



© Leoni

PRÄDIKTIVE WARTUNG DES BORDNETZES

Digitaler Zwilling

Hochautomatisierte Fahrfunktionen verlangen nicht nur eine funktionssichere Auslegung des Fahrzeug-Bordnetzes, sondern perspektivisch auch eine prädiktive Wartung. Der dafür benötigte digitale Zwilling eines Fahrzeug-Bordnetzes basiert auf validierten Modellen der Komponenten- und Systemsimulation, die bei LEONI in den vergangenen Jahren erarbeitet wurden. Damit ist der Weg frei, um weitere Schritte in Richtung eines digitalen Zwillings zu gehen.

Durch die Entwicklung zu hochautomatisierten Fahrfunktionen bekommt eine sichere Energieversorgung einen nochmals höheren Stellenwert. Daher arbeiten alle Automobilhersteller daran, die Eigendiagnosefähigkeit des Fahrzeugs zu erhöhen, um Fehler sicher zu diagnostizieren und zu lokalisieren. Einen Schritt weiter geht die Vision eines digitalen Zwillings. Darunter ist ein virtuelles Modell des realen Produktes zu verstehen, das im Betrieb mit der physikalischen Realität gekoppelt ist. Anders als bisherige Simulationsmodelle „altert“ der digitale Zwilling mit dem realen Fahrzeug, und zwar in dem Maße, wie das Fahrzeug im Betrieb tatsächlich Umweltbelastungen ausgesetzt ist. Ein solches Modell erlaubt es, Wartungsmaßnahmen präventiv zu ergreifen, also bevor es überhaupt

zu einem Schadensfall kommt. Ein digitaler Zwilling in diesem Sinn verlangt jedoch vollständig validierte Modelle auf Komponenten- und Systemebene [1]. Die Validierung der Modelle erfolgt auch im Fahrzeug-Bordnetz nicht mehr nur durch Hardware-Tests, sondern zunehmend durch Simulation, wodurch sich ein hierarchisches Vorgehen empfiehlt (Bild 1).

Simulation auf Komponenten und -systemebene

In den vergangenen Jahren hat LEONI die klassischen Methoden zur Validierung von Bordnetzkomponenten systematisch durch Simulationsmethoden ergänzt. Ziel war es zunächst, die Entwicklungszeit zu verkürzen sowie Überdimensionierung und das damit verbunde-

ne Mehrgewicht sowie die Mehrkosten zu vermeiden. Ein hoher Modell-Reifegrad ist dabei unter anderem für Verfahren zur Struktursimulation, der elektrothermischen Simulation, der Kabelverlegung und der Fertigung von Spritzguss-Bauteilen erreicht.

Die Energieflüsse in einem Fahrzeug-Bordnetz sowie Wechselwirkungen zwischen einzelnen Komponenten, etwa die thermische Last, die durch benachbarte Hochvoltleiter entsteht, sind nur auf einem höheren Systemlevel zu simulieren. Der Aufbau eines dreidimensionalen Systemmodells für das Bordnetz wäre jedoch mit unverträglich hohem Aufwand verbunden. Daher verfolgt LEONI in der Systemsimulation den Aufbau von eindimensionalen Modellen für eine elektrothermische sowie eine Energiefluss-Simulation (Bild 2). »

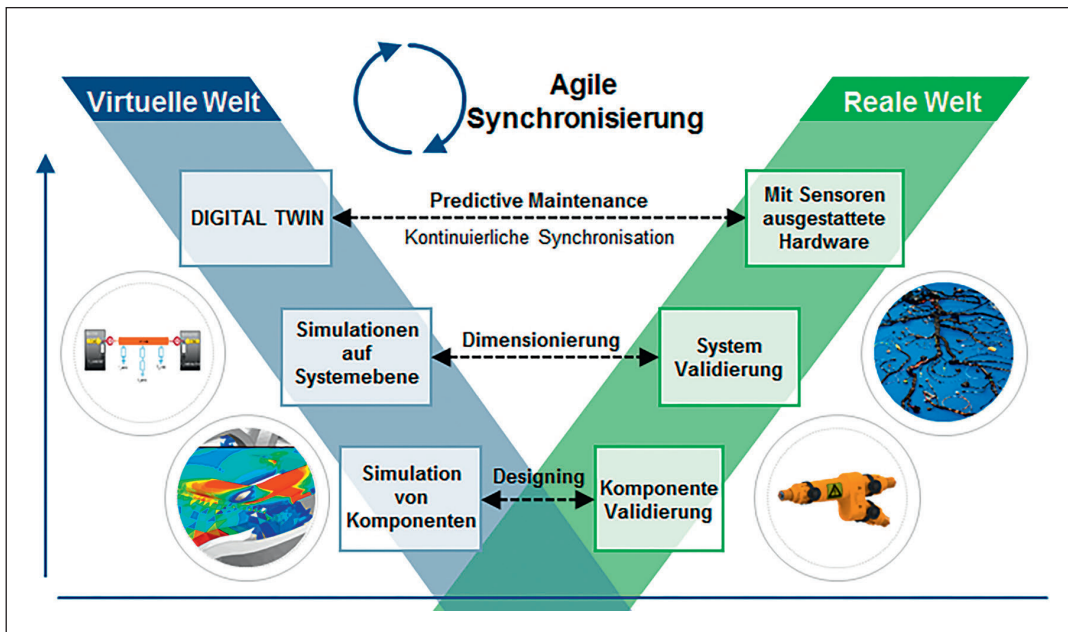


Bild 1: Simulationsbasierte Validierung von der Komponente zum digitalen Zwilling. © Leoni

Schritte zum Digitalen Zwilling

Ein digitaler Zwilling kann theoretisch auf verschiedenen Systemebenen aufgebaut werden. Daher ist zunächst eine Verständigung darüber notwendig, wie ein bedarfsorientierter Aufbau gestaltet wird. Diese Verständigung erfordert die einheitliche Verwendung derzeit nicht

genormter Begriffsdefinitionen. LEONI schlägt daher vor, für das Fahrzeug-Bordnetz folgende vier Systemebenen durchgängig zu verwenden (Bild 3):

- Komponente-Ebene
- Subsystem-Ebene
- Netzwerk-Ebene
- Gesamtfahrzeugsystem-Ebene

Auf jeder der genannten Ebenen müs-

sen die Voraussetzungen getroffen werden, um einen digitalen Zwilling auslegen zu können. So ist auf Komponente-Ebene die Voraussetzung für eine Messdatenerfassung zu schaffen, etwa indem gezielt Temperatursensoren an kritischen Komponenten eingesetzt werden. Gleiches gilt für die Subsystem-Ebene, insbesondere an Stellen, in

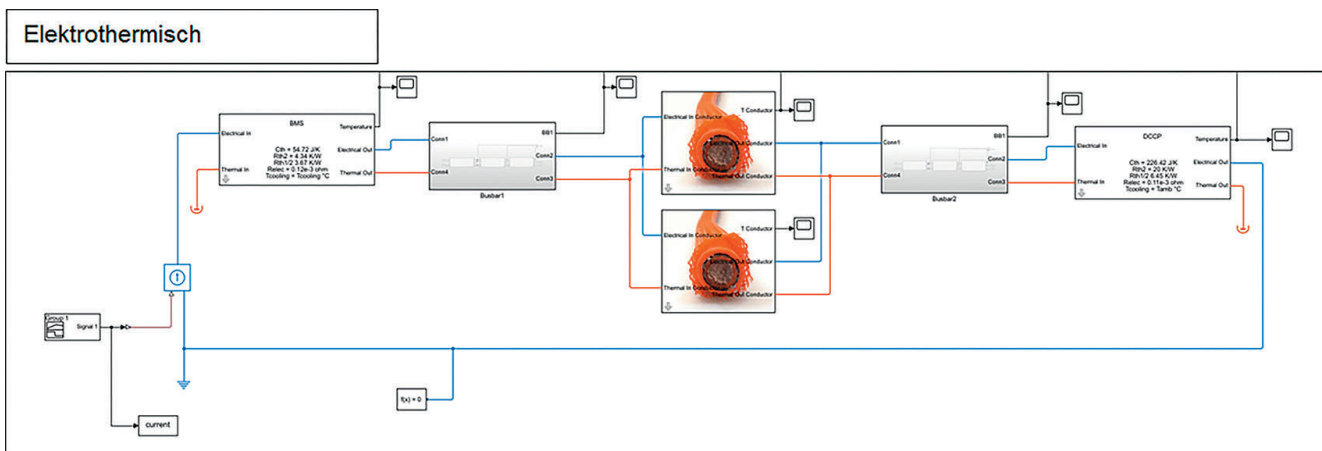
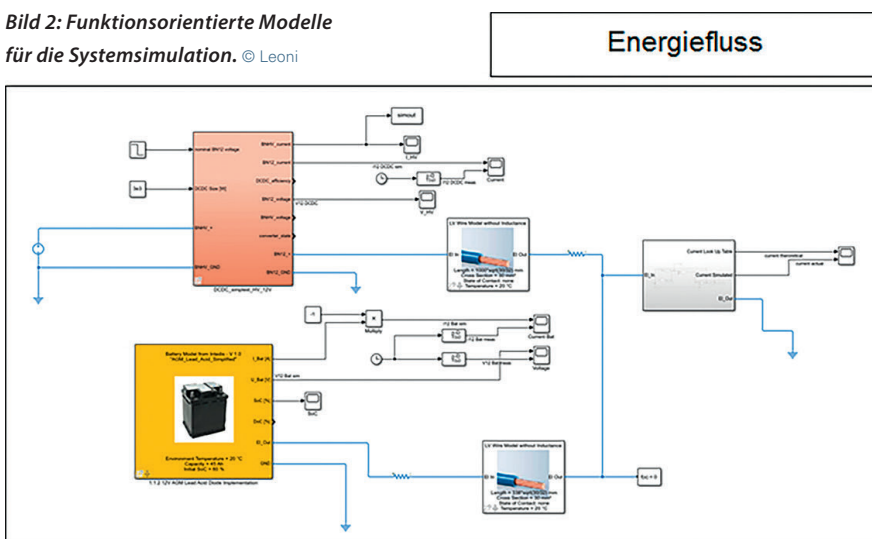


Bild 2: Funktionsorientierte Modelle für die Systemsimulation. © Leoni



denen sich Komponenten wie Hochvoltleiter gegenseitig stark beeinflussen. Aufgrund des damit verbundenen Aufwandes ist die Auswahl geeigneter und tatsächlich benötigter Messpunkte hier entscheidend. Die Datenzusammenführung ist aus Sicht des Bordnetzlieferanten auf der Netzwerk-Ebene sicherzustellen. Die Gesamtfahrzeug-Ebene, die alle an das Bordnetz angeschlossenen elektrischen Verbraucher und Steuergeräte berücksichtigt, bleibt auch in Zukunft in der Verantwortung des Fahrzeugherstellers. Aufgabe des Systempartners ist es, an der Kompatibilität der verwendeten Modelle mitzuarbeiten.

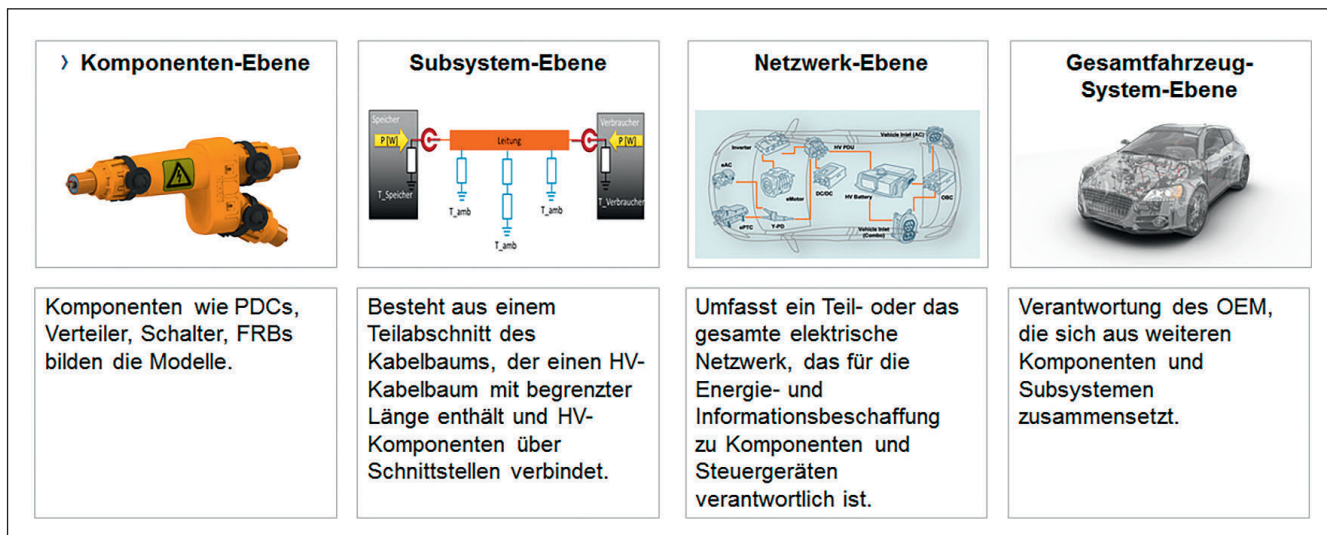


Bild 3: Definition der Systemebenen im Fahrzeug-Bordnetz . © Leoni

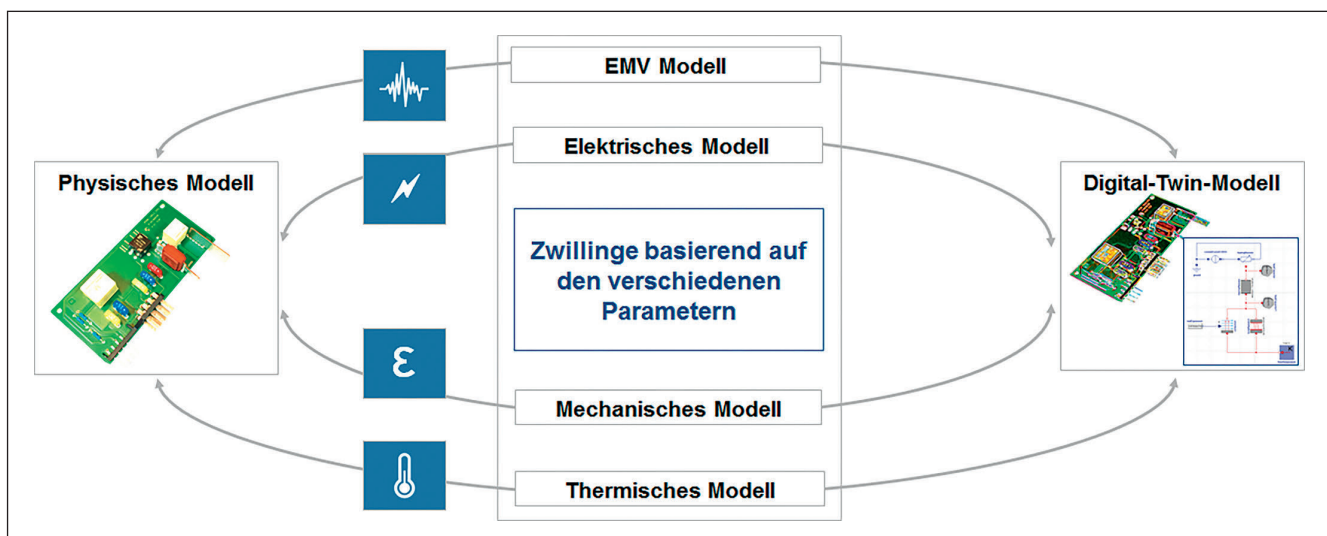


Bild 4: Physikalische Modelle als Bestandteile eines digitalen Zwillinges am Beispiel eines elektronischen Leistungsverteilers . © Leoni

Zielsetzung

Einen digitalen Zwilling für ein Fahrzeug-Bordnetz einzuführen, bedingt aufgrund der Komplexität bereits auf Netzwerkebene einen erheblichen Aufwand sowohl in der Entwicklung als auch im Datenmanagement während des Betriebs. Aus Sicht von LEONI ist es daher sinnvoll, bereits vor der Modellierung eine möglichst exakte Festlegung der späteren Datennutzung zu treffen. Dazu gehört als erster Teilschritt die Festlegung, wie sicherheitsrelevant der zu überwachende Netzwerk-Abschnitt ist, etwa im Hinblick auf automatisierte Fahrfunktionen. Eine grundlegende Unterscheidung kann dabei zwischen Betriebs- und Zustandsdaten getroffen werden.

Zudem ist möglichst auch bereits vor der Auslegung festzulegen, wer die ge-

wonnenen Daten später nutzen soll und wie die Anforderungen unterschiedlicher Nutzergruppen aussehen können. Bordnetz-Entwickler benötigen vor allem Daten zu tatsächlich auftretenden Lasten, um Komponenten und Systeme für Nachfolgenerationen eines Fahrzeugs möglichst bedarfsgerecht dimensionieren zu können. Ein E/E-Architekt ist hingegen vor allem an der Systemstabilität interessiert. Aus Sicht eines Produktionsexperten sind vor allem Daten zum Entstehungsprozess interessant. Und Vertriebs-Fachleute benötigen eines Tages vielleicht ein System-Monitoring, um Kunden aktiv auf anstehende Wartungsarbeiten hinweisen zu können, bevor es zu einem Bauteilschaden kommt. In Zukunft werden sicher noch weitere Nutzungsmöglichkeiten der durch den digitalen Zwilling bereitge-

stellten Daten hinzukommen. Diese können in Abhängigkeit von den zur Verfügung stehenden Simulationsmodellen zu weiteren Effizienzsteigerungen im Produktlebenszyklus führen.

Modellierung

Je nachdem, welche Anforderungen bestehen, kann ein digitaler Zwilling sehr unterschiedliche Ausprägungen annehmen. LEONI geht davon aus, dass es nicht den einen digitalen Zwilling als komplettes digitales Modell geben wird, sondern wiederum – wie auch in der Systemsimulation – mehrere miteinander gekoppelte, aber einzeln rechenbare Modelle entstehen. Eine endgültige Aufteilung kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht getroffen werden, doch eine Separation anhand grundlegender physi- »

kalischer Eigenschaften erscheint sinnvoll (Bild 4).

Ein solches Vorgehen erleichtert die zu treffenden Entscheidungen über tatsächlich benötigten Daten und damit die Sensordistribution. Letztere hat nicht nur über die Hardware-Kosten für die Sensoren, sondern auch über den zusätzlichen Entwicklungsaufwand für die Datenanalyse erheblichen Einfluss auf die Systemkosten.

Entwicklungsaufgaben

Sobald die im vorhergehenden Kapitel aufgeworfenen Fragen gelöst wurden, besteht der nächste Schritt in einer Umsetzung sowohl innerhalb des Fahrzeugs als auch in der Unternehmens-IT. Dafür sind zunächst geeignete und möglichst kostengünstige Sensorlösungen für das Fahrzeug-Bordnetz notwendig. Aus der Simulation sowie aus Fahrzeugmessungen sind hinreichend Daten vorhanden, um die Messbereiche sinnvoll einzugrenzen. Eine Herausforderung besteht allerdings darin, dass kaum Kenntnisse über die Häufigkeitsverteilung bestimmter Ereignisse im Betrieb bestehen.

Für alle erfassten Messdaten ist dann festzulegen, in welcher Form diese an die – in der Regel fahrzeug-externe – Auswertungs-Software kommuniziert werden. Auch wenn die Konnektivität von Fahrzeugen in Zukunft als gegeben betrachtet werden darf, müssen der physikalische Signalfloss sowie die benötigte Bandbreite exakt definiert werden. Eine Zunahme der Hardware-Komplexität wird dabei nur in engen Grenzen akzeptiert werden. Beim Aufbau der physikalischen Modelle ist deren permanente Veränderlichkeit von vorne herein zu berücksichtigen. Die reale Welt unterliegt kontinuierlichen Veränderungen, etwa durch neue Materialien oder Fertigungsmethoden, an die die Modelle mit möglichst geringem Codierungsaufwand angepasst werden sollten. Nicht zuletzt müssen mit der Einführung von Digitalen Zwillingen erstmals auch Aspekte der Cybersicherheit und des Datenschutzes in der Bordnetzentwicklung berücksichtigt werden.

Fazit

Mit dem Aufbau exakter dreidimensionaler Modelle auf Komponenten-Ebene

sowie physikalischer Modelle auf Netzwerk- und Subsystemebene schafft LEONI die Voraussetzung dafür, den digitalen Zwilling eines Fahrzeug-Bordnetzes zu realisieren.

Angesichts der Komplexität wird dabei nicht der Ansatz eines all-umfassenden Modells, sondern ein strikt bedarfsorientiertes Vorgehen verfolgt. So ist ein digitaler Zwilling sowohl sehr detailliert, aber dafür mit begrenztem Umfang, als auch mit hohem Abstraktionsgrad, dafür aber begrenzter Detailtiefe zu realisieren. ■ (oe)

www.leoni.com

Quellenverzeichnis

[2] Chakravarthi, A.R.: Simulation von Bordnetzen – auf dem Weg zur Predictive Maintenance mit dem Digital Twin. Landshut: Bordnetz-Kongress, September 2019



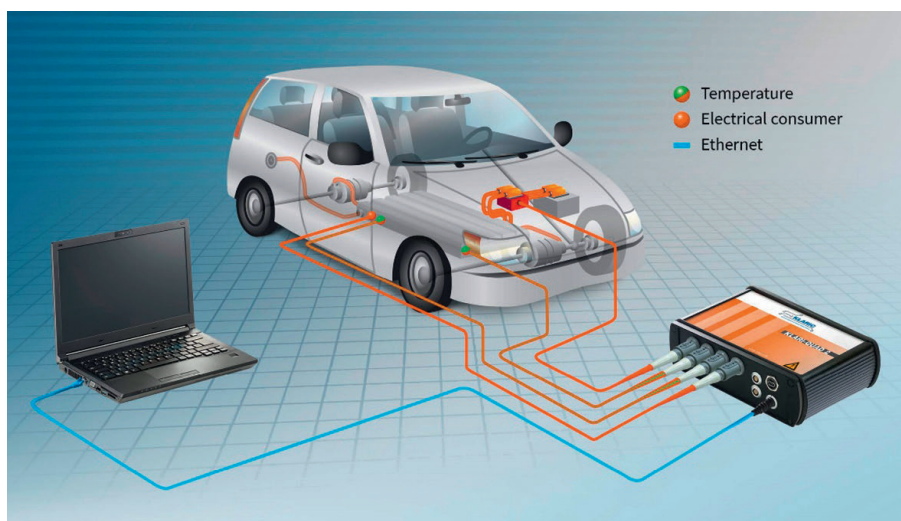
Aravind Ramesh Chakravarthi leitet das F&E-Team für Simulation bei der LEONI Bordnetz-Systeme GmbH in Kitzingen.

Hochspannungs-Messmodul

Klaric hat ein universelles HV-Messmodul mit 1500 V_{DC}-Isolation für sichere Messungen von Strom, Spannung und Temperatur in Elektro- und Hybridfahrzeugen vorgestellt. Die passenden HV-Proben und HV-Messadapter mit HV Steckverbindern (HVA280, HVP800, etc.) ermöglichen die präzise Erfassung von Strom- und Spannung mit nur einem Messzugang. Anhand der Messwerte können die Arbeit, Leistung

sowie die Lade-, Entlade und Totalbilanz berechnet und entweder über eine der zwei CAN-Schnittstellen oder über die Ethernet-Schnittstelle ausgegeben werden. Temperaturmessungen können wahlweise entweder mit PT100/1000-Sensoren oder HV-Thermoelementen des Typ K erfolgen. Es erfolgt eine automatische Erkennung der angeschlossenen HV-Probe oder des HV-Messadapters, wobei auch Kalibrierwerte ausgelesen werden, die in die Messkette eingerechnet werden. Durch die Autorange-Funktion können sowohl geringe als auch hohe Ströme/Spannungen mit der höchstmöglichen Auflösung gemessen werden. Hierbei schaltet das KLARI-QUAD 2 1500V automatisch den Messbereich um. Durch die Autorange-Funktion und die automatische Probeerkennung entfällt eine aufwändige Konfiguration der Messtechnik. Um das Datenvolumen zu reduzieren bietet das KLARI-QUAD 2 1500V die Funktion der dynamischen Abtastrate.

www.klaric.de



© Klaric