

## Veranstaltungsort:

Heinz Nixdorf MuseumsForum  
Fürstenallee 7, 33102 Paderborn

- **Mechatronische Produkte**  
(neue Funktionalitäten, Industrie 4.0, Kosten-effizienz, Zuverlässigkeit, ...)
- **Ressourceneffizienz**  
(Energie, Material, ...)
- **Automatisierte Mobilität**  
(Konzepte, Modelle, Sensorik)
- **Systems Engineering und Entwicklungsmanagement**  
(Prozesse, Verfahren, Software, ...)
- **Innovative Konzepte und digitale Geschäftsmodelle**  
(Modelle, Regelung, Optimierung, Eco-Systeme)
- **Nutzerfreundlichkeit und Akzeptanz**  
(Assistenzsysteme, Schnittstellen, Interaktion, Gesetzgebung, ...)
- **Systemvernetzung und Systemintegration**  
(Konzepte, Verfahren, ...)
- **Smarte Aktoren**  
(Konzepte, Beispiele, ...)
- **Serienfertigung mechatronischer Produkte**  
(Fallbeispiele, Komponenten, Architektur, Qualitätsmanagement, ...)

[www.VDI-Mechatroniktagung.de](http://www.VDI-Mechatroniktagung.de)

# Entwicklung eines IIoT-fähigen Greifsystems

## Development of an IIoT-capable gripping system

Nicolai Hoffmann, Christoph Pallasch, Simon Storms, Werner Herfs, Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen University, 52074 Aachen, Deutschland, N.Hoffmann@wzl.rwth-aachen.de

### Kurzfassung

Das industrielle Internet of Things (IIoT) basiert auf der vollständigen horizontalen und vertikalen Vernetzung der Fabrikhalle. Der steigende Automatisierungsgrad impliziert den vermehrten Einsatz von industriellen Robotern (IR) und Greifsystemen, die in die *Smart Factory* integriert werden müssen. Zwar bieten IR Schnittstellen zum Anschluss von Leistungselektronik sowie modellspezifisch Ein- und Ausgänge am Flansch an, komplexe Greiferkommunikation erfordert allerdings flexibel konfigurierbare Anschlüsse, die entweder nicht vorhanden oder proprietär implementiert sind. Einzelne Greifsysteme benötigen somit ein zusätzliches Datenkabel, welches zu einer Einschränkung des Bewegungsraums und einer Erhöhung der Kollisionsgefahr führt. Das Greifsystem selbst muss zur selbstständigen Kommunikation befähigt werden, um eine durchgängige Digitalisierung in der Montage zu erreichen. Ein prototypisch umgesetztes Greifsystem adressiert genannte Probleme durch Drahtlosechnologien und nutzt ein adaptierbares Konnektivitätsmodul, wodurch ein flexibles IIoT-fähiges cyber-physisches Greifsystem für das Kleinteilehandling entsteht.

### Abstract

The industrial Internet of Things (IIoT) is based on the complete horizontal and vertical networking of the factory. The rising degree of automation implies an increased use of industrial robots (IR) and gripping systems, which have to be integrated into the *Smart Factory*. Although IR interfaces for connecting power electronics and model-specific inputs and outputs are available on the flange, complex gripper communication requires flexibly configurable connections that are either not available or are implemented in a proprietary manner. Individual gripper systems therefore require an additional data cable, which leads to a restriction of the movement space and an increase in the risk of collision. The gripper system itself must be capable of independent communication in order to achieve end-to-end digitalization in assembly. A prototypically implemented gripping system addresses these problems using wireless technologies and utilizes an adaptable communication module, resulting in a flexible IIoT-capable cyber-physical gripping system for handling small parts.

## 1 Einleitung

Klassische, industrielle Automatisierungs- und Steuerungssysteme zeichnen sich durch ihre informationstechnisch starke Abgrenzung zu bestehenden Produktions- und Softwaresystemen und Einzelkomponenten aus [1]. Die stattfindende Transformation zum industriellen Internet of Things (IIoT) erfordert umfassende Änderungen der bestehenden Infrastrukturen, Systemarchitekturen und an den Geräten selbst, um eine durchgehende Vernetzung zwischen allen am Produktionsprozess beteiligten Sensoren, Akten und Prozessen sicherzustellen [2]. Durch die Digitalisierung profitiert auch die automatisierte Montage mit industriellen Robotern (IR) im Bereich des Keintilehandlings, indem technologische Mehrwerte für den Prozess und den Werker geschaffen werden. IR bieten meist Schnittstellen zum Anschluss von Leistungselektronik sowie modellspezifisch digitale und analoge Ein- und Ausgänge (E/A) an einer der vorderen Achsen oder direkt am Flansch an. Die Nutzung von allen zur Verfügung stehenden komplexen Greiferfunktionen, realisiert über Feldbusssysteme oder Ethernet-basierte Kommunikation, erfordern frei konfigurierbare Anschlüsse, die entweder nicht vorhanden (Universal Robots UR3/5/10) oder gerätespezifisch ohne Zugang für Dritthersteller implementiert

sind (Franka Emika Panda). Auf erweiterte Steuerungs-, Konfigurations- und Überwachungsfunktionen von servoelektrischen Greifsystemen wird folglich meist in Gänze verzichtet, da eine digitale oder analoge E/A-Steuerung besonders in Verbindung mit Werkzeugwechselsystemen praktikabler umzusetzen ist. Werden die zusätzlichen Funktionen benötigt, so muss ein zusätzliches Kommunikationskabel entlang des Arms verlegt werden, welches zu einer Einschränkung des Bewegungsraums sowie einer Erhöhung der Kollisionsgefahr mit Objekten in der Umgebung des Roboters führt. Vollständigkeitshalber soll erwähnt werden, dass dieser Umstand nicht auf alle IR zutrifft. Teilweise besitzen klassische IR wie der KUKA Agilus in die Kinematik integrierte Mediendurchführungen und einzelne kollaborative Roboter bieten die Möglichkeit an, beispielhaft sei hier der KUKA iiwa genannt, mit einem Medienflansch inklusive Elektro- und Fluiddurchführung ausgerüstet zu werden. Auf Grund der Popularität von einfachen und kostengünstigen Modellen, wie die CB Reihe von Universal Robots, wird das Fehlen von Durchführungen dennoch als signifikant angesehen. Neben den angesprochenen mechanischen und elektrischen Kopplungsproblemen ist besonders eine durchgängige horizontale Konnektivität auf Werkstattebene notwendig [3]. Nutzungshistorie, erwartete Lebenszeit

und aktuelle Position sind nur wenige benötigte Statuswerte zur vollständigen Digitalisierung der Fabrik der Zukunft [4]. Diese Anforderungen können von aktuellen Greifsystemen nicht bedient werden. Die digitale Transformation von Sensor-Aktor-Systemen in cyber-physischen Systeme (CPS) wird nachfolgend anhand eines Greifsystems für das Kleinteilehandling in der automatisierten Montage aufgezeigt. Als Schlüsselaktivatoren zur Generierung von digitalen Mehrwerten wurden drei Nutzen identifiziert, die im Folgenden näher erläutert werden.

## 1.1 Kabellose Steuerung

Kabellose Verbindungen sind Schlüsseltechnologien für die Digitalisierung: Zum einen erhöhen sie die Flexibilität, da keine manuelle Verkabelung von Datenleitungen vorgenommen werden muss und Netzwerktopologien zur Laufzeit adaptiert und rekonfiguriert werden können. Zum anderen erlauben sie den schnellen Austausch von Informationen zwischen Geräten und schränken den Bewegungsraum von beweglichen Objekten im Gegensatz zu Kabelverbindungen nicht ein. Das Ersetzen von Kabeln durch funkbasierte Lösungen ermöglicht eine Reduzierung von Inbetriebnahmezeiten und Wartungskosten, indem kabelgebundene Verbindungen an mechanisch stark beanspruchten Stellen vermieden werden können. Die Nutzung von kabellosen Technologien birgt indes Gefahren einer geringeren Zuverlässigkeit in Form von Interferenzen und Abschirmung durch die Umgebung. Diese Einschränkung der Dienstgüte muss zwingend vermieden werden, sodass die Fähigkeiten des Greifsystems in keiner Weise eingeschränkt werden.

## 1.2 Vorausschauende Instandhaltung

Basierend auf der vorausschauenden Instandhaltung ermöglicht die Digitalisierung neuartige Geschäftsmodelle. Ziel ist es, das Ende der Lebenszeit von Komponenten im vorhinein zu erkennen und Empfehlungen für Wartungsarbeiten zu geben, bevor es auf Grund mechanischer Ermüdung zu einem Ausfall besagter Komponenten kommt. Bei Greifsystemen geben die Anzahl der Referenzierungsfahrten, die zurückgelegte Gesamtstrecke bei Öffnungs- und Schließvorgängen und Stromkurven der verwendeten Motoren eine Aussage über den mechanischen Verschleiß. Diese Informationen kann das Greifsystem kontinuierlich oder zu diskreten Zeitpunkten durch Vorverarbeitung auf dem Gerät an eine übergeordnete Entität, zum Beispiel eine Cloudinstanz, senden. Die aufbereiteten Daten können in einem weiteren Schritt ausgewertet und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

## 1.3 Kontinuierliche Lokalisierung

Wenn Produktionszellen sich im Sinne von Industrie 4.0 bei der Herstellung eines hochindividualisierten Produkts selbstständig konfigurieren und benötigtes Material anfordern, gilt dies auch für die benötigten Werkzeuge und Greifsysteme. Da die Prozesse dynamisch geplant werden, müssen alle verfügbaren Zellen auf einen gemeinsamen

Vorrat an Endeffektoren zugreifen können. Wo sich das Werkzeug innerhalb der Halle befindet, muss zu jeder Zeit im System bekannt sein, weshalb eine kontinuierliche Lokalisierung im inneren von Gebäuden als weitere Schlüsseltechnologie bezeichnet werden kann.

## 2 Stand der Technik

Der Trend zum vermehrten Einsatz von kollaborativen Robotern in industriellen Applikationen bestärkt in der Notwendigkeit von alternativen Kommunikationskonzepten für verwendete Greifsysteme [5] [6]. Durch eine Integration von *smartem* Funktionen direkt in die Motortreibermodule können neuartige Greifsysteme schon während der Konstruktionsphase mit erweiterten Funktionalitäten beispielweise zur vorausschauenden Wartung konzipiert werden [7]. Die hohe Varianz an verfügbaren Systemen für die automatisierte Montage induziert grundsätzlich zwei Problemstellungen: Die Fülle an genutzten Protokollen sowie die verwendeten mechanischen Schnittstellen. Letzteres ist nicht alleinig auf klassische Systeme beschränkt, da fehlende Standardisierung ebenfalls ein großes Problem im Internet of Things (IoT) darstellt [8]. Für die beiden identifizierten Probleme müssen Lösungen gefunden werden. Konzepte und Technologien aus dem Bereich der Konsumentenelektronik versuchen gleiches Problem im nicht industriellen Sektor zu lösen, weshalb eine nähtere Betrachtung zur Tauglichkeit und Adaption selbiger in das IIoT vorgenommen wird. Geeignete Konzepte und Technologien werden im Folgenden kurz dargestellt:

### 2.1 Hardwareabstraktion

Eine Hardwareabstraktionsschicht definiert Standardschnittstellen, die von Herstellern implementiert werden müssen. Deren tatsächliche Implementierung ist für die darauf zugreifende Applikationsschicht unbedeutend, sofern die benötigte Funktionalität erreicht wird. Eine solche Hardwareabstraktionsschicht ist beispielsweise aus Robot Operating System (ROS) und Android bekannt (siehe Abbildung 1). Sie ermöglicht eine Interoperabilität zwischen unteren und oberen Schichten einer Softwarearchitektur, indem sie gegenüber herstellerspezifischen Treiberimplementierungen robust ist. Für Sensornetzwerke gibt es zahlreiche Konzepte für Abstraktionsschichten und Middleware [9-12], wohingegen Aktoren bis heute in der Forschung nur wenig betrachtet wurden. Zug et al. präsentieren mit der Kommunikationsmiddleware FAMOUSO und der Programmierungsabstraktion MO-SAIC ein sehr vielseitig einsetzbares Ökosystem für die Abstrahierung von Sensor-Aktor-Systemen [13]. Zur Lösung der identifizierten Probleme von Greifsystemen ist dieser Ansatz nicht effizient umsetzbar und erlaubt keine Retrofitting-Lösung direkt im Feld. Eine spezifische Lösung für Greifersysteme fehlt zum jetzigen Zeitpunkt.

### 2.2 Kabellose Datenübertragung

Kabellose Funktechnologien sind auch im industriellen Umfeld keine Neuheit mehr, finden aber auf Grund von im Allgemeinen höheren Latenzen nur in nicht zeitkritischen

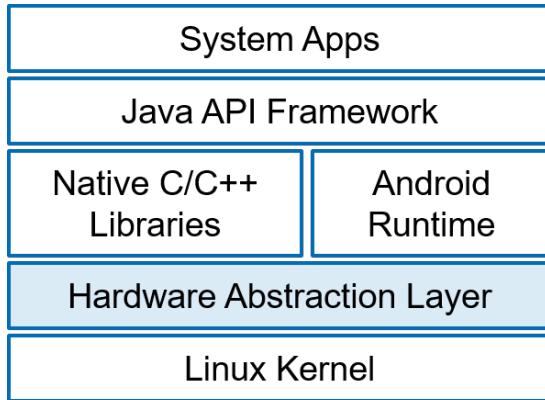


Abbildung 1 Android Plattformarchitektur nach [16]

Feldern Anwendung, in denen eine hohe Flexibilität gefordert ist oder aber kabelgebundene Lösungen auf Grund von mechanischen Randbedingungen nicht verwendbar sind. Salvietti et al. beschreiben einen neuartigen kabellosen Greifer für die kollaborative Arbeit, gehen aber nicht im Detail auf die verwendete Funktechnologie ein [14].

### 3 Systemarchitektur

#### 3.1 CPS-Modulararchitektur

Das klassische Aktorpaket beim Kleinteilehandlung besteht wie in **Abbildung 2** dargestellt aus vier Modulen: Der Roboterflansch zur mechanischen Kopplung von Werkzeugsystemen, ein optional vorhandener Schnellwechselkopf mit passendem Schnellwechseladapter auf Seiten des Werkzeugs sowie dem Greifsystem selbst. Die Energieversorgung sowie Ein- und Ausgangssignale werden vom Roboterflansch per Elektromodul durch das Schnellwechselsystem an das Greifersystem übertragen. Zwischen Schnellwechseladapter und Greifsystem wird ein zusätzliches, fünftes Modul mit kabellosen Schnittstellen montiert, welches als Konnektivitätsmodul fungiert. Dieses implementiert drei kabellose Funktechnologien zur Realisierung der drei einleitend erwähnten Mehrwertdienste. *Bluetooth Low Energy* dient auf Grund des standardisierten Advertisings und des Service-Charakteristik-Aufbaus zum strukturierten Anbieten von Funktionen. Durch das *Adaptive Frequency Hopping* (AFH) von *Bluetooth* wird eine Störresistenz im 2.4 GHz Spektrum erreicht, die einen hohen Quality-of-Service bei der Funkkommunikation garantiert. Zur Übertragung von Statusinformationen dient ein zweiter, logisch getrennter Funkkanal auf Basis von *WLAN*. Dieser dient der Anbindung an *TCP/UDP* basierte Dienste wie *MQTT*, *REST* Anfragen oder *CoAP*. Zuletzt wird ein Ultrawitbandmodul genutzt, um eine kontinuierliche Indoorlokalisierung zu erlauben, sofern die benötigte Infrastruktur innerhalb der Umgebung zur Verfügung steht.

#### 3.2 Softwarearchitektur

In **Abbildung 3** ist das Schichtenmodell des entwickelten Greifers dargestellt. Zu erkennen ist, dass die unterste Schicht die Hardwareimplementierung des Greifersys-

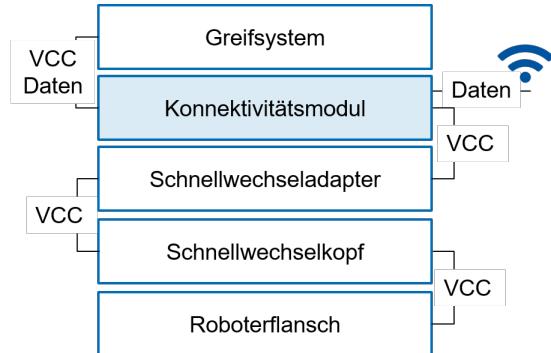


Abbildung 2 Aufbau eines Aktorpakets im Kleinteilehandlung

tems enthält. Dies entspricht den mechanischen Komponenten zur Erfüllung der Greifaufgabe; im Regelfall eine Kombination aus Motor, Encoder und Linearaktorik. Ob das Antriebssystem beispielsweise durch einen Schrittmotor oder einen Gleichstrommotor realisiert wird, ist für die Schnittstellen nicht relevant. Ein Mikrocontroller muss die Schnittstellen in Form von Methoden veröffentlichen, sodass die Funktionsweise wie gefordert realisiert wird. Handelt es sich bei dem Greifsystem um ein bestehendes System mit zusätzlichem Konnektivitätsmodul als Retrofittinglösung, so enthält die unterste Schicht neben Motor, Encoder und Mikrocontroller auch die entsprechende Regelungshardware. Die Abstraktionsschicht sitzt somit dennoch über der Hardwareimplementierung des Herstellers.

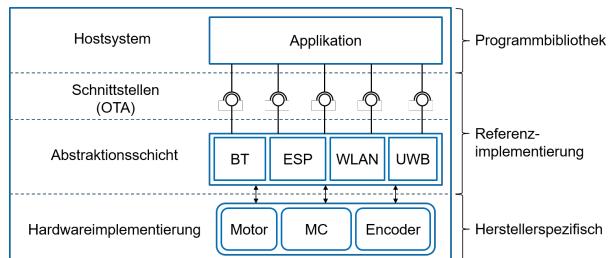
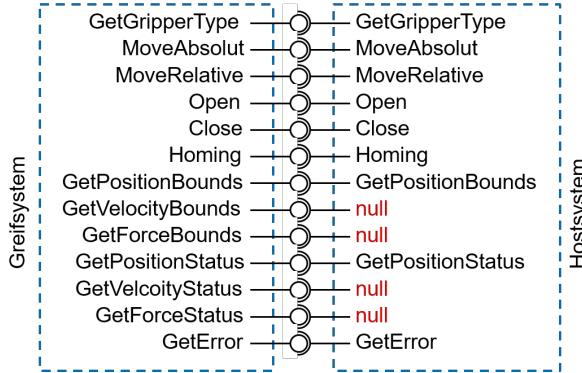


Abbildung 3 Schichtenmodell eines I4.0-Greifsystems

#### 3.3 Hardwareabstrahierte Übertragung

Als Schnittstelle der Abstraktionsschicht zur höher gelegenen Applikationsschicht hin wird das von *Bluetooth Low Energy* bekannte *Generic Attributes* (GATT) Modell genutzt, bei dem ein Service zusammenhängende Charakteristiken definiert. Greiferfunktionen werden im generierten Service mit immer gleicher UUID gekapselt und repräsentieren Methoden wie Öffnen, Schließen, Referenzfahrt und kraftgeregeltes Verfahren. Benötigt ein Hostsystem ein Greifsystem mit einem spezifischen Set an Funktionen, so kann es per Scan nach in der Umgebung befindlichen Greifern suchen, die per *Advertising* anzeigen, dass sie momentan nicht genutzt werden. Über das Vorhandensein spezifischer Charakteristiken im Service können Hostsysteme nun entscheiden, ob das Greifsystem entsprechende Methoden implementiert und es somit für den gewünschten Einsatzzweck verwendbar ist.

(siehe **Abbildung 4**). Ist dies der Fall, so kann das System anzeigen, dass dieser Greifer benötigt wird. Ein Aufruf entsprechender Funktionen nach aktivieren des Leistungssteils per Andocken an den Roboterflansch aktiviert die Referenzfahrt und ermöglicht somit im weiteren Verlauf des Prozesses die erfolgreiche Bearbeitung.



**Abbildung 4** Anbindung unterstützter Greiferfunktionen an das Hostsystem

### 3.4 Transparente Übertragung

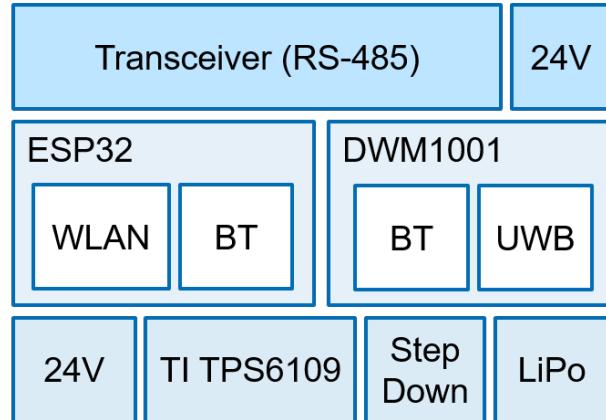
Als Fallback-Lösung ist neben der Datenkommunikation durch die Hardwareabstraktion eine zusätzliche transparente Datenübertragung implementiert. Diese nutzt einen zusätzlichen Service mit einer Sender(Tx)- und Empfänger(Rx)-Charakteristik. Die Empfänger-Charakteristik implementiert die *Read* und *Notify* Flag mit einer erhöhten *Maximum Transmission Unit* (MTU), sodass 200 Bytes in einer einzelnen Nachricht zwischen beiden Geräten ausgetauscht werden können. Dies erlaubt die Adaption von vielen bereits bestehenden Greifersystemen mit seriell Kommunikationskanal, die beispielsweise Modbus RTU bzw. Modbus ASCII zur Datenkommunikation verwenden.

## 4 Umsetzung

### 4.1 Aktor

Das in **Abbildung 5** dargestellte Konnektivitätsmodul ist aus vier Primär- und mehreren Sekundärkomponenten aufgebaut, wobei erstere die Funktionalitäten bereitstellen und letztere zum Betrieb der primären Bauteile benötigt werden. Ein Espressif ESP32 Mikrocontroller, welcher *Bluetooth* und *WLAN* Funktionalitäten zur simultanen Datenübertragung auf zwei getrennten Kanälen bereitstellt wird von einem Decawave DWM1001 Modul zur Lokalisierung im inneren von Gebäuden durch *Ultra-Wideband* (UWB) Funktechnologien erweitert. Das DWM1001 Modul selbst implementiert einen Decawave DWM1000 UWB Transceiver, einen 3-Achsen Beschleunigungssensor sowie einen Nordic Semiconductor nRF52832 Mikrocontroller. Zur Konnektivität mit bestehenden Greifsystemen wird ein entsprechendes Transceivermodul je nach verwendetem Greifsystem benötigt. Implementiert ist eine RS-485 Schnittstelle zur Anbindung von seriellen Greifern

wie dem Robotiq 2F-85. Damit das Modul nach einem Werkzeugwechsel autark Statusmeldungen sowie Positionen über das UWB Modul senden kann, wird ein Texas Instruments TPS61090 Boost Converter mit angeschlossenem 600 mAh Lithium-Polymer-Akku (LiPo) verbaut. Die Kombination erlaubt das gleichzeitige Laden und Verwenden des Moduls über eine bestehende Energieversorgung bei einer Montage am Roboter. Wird das Modul abgekoppelt und die Energieversorgung getrennt fungiert der LiPo als unterbrechungsfreie Stromversorgung, sodass der Leistungsteil abgeschaltet wird und der Logikteil weiterhin aktiv bleiben kann. Die Schichtenarchitektur des Konnektivitätsmoduls kann in drei Schichten eingeteilt werden. Die Eingangsschicht nimmt die Energieversorgung über das Schnellwechselsystem auf und verteilt die Energieversorgung (24V) zum einen zur Ausgangsschicht für den Betrieb des Leistungsteils, zum anderen intern zu einem Step-Down-Converter, wodurch das Spannungslevel für den Boost Converter auf 5.2V heruntergesetzt wird. Der gepufferte Output bietet 5.2V mit bis zu 1A zur Versorgung der Konnektivitätsmodule. In einer zweiten Stufe wird ein weiterer Step-Down-Converter für die Erzeugung einer 3.3V Schiene genutzt, um die Logikschicht mit ESP32, DWM1001 und MAX3485 Transceivermodul zu speisen. Die Ausgangsschicht besitzt einen fünfpoligen Buchsenverbinde mit M12 Schraubgewinde zum Anschluss der Robotiq 2F-85 Adapterplatte, in dem die 24V Energieversorgung sowie das RS-485 Signal gemeinsam aus dem Konnektivitätsmodul hinausgeführt werden.

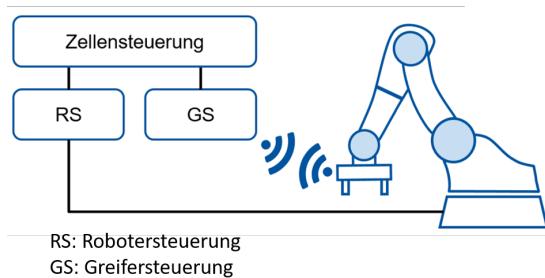


**Abbildung 5** Aufbau des Konnektivitätsmoduls

### 4.2 Host

Für den Versuchsaufbau wurde wie in **Abbildung 6** dargestellt eine einfache Pick-and-Place-Aufgabe gewählt, bei der der Roboter aus seiner Ruheposition einen Punkt über dem Objekt anfährt, das Objekt aufnimmt und an einen anderen Platz bewegt. Roboter und Greifsystem sind als Assets angebunden, haben demnach keine Kenntnis über die Funktionen des Anderen. Einzig das Werkzeug wurde im Roboter eingemessen, um im Werkzeugkoordinatensystem verfahren zu können. Die Steuerung übernimmt ein in C-Sharp geschriebenes Programm, welches die Funktions-

aufrufe zum Bewegen des Roboters aufruft und nach Erreichen des Zielpunkts die Greiferaktionen aufruft. Realisiert wurde dieser Ablauf in zwei verschiedenen Aufbauten: Zu Beginn wurde ein KUKA Agilus KR6 Sixx genutzt, welcher kabelgebunden über das *Robot Sensor Interface* (RSI) mit absoluten Positionsdaten im Interpolationstakt gesteuert wurde. Ein Nordic Semiconductor nRF52832 in Form des RedBear BLENano2 diente mit DAPLink Erweiterungsplatine zur einfachen Bereitstellung einer Bluetooth-schnittstelle durch Emulation eines seriellen COM-Ports am Hostsystem. Somit ist eine Verwendung auch auf Linux basierten Systemen möglich. In einem zweiten Aufbau wurde ein Universal Robots UR3 eingesetzt. Der Prozess wurde beibehalten, allerdings der USB-zu-RS-485 Adapter aus dem Lieferumfang des Robotiq 2F-85 Greifers durch den BLENano2 ersetzt. Es wurde des Weiteren getestet, ob das vom Hersteller mitgelieferter *URCaps-Plugin* eine Nutzung der transparenten Datenübertragung über den *UARTService* erlaubt. In beiden Varianten wurden während des Betriebs Sensorwerte vom Greifsystem wie Motorströme, Greifkräfte und Zustände per WLAN aus dem System aggregiert und mit den Roboterpositionen fusioniert auf einem Dashboard dargestellt. Zuletzt wurden die Funktionen als autarkes cyber-physisches System getestet, indem das Greifsystem demontiert und in der Werkstatt bewegt wurde, um die Lokalisierungs- und Kommunikationsfähigkeiten außerhalb eines Prozesses zu testen.



**Abbildung 6** Schematischer Versuchsaufbau

## 5 Ergebnis

Der Versuchsaufbau konnte zeigen, dass eine kabellose Steuerung von Greifersystemen über *Bluetooth Low Energy* möglich ist. Kommt es zu einem Abbruch der Verbindung zwischen Sender und Empfänger, so versucht das System selbstständig die Verbindung wieder herzustellen. Kann keine Verbindung aufgebaut werden, so kommt es zum Stillstand des Prozesses. Vermehrte Verbindungsabbrüche waren nur feststellbar, als der BLENano2 direkt im Schaltschrank montiert wurde. Ein USB-Verlängerungskabel und die Montage des Empfängers auf der Oberseite des Tischs sorgte für einen unterbrechungsfreien Prozessablauf. Die Funktionalitäten des *URCaps-Plugin* wurden nach dieser Maßnahme durch den Wechsel auf eine kabellose Kommunikation nicht weiter beeinträchtigt. Im autarken Modus lief das CPS knapp vier Stunden mit dem verbauten 600 mAh LiPo, was vornehm-

lich durch eine Reduzierung des Stromverbrauchs verbessert werden muss.

## 6 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Projekts wurden zwei Probleme im Bereich der automatisierten Montage mit Handhabungsgeräten und Greifsystemen für Kleinteile identifiziert, die auf dem Weg zur intelligenten Produktion gelöst werden müssen. Die große Varianz an mechanischen und kommunikationstechnischen Schnittstellen im Bereich der Greifertechnik konnte durch einen Vorschlag zur Standardisierung von Funktionsschnittstellen über eine kabellose *Bluetooth Low Energy* Verbindung konzeptuell gelöst werden. Es wurde gezeigt, dass eine Vermeidung von zusätzlichen Kommunikationskabeln durch den Einsatz von kabellosen Technologien für den vorgestellten Use-Case möglich ist. Das Problem der horizontalen Vernetzung auf Zellenebene wurde durch die Wandlung eines klassischen Kleinteilegreifers hin zu einem cyber-physischen System gelöst. Die vorgestellte Architektur sowie Umsetzung eines adaptiven Konnektivitätsmoduls ermöglicht das Nachrüsten auch bestehender Greifsysteme. Die in der Einleitung erläuterten Mehrwerte wurden umgesetzt: Eine kabellose Steuerung von Greifersystemen ist mit aktuellen Technologien aus dem IoT möglich, die zusätzlichen Funktionen über einen zweiten Kommunikationskanal erlauben Mehrwertdienste wie etwa Aussagen zur vorausschauenden Instandhaltung und die Integration von Ultrawellband als Technologie zur Indoorlokalisierung ermöglicht eine kontinuierliche Verfolgung des Assets auf dem Shopfloor. Im nächsten Schritt soll ein zweites Konnektivitätsmodul mit einer Ethernetschnittstelle statt RS-485 entwickelt werden, um einen WSG-32 Greifer anbinden zu können. Die Schwierigkeit hierbei liegt im erhöhten Datendurchsatz, so dass eine *Bluetooth Low Energy* Schnittstelle möglicherweise zu einer kritischen Beschränkung bezüglich des realisierbaren Datendurchsatzes wird. Die Erweiterung um eine CAN- und IO-Link-Schnittstelle ist ebenfalls zu empfehlen. Bevor Greiferhersteller ein standardisiertes Kommunikationsprotokoll implementieren, müssen Anpassungen an der Hardwareabstraktionsschicht vorgenommen werden, um eine Interoperabilität zu schaffen. Letztendlich führt dies zu einem einmaligen Mehraufwand auf Greiferseite, die Vorteile eines geringeren wiederholten Implementierungsaufwands auf Hostseite stehen allerdings klar im Vordergrund. Quantitative Latenzmessungen im Vergleich zur kabelgebundenen seriellen Verbindung wurden im Rahmen des Projekts nicht vorgenommen und sollten im weiteren Verlauf nachgeholt werden. Die Funktionsfähigkeit des Systems stand bei der Bearbeitung im Vordergrund. Zur weiteren Reduzierung des Stromverbrauchs sollte von der Möglichkeit Gebrauch gemacht werden, dass die Lokalisierungskomponente nur bei einem Interrupt vom Beschleunigungssensor aktiviert wird. Eine Erweiterung des vorgestellten Konzepts um eine Selbstbeschreibung basierend auf *Bluetooth Low Energy* nach Palasch et al. zur Reduzierung des Kommissionierungsaufwands wird angestrebt [15].

## 7 Literatur

- [1] Boyes, H.; Hallaq, B.; Cunningham, J.; Watson, T.: *The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework*. In: Computers in Industry. (2018) 101, DOI: 10.1016/j.compind.2018.04.015, S. 1-12.
- [2] Lukac, D.: *The fourth ICT-based industrial revolution 'Industry 4.0' — HMI and the case of CAE/CAD innovation with EPLAN P8*. In: 2015 23rd Telecommunications Forum Telfor. (2015), DOI: 10.1109/TELFOR.2015.7377595, S. 835–838.
- [3] Wang, S.; Wan, J.; Di L.; Zhang, C.: *Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook*. In: International Journal of Distributed Sensor Networks. (2016) 12, DOI: 10.1155/2016/3159805, 3159805
- [4] Zuehlke, D.: *SmartFactory—Towards a factory-of-things*. In: Annual Reviews in Control. (2010) 34, DOI: 10.1016/j.arcontrol.2010.02.008, S. 129-138
- [5] Thoben, K.; Wiesner, S.; Wuest, T.: “*Industrie 4.0*” and Smart Manufacturing – A Review of Research Issues and Application Examples. In: Int. J. Automation Technol. (International Journal of Automation Technology). (2017) 11, DOI: 10.20965/ijat.2017.p0004, S. 4-16
- [6] Khalid, A.; Kirisci, P.; Ghrairi, Z.; Thoben, K.; Pannek, J.: *A methodology to develop collaborative robotic cyber physical systems for production environments*. In: Logist. Res. (Logistics Research). (2016) 9, DOI: 10.1007/s12159-016-0151-x, 1645
- [7] Dol, S.; Bhinge, R.: *SMART motor for industry 4.0*. In: 2018 IEEMA Engineer Infinite Conference 2018. (2018), DOI: 10.1109/ETECHNXT.2018.8385291, S. 1-6
- [8] Al-Qaseemi, S.; Almulhim, H.; Almulhim, M.; Chaudhry, S.: *IoT architecture challenges and issues: Lack of standardization*. In: 2016 Future Technologies Conference FTC 2016. (2016), DOI: 10.1109/FTC.2016.7821686, S. 731-738
- [9] Gigan, G.; Atkinson, I.: *Sensor Abstraction Layer: A unique software interface to effectively manage sensor networks*. In: 2007 3rd International Conference 2007. (2007), DOI: 10.1109/ISSNIP.2007.4496890, S. 479-484
- [10] Heymendran, J.; Zoysa, T.: *XMPP based data abstraction layer for smart phone sensors*. In: 2013 IEEE 8th International Conference 2013. (2013), DOI: 10.1109/ICIIInfS.2013.6732034, S. 495-500
- [11] Girolami, M.; Lenzi, S.; Furfari, F.; Chessa, S.: *SAIL: A Sensor Abstraction and Integration Layer for Context Awareness*. In: 2008 34th Euromicro Conference Software 2008. (2008), DOI: 10.1109/SEAA.2008.30, S. 374-381
- [12] Kang, W.; Son, S.; Stankovic, J.: *PRIDE: A Data Abstraction Layer for Large-Scale 2-tier Sensor Networks*. In: 2009 6th Annual IEEE Communications 2009. (2009), DOI: 10.1109/SAHCN.2009.5168963, S. 1-9
- [13] Zug, S.; Schulze, M.; Dietrich, A.; Kaiser, J.: *Programming abstractions and middleware for building control systems as networks of smart sensors and actuators*. In: 2010 IEEE 15th Conference 2010. (2010), DOI: 10.1109/ETFA.2010.5641341, S. 1-8
- [14] Salvietti, G.; Iqbal, Z.; Hussain, I.; Prattichizzo, D.; Malvezzi, M.: *The Co-Gripper: A Wireless Cooperative Gripper for Safe Human Robot Interaction*. In: 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). (2018), DOI: 10.1109/IROS.2018.8593877
- [15] Pallasch, C.; Peitz, A.; Herfs, W.; Schmeink, A.; Dartmann, G.: *Novel approach for wireless commissioning and assisted process development based on Bluetooth*. In: 2018 IEEE 23rd International Conference 2018. (2018), DOI: 10.1109/ETFA.2018.8502455, S. 235–242
- [16] *Platform Architecture: The Android software stack*. Link: <https://developer.android.com/guide/platform/>