



## AUTONOME SYSTEME – DIGITALER ZWILLING

Eingebettete Systeme übernehmen eine Vielzahl von Steuerungs- und Regelaufgaben. Dabei arbeiten bereits heute verschiedene Systeme zusammen, um komplexe Aufgaben zu lösen. Beispielsweise sind in einer Oberklassenlimousine über 90 Steuergeräte verbaut, die nach einem festgelegten Muster miteinander kommunizieren, um alle Funktionen des Fahrzeugs zu realisieren. Dabei ist genau definiert, wer wann welche Informationen sendet, und wie diese Informationen kodiert sind. Da sich der Anwendungszweck einer Limousine während ihrer Lebenszeit nicht ändert, besteht auch keine Notwendigkeit, diese Kommunikation anzupassen.

---

### Herausforderungen autonomer Systeme

---

Autonome Systeme unterscheiden sich von den heute genutzten eingebetteten Systemen in zwei wichtigen Aspekten: Sie entscheiden zur Laufzeit selbst, mit welchen anderen Systemen sie Verbünde eingehen, um anstehende Aufgaben zu lösen, und

sie beteiligen sich nur vorübergehend an Verbänden. Erweitern Systeme durch die Integration von Komponenten von Drittherstellern dynamisch ihre Fähigkeiten, so spricht man dabei von Ökosystemen. Sind diese vornehmlich in Software realisiert, handelt es sich um Software-Ökosysteme. Die Realisierung dieser Systeme führt zu Herausforderungen, die aktuell nicht Bestandteil der Architekturen eingebetteter Systeme sind. So müssen autonome Systeme mit einer Vielzahl von anderen Systemen kommunizieren können, auch wenn diese zur Entwicklungszeit noch nicht bekannt waren. Daher ist es erforderlich, einen system- und herstellerübergreifenden Kommunikationsstandard zu definieren, der eine übergreifende Kommunikation ermöglicht. Es müssen technische Details festgelegt werden, zum Beispiel die unterstützten Datentypen und ob Daten mit dem höchstwertigen oder dem niederwertigsten Bit zuerst übertragen werden. Ebenfalls müssen komplexere Aspekte der Kommunikation standardisiert werden, die zum Beispiel definieren, wie eine bestimmte Information

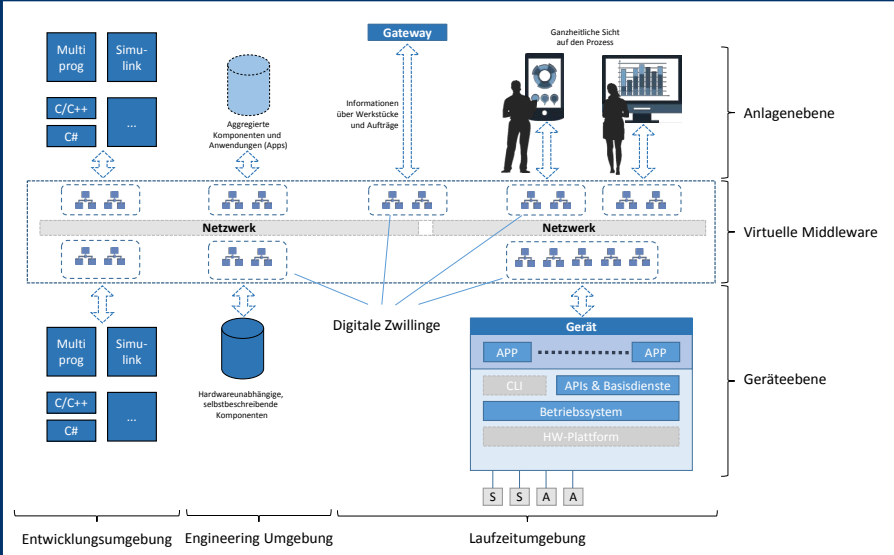
**Fraunhofer-Institut für  
Experimentelles Software  
Engineering IESE**

Fraunhofer-Platz 1  
67663 Kaiserslautern

Ansprechpartner:

Dr. Thomas Kuhn  
Telefon +49 631 6800-2177  
thomas.kuhn@iese.fraunhofer.de

[www.iese.fraunhofer.de](http://www.iese.fraunhofer.de)



Projekt BaSys 4.0: Konzept der »Digitalen Zwillinge«

oder ein bestimmter Dienst identifiziert wird, und welche zusätzlichen Informationen ein System benötigt, um seine Dienste bereitzustellen. Auch muss identifiziert werden, in welchem Format Daten bereitgestellt werden. Eine Reihe von Fehlern, die in der Vergangenheit beim Betrieb sicherheitsrelevanter eingebetteter Systeme aufgetreten sind, konnten auf fehlerhafte Datenformate und Einheiten zurückgeführt werden; beispielsweise wurden Entfernungen von einem Gerät in Fuß gesendet und das empfangende Gerät erwartete diesen Wert in Metern. Auch ist es wichtig festzulegen, mit welcher Qualität, d.h. mit welcher Verzögerung und ggf. Absicherung gegen Übertragungsfehler Daten ausgetauscht werden, und wie bei Bedarf die Vertraulichkeit von Daten gewährleistet werden kann.

### Autonome Systeme benötigen mehr als nur Daten

Auch wenn die Daten, die zwischen eingebetteten Systemen ausgetauscht werden, relevant sind, würde eine Standardisierung, die lediglich diese ausgetauschten Daten umfasst, in jedem Fall zu kurz greifen. Die komplexeren Herausforderungen bei der Kopplung eingebetteter Systeme liegen in der Kombination der durch die Systeme angebotenen Dienste.

Ein Beispiel hierfür ist ein dezentrales Logistiksystem, das die Auslieferung von Paketen in ländlichen Regionen organisiert. Pakete werden in freien Kapazitäten von Pendlern oder von Linienbussen befördert, um für Speditionen und Paketdienste unwirtschaftliche Strecken zu bedienen. Autonom agierende Systeme wie zum Beispiel Lieferdrohnen können sich in dieses System integrieren, um neue Dienste, wie zum Beispiel eilige Lieferungen von Medikamenten, zu realisieren. Da das ursprüngliche Logistiksystem weder das Konzept von Drohnen noch das Konzept von eiligen Lieferungen kannte, müssen diese Dienste durch den Austausch von Verhaltenscode realisiert werden.

Ein weiteres Beispiel für autonom kooperierende Systeme kommt aus der Domäne der Produktionssysteme. Gehäuse, zum Beispiel für Smartphones, werden heute in der Regel gefräst. Die additive Fertigung mittels 3D-Druck könnte als flexiblere Alternative integriert werden, um zum Beispiel Sonderwünsche und Einzelstücke zu

fertigen. Auch hier muss ein neuer Dienst und ein neues Verhalten in die Produktionssteuerung integriert werden.

Zentral für die beschriebene Kopplung von Diensten sind aufgabenorientierte Schnittstellen. Das Software-Ökosystem definiert dabei die Aufgaben, die durchgeführt werden müssen. Angeschlossene Einheiten legen fest, wie diese Aufgaben realisiert werden, ohne dass hierfür die Details der Umsetzung kommuniziert werden müssen. Durch semantische Technologien wie zum Beispiel Ontologien können Systeme über gleichartige Dienste informiert werden, auch wenn diese Dienste zur Entwicklungszeit des Systems noch nicht zur Verfügung standen. Auch können Dienstbeschreibungen erweitert werden.

### Digitale Zwillinge als Lösungskonzept

Die Integration von Diensten erfordert eine universell einsetzbare Kommunikationsschnittstelle und eine standardisierte Repräsentation dieser Dienste. Diese Kommunikation muss sowohl geräte- als auch herstellerübergreifend funktionieren. Digitale Zwillinge müssen die Fähigkeit besitzen, sich und die angebotenen Daten und Dienste selbst zu beschreiben. Ferner müssen sie die Fähigkeit besitzen, benötigte Dienste anderer Digitaler Zwillinge zu identifizieren, auszuwählen und diese zu nutzen, um sich selbst zu vernetzen.

Um das Konzept der Digitalen Zwillinge zu entwickeln, ist das Fraunhofer IESE in mehreren Bereichen aktiv. Im Rahmen des Projekts BaSys 4.0 entwickeln wir mit 14 weiteren Partnern aus dem Bereich der Produktionstechnik Konzepte und Lösungen, um Digitale Zwillinge als digitale Repräsentanzen für die Produktion zu realisieren. Der Fokus liegt hierbei auf der Realisierung einer standort- und netzwerkübergreifenden, sicheren und selbstorganisierenden Kommunikationsschnittstelle, die selbstbeschreibende Datenobjekte verwaltet. Genutzt werden auch hier aufgabenorientierte Schnittstellen, die die technische Realisierung eines Produktionsschritts abstrahieren. So ist es schlussendlich unerheblich, ob ein Produktionsschritt beispielsweise von einer Fräsmaschine oder von einem 3D-Drucker durchgeführt wird, solange das Ergebnis die erforderliche Qualität aufweist.