

**Fakultät Maschinenbau**

**Projektaufgabe Fahrzeugmechatronik**

**Konzeption intelligenter Hardware (smart Sensor und smart Aktuator)**

im Studiengang

Maschinenbau

vorgelegt von: **Tim Dang, 70452663**

**Kai Bergmann, 70455883**

Betreuer: Jie Zhang

Abgabedatum: 19. Juli 2019

**Eidesstattliche Erklärung**

Wir, Kai Bergmann und Tim Dang, versichern durch unsere Unterschriften, dass wir die vorliegende Projektarbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer, als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt, sowie alle wörtlich oder sinngemäß übernommenen Stellen in der Arbeit gekennzeichnet haben.

Wolfenbüttel, 8. Juli 2019

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Kai Bergmann Tim Dang

Inhalt

[1 Einleitung 1](#_Toc11843953)

[2 Konventionelle Sensoren 2](#_Toc11843954)

[3 Konventionelle Aktoren 3](#_Toc11843955)

[4 Smart Transducer 4](#_Toc11843956)

[4.1 Sensoren 4](#_Toc11843957)

[4.2 Aktoren 4](#_Toc11843958)

[4.3 Vorteile 4](#_Toc11843959)

[5 Aufbau Smart Transducer 5](#_Toc11843960)

[6 Bussysteme 6](#_Toc11843961)

[6.1 CAN 6](#_Toc11843962)

[6.2 Ethernet 7](#_Toc11843963)

[6.2.1 EtherCAT 7](#_Toc11843964)

[6.3 Profibus 7](#_Toc11843965)

[6.4 AS-Interface 7](#_Toc11843966)

[6.5 Bluetooth 7](#_Toc11843967)

[6.6 WiFi 7](#_Toc11843968)

[7 Bestehende Standards 8](#_Toc11843969)

[8 Industrial Internet of Things 9](#_Toc11843970)

[8.1 Möglichkeiten Smarter Module 9](#_Toc11843971)

[9 Konzipierung 10](#_Toc11843972)

[9.1 Anwendungsszenario 10](#_Toc11843973)

[9.2 Anforderungen 10](#_Toc11843974)

[9.3 Auswahl Sensorik und Aktorik 10](#_Toc11843975)

[9.4 Systemarchitektur 10](#_Toc11843976)

[9.5 Auswahl Bussystem 10](#_Toc11843977)

[10 Integration in höhere Systeme 11](#_Toc11843978)

[11 Fazit und Ausblick 12](#_Toc11843979)

[12 Literaturverzeichnis 13](#_Toc11843980)

[13 Abbildungsverzeichnis 14](#_Toc11843981)

# Einleitung

# Konventionelle Sensoren

Für die Reaktion eines Systems auf die Umgebung ist einem Regelkreis entsprechend ein Gerät notwendig, das den Ist-Zustand abbilden kann. Meist wird dazu ein Sensor verwendet, welcher die Information als primäres elektrisches Signal in den Regelkreis gibt. Bei dem Signal kann es sich z.B. um eine analoge Spannung oder einen analogen Strom handeln. Daraus ergibt sich auch die Aufgabe eines Sensors, ein nicht-elektrisches Signal (in nachfolgender Abbildung aufgezeigt) in ein elektrisches Signal zu wandeln.

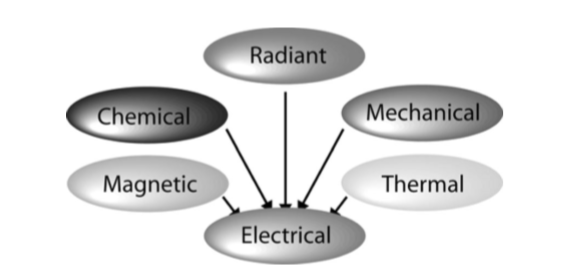


Abbildung 1: Signalumwandlungen eines Sensors

Da es viele verschiedene Arten von mechanischer Energie gibt (z.B. Beschleunigung, Druck, …) ergeben sich dadurch und durch die unterschiedlichen Spezifikationen eines Sensors (Genauigkeit, Sensitivität, Auflösung, …) eine Vielzahl an Sensoren auf dem Markt. [1]

Das elektrische Signal des Sensors wird mit einem Wandler konvertiert, sodass das Signal gespeichert, weitergegeben, auf einem Display angezeigt oder von einem Aktor genutzt werden kann. [2] Dementsprechend besitzt der Sensor nur die Aufgabe „Rohdaten“ zu erzeugen, die von weiteren Komponenten weiter verarbeitet werden. Eine Kalibrierung der Sensordaten erfolgt demnach an einer externen Recheneinheit, die eine nötige Schnittstelle zum Sensor aufweisen muss.

# Konventionelle Aktoren

Zum regulieren des Systems sind Geräte notwendig, die dem Ergebnis der Verarbeitung der Sensorsignale entsprechend in den Prozess bzw. auf das System einwirken. Der Aktor, welcher diese Aufgabe übernimmt, „[setzt] dazu […] Stellinformationen geringer Leistung, die analog oder digital aus der Recheneinheit kommen, in leistungsbehaftete Signale einer Proze[ss]beeinflu[ss]ung [!] notwendigen Energieform um.“ [3] Das elektrische Signal wird anders als beim Sensor entsprechend Abbildung 1: Signalumwandlungen eines Sensors in die andere Richtung umgesetzt, also bspw. in chemische oder thermische Energie umgesetzt.

Auch für Aktoren gibt es daher eine Anzahl an unterschiedlichen Ausprägungen.

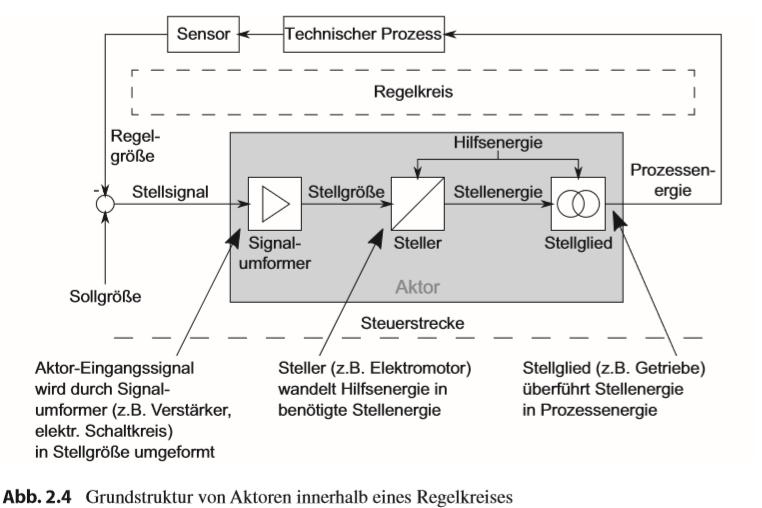


Abbildung 2: Grundstruktur von Aktoren innerhalb eines Regelkreises [3]

Der konventionelle Aktor erhält ein Stellsignal von einem hierarchisch höher gestellten Gerät, das die Sensordaten nutzt, um die Abweichung des zu regelnden Systems/Prozesses zum Sollwert zu berechnen. Der Sollwert ist dabei fest vorgegeben und der Aktor hat daher nur die Aufgabe das erhaltene Signal zu wandeln.

# Smart Transducer

## Sensoren

Smarte Sensoren sind im Grunde konventionelle Sensoren, deren Systemgrenze verschoben wurde. Sie haben nicht mehr nur die Aufgabe ein nicht-elektrisches Signal in ein elektrisches Signal zu wandeln und dieses weiterzugeben, sondern bereiten dieses Signal nun weiter auf und verarbeiten dieses. In der folgenden Abbildung sind die Integrationsgrade von Sensoren zu sehen:

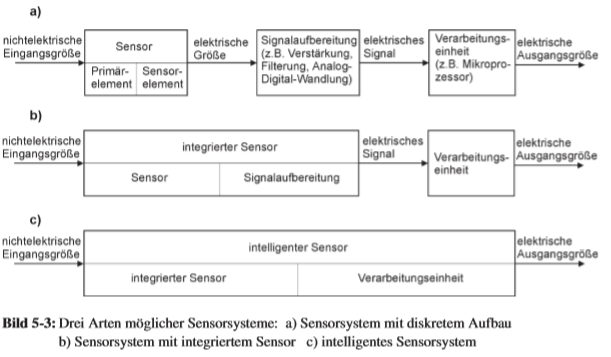


Abbildung 3: Integrationsgrade von Sensorsystemen: a) Sensorsystem mit diskretem Aufbau b) Sensorsystem mit integriertem Sensor c) intelligentes Sensorsystem

In dem ersten Sensorsystem ist eine konventionelle Weitergabe der elektrischen Größe ausgehend vom Sensor zu sehen. In der zweiten Integrationsstufe dem „integrierten Sensor“ wird die Signalaufbereitung als Aufgabe von dem Sensor übernommen, ausschließlich die Verarbeitung des Signals ist noch extern. In der Stufe des intelligenten/smarten Sensors wird auch diese Aufgabe integriert. [3]

Neben der funktionellen Grenze verschiebt sich damit auch die Schnittstelle des Sensors. Eine Systemarchitektur eines intelligenten Sensors muss daher neben dem Sensor und den Signalaufbereitungselementen eine Schnittstelle zu einem Feldbus-Netzwerk beinhalten. Die Verarbeitungseinheit muss dabei nicht unbedingt auf dem Smart Sensorchip liegen, sondern kann auch über das Bussystem erreichbar sein. [4]

Die Integration der Verarbeitungseinheit erweitert die Eigenschaften eines Sensors um: [5]

* selbständige Kalibrierung der Sensordaten
* Kompensation
* Überwachungsfunktion
* Validierung der Daten
* Selbstdiagnose

Der smarte Sensor erfasst und meldet also im Gegensatz zum konventionellen Sensor kein rein elektrisches Signal, sondern direkt die Dimension eines Produkts, z.B. die Geschwindigkeit oder die Kraft. [7]

## Aktoren

Allgemein sind smarte Aktoren Aktorensysteme, welche durch eingebaute Prozessoren und Feldbus-Netzwerke über zusätzliche Funktionen verfügen. Durch die Verwendung eines Prozessors ist es möglich, anspruchsvolle Steuerungstechniken wie die Fehlerdiagnose oder eine Nichtlinearitätskompensation zu implementieren. Die Hauptmerkmale eines intelligenten Aktors sind: [6]

* Selbstdiagnose
* Kompensation (z.B. Nichtlinearität)
* Validierung der Daten
* Feldbus-Netzwerk

## Kalibrierung

Ein großer Vorteil von rechenfähigen Smart Sensorsystemen ist die selbständige Kalibrierung des Sensors. System besitzt Signalbearbeitungsschaltungen zum Aufbereiten des Signales. Für die Kalibrierung des Sensors werden Referenzdaten benötigt. Dazu werden verschiedene Messpunkte aufgenommen wie in nachfolgender Abbildung:

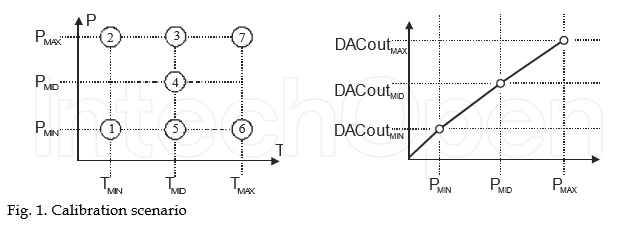


Abbildung 4: Kalibrierung eines Drucksensors mit Temperaturkompensation

In dem Beispiel wurden die Kalibrierungspunkte für einen Drucksensor gemessen und die entsprechenden Koeffizienten, um aus den Rohwerten, den tatsächlichen Sensorwert zu ermitteln, berechnet. Bei der Kalibrierung kann die Anzahl der Kalibrierungspunkte variiert werden, wobei ein Kompromiss zwischen Präzision und benötigter Zeit gefunden werden muss. Die Aufnahme von realistischen Werten wird dabei durch einen Algorithmus gewährleistet, der unrealistische Werte filtert. Neben der Kompensation von anderen Umwelteinflüssen auf den Sensor werden aber auch Fehler durch unterschiedliche Schnittstellen (innerhalb des Chips) minimiert. [7]

## Vorteile

Durch den Einsatz von rechenfähigen Sensoren und Aktoren ergeben sich viele neue Ansätze, die beispielsweise für das Industrial Internet of Things (IIoT) notwendig sind. So lassen sich durch eine Vielzahl an Sensoren eine große Menge Daten aufnehmen, die aufbereitet ein besseres Bild von der Umgebung abgeben und damit sicherere Entscheidungen in der Automatisierung eines Systems ermöglichen. Die kleineren Prozessoren vor Ort erlauben eine Vorverarbeitung von Sensordaten, und eine frühe Erkennung von Triggern, die eine schnelle Reaktion eines Aktors auf sich ändernde Umgebungsbedingungen ermöglichen. Die Dezentralisierung der Recheneinheit sorgt für Echtzeitfähigkeit des Systems, da die Daten nicht mehr an einem zentralen PC gesammelt und erst dort ausgewertet werden, sondern nahe am zu regelnden System arbeiten. [8] Unterstützt wird diese Echtzeitfähigkeit durch die Kommunikation über ein Netzwerk aus mehreren smarten Sensoren und Aktoren, die Echtzeitdaten austauschen und durch eine Datenfusion gemeinsame Entscheidungen treffen und Aufgaben aufteilen können. So kann ein Widerspruch und damit die Funktionsunfähigkeit der Einheit erkannt werden. Eine Beeinträchtigung des Systems ist durch die gegebene Redundanz kaum bemerkbar. Die Fähigkeit von intelligenten Sensoren sich selbst kalibrieren zu können, erhöht zudem die Flexibilität des Systems und entlastet den zentralen Server. Eine Selbstdiagnose ermöglicht präventive Wartungsmaßnahmen, sodass ein Ausfall rechtzeitig vorhergesehen werden und behandelt werden kann und Serviceintervalle sich prozyklisch optimieren lassen. Ein geplanter Maschinenstillstand, kann z.B. direkt für die Reinigung oder Wartung eines Sensors genutzt werden (Predictive Maintanance). [9]

Durch die Überwachung des Systems und der Überwachung der eigenen Funktionalität, sowie die Anbindung an ein Netzwerk mit anderen intelligenten Geräten werden die Wartungskosten für Teile des System und für den Sensor verringert, das Risiko Daten von fehlerhaften Sensoren zu nutzen wird minimiert und dadurch eine hohe Verlässlichkeit garantiert. Durch die ständige Überwachung hat das Gerät zudem weniger Leerlaufzeiten. [5] Die Automatisierung von sicherheitskritischen Prozessen erscheint dadurch möglich.

Durch den Einsatz von intelligenter Hardware wird außerdem die Maschinenproduktivität stark gesteigert. Verschiedene Parametereinstellungen der Sensoren können bei der Erstinbetriebnahme nach der Integration in das Netzwerk durch die Selbstkalibrierung visualisiert, getestet und optimiert werden. Zudem lassen sich Sensor-Parameter-Sets auftrags-, format- oder rezepturspezifisch im Automatisierungssystem hinterlegen, um sie je nach Bedarf ohne Zeitverlust laden zu können. Die Rüstzeit bzw. die Zeit zum Umrüsten wird dadurch reduziert. Das Übermitteln von Echtzeitdaten durch die intelligenten Sensoren ermöglicht zudem das Condition Monitoring, welches den Zustand einer Maschine überwacht und neben dem Predictive Maintanance auch eine Möglichkeit bietet, Betriebsdaten und Einstellungen für Maschinenbediener visuell darzustellen. [11] Smarte Sensoren ermöglichen zudem Produktverfolgung durch eine Echtzeitsynchronisation von Sensor-Aktor-Einheiten über Zeitstempel. Dadurch werden Jitter-Effekte vermieden und es sind höhere Maschinengeschwindigkeiten und hochpräzise Ansteuerungen von Aktoren möglich. [7]

# Aufbau Smart Transducer

Ein „Smart Transducer“ integriert ein Sensor- bzw. Aktorelement, eine Recheneinheit und eine Netzwerkschnittstelle. [8]

# Bussysteme

## CAN

## Ethernet

### EtherCAT

## PROFIBUS

## AS-Interface

## Bluetooth

## WiFi

# Bestehende Standards

# Industrial Internet of Things

Das Internet of Things (IoT) bzw. das „Internet der Dinge“ ist ein Konzept, bei dem es darum geht „alle möglichen Gegenstände mit mikroelektrischen Komponenten zu versehen und […] zu vernetzen“. [14] Die Vernetzung der Geräte, beispielsweise über das Internet, erlaubt es, die Informationen, die durch smarte Sensoren gesammelt und analysiert wurden, an andere Geräte weiterzugeben. Diese Informationen lösen bei den Geräten bestimmte Reaktionen aus, wie die eigenständige Ausführung von Aufgaben, die Kommunikation mit anderen Geräten oder ein selbständiges Updaten. [14] Die Möglichkeit der unterschiedlichen Reaktionsszenarien je nachdem, wie die analysierten Daten aussehen, zeigt, dass das Internet of Things einen hohen Grad an Flexibilität ermöglicht.



Abbildung 14: Ziele durch Einsatz von digitalen Technologien [15]

Der Statistik kann man entnehmen, dass den Unternehmen Flexibilität sehr wichtig ist, um auf unvorhersehbare Veränderungen reagieren zu können und dadurch Kosten einzusparen. Die Statistik zeigt zudem, dass auch die Individualisierung bzw. Personalisierung von Produkten eine Rolle spielt.

Um einen solch hohen Grad an Flexibilität in der Produktion zu erreichen, ist der Einsatz von den „Smart Products“ unerlässlich. Ein mögliches System zur Umsetzung von einer individualisierten Produktion ist die agile Produktion, welche smarte Maschinen als cyber-physische Systeme zur Automatisierung integriert. [16] Das Konzept für den Einsatz dieser smarten Geräte in der Produktion wird Industrial Internet of Things (IIoT) bzw. „Industrie 4.0“ genannt und führt neben der flexiblen Produktion zu weiteren möglichen Trends: [17]

* Measurement as a service: Messungen oder individuelle Ergebnisse werden anstatt der Messinstrumente verkauft
* Verfolgbarkeit einzelner Komponenten bis hin zu kleinsten Bauteilen
* selbstlernende Systeme
* Semantik zur Analyse komplexer Systeme

## Möglichkeiten Smarter Module

„Ein Modul stellt eine in sich abgeschlossene Einheit dar, eine Baugruppe oder Komponente, die bestimmte Funktionen erfüllt.“ Der Sinn der Erzeugung von Modularität ist es, die Komplexität zu reduzieren und Systeme gut beherrschbar zu machen, sodass die Flexibilität optimiert wird. [18]

Smarte Sensoren und Aktoren sind zum einen räumlich von den anderen Geräten getrennt, zum anderen sind sie funktionell von anderen Modulen abzugrenzen, da Sensoren Daten aufnehmen, analysieren und verarbeiten und Aktoren die Umgebung aktiv beeinflussen. Die Modularität der „smart Transducer“ ermöglicht einen vereinfachten Wechsel, da sie die selbe Schnittstelle besitzen und Unterschiede in ihrer Verarbeitung bei der Kalibrierung digital ausgleichen. So lässt sich ein intelligenter Aktor relativ einfach an ein anderes Modul mit passender Schnittstelle integrieren. [19]

Dadurch, dass jedes smarte Modul Rechenkapazitäten besitzt, sind sie zwar abhängig von anderen Geräten, da sie auf die Kommunikation mit ihnen angewiesen sind, um Entscheidungen treffen zu können, allerdings sind die anderen Geräte nicht ausschließlich von ihnen abhängig. Da die meisten Systeme redundant aufgebaut sind, ist ein kurzzeitiger Verlust einer Einheit, der möglicherweise berechenbar gewesen ist, kein primärer Ausfall, der zu einem unerwünschten Ereignis führt.

Die einzelnen Module lassen sich zudem zu einem großen System verbinden, dem cyber-physischen bzw. cyber-physikalischem System, auf das im folgenden Kapitel genauer eingegangen wird. Dieses System setzt die Idee des IIoT um, und vernetzt die smarten Module miteinander, sodass diese untereinander kommunizieren und Entscheidungen basierend auf den erhaltenen Informationen umsetzen können.

Der Einsatz von smarten Modulen hat demnach ähnliche Eigenschaften wie der Einsatz von nicht-smarten Modulen:

* eine Umstrukturierung des Systems benötigt weniger Aufwand
* die Module sind ersetzbar
* klare Systemgrenzen erkennbar

Zusätzlich durch die „Intelligenz“ ergeben sich:

* Minimalisierung von Ausfällen
* Ausgleich von Schwankungen zwischen gleichartigen Modulen
* Kommunikation zwischen Modulen
* Entscheidungen abhängig von der Gesamtheit der Module
* Echtzeitfähigkeit

Damit die Kommunikation zwischen den smarten Geräten gelingt, ist neben der Verbindung über z.B. ein Bussystem eine Systemstruktur notwendig. Viele Sensoren können zu einem sogenannten Sensorknoten zusammengefasst werden, die kompakt, günstig und energiearm sind und darüber hinaus eine bestimmte Menge an Daten verarbeiten und speichern können. Sensorknoten können zu einem Netzwerk zusammengefasst werden, dass die Knoten koordiniert und dadurch hochqualitative Detektions- und Messnetzwerke schaffen kann. [20]

Ein Ausfall bei der Überwachung, Regelung und Automatisierung führt zu einem Fehler, der meist erst bei der Kontrolle gefunden wird. Damit der Ausfall im System erkannt wird (Selbstdiagnose), muss ein neuer oder fehlender Teilnehmer im Netzwerk erkannt werden. Dazu gibt es die Plug and Play (PnP) Funktion und den Kommunikationsstandard IEEE 1451.1. Durch eine Internetverbindung lässt sich der Zustand des Systems über Endgeräte jederzeit und an jedem Ort mit Internetverbindung streamen, sodass eine Zustands- und Qualitätsüberwachung erfolgen kann. [9]

Daraus folgt, dass smarte Module eine unverzügliche direkte Reaktion auf die Umgebung zeigen, während die Veränderung auftritt und im Gegensatz zu ihrem Pendant ohne Prozessor nicht auf einen Befehl eines übergeordneten Systems warten, das eine Gegenmaßnahme nach Eintreten der Folge der Veränderung generiert. Es lassen sich daher situationsbedingte lokale Regelkreise aufbauen, sodass sich eine selbst organisierende Fabrik aufbauen lassen kann. [11] Eine gewisse Sicherheit der Daten wird zudem durch den Einsatz von mehreren Sensoren und die Fusion der Sensordaten erreicht. [9]

# Konzipierung

## Anwendungsszenario

## Anforderungen

## Auswahl Sensorik und Aktorik

## Systemarchitektur

## Auswahl Bussystem

# Integration in höhere Systeme

# Fazit und Ausblick

# Literaturverzeichnis

# Abbildungsverzeichnis