit liegen die Vorteile hinsichtlich Qualität im Eliminieren manueller Fehlerquellen aber auch im Vereinheitlichen des Vorgehens bei der Umsetzung. Die Software kann dann auch die Produktionsunterlagen auf Basis eines konkreten Just-in-Time-Lieferabrufs berechnen. Das jeweilige Bordnetz wird dann für dieses spezielle Fahrzeug in Losgröße Eins zum richtigen Zeitpunkt produziert.

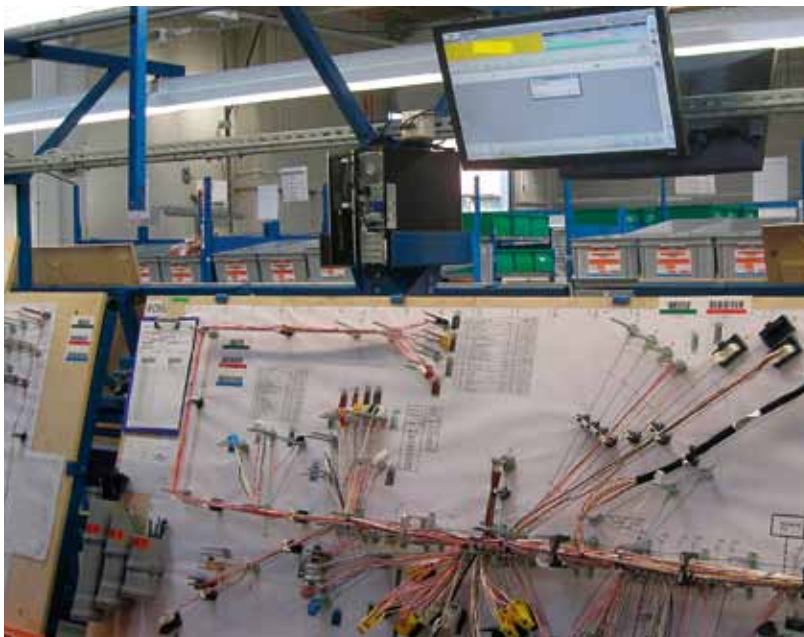


Bild 3. Die eigentliche Produktion von Kabelsätzen erfolgt in den drei Stufen Zuschneiden, Vormontage und Endmontage.

Folge hat, dass neue Mitarbeiter trainiert und eingearbeitet werden müssen. Dass diese Strukturen Auswirkungen auf Effizienz und Qualität haben, liegt auf der Hand. Umso wichtiger sind Qualitätssicherung und lückenlose Rückverfolgbarkeit. Die Herausforderung für ein Manufacturing Execution System (MES), das für die Produktion von Bordnetzen eingesetzt wird, besteht also darin, beides Software-gesteuert auch für manuelle Prozesse bereitzustellen.

Bordnetzdesign in einen Produktionsplan überführen

Dem eigentlichen Produktionsprozess vorgeschaltet ist die Überführung des Bordnetz-Designs, das in der Regel der Fahrzeughersteller dem Bordnetzhersteller zur Verfügung stellt, in einen

relativ großen Teams weitgehend manuell durchgeführt. Wie immer bei manuellen Tätigkeiten und erst recht, wenn diese unter Zeitdruck ausgeführt werden müssen, ist die Fehleranfälligkeit hoch. Die Änderungen werden in der Praxis nicht immer systematisch verwaltet und dokumentiert; auch der technische Stand eines Fahrzeuges wird nicht immer eindeutig und durchgängig festgehalten.

Da dies zu Lasten der Qualität geht, ist schon hier der Einsatz eines Software-gesteuerten Planungssystems sinnvoll. In einem derartigen System kann der Hersteller mittels einer Skript-Sprache Regeln festlegen, die definieren, wie ein Produktionsplan aufgebaut werden soll – also zum Beispiel, welche Arbeitsschritte maschinell erfolgen und welche manuell oder halbautomatisch durchgeführt werden.

Qualitätssicherung im Produktionsprozess

Die Steuerung des eigentlichen Produktionsprozesses erfolgt in der Industrie üblicherweise mit einem MES (Manufacturing Execution System). Aufgrund der zahlreichen Besonderheiten in der Produktion von Bordnetzen beziehungsweise Kabelbäumen konnten sich „allgemeine“ MES in diesem Sektor allerdings nicht durchsetzen. Sie scheitern zum Beispiel an der IT-technischen Beschreibung eines Kabelbaumes. Verschiedene Kabelsatz-Hersteller haben daher eigene Steuerungs-Systeme entwickelt. Dabei handelt es sich jedoch um Sonderanfertigungen, die nicht mehr passen, sobald sich Produktionsprozesse oder ERP-Systeme ändern.

Außerdem ist das Know-how oft undokumentiert und mit bestimmten Mitarbeitern verbunden. Die führenden Bordnetzhersteller wie Delphi, Yazaki, Sumitomo, Leoni oder Nexans setzen daher auf die Systeme, die ganz speziell für die Kabelsatz-Industrie entwickelt wurden; die Lösungen von DiIT haben sich hier mittlerweile als De-facto-Standard etabliert.

Die eigentliche Produktion von Kabelsätzen erfolgt in den drei Stufen Zuschneiden, Vormontage und Endmontage (**Bild 3**):

→ Das Zuschneiden der Kabel in der Cutting Area ist hoch automatisiert. Die betreffenden Maschinen schneiden die Kabel in bestimmter Länge zu, ziehen die Ummantelung ab und bringen Seals und Terminals an. Komplexere Maschinen können auch zusätzliche Prozessschritte durchführen und die Kabel beispielsweise verdrehen. Die Kabelstücke werden zu Bündeln zusammengefasst und

dem nächsten Produktionsschritt zur Verfügung gestellt. Ein für die Kabelbaumproduktion optimiertes MES sorgt so zur Steigerung der Produktivität für die optimale Verteilung der Aufträge auf Maschinen. Und auch dabei sind Qualität und Rückverfolgbarkeit wichtig: Die Maschinen sind in der Regel sehr hoch getaktet und die Kabel teilweise extrem dünn. Natürlich sorgt vor allem die Maschine selbst für Präzision; das MES trägt einen wichtigen Teil bei, indem es Steuerungsdaten direkt auf die angeschlossenen Maschinen überträgt, beispielsweise Crimpdaten, indem es qualitätssichernde Prozessschritte erzwingt, etwa durch Scannen, und indem es die Wartungszyklen der Werkzeuge überwacht. Um die Rückverfolgbarkeit herzustellen, vergibt die Software jedem Kabelbündel eine eindeutige ID und verwaltet durchgängig seine Historie.

- Die nächsten Produktionsschritte sind wieder hochgradig manuell. Zunächst werden in der Vormontage die Kabelbündel zu einfachen Kits zusammengefügt, beispielsweise durch Crimpen, Verschweißen oder Verdrehen. Die Historie der einzelnen Teile wird dabei fortgeführt. Beim Produzieren eines Kits wird eine neue ID erzeugt. Alle Komponenten, die in das Kit eingehen, werden gespeichert, sodass die Historie für eine eventuelle Rückverfolgbarkeit wieder vollständig ist.
- In der Endmontage werden die Kabelbäume auf „Legebrettern“ zusammengebaut (siehe Bild 3). Sie erstrecken sich meist über viele Arbeitsplätze. Da die Kabelbäume kundenspezifisch produziert werden, sind die Arbeitsschritte von Kabelbaum zu Kabelbaum unterschiedlich. Jeder Mitarbeiter muss also in jedem Takt eventuell ganz unterschiedliche Dinge tun – eine weitere Herausforderung für die Qualitätssicherung. Ein Software-System wie PLS (Production and Logistics System) von DiIT steuert diesen komplizierten Prozess, indem es den Mitarbeitern per Bildschirm die nächsten Arbeitsschritte anzeigt. Mitarbeiter können durch das System außerdem veranlasst werden, bestimmte Arbeitsschritte zu quittieren, Prüfschritte durchzuführen oder QS-relevante Daten einzugeben. Die Software kann damit auch in diesen manuellen Prozessen für ein hohes Qualitätsniveau sorgen.

Die „gläserne Komponente“ innerhalb der Fertigungskette

Selbstverständlich wird die Historie auch in der Endmontage fortgeschrieben. Das fertige Bordnetz besteht aus Tausenden von Komponenten, und zu jeder Komponente – wie auch zum gesamten Baum – führt das MES eine vollständige Historie. Es kann also genau dokumentieren, an welchem Tag, auf welcher Maschine, durch welchen Mitarbeiter und mit welchen Werkzeugen die einzelnen Komponenten produziert wurden. Auf diese Weise kann jederzeit

festgestellt werden, in welchen Fahrzeugen Bordnetze mit einem Kabel einer bestimmten Charge verwendet werden. Reparaturmaßnahmen oder Rückrufaktionen lassen sich so zielgenau durchführen.

In einer mehr und mehr digitalisierten Fahrzeugtechnik sind Qualitätskontrolle und Rückverfolgbarkeit ohne entsprechende Software wirtschaftlich nicht möglich. In den komplexen Prozessen der Herstellung von Bordnetzen mit ihrer eigentümlichen Mischung von hoher Automation und Handarbeit lässt sich die nötige Qualität anders nicht gewährleisten. Da ein Standard-MES für diese besonderen Anforderungen der Bordnetzherstellung nicht geeignet sind, sind entsprechende Speziallösungen unverzichtbar. *go*



Bernd Jost

ist seit 1. Januar 2016 bei der DiIT AG, einem Softwarehaus im Bereich Manufacturing Executions Systems für die Kabelsatzproduktion, tätig; zuerst in der Funktion als Chief Operating Officer und seit dem 1. Januar 2017 als Managing Director bei der DiIT. Jost ist studierter Diplom-Informatiker und verfügt über 20 Jahre Berufserfahrung als Führungskraft in der Technologiebranche. Er wechselte vom Stuttgarter E-Commerce Systemhaus SPH AG, wo er Vorstandsvorsitzender war. Zuvor war er u.a. bei der Daimler Tochter debis und dem französischen IT-Dienstleister ATOS in verschiedenen Führungspositionen tätig.
info@diit.de