



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Vienna University of Technology

Institut für

Fertigungstechnik und

Hochleistungslasertechnik



Diplomarbeit

Anforderungen und Funktionen eines I4.0 Spannmittels exemplarisch am Modell Aufspannturm

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplomingenieurs unter der Leitung von

a.o. Univ.-Prof. Dipl. Ing. Kittl

(Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik)

Dipl.-Ing. Florian Pauker

(Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Mario Schirnhöfer

0825881 (066 482)

Herderplatz 9/8/3

1110 - Wien

Wien, im August 18

Mario, Schirnhöfer

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einen Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im August 18

Mario, Schirnhofer

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Diplomarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst gebührt mein Dank Herrn Ao.Univ.Prof. Dipl.Ing. Dr.techn. Kittl, der meine Diplomarbeit betreut und final begutachtet hat. Ein großes Dankeschön möchte ich an Dipl.Ing. Florian Pauker richten, für die hilfreichen Anregungen, fachliche Korrektur und die konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit. Bedanken möchte ich mich auch für die Geduld, zahlreichen interessanten Debatten und Hilfsbereitschaft, die maßgeblich dazu beigetragen haben, dass diese Diplomarbeit in dieser Form vorliegt.

Ebenfalls möchte ich mich bei Dipl.Ing. Iman Ayatollahi für die fachliche Unterstützung bei der Modellierung des Softwareadressraumes und der Ideenfindung bedanken.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern Erwin und Helene bedanken, die mir mein Studium durch ihre Unterstützung ermöglicht haben und stets ein offenes Ohr für meine Anliegen hatten.

Kurzfassung

Im heutigen industriellen Umfeld steigen die Anforderungen an flexible Fertigungssysteme und deren Komponenten. Die Wahl der M2M-Kommunikation und der Vernetzung von I4.0 Komponenten untereinander mit einem einheitlichen, plattformunabhängigen Kommunikationsstandard ist ein zentraler Aspekt von Industrie 4.0 und der Abbildung von Cyber-physischen Systemen (CPS). Durch die Schaffung von Verwaltungsschalen lassen sich Funktionen, Identifikation und Informationen von Komponenten eindeutig festlegen und machen diese nach außen für einen Benutzer verfügbar. Dabei werden bewusst Querverbindungen zwischen I4.0 Komponenten geschaffen. Mit OPC Unified Architecture als Kommunikationsstandard, welcher einen herstellerunabhängigen Austausch von Daten gewährleistet, können Informationen oder Dienste in der benötigten Semantik präsentiert werden.

Neben der Werkzeugmaschine können diese Anforderungen auch für intelligente Spannmittel, wie in dieser Arbeit exemplarisch am Modell Aufspannturm analysiert, behandelt werden. Das Modell Spannturm I4.0 kann mit drei unterschiedlichen Spannmitteln (magnetisch, hydraulisch und pneumatisch) ausgestattet werden. Dabei werden als Grundmodule Nullpunktspannsysteme verwendet. Die zugehörige Versorgung wird zentral im Spannturm oder durch externe Module in der Werkzeugmaschine gewährleistet. Sensoren für Belastung, Temperatur und Schwingungen überwachen das Gesamtsystem. Alle Informationen werden in einer Recheneinheit im Spannturm verarbeitet und durch eine Verwaltungsschale nach außen verfügbar gemacht. Die mögliche Integration in eine Werkzeugmaschine, Nutzung eines intuitiven User-Interfaces und ein Standalone-Betrieb werden ebenfalls in dieser Arbeit behandelt.

Mittels UAModeler von Unified Automation wird abschließend ein Gesamtmodell konfiguriert, dass einem User die Möglichkeit bietet, seinen individuellen Spannturm mit entsprechender Peripherie festzulegen und zu instanzieren. Je nach Konfiguration sind im Adressraum Variablen und Methoden für den Benutzer verfügbar. Final ist das programmierte Modell durch einen kurzen "Proof of Concept" verifiziert worden.

Abstract

In today's industrial environment requirements for flexible manufacturing systems and components are continuously increasing. The election of M2M-communication and the connection between I4.0 components among each other with an consistent, platform-independent communication-standard is a key aspect of Industrie 4.0 and illustration of Cyber-physical Systems(CPS). By surrounding objects with an administration shell, functions, identification and informations can be precisely specified and make them available for an user. I4.0 components are aware using cross connections with each other. With OPC Unified Architecture as communication-standard, there can be a vendor-independent exchange of informations ensured. Data and services are presented to the user in the right semantics.

Beside tool machines, these requirements can also be analysed and treated by intelligent clamping systems exemplary of the model tombstone, which this master thesis contains of. The model tombstone I4.0 can be equipped with three different clamping systems (magnetic, hydraulic and pneumatic). The base modul's are zero-point-systems by Schunk. The supply lines are in the center of the tombstone and through external modules in the tool machine guaranteed. Sensor's for stress, temperature and vibrations are monitoring the system. All information's are collected in a computing unit inside the tombstone and available for the user through the administration shell. The possibilities for the integration in a tool machine, usage of an user-interface and a standalone-service are also explained in this master thesis.

With the program UaModeler from Unified Automation a final complete model is configured and can be instantiated, to present the user the possibility to specify his own tombstone with relevant periphery. Depending on configurations, there are in the adressspace different variables and methods for the user available. In closing the programmed model is verified through a short "Proof of Concept".

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	7
1.1	Aufgabenstellung	7
1.2	Ziele	7
1.3	Gliederung der Arbeit	8
2	Das Cyber-physische System(CPS)	10
2.1	Begriffsdefinition.....	10
2.2	Potentiale und Herausforderungen für die Produktion.....	10
2.2.1	Cyber-Physical Production Systems.....	11
2.3	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0(RAMI4.0)	12
2.3.1	Aufbau und Grundstruktur	12
2.3.2	Gegenstände als Entitäten	15
2.3.3	Die Verwaltungsschale.....	16
2.3.4	Kapselfähigkeit, Schachtelbarkeit und Identifizierbarkeit	17
2.4	OPC Unified Architecture	18
2.4.1	Die Technologie von OPC UA	18
2.4.2	OPC UA als Kommunikationsstandard im RAMI4.0 Modell.....	20
3	Das Cyber-physische Spannmittel	22
3.1	Grundlagen Spanntechnik.....	22
3.2	Konzepterstellung Spannturm I4.0	24
3.2.1	Lastenheft.....	25
3.2.2	6 Kernpunkte als Grundstruktur	27
3.3	Designphase Spannturm I4.0	27
3.3.1	Aufbau und Struktur	27
3.3.2	Versorgungsmodule.....	29
3.3.2.1	Elektronik	29
3.3.2.2	Pneumatik.....	31
3.3.2.3	Hydraulik	34
3.3.3	Prozesssensorik	36
3.3.3.1	Smarte Sensoren	36
3.3.3.2	"Echtzeitsystem" und Informationsaustausch mit OPC UA.....	37

3.3.3.3 Physikalischen Einflüsse auf den Spannturm I4.0	38
3.3.3.4 Sensorintegration	39
3.3.4 Steuerung und Datenverarbeitung.....	41
3.3.4.1 Anforderungen an das Rechensystem	41
3.3.4.2 Kommunikationsprotokoll TCP-IP und Webservices.....	42
3.3.4.4 Vernetzung von I4.0 Komponenten	43
3.3.4.3 Verwaltungsschale des Spannturms I4.0 im Detail	45
3.3.5 Integration in eine Werkzeugmaschine	47
3.3.5.1 Anforderungen an die CNC-Maschine.....	47
3.3.5.2 Definition Achssystem und Nullpunkt.....	48
3.3.5.3 Nutzung eines User-Interfaces.....	49
3.3.6 Standalone Betrieb	50
4 Informationsmodellierung mit UAModeler.....	52
4.1 Das Informationsmodell.....	52
4.2 Typedefinition und Modellingrules	54
4.3 Proof of Concept	56
5 Resümee / Ausblick	58
6 Literaturverzeichnis	60
6.1 Weiterführende Literatur.....	69
7 Abbildungsverzeichnis	70
8 Tabellenverzeichnis	72
9 Abkürzungsverzeichnis	73

1 Einleitung

Der Begriff "Industrie 4.0" ist kennzeichnend für Aspekte und Abläufe in einer Produktionskette eines modernen industriellen Betriebes. Dabei soll die starke Anpassung (bis zur Losgröße 1) der erzeugten Produkte unter den Bedingungen einer hoch flexibilisierten (Großserien)-Produktion bei gleichzeitiger Digitalisierung und Vernetzung erfolgen. Dies stellt eine neue Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten dar. Dieser Zyklus orientiert sich an individualisierten Kundenwünschen und erstreckt sich von der Idee, dem Auftrag über die Entwicklung und Fertigung, die Auslieferung eines Produkts an den Endkunden bis hin zum Recycling, einschließlich der damit verbundenen Dienstleistungen. Basis ist die ständige Verfügbarkeit aller relevanten Informationen durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen(z.B. Maschinen und Anlagen) sowie die Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten. Durch die Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen entstehen dynamische, optimierte und selbst organisierende, sogar unternehmensübergreifende Produktionsnetzwerke, die sich nach unterschiedlichen Kriterien wie Kosten, Verfügbarkeit und Ressourcenverbrauch optimieren lassen [5].

1.1 Aufgabenstellung

In dieser Diplomarbeit sollen die Anforderungen und Möglichkeiten für ein cyber-physisches Spannmittel erläutert werden. Auf Basis eines bereits existierenden Spannturmproduktes der Fa. Schunk Typ VERO-S VAT-AE wird eine exemplarische Analyse der möglichen Grundelemente von Spannmittelaufbauten, zu integrierenden Sensortechnologien und zugehörigem OPC UA Kommunikationsstandard durchgeführt. Nachfolgend beurteilt ein entsprechendes Ua-Modell zur Informationsdarstellung mit einen "Proof of Concept" die Machbarkeit des Cyber-physischen Spannsystems und bildet ein abschließendes Fazit.

1.2 Ziele

Folgende Arbeitsziele und Kernanforderungen an das Produkt sollen in dieser Masterarbeit betrachtet und analysiert werden:

- Universeller Spannmiteleinsatz: pneumatisch, elektrisch und hydraulisch mit zugehörigen Versorgungseinheiten
- Physikalischen Einflüsse mit der Integration von Prozesssensorik
- Steuerung und Kommunikationsmöglichkeiten (OPC UA als Standard)
- Integration in einer Werkzeugmaschine und Produktionsumgebung

- OPC UA Modell zur Darstellung der Informationskanäle
- "Proof of Concept" mit abschließendem Fazit

Bei der finalen Beurteilung soll als abschließendes Ziel das Gesamtmodell verifiziert oder falsifiziert werden und eine Einschätzung für einen wirtschaftlichen Einsatz im industriellen Umfeld gemacht werden.

1.3 Gliederung der Arbeit

Die erste Arbeitsgliederung wurde aus sechs Kernthemen eines Brainstorming-Modells der Abbildung 1 gebildet.

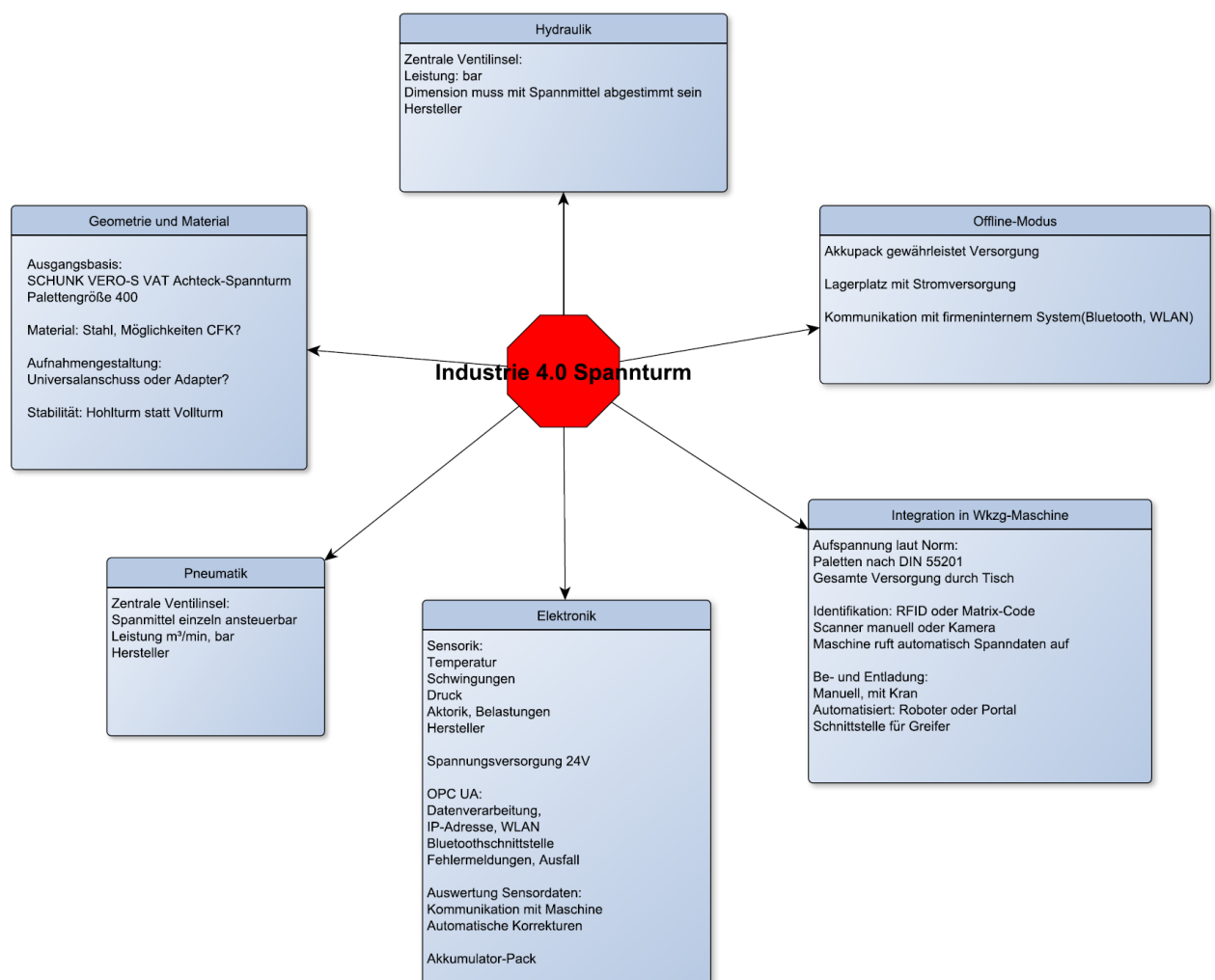


Abbildung 1. Brainstorming-Grafik

Durch weitere Literaturrecherchen in den Bereichen Spanntechnik, VDI-Referenzarchitektur bei I4.0-Komponenten, Sensortechnologie und Datenverarbeitung mittels OPC UA spezialisierten sich die Bereiche auf die folgenden fünf Masterthesis-Schwerpunkte:

- 1. Einleitung**
- 2. Cyber-physische Systeme**
- 3. Das Cyber-physische Spannmittel**
- 4. Informationsmodell mit UaModeler**
- 5. Proof of Concept**

Das primäre und detaillierte Konzept wird im Abschnitt 3. Cyber-physisches Spannmittel beschrieben und gliedert sich in einen Konzept/Designschwerpunkt, den Sensorik und Steuerungstechnikinhalten und den Möglichkeiten ein intelligentes Spannsystem in eine moderne Werkzeugmaschine zu integrieren. Potentielle Automatisierungskonzepte werden in diesem Abschnitt nicht betrachtet, jedoch in 5. "Proof of Concept" erwähnt.

2 Das Cyber-physische System(CPS)

Mit dem Schlagwort Industrie 4.0, nämlich der digitalen Vernetzung aller in der Wertschöpfungskette beteiligten Komponenten, werden heute schon zahlreiche Geschäfts- und Optimierungsmodelle in der Fertigungs- und Automatisierungstechnik verbunden. Die physischen Objekte verfügen über intelligente Sensor- und Aktor-Technologie und werden meist mittels Drahtloskommunikation untereinander und mit übergeordneten Systemen vernetzt [6].

Vor allem der Bereich "intelligente Automation" wird immer öfters mit dem Begriff "Cyber-physisches-System", kurz CPS, in Verbindung gebracht.

2.1 Begriffsdefinition

Ein Cyber-physisches System, engl. „cyber-physical system“, bezeichnet den Verbund informatischer, softwaretechnischer Komponenten mit mechanischen und elektronischen Teilen, die über eine Dateninfrastruktur, wie z.B. das Internet, kommunizieren. Ein Cyber-physisches System ist durch seinen hohen Grad an Komplexität gekennzeichnet. Die Ausbildung von Cyber-physischen Systemen entsteht aus der Vernetzung eingebetteter Systeme durch drahtgebundene oder drahtlose Kommunikationsnetze [1].

Eine Koppelung von informationsverarbeitenden Komponenten mit physischen Objekten gibt es schon seit den 1970er-Jahren. Jedoch stellt nach einem CPS, die offene und globale Nutzung des Informationsnetzes über das Internet einen neuen wesentlichen Aspekt dar. Die Teilsysteme und Komponenten nutzen bzw. stellen über diese Netze offen verfügbare, relevante Daten und Dienste zur Verfügung. Häufig sind CPS-basierte Automatisierungssysteme zusätzlich dadurch charakterisiert, dass sie herkömmliche System-, Organisations- und Domänengrenzen überschreiten [4].

2.2 Potentiale und Herausforderungen für die Produktion

Der hohe Vernetzungsgrad und die allgegenwärtige Verfügbarkeit von Daten und Diensten lässt für die Automation neue und zukunftssträchtige Perspektiven entstehen. Unter anderem ergibt sich die Vision von adaptiven, sich selbst konfigurierenden und teilweise selbstorganisierenden, flexiblen Produktionsanlagen. Diese führen zu einer kostengünstigeren und effizienteren Produktion, z.B. gekennzeichnet durch geringere Rüstzeiten und optimierten Energie- und Ressourceneinsatz [4]. Ein durchgängiger Informationsaustausch z.B. über

Produkt-/Prozess- und Produktionsstatus mit allen erforderlichen Teilnehmern in der Wertschöpfungskette wird angestrebt. Das zu fertigende Produkt wird selbst eine Automatisierungskomponente. Es kommuniziert mit der Anlage, die es produziert [4]. Jedoch gibt es im Rahmen einer neuen Realisierung von CPS auch Herausforderungen zu meistern, um erfolgreich die aufgezeigten Potentiale nutzen zu können. Sowohl Hardware- als auch softwaretechnische Adaptionen sind in einem produzierenden Umfeld durchzuführen. Diese können umfassen [4]:

- Die komplexen Interaktionen von realer Anlage, steuernder und überwachender Software und den offenen, globalen Kommunikationsnetzen müssen beherrscht werden.
- Aufgrund der durch die zunehmende Vernetzung komplizierter werdender Anlagen müssen die Mensch-Maschine-Schnittstellen angepasst bzw. neu gestaltet werden.
- Die bisher heterogenen Systemstrukturen müssen einander angepasst werden und müssen miteinander funktionieren. Hierfür sind Referenzarchitekturen erforderlich.
- Die Sicherheit CPS-basierter Automatisierungslösungen muss auf dem hohen Standard der heutigen Automation gewährleistet bleiben.
- Nicht vorhersehbare Änderungen oder nachgeladene Applikationen müssen problemlos implementierbar sein.

2.2.1 Cyber-Physical-Production-Systems

Unter dem Schlagwort "Cyber-Physical-Production-Systems", kurz CPPS, versteht man eine Zusammenführung bzw. u.a. das Abrufen von Daten, wo es im Sinne einer flexiblen, effizienten Fertigung prozessbedingt nötig und sinnvoll ist. Somit stellt dies einen Zusammenschluss von vielen CPS-basierenden Systemen in einer Produktionsumgebung dar. CPPS wird in einem produzierenden Unternehmen mit hohem Automatisierungsgrad ergo durch implementierte CPS-Systeme realisiert. Dabei werden die Prozessdaten immer mehr dezentral durch eigene Dienste gewonnen, sodass die klassisch strikt hierarchische Kommunikationsstruktur (Pyramidenkonstitution) wegfällt. Eine zentrale Bedeutung bekommt nun die Mensch-Maschinen-Schnittstelle, da die Informationsbegrenzung auf den verschiedenen Ebenen nicht mehr gegeben ist. Hier muss sichergestellt werden, dass der Bediener die relevanten Informationen in geeigneter Form präsentiert bekommt, um die neuen Möglichkeiten optimal nutzen zu können. Die aufgezeigten Potentiale sind jedoch ein ständiger Entwicklungsprozess, wachsen mit neuen Kundenanforderungen und können nicht ad hoc realisiert werden [4].

Abschließend zeigt folgende Abbildung 2 nun diese Auflösung der Pyramidenstruktur.

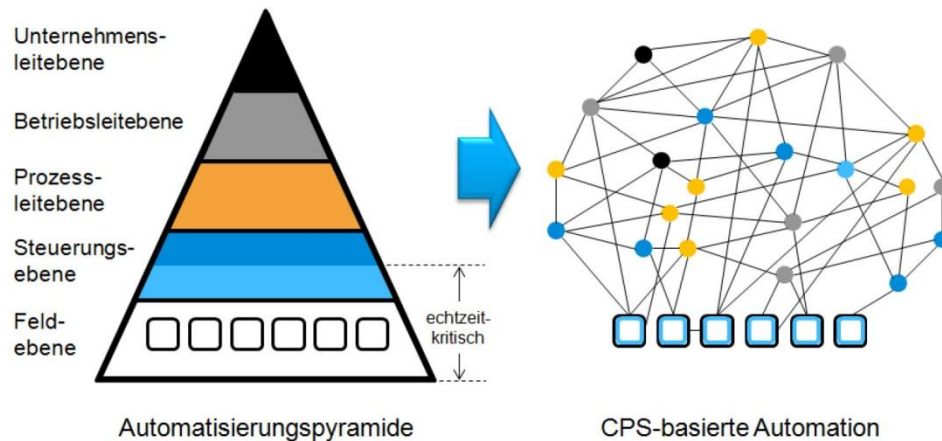


Abbildung 2. Automatisierungspyramide und "neue" dezentrale Automation [4]

2.3 Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0(RAMI4.0)

Einer der grundlegenden Gedanken zur Referenzarchitektur von Industrie 4.0 ist das Zusammenführen unterschiedlichster Aspekte in einem gemeinsamen Modell. Anhand dieses Gerüsts kann I4.0-Technologie systematisch eingeordnet und weiterentwickelt werden [8].

2.3.1 Aufbau und Grundstruktur

Das Grundmodell besteht aus einem dreidimensionalen Koordinatensystem, basierend auf dem Smart Grid Modell, das die wesentlichen Aspekte von I4.0 beinhaltet [8]. Die folgende Abbildung 3 veranschaulicht das Modell genauer:

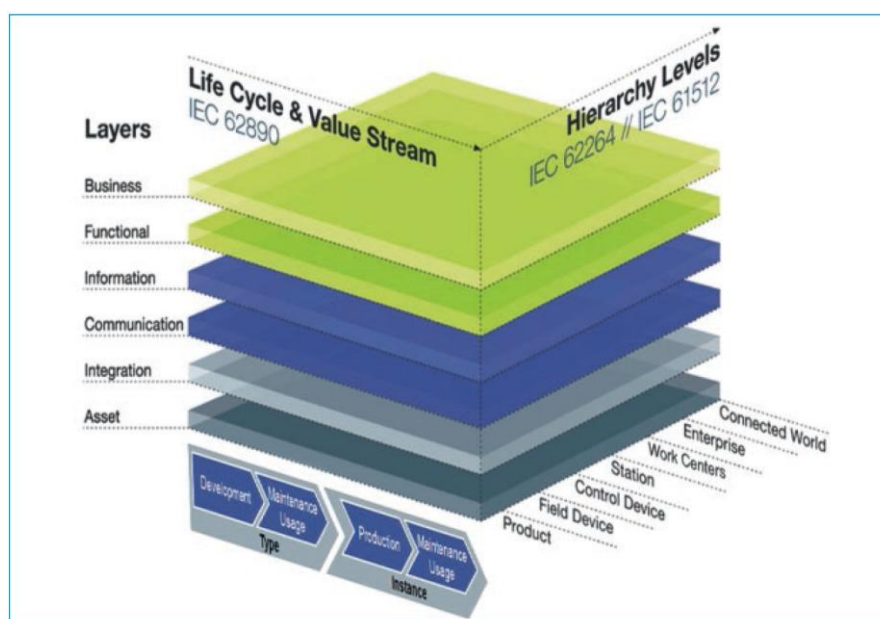


Abbildung 3. Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 [8]

In der senkrechten Achse werden Layer/Schichten für die Darstellung der unterschiedlichen Sichtweisen, wie Datenabbild, funktionale Beschreibung, Kommunikationsverhalten, Hardware/Assets oder auch Geschäftsprozesse, verwendet (siehe Tabelle 1) [6].

Schichten(Layers)	Beschreibung	Beispiele
Gegenstandsschicht (Asset Layer)	Repräsentiert die Realität, d.h. physische Komponenten, die über QR-Codes über die Integrationsschicht passiv verbunden sind	• Spannmodule • Sensoren • Mensch
Integrationsschicht (Integration Layer)	Bereitstellung der rechnerverarbeitbaren Informationen von einzelnen Gegenständen, Auslösen von Ereignissen	• Spanninformationen • Maschinendaten
Kommunikationsschicht (Communication Layer)	Vereinheitlichung der Kommunikation unter Verwendung eines plattformunabhängigen Datenformates	• OPC UA
Informationsschicht (Information Layer)	In der Informationssicht werden ereignisbezogene Regeln angewendet um Daten aufzubereiten, zu speichern und generieren oder an übergeordnete Systeme weiterzugeben	• Ereignisvorverarbeitung • Regelausführung
Funktionsschicht (Funcional Layer)	formale Beschreibung der Funktionen dar und es werden Regeln und Entscheidungslogiken erzeugt, die Integrität von Informationen wird ständig geprüft	• Fernzugriffe
Geschäftssicht (Business Layer)	Der Business Layer empfängt neue Ereignisse zur Weiterschaltung und dient als Verbindungselement zwischen den verschiedenen Geschäftsprozessen	• Geschäftsmodelle • Modellierung von Regeln

Tabelle 1. Beschreibung der Layers RAMI4.0-Modell

Ein weiteres wichtiges Kriterium ist der Produktlebenszyklus (Life-Cycle) mit seinen darin enthaltenen Wertschöpfungsketten (Value-Stream). Dieser Sachverhalt wird auf der waagrechten Achse dargestellt. Damit können in dem Referenzarchitekturmodell auch Abhängigkeiten gut dargestellt werden, z.B. die durchgängige Datenerfassung über den gesamten Lebenszyklus [6]. Diese Datenerfassung geht über die Fabriksgrenzen hinaus, im Verbund mit Zulieferer und Engineering Partner bis hin zum Endkunden.

Folgende Abbildung 4 zeigt beispielhaft ein Vernetzungssystem zwischen Teil, Maschine und Fabrik.

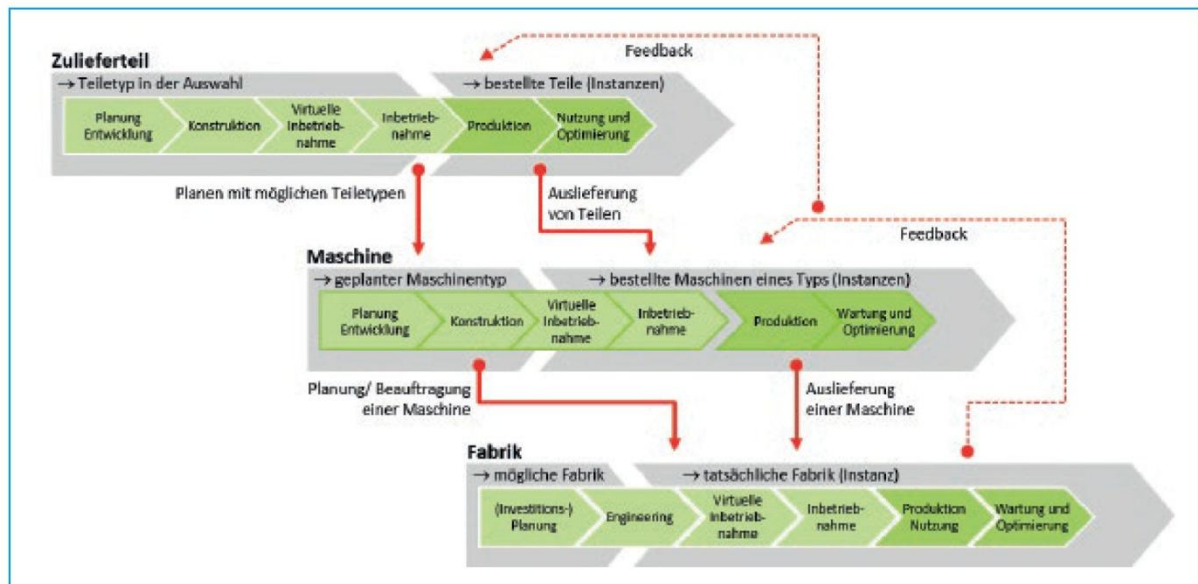


Abbildung 4. Vernetzungssystem in einem Life-Cycle [8]

Das letzte wichtige Kriterium, in der dritten Achse (Hierarchy-Levels) dargestellt, ist die ortsabhängige Zuordnung von Funktionalitäten und Verantwortlichkeiten innerhalb der Fabriken/Anlagen. Dies stellt eine rein funktionale Hierarchie dar und nicht etwa Geräteklassen oder Hierarchieebenen der charakteristischen Automatisierungspyramide [6].

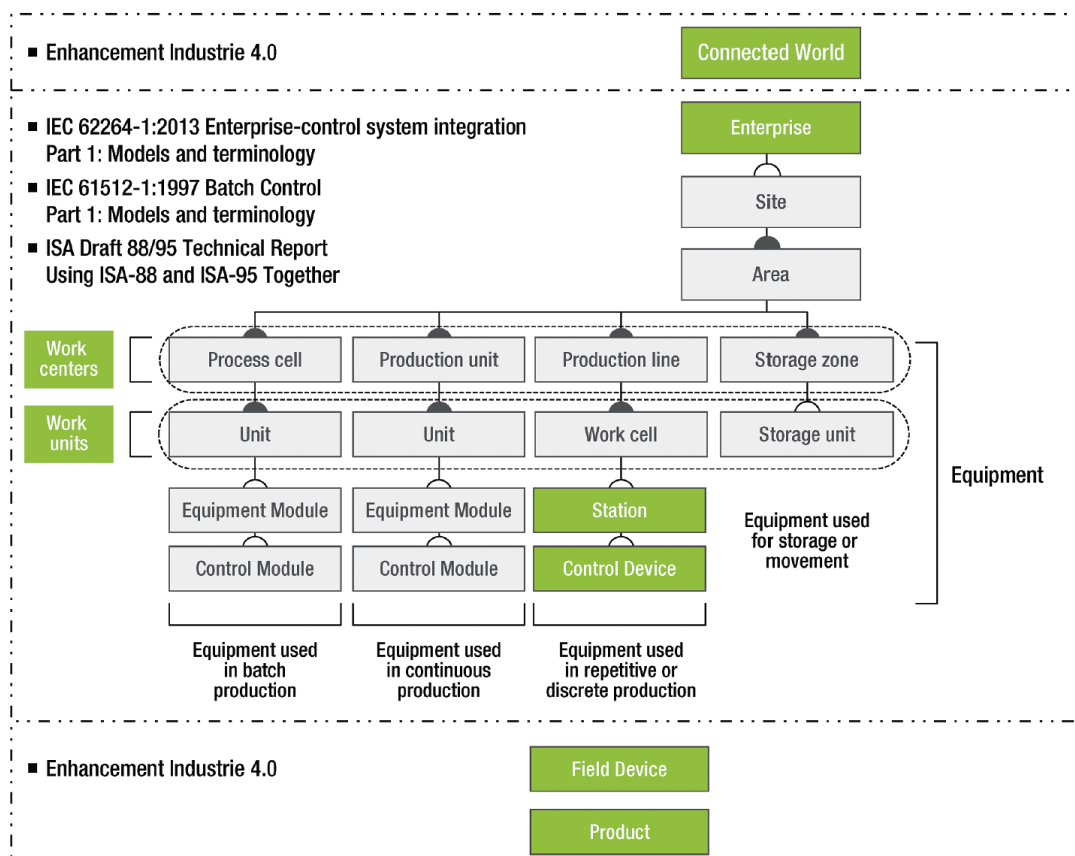


Abbildung 5. Darstellung Hierarchieebenen [6]

Die vorherige Abbildung 5 soll eine Einordnung der Ebenen im RAMI4.0 Modell aufzeigen. Auf der untersten Ebene befinden sich das "Product" und der "Field-Device", respektive das herzustellende Produkt und die funktionale Ebene in einer Anlage. Darüber steht der "Control-Device" z.B. als Kopfsteuerung für eine bestimmte Produktionslinie. Für eine einheitliche Betrachtung über möglichst viele Branchen von Prozessindustrie bis zur Fabrikautomation wurden aus den in Abbildung 4. aufgeführten Optionen die Begriffe „Enterprise“, „Work Unit/Centers“ und „Station“ verwendet. Der äußerste Aspekt "Connected World" beschreibt den Fabrikverbund, die Zusammenarbeit mit externen Engineering-Büros, Zulieferern und Kunden [9].

Für alle Komponenten, ob Maschine oder Produkt, ist nicht nur die informations- und kommunikationstechnische Funktionalität von Interesse. Dabei muss für die Simulation eines Systems eine genaue Einordnung nach RAMI4.0 erfolgen und eine virtuelle Präsenz im Sinne eines Datenbankeintrages vorhanden sein.

2.3.2 Gegenstände als Entitäten

Gegenstände können als Typ oder als Instanz bekannt sein. Ein Typ entsteht immer mit der ersten Idee, also der Entstehung des Produkts in der Produktzyklusphase „Development“. Damit sind die Beauftragung, die Entwicklung, die Tests bis hin zum ersten Muster und der Prototypenfertigung gemeint. In dieser Phase entsteht also der Typ des Produkts oder der Maschine. Nach Abschluss aller Tests und Validierung wird der Typ für die Serienproduktion frei gegeben [6].

Auf Basis des allgemeinen Typs werden in der Produktion reale Produkte (Maschinen) hergestellt. Jedes gefertigte Produkt stellt dann eine Instanz dieses Typs dar und erhält z.B. eine eindeutige Seriennummer. Die Instanzen gelangen in den Verkauf und werden an Kunden ausgeliefert. Für den Kunden sind die Produkte zunächst wieder nur Typen. Zur Instanz werden sie, wenn sie in eine konkrete Anlage eingebaut werden. Der Wechsel vom Typ zur Instanz kann sich mehrmals wiederholen. Aus der Verkaufsphase zurückgemeldete Verbesserungen können beim Hersteller eines Produkts zur Anpassung der Typunterlagen führen. Mit dem neu entstandenen Typ können wieder neue Instanzen hergestellt werden. Der Typ unterliegt damit einer Nutzung und Pflege genauso wie jede einzelne Instanz [6].

Die Definition von Type/Instanz macht einen Gegenstand alleine noch nicht zur I4.0-Komponente. Die eindeutige Einordnung erfolgt nach der "Communication-und Presentation-Ziffer", kurz CP-Klassifizierung, in der die Kommunikationsfähigkeit und der Bekanntheitsgrad einer Komponente betrachtet und eingeordnet wird. Das Klassifikationsschema stellt folgende Abbildung 6 dar:

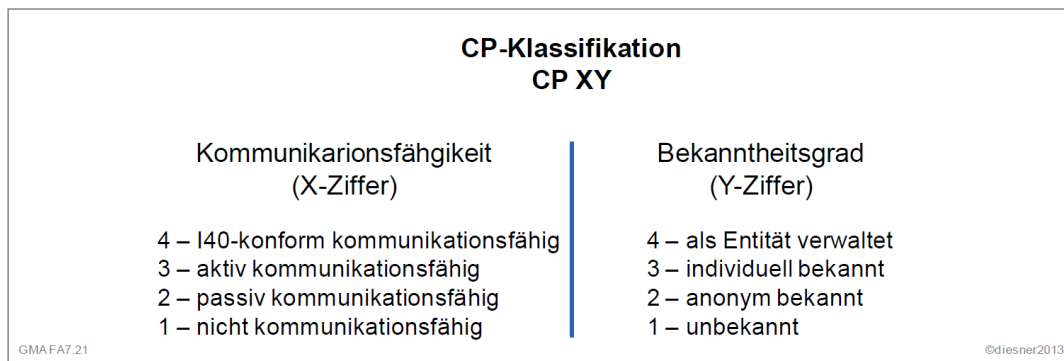


Abbildung 6. CP-Klassifizierung [10]

Eine I4.0-konforme kommunikationsfähige Komponente besitzt Softwareanteile, die sie zu einem vollwertigen Diensteilnehmer in einem Netzwerk macht. Dazu gehören Dienstfunktionen, Identifikationsmerkmale, Verfügbarkeit und auch standardisierte Semantik. Der Begriff "Entität" stellt die Brücke zur Kommunikationsfähigkeit einer I4.0-Komponente dar. Entitäten sind Gegenstände, die in der Informationswelt eigene Objekte zur ihrer Verwaltung und Nutzung besitzen [10]. Dazu gehören z.B. Funktionen zur Gegenstandsverfolgung, Aufnahme von Lebenszyklusdaten oder Sammlung von qualitätssichernden Daten wie ein Ressourcen-Manager.

2.3.3 Die Verwaltungsschale

Sind ein oder mehrere Gegenstände als I4.0 Komponenten CP-34 oder CP-44 klassifiziert, so werden alle Funktionen, die mit diesen verbunden sind, in einer "Verwaltungsschale" zusammengeführt. Diese Verwaltungsschale stellt somit einen Zusammenschluss der zugehörigen Informationen und Dienste einer I4.0-Komponente dar und wird durch ein übergeordnetes IT-System einem User zur Verfügung gestellt. Die folgende Abbildung 7 zeigt den Aufbau der Verwaltungsschale.

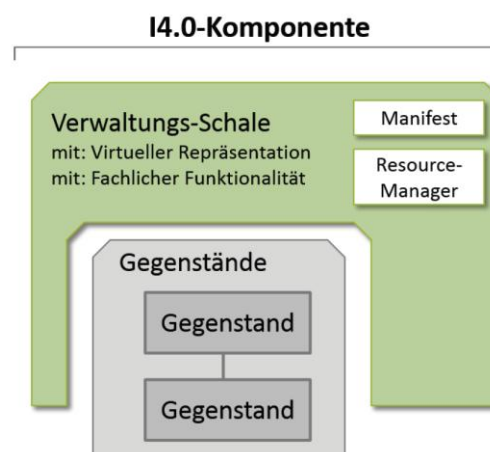


Abbildung 7. Verwaltungsschale einer I4.0-Komponente [6]

Die wichtigsten Kernbestandteile einer Verwaltungsschale sind folgende:

- 1. Virtuelle Repräsentation mit dem Manifest**
- 2. Fachliche Funktionalität**
- 3. Resource-Manager**

1. Die virtuelle Repräsentation hält die Daten zu einem oder mehreren Gegenständen. Diese Daten können entweder auf der I4.0-Komponente selbst gehalten, durch eine konforme Kommunikation der Außenwelt zur Verfügung gestellt oder in einem übergeordneten IT-System gehalten werden, z.B. kaufmännische Informationen oder eine Servicehistorie. Ein wichtiger Bestandteil der virtuellen Repräsentation ist das Manifest, was als Verzeichnis der einzelnen Dateninhalte fungiert (Meta-Informationen). Es enthält außerdem verpflichtende Angaben zur I4.0-Komponente wie Verbindungstyp, Merkmale, produktionsprozessrelevante Beziehungen und Identifikationsmöglichkeiten [6].
2. Unter der fachlichen Funktionalität versteht man beispielsweise Software zur "lokalen Planung" oder zur Projektierung, Konfiguration, Bedienung und Wartung. Es können ebenfalls zusätzliche Mehrwerte oder Funktionen für die Ausführung der Geschäftslogik vorhanden sein [6].
3. Der Resource-Manager stellt die Schnittstelle zwischen IT-technischen Diensten dar und erlaubt so Zugriff auf Daten und Funktionen der Verwaltungsschale um Informationen nach außen verfügbar zu machen [6].

Andere I4.0-Komponenten und weitere Systeme sollen ebenfalls auf die Merkmale, Daten und Funktionen der Verwaltungsschale zugreifen und diese nutzen können.

2.3.4 Kapselfähigkeit, Schachtelbarkeit und Identifizierbarkeit

Eine I4.0-Komponente soll bewusst alle möglichen Querverbindungen innerhalb eines Netzwerkes oder I4.0-Fabrik eingehen bzw. aufbauen können. Doch diese Vernetzung darf nicht zur Einschränkung der Kernfunktionalität führen. Die Fähigkeit diesen Kernbereich störungsfrei zu halten, nennt man "kapselfähig" [6]. Diese Anforderung wird dadurch verwirklicht, dass die Verwaltungsschale als unabhängiges Daten-/Funktionsobjekt ausgeführt wird. Damit wird aus Industrie 4.0-Sicht eine Metaschicht eingeführt, die eine nicht standardisierte und systemübergreifende Kommunikation ermöglicht. Allerdings sollen I4.0-konforme Kommunikation und eine mögliche deterministische oder Echtzeit-Kommunikation aufeinander abgestimmt sein und zum Beispiel nach Möglichkeit die gleichen (physikalischen) Schnittstellen und Infrastrukturen verwenden. Die Widerspruchs-

freiheit zwischen beiden Kommunikations-Kanälen muss in einem System gewährleistet sein [11].

I4.0-Komponenten können zu einer gesamten I4.0-Komponente zusammengefasst werden. So kann sich z.B. eine Maschine als I4.0-Komponente darstellen und wiederum aus mehreren eigenständigen I4.0-Komponenten bestehen, z. B. ein elektrisches Achssystem. Diese logische Zuordnung wird als "Schachtelung" bezeichnet. Technisch gesehen kann diese Schachtelung so ausgeführt werden, dass der übergeordnete Gegenstand (z. B. eine Maschine) zwei I4.0-konforme Kommunikationsschnittstellen besitzt, sodass sich eine klare logische und physikalische Trennung von übergeordneten und untergeordneten I4.0-Komponenten ergibt [6].

I4.0-Komponenten sind in einem Netzwerk eindeutig identifizierbar und ihre physischen Gegenstände werden mittels eines eindeutigen Identifiers(ID) identifiziert [6]. Aufgrund der Anforderungen werden internationale und frei verfügbaren Standards mit entsprechenden Varianten von Identifikatoren festgelegt. Dabei gelten als globale Identifikatoren solche, die die Interaktion der Verwaltungsschale oder ihrer Elemente mit den Verwaltungsschalen anderer Partner der Wertschöpfungsnetzwerke zulassen (ISO 29002-5 oder URI). Als interne Identifikatoren gelten solche, die nicht für andere Partner der Wertschöpfungsnetzwerke zugreifbar sein müssen. Dies können beispielsweise Identifikatoren herstellerinterner Datenelemente sein [8]. Zusätzlich kann diese elektronische Identifizierung eindeutig mittels RFID-Tag oder Matrix-Code physisch erfolgen.

2.4 OPC Unified Architecture

OPC Unified Architecture, kurz OPC UA, ist internationaler Informationsstandard für den Austausch von Daten und auch Metadaten nach IEC 62541. Sie ermöglicht einen Betriebssystem-übergreifenden Datentransfer zwischen Produkten und Anwendungen unterschiedlichster Hersteller und ist somit plattformunabhängig. OPC findet seit 1995 großen Zuspruch aus der Industrie und hat mit der Veröffentlichung der Service Oriented Architecture, kurz "SOA" seit 2007 entscheidend zum Erfolg und Fortschritt der industriellen Revolution 4.0 beigetragen.

2.4.1 Die Technologie von OPC UA

OPC UA definiert generische Dienste und folgt dabei dem erwähnten Designparadigma der Service Oriented Architecture (SOA), bei dem ein Dienstanbieter Anfragen (requests) erhält, diese bearbeitet und die Ergebnisse mit der Antwort (response) zurücksendet. Somit ist mit OPC UA jede Art von Information zu jedem Zeitpunkt und an jedem Ort für jede autorisierte Anwendung und jede

autorisierte Person verfügbar. Für den durchgeführten Informationsaustausch verwendet OPC UA ein TCP-basiertes, optimiertes, binäres Protokoll mittels den bei IANA eingetragenen Port 4840 [13]. IANA ist eine öffentliche Organisation für Zuordnung und Registrierung von IP-Adressen. Webservice und HTTP werden optional zusätzlich unterstützt. Es ist i.d.R. ausreichend einen einzigen Port in der Firewall frei zu schalten. Die integrierten Verschlüsselungsmechanismen wie z.B. Anwendungs- und Anwenderauthentifikation, Signaturen von Nachrichten oder Verschlüsselungen der Nachrichten selbst, sorgen für sichere Kommunikation über das Internet bis in das firmeninterne ERP-System. OPC UA-Sicherheit basiert auf anerkannten Standards, die auch für sichere Kommunikation im Internet verwendet werden, wie beispielsweise TLS. Der Anwender darf die verschiedenen Sicherheitsfunktionen entsprechend seines Use-Cases frei kombinieren, somit entsteht eine skalierbare Sicherheit in Abhängigkeit der spezifischen Anwendung [13]. Folgende Abbildung 8 zeigt nun das Grundmodell von OPC UA.

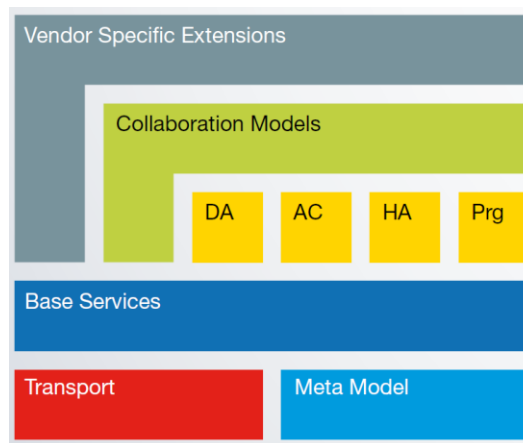


Abbildung 8. Schichtenmodell von OPC UA [13]

Transport: Für die Mechanismen zum Datenaustausch zwischen OPC UA Anwendungen. Verschiedene Transport Protokolle existieren für unterschiedliche Anforderungen, z.B. TCP [13].

Meta Model: spezifiziert die Regeln und Grundbausteine um ein Informationsmodell über OPC UA zu veröffentlichen. Es beinhaltet auch verschiedene Einstiegsknoten und Basis Typen [13].

Services: realisieren die Schnittstelle zwischen einem Server als Anbieter von Information und den Clients als Nutzer dieser Information [13].

Generische Informationsmodelle: Modelle für allgemein gültige Information (z.B. Alarme oder Automatisierungsdaten) sind bereits durch OPC UA spezifiziert. Dazu gehören Data Access (DA), AC (Alarms&Conditions), HA (Historical Access und Prg (Programs) [13].

Technologie- und anwenderspezifische Modelle, bereits definiert durch Standardisierungsgremien, können als Erweiterungen und zusätzliche Modelle implementiert werden [13].

Das OPC UA Informationsmodell definiert einen Satz von einheitlichen Knotentypen, mit denen Objekte im Adressraum dargestellt werden können. Dieses Modell repräsentiert Objekte mit ihren Variablen (Daten/ Eigenschaften), Methoden, Events und ihren Beziehungen zu anderen Objekten. Die Eigenschaften der Knoten werden durch OPC UA definierte Attribute beschrieben. Attribute sind die einzigen Elemente eines Servers, die Datenwerte haben. Die Datentypen der Attribute können einfach oder auch komplex sein. OPC UA ermöglicht die Modellierung beliebiger Objekt- und Variablentypen und Beziehungen zwischen diesen. Die Semantik wird vom Server im Adressraum angezeigt und kann von Usern erfasst werden. Es werden alle Typen identifiziert, gemäß der Spezifikation der Anfrage des Benutzers [13].

2.4.2 OPC UA als Kommunikationsstandard im RAMI4.0 Modell

Mit OPC UA, auch veröffentlicht als IEC 62541, können beliebig komplexe Informationsmodelle ausgetauscht werden, sowohl die Instanzen als auch die Typen (siehe 1.3.2) [13]. Im RAMI4.0-Modell erfolgt diese Realisierung auf der Schicht des "Communication-Layers", um der Forderung einer plattformunabhängigen Kommunikation gerecht zu werden. Hinsichtlich des erwähnten Designs einer Service Oriented Architecture kann der Resource-Manager einer I4.0-Komponente ein entsprechendes Profil basierend auf OPC UA Basisdiensten dem User zur Verfügung stellen. Diese Basisdienste oder Services können folgende "Sets" beinhalten :

- **SecureChannel Service Set:** Der Benutzer kann damit die Sicherheitskonfiguration des Servers abfragen und einen Kommunikationskanal einrichten, bei dem die Vertraulichkeit und die Vollständigkeit (Integrität) der ausgetauschten Meldungen garantiert ist [13].
- **Session Service Set:** Dient zum Erstellen einer anwenderspezifischen Verbindung zu einer Applikation [13].
- **NodeManagement Service Set:** Damit können Knoten (Nodes) im Adressraum hinzugefügt, geändert oder gelöscht werden [13].
- **View Service Set:** Der Benutzer kann damit durch den Adressraum navigieren und diese analysieren [13].
- **Attribute Service Set:** Diese Services werden vom Client zum Lesen und Schreiben von Werten (Attributen) benötigt [13].
- **Method Service Set:** Erlaubt das Aufrufen von Methoden, welche in einem Knoten im Adressraum enthalten sind [13].

- **MonitoredItem Service Set:** Mit diesem Dienst kann eingestellt werden, welche Attribute aus dem Adressraum für einen User auf Wertänderungen überwacht werden sollen oder an welchen Events er interessiert ist [13].
- **Subscription Service Set:** Damit können für Attribute Meldungen erzeugt, bearbeitet oder gelöscht werden [13].
- **Query Service Set:** Filtrationsservice für bestimmte Knotenpunkte [13]

Als praktisches Beispiel kann ein Messgerät für Temperatur als ein Objekt mit seinem Temperaturwert, Alarmparametern sowie entsprechenden Alarmgrenzen dargestellt werden. Mittels Befehlen können Grunddaten, Handbücher oder hinterlegte Berechnungen vom Benutzer aufgerufen werden. Das Objekt besitzt ebenfalls gewisse Sicherheitskonfigurationen, wie z.B. einen Schreibschutz für die Messwerthistorie.

3 Das Cyber-physische Spannmittel

Die grundlegende Charakteristik eines Cyber-physischen Systems soll nun umgelegt werden auf ein bereits eingesetztes Spannsystem mit bekanntem Basisaufbau. Der Einsatz von unterschiedlichen Spannmittelaufbauten mit Peripherie und Kommunikationsstruktur steht dabei unter einem primären Fokus. Ein möglichst universeller Einsatz des Cyber-Physischen Spannmittels, hinsichtlich Werkstückspannung und deren informationstechnische Einbindung in bestehende Maschinenkonzepte und IT-Systemen, ist dabei wesentlich.

3.1 Grundlagen Spanntechnik

In der Fertigungstechnik und speziell für den Betrieb von Werkzeugmaschinen sind Betriebsmittel notwendig. Dazu gehören Werkzeuge, Vorrichtungen, Spannmittel, Mess- und Prüfeinheiten, etc. [19]. Eines der fundamentalsten Elemente ist das Spannmittel, was dabei als Vorrichtung zum festen fixieren eines Werkstückes oder Werkzeuges vor, während und nach dem Bearbeitungsprozess fungiert. Je nach Art des Fertigungsverfahrens, den Anforderungen an die Genauigkeit sowie Form, Größe, Werkstoff und Stückzahl eines Werkstücks kommen verschiedenste Spannmittel zum Einsatz, z.B. Spannzylinder, Spannfutter, Magnetspannplatten, Dorne oder Schraubstöcke. Dabei erfolgt die genaue Lagebestimmung, d.h. eine definierte räumliche Positionierung von Werkzeugen und Werkstücken im Maschinenkoordinatensystem durch diese geometrisch eindeutige Fixierung. Eine wichtige Bedingung dafür ist das Bestimmen von Körperoberflächen, um so eine exakte Spannung zu gewährleisten. Im zweiten Schritt ist das "Zentrieren" z.B. zu einer Hilfsvorrichtung für eine genaue Bearbeitung wesentlich. Andere Funktionen in der Spanntechnik können sein: Positionieren, stützen, führen, drehen oder verschieben von Werkstücken. Die während der Bearbeitung auf Werkzeug und Werkstück wirkenden Bearbeitungskräfte (inkl. Trägheitskräfte und Eigengewicht) dürfen das eingespannte Bauteil nicht aus seiner vorgegebenen Lage verschieben, in Schwingung versetzen oder verformen. In Vorrichtungen oder Spanneinrichtungen von Werkzeugmaschinen werden die Spannkraften auf Werkstücke bzw. Werkzeuge in der Weise aufgebracht, dass sie als Normal- und Tangentialkräfte wirken. Aus dem konstruktiven Aufbau und der Anordnung von Spannelementen ergibt sich das Verhältnis von Spannkraft zu maximal möglicher Haltekraft. Am Beispiel einer Spannung in einem Maschinenschraubstock, kann man die zwei prinzipiellen Spannmöglichkeiten, form- und kraftschlüssiges Spannen, verdeutlichen. Da bei der formschlüssigen Einspannung die Hauptschnittkraft unmittelbar gegen eine Spannbacke wirkt, braucht man die Spannkraft nur so groß zu wählen, dass die Prozesskräfte die Vorspannung nicht aufheben können und ein Herauskippen des

Werkstücks sicher vermieden wird. Beim kraftschlüssigen Einspannen wird das Werkstück allein durch die Reibkräfte an den beiden Spannbacken gehalten. Unter Berücksichtigung von Werkstoffkombinationen, Sicherheitsfaktoren und Reibungskoeffizient kann eine kraftschlüssige Spannung eine bis zu 5-fach höhere Spannkraft als eine formschlüssige Einspannung erfordern. Bei der Auswahl des Spannprinzips sollte deshalb der formschlüssigen Verbindung wegen der kleineren Bedien- und Spannkraft und der hieraus resultierenden kleineren Werkstückverformungen der Vorzug gegeben werden [19]. Grafisch ist der Unterschied nochmals in folgender Abbildung 9 dargestellt:

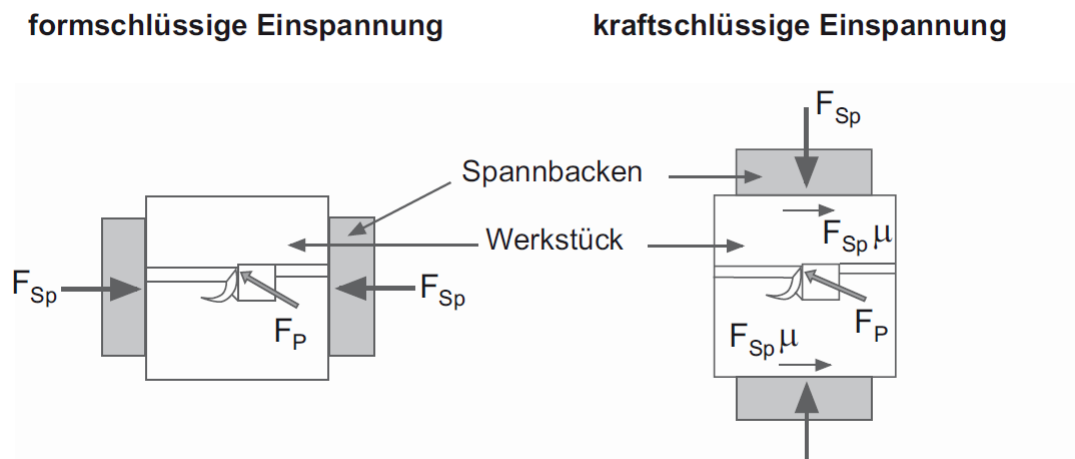


Abbildung 9. Form- und kraftschlüssiges Spannen [19]

Es können auch in Abhängigkeit vom Konstruktionsprinzip verschiedene Automatisierungsstufen realisiert werden [19]. Automatische Wechseleinheiten für eine mannlose Fertigung werden oft durch Schnellwechsel- oder Nullpunktspannsysteme erreicht. Die Gesamtkrafterzeugung ist durch Nutzung verschiedener physikalischer Effekte (mechanisch, hydraulisch, pneumatisch, usw.) möglich. Hydraulischen Spannsystemen kommt in der modernen Fertigung eine ständig wachsende Bedeutung zu [19]. Dabei erfolgt die Versorgung durch die Werkzeugmaschine. Es muss zusätzlich darauf geachtet werden, dass durch Verriegelungseinrichtungen oder Selbsthemmung, die nötige Spannkraft für die Dauer der Bearbeitung in voller Höhe vorhanden bleibt.

Die Vielfalt an Werkstückspannmitteln zeigt auch die Komplexität hinter einer problemstellungsgerechneten Spannung. Im Bereich hochgenauer Innenspannung von Bauteilen zeigt folgende Abbildung 10 das Grundprinzip eines hydraulischen Spanndorns mit Kunststoffhülse.

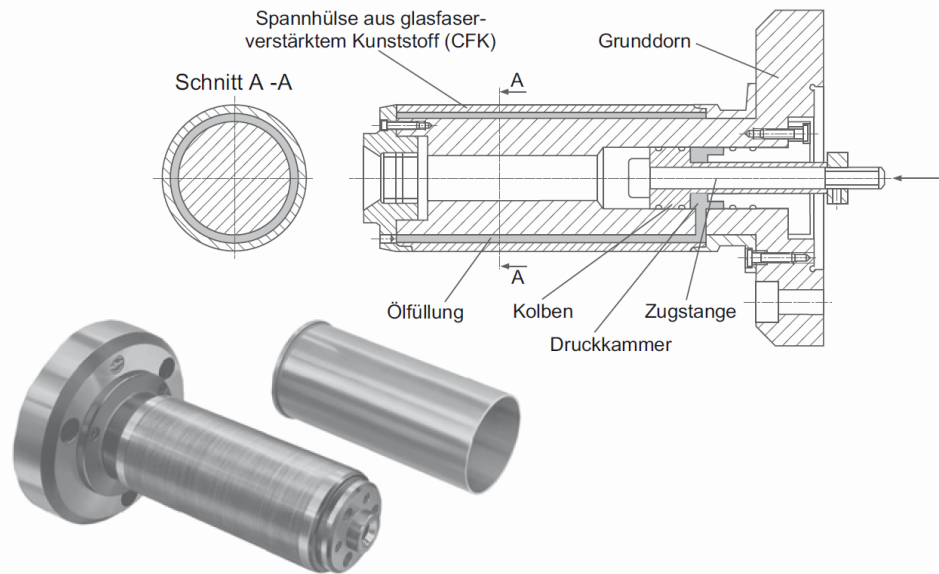


Abbildung 10. Hydraulischer Spanndorn(Quelle RÖHM) [19]

Das Fließfett oder Hydrauliköl wird über einen Kolben mit Druck beaufschlagt und dehnt die Glasfaser- oder kohlenfaserverstärkte Kunststoff-Spannhülse. Die Dehnung kann maximal ein Prozent des Durchmessers der Dehnhülse betragen, so dass aufgrund des geringen Spannbereiches nur eng tolerierte Werkstückbohrungen hiermit spannbar sind. Das Werkstück lässt sich direkt über die Dehnhülse oder indirekt über eine zylindrische und beidseitig geschlitzte Zwischenhülse spannen. Die Zwischenhülse kann auch als Wechselteil für die Anpassung an verschiedene Spanndurchmesser ausgelegt werden [19].

3.2 Konzepterstellung Spannturm I4.0

Die Ausarbeitung einer ersten Konzeption für das Cyber-physische Spannmittel stellt den Ausgangspunkt der weiteren Ausführungen für das Produkt "Spannturm I4.0" dar. In diesem Entwurf sollen folgende Eckpunkte nochmals zusammengefasst und näher analysiert werden:

- Aufgabendefinition und Zusammenfassung des Vorhabens
- Zielanforderungen/Lastenheft
- Gewichtung von Funktionalitäten
- Resultierende Kernpunkte zur fortsetzenden Designphase

Unter dem Slogan "Industrie 4.0" und mit der fortschreitenden Digitalisierung/Vernetzung von Maschinen, Komponenten und sogar ganzen Produktionsstätten untereinander steigt die Anforderung an intelligente Werkzeugmaschinen und deren Komponenten. Eine fundamentale Thematik in der zerspanenden Bearbeitung und auch Automatisierungstechnik ist das Spannen,

Positionieren und Handling von Werkstücken. In modernen Bearbeitungszentren kommen dabei, zur wirtschaftlichen und flexiblen Fertigung von Losgrößen, sogenannte Aufspanntürme zum Einsatz. Es soll nun exemplarisch anhand eines bestehenden Spannturm-Modells die Anforderungen und Möglichkeiten für ein intelligentes Spannmittel dargestellt werden.

3.2.1 Lastenheft

Unter einem Lastenheft versteht man die schriftliche Anforderungsspezifikation für ein Produkt oder eine Leistung an einen Auftragnehmer. Es kann sich dabei um ein Fabrikat als auch eine Dienstleistung handeln. Das Lastenheft wird in der Regel mit folgenden Angaben gegliedert:

1. Beschreibung des Ist-Zustands
2. Beschreibung des Soll-Konzepts
3. Beschreibung von Schnittstellen
4. Funktionale Anforderungen
5. Nichtfunktionale Anforderungen
6. Generische Architektur

1. **Beschreibung des Ist-Zustandes:** Heute ist der Einsatz von Universalkonzepten wie Nullpunktspannsystemen vorherrschend im automatisierten Produktionsumfeld. Zurzeit gibt es verschiedenste erste Umsetzungen der Spanntechnik-Produzenten um einem Spannmittel "Intelligenz" zu verleihen. Dazu werden im Bereich hydraulische Spannsysteme Druckkammersensoren zur Überwachung eingebaut (Hersteller Röhm [26]). Damit ist es möglich den Spanndruck permanent zu kontrollieren und mögliche Fehlfunktionen schnell zu erkennen. Andere Systeme bieten eine Spannkraftmessung durch die Spannbacke direkt am Werkstück (Hersteller Forkardt "iJaw" [25]) um mehr Prozessstabilität bei leicht deformierbaren Bauteilen zu bekommen. Die Kommunikation mit einem übergeordneten System erfolgt dabei per wirelessLAN.
2. **Beschreibung des Soll-Konzepts:** Basierend auf dem Produkt Aufspannturm vom Typ VERO-S der Firma Schunk soll ein Cyber-physisches Spannmittel konkretisiert werden. Ein möglichst universeller Spannmittelaufbau mit entsprechenden Versorgungsmodulen bietet dem Benutzer maximale Flexibilität. Integrierte Sensorik und durch den OPC UA Kommunikationsstandard mit einem übergeordneten System verbunden, ermöglichen die Einbindung und Überwachung des intelligenten Spannmittels. Dabei erfolgt ein permanenter Datenaustausch zwischen Spannturm, Werkzeugmaschine/Benutzer und informationstechnischem Netzwerk.
3. **Beschreibung von Schnittstellen:** Es müssen sowohl mechanische und elektrische als auch Netzwerkschnittstellen am cyber-physischen Spannmittel

integriert sein. Zu den mechanischen Schnittstellen gehören unter anderem der Spannmittelaufbau selbst und die Versorgungseinheiten der Module. Elektrische Verknüpfungen benötigt es zur Sensorkommunikation, Versorgung der Peripherie und primären Steuerung. Bluetooth und WirelessLan sind als Übertragungsstandard definiert.

4. **Funktionale Anforderungen:** Die primäre funktionale Anforderung ist das Spannen von Werkstücken mittels unterschiedlicher Spannsysteme. Die Versorgung mit dem benötigten Prozessmedium muss dabei gewährleistet sein. Vor-, während und nach der Bearbeitung in einer Werkzeugmaschine werden Prozessdaten durch integrierte Sensoren ausgelesen und übertragen. Die generierten Informationen verarbeitet eine Recheneinheit und stellt diese einem Benutzer strukturiert zur Verfügung.
5. **Nichtfunktionale Anforderungen:** Zu nichtfunktionalen Anforderungen gehören eine System- und Integrationsreife des Spannturms, die userfreundliche Handhabung, leistungsfähige Datentransfers, Standalone Betrieb als Wartungshilfe und eine Datenintegrität mit entsprechender Informationssicherheit.
6. **Generische Architektur:** Die beschriebenen Lastenheftpunkte lassen sich zusammenfassend in einem einheitlichen Modell in folgender Abbildung 11 darstellen.

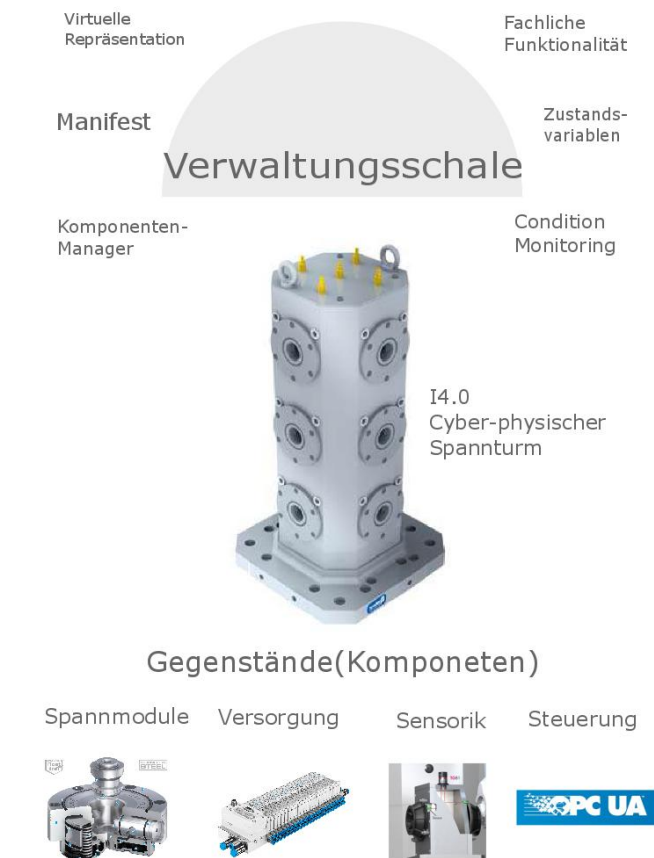


Abbildung 11. Generisches Architekturmodell

3.2.2 6 Kernpunkte als Grundstruktur

Aus der Zusammenführung der generischen Architektur und des RAMI4.0 Modells ergeben sich sechs inhaltliche Kernpunkte zum Design eines Cyber-physischen Spannmittels. Diese Design-Schwerpunkte lassen sich wie folgt definieren:

1. **Aufbau und Struktur**
2. **Versorgung**
3. **Prozesssensorik**
4. **Steuerung und Datenverarbeitung**
5. **Integration in eine Werkzeugmaschine**
6. **Standalone Betrieb**

In den weiteren Kapiteln wird nun jeder Schwerpunkt detailliert analysiert um ein OPC UA Informationsmodell erstellen zu können.

3.3 Designphase Spannturm I4.0

3.3.1 Aufbau und Struktur

Struktureller Ausgangspunkt für das Design des Spannturm I4.0 bildet ein bereits erwähnte Produkt der Firma Schunk Typ "ACHTECK Spannturm VERO-S VAT-AE". Der Grundaufbau inklusive geometrischer Abmessungen ist in folgender Abbildung 12 dargestellt.

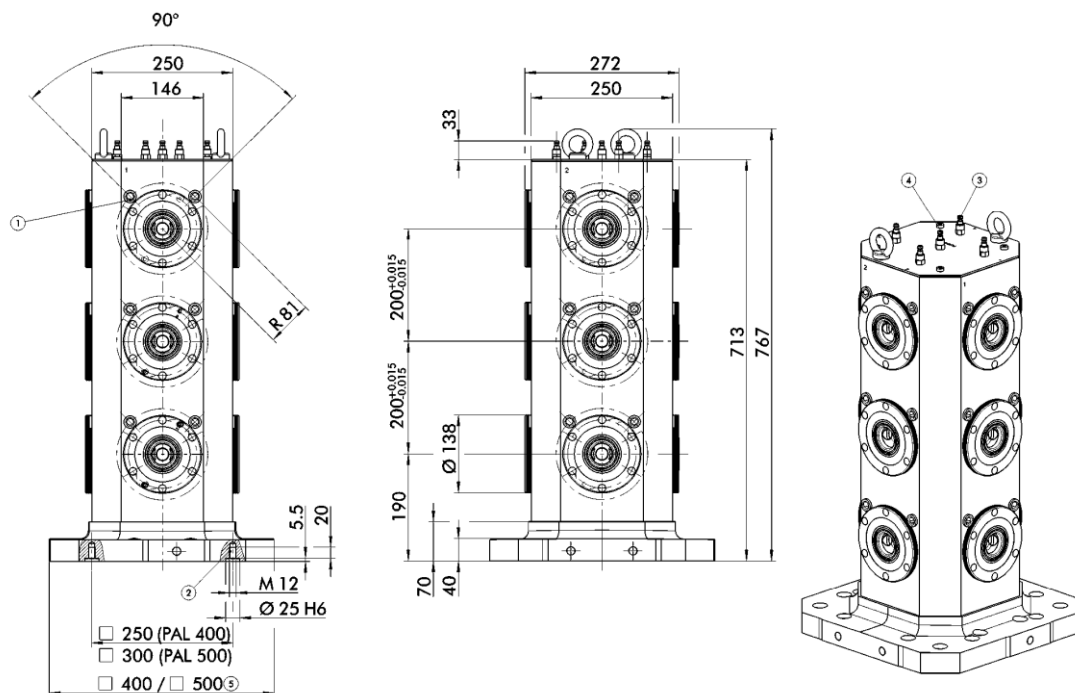


Abbildung 12. Schunk VERO-S Aufspannturm [21]

Die Basisplatte ist dabei für Palettengrößen Typ 400mm x 400mm oder 500mm x 500mm nach DIN55201 ausgelegt und ein verbreiteter Standard in aktuellen Werkzeugmaschinen. Alle vier Seiten des Aufspannturms können jeweils mit maximal drei Stück Spannsystemen ausgestattet werden. In Summe ergibt dies höchstens 12 verschiedene Spannmöglichkeiten. Der Hersteller Schunk setzt dabei auf pneumatisch-betätigte Spanneinrichtungen mit Versorgungsleitungen, die bereits in den Spannturm integriert sind. Die Pneumatik-Anschlüsse zum Öffnen und Schließen der Module befinden sich auf der Deckplatte und sind mit Anschlussgewinde G1/8" ausgeführt.

Der primäre Spannmittelgrundaufbau besteht aus den Modulen Typ VERO-S NSE-Plus 138. Die Funktion dieses Nullpunktspannsystems besteht aus einer Kurzkegelzentrierung und einem Verriegelungsmechanismus mittels Federkraft über zwei Spannschieber. Die Spannschieber werden durch Federkraft geschlossen und verriegeln den Spannbolzen selbsthemmend. Eine zusätzliche Druckbeaufschlagung der Kolbenfläche erhöht die Einzugskräfte um bis zu 300%. Zum Öffnen eines Moduls genügt eine Druckluftversorgung mit 6 bar. Wird das Modul entlüftet, verriegeln die Federpakete das Spannsystem automatisch. Abbildung 13 zeigt das VERO-S NSE-Plus 138 Nullpunktspannsystem in einem Funktionsschnitt.



Abbildung 13. Funktionsdarstellung VERO-S NSE-Plus 138 [31]

In der Funktionsbeschreibung dargestellt in Abbildung 13. Punkt (8) verriegelt und löst der Kolben den Spannbolzen (17) pneumatisch mittels axialem Federpaket (13) über die Spannschieber (6). Der zugehörige Spannweg wird durch die

Profilgeometrie im Kolben gewährleistet. Das gesamte System ist durch spezielle Dichtungen in Punkt (4) und (11) isoliert. Zusätzlich ist zentral in Punkt (9) ein Stopfen angebracht, der für eine Ausblasfunktion genutzt werden kann. Über eine mit Druckluft funktionierende Staudruckmessung in (5) ist es möglich extern die Kolbenposition zu überwachen. An der Planfläche (2) befindet sich eine pneumatische Medienübergabe, die genutzt werden kann um weitere Spannmittelaufbauten mit Prozessmedium zu versorgen. Final befestigt wird das NSE-Plus 138 Modul mittels M8 Schrauben am Spannturmgrundkörper. Zusammenfassend bietet das Grundsystem folgende Voraussetzungen für die weitere Betrachtung:

- Qualitativ hochwertiger Grundkörper mit genormter Maschinenschnittstelle nach DIN55201
- Nullpunktspannsystem VERO-S NSE-Plus 138 als Grundaufbau
- Integrierte Versorgung und Medienübergabe
- Mögliche Spannüberwachung der Module
- Eignung für weitere Spannmittelintegration

3.3.2 Versorgungsmodule

Zweiter Kernpunkt des Cyber-physischen Spannmittels ist das Thema Versorgungsmodule. Dabei handelt es sich um die Elektronik, die bereits implementierte Pneumatik und eine mögliche hydraulische Versorgung für spezielle Hydraulikspannelemente.

3.3.2.1 Elektronik

Die elektronischen Komponenten des Spannturms I4.0 können in drei Kategorien unterteilt werden:

1. Elektronische Spannmittel und Spannmittelversorgung
2. Steuerung des Cyber-physischen Spannmittels
3. Sensorik und Peripherieeinheiten

1. Elektronische Spannmittel und Spannmittelversorgung: Als zweiten Spannmittelaufbau bietet sich bei horizontalen Bearbeitungen (z.B. Fräsen) ein Elektro-Permanent-Magnetspannsystem an. Unter einem Elektro-Permanent-Magnet versteht man einen speziellen Magneten, dessen äußere Magnetwirkung mit einem Stromimpuls ein- und ausgeschaltet werden kann. Er besteht aus einem Elektromagnet mit einem Kern aus magnetisch semihartem Material und einem Permanentmagnet (aus magnetisch hartem Material). Ist der semiharte Kern gegenläufig zum harten Kern magnetisiert, so heben sich deren magnetische Wirkungen nach außen hin auf. Wird der semiharte Kern gleichläufig zum Permanentmagneten magnetisiert, so ist außen eine Magnetwirkung vorhanden. Die

elektrische Energie wird nur zur Umschaltung zwischen den beiden Zuständen benötigt [35]. Die dabei benötigte Netzspannung ist 400V AC mit 16 Ampere Absicherung. Zur Versorgung können auf jeder Spannplattenseite 8-polige wasserdichte Schwermaschinenstecker mit Schnellverschluss (Push-Pull-Verschlussring) eingesetzt werden. Die Ausführung ist meist aus Metall um widerstandsfähiger gegen aggressive Kühlmedien zu sein. Die Wahl des Magnetaufbaus (Größe und Polteilung) richtet sich nach den zu bearbeitenden Bauteildimensionen. Bei sehr dünnen Bauteilen empfiehlt es sich eine feine Polteilung z.B. 4mm zu verwenden, um eine möglichst flächige Spannung des Werkstückes zu generieren. Gesteuert wird der Magnet mittels eines sogenannten Umpolsteuergerätes. Diese Umpolsteuereinheiten bestehen meist aus zwei Komponenten: Der eigentlichen Steuereinheit, die in der Werkzeugmaschine verbaut wird und einem Handbedienpanel für den Benutzer zur Regelung des Elektro-Permanent-Magnetspannsystems. Damit kann der Bediener das System ein- und ausschalten und zusätzlich die Haftkraft in Stufen regulieren. Abbildung 14 zeigt den beschriebenen Aufbau und die Oberfläche eines Umpolsteuergerätes.



Abbildung 14. Magnetspannsystem mit Umpolsteuereinheit [33], [34]

2. Steuerung des Cyber-physischen Spannmittels: Die primäre Steuerung des Spannturms I4.0 übernimmt ein Raspberry Pi® 3 Einplatinen-Rechner, der durch ein Mikro-USB-Netzteil mit 5V/2,5 A Ausgangsstrom versorgt wird. Dieser Rechner eignet sich vor allem durch seine kompakte Bauweise und vielen Schnittstellen als optimale Übermittlungseinheit für das Cyber-physische Spannmittel.

3. Sensorik und Peripherieeinheiten: Sowohl die Prozesssensorik als auch der Zentralverteiler benötigen eine Versorgung von der Hauptspannungsquelle, maximal 30V DC. Ebenfalls integriert ist eine USB-Power-Bank mit 5V/2,5 Output, 2 Anschlüssen und Li-Ionen-Akku um den Standalone-Betrieb aufrecht zu erhalten. Diese Power-Bank wird mit einem USB-Hub und Mikro-USB-Netzteil bei geringem

Ladezustand wieder automatisch aufgeladen. Zur Versorgung der weiteren Spannmitteloptionen müssen sowohl Pneumatik-Ventilinsel als auch Hydraulikaggregat mit zumindest 24V DC gespeist sein. Die Integration und Möglichkeiten werden dazu in weiteren Kapiteln analysiert. Abschließend lässt sich das elektrische Layout des Spannturms I4.0 in folgender Abbildung 15 zusammenfassen.

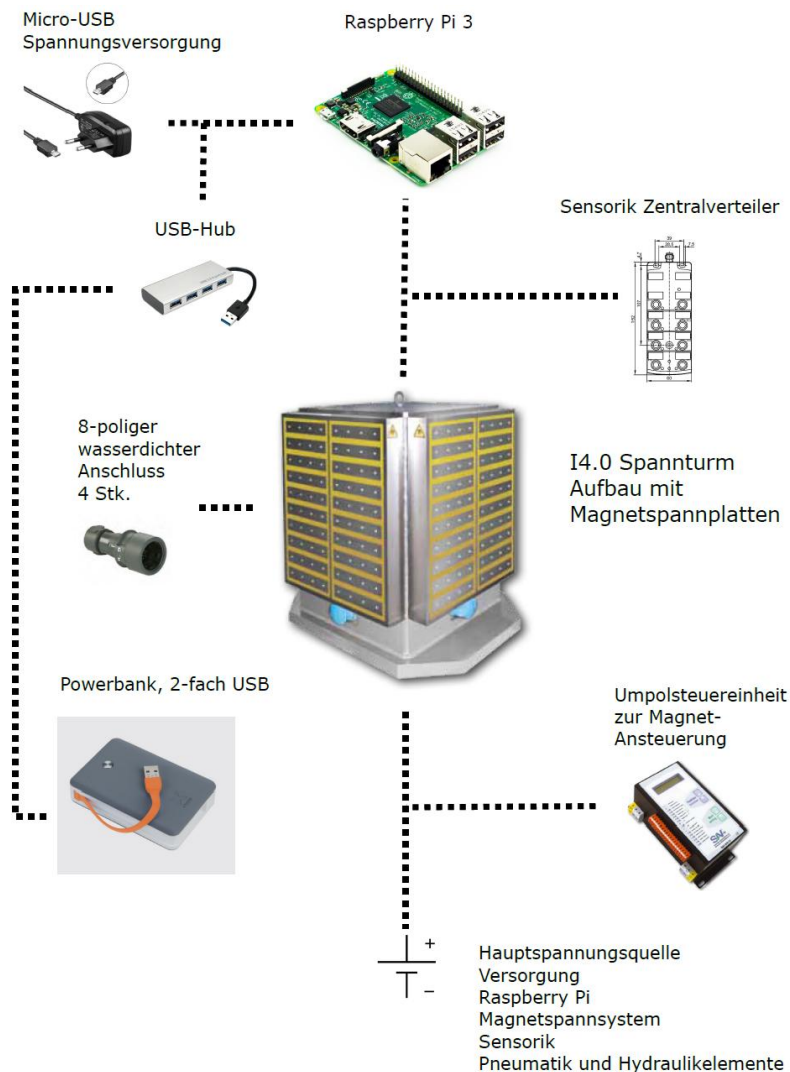


Abbildung 15. Layout der elektrischen Versorgung

3.3.2.2 Pneumatik

Pneumatik ist die Lehre aller technischen Anwendungen, bei denen Druckluft (komprimierte Umgebungsluft) dazu verwendet wird, um Arbeit zu verrichten. Die zum Betrieb pneumatischer Systeme notwendige Druckluft wird in einem oder mehreren Verdichtern (Kompressoren) erzeugt [44]. Pneumatisch betätigte Systeme sind u.a. Ventile als Stellglieder für Arbeitsprozesse, Antriebsmotoren oder Zylinder für geradlinige Bewegungen zum Spannen/Lösen von Werkstücken. Herkömmliche Anlagen werden meist mit 6 bar Prozessdruck versorgt. Die Gewährleistung einer konstanten Druckluftqualität ist dabei ein essentieller Faktor. Verschmutzungen und

ein zu hoher Feuchtigkeitsgrad können an den zu versorgenden Systemen Schäden verursachen. Nach ISO8573 wird eine genaue Druckluftqualität für den Betrieb definiert.

Das Spannen von Bauteilen mittels Druckluft bietet sich als einfache und kompakte Lösung für die Integration in einer Werkzeugmaschine an. Dabei werden oft sogenannte Kraftspannblöcke oder Schraubstöcke verwendet. Die Kraft- oder Keilhakenspannblöcke Typ KSP-Plus von Fa. Schunk sind als Zweibackensysteme ausgeführt. Dabei wird je nach Anwendungsfall zentrisch oder gegen eine feste Backe gespannt. Zusätzlich kann mit einem Backenschnellwechselsystem die Rüstzeit für den Bediener reduziert werden.

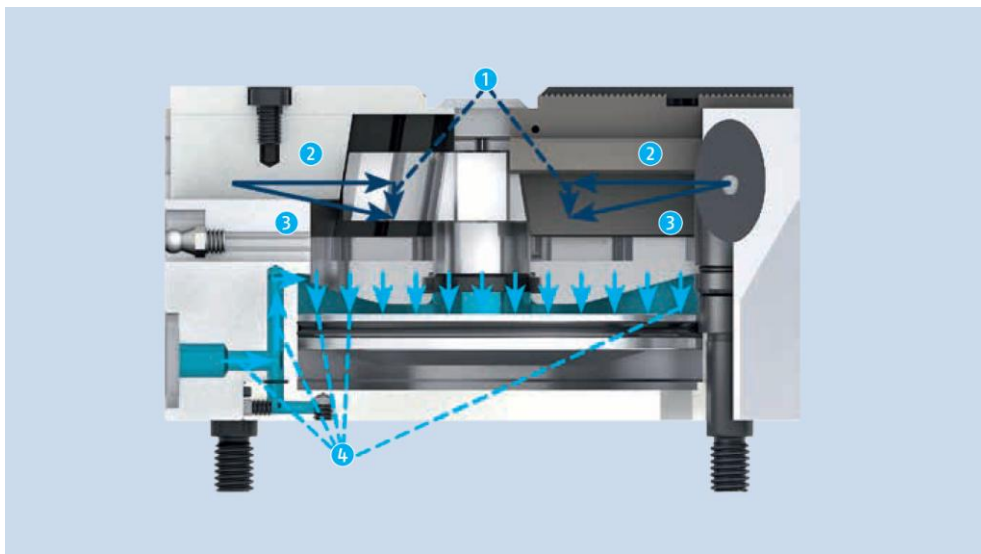


Abbildung 16. Funktionsbild Keilhaken-Spannblock [45]

Die obige Abbildung 16 zeigt das Funktionsschema des Kraftspannblockes. Durch das Beaufschlagen mit Druckluft (Anschluss seitlich als M5 oder G1/8" ausgeführt) wird die Kraft vom axial verschiebbaren Pneumatikzylinder (1) auf die Grundbacken (3) übertragen. Um die Spannkraften im Betrieb konstant zu halten, führt der Keilhaken (2) das System. Das System kann manuell mittels Handpresse oder über eine Zentralschmierung mit Fett versorgt werden. Der zugehörige Anschluss befindet sich am Spannblockaußenkörper. Die Verwendung von Passschrauben erleichtern den Einsatz auf Indexierpaletten für Nullpunktspannsysteme. Die integrierte Medienübergabe des VERO-S NSE-Plus 138 kann für die Versorgung der pneumatischen Aufbauten verwendet werden.

Der Spannturm I4.0 kann maximal mit 12 unterschiedlichen Spannmitteln ausgerüstet werden. Für die pneumatische Versorgung und Steuerung benötigt es neben den aufbauseitigen Schnittstellen eine zentrale Ventilinsel. Fa. FESTO bietet dazu eine Vielzahl an Gesamtlösungen mit integrierter IO-Link-Schnittstelle zur Überwachung der gesamten Einheit durch ein übergeordnetes IT-System. Die

Produktreihe VTUG ist ein modulares Versorgungskonzept mit bis zu 24 unabhängig voneinander schaltbaren Wegeventilen. Wegeventile dienen in der Fluidtechnik (Pneumatik und Hydraulik) dazu, den Weg für das Arbeitsmedium (Druckluft, Hydraulikflüssigkeit) freizugeben, zu sperren oder die Durchflussrichtung zu ändern. Wegeventile werden nach der Anzahl der Anschlüsse pro Schaltstellung und der Anzahl der Schaltstellungen beschrieben [42]. So besitzt z.B. ein 3-2-Wegeventil drei Anschlüsse und zwei Schaltstellungen. Der primäre Versorgungsdruck kann zwischen 1,5 - 8 bar eingestellt werden. Zusätzlich können verschiedene Druckzonen in Abhängigkeit der Ventilplätze auf den Anschlussleisten definiert werden. Aufgrund der Baugröße ist jedoch eine Integration in den Spannturmgrundkörper nicht möglich. Als Alternative könnte in der Werkzeugmaschine eine Vorbereitung installiert werden. Abschließend lässt sich das pneumatische Layout des Spannturms I4.0 in folgender Abbildung 17. darstellen.

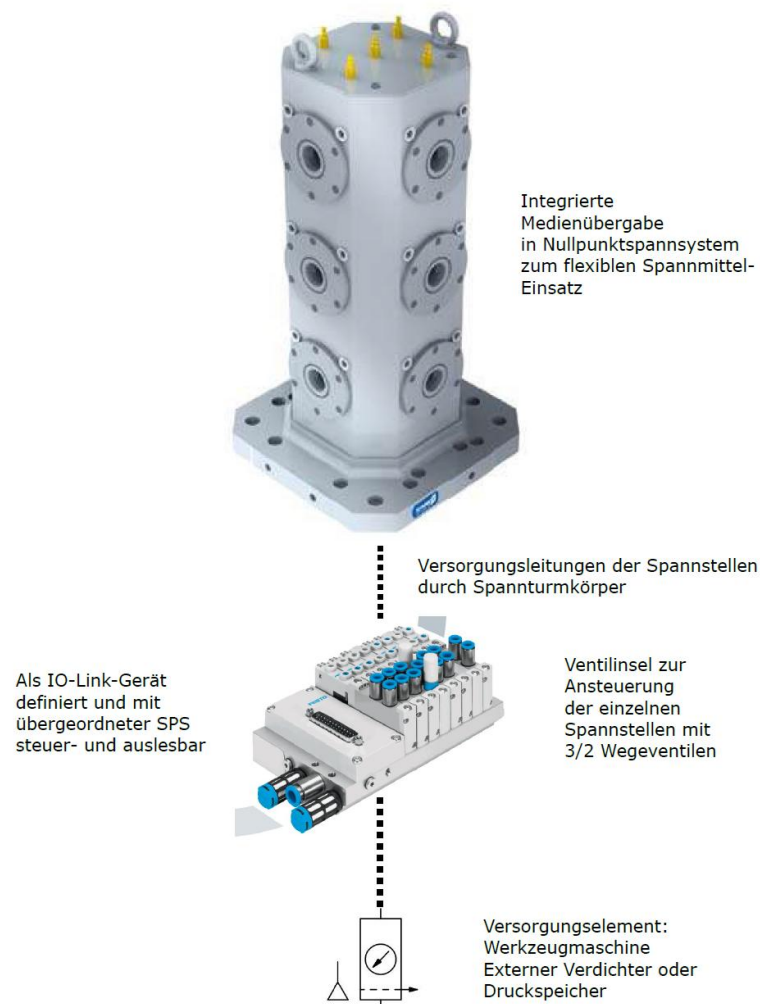


Abbildung 17. Layout der pneumatischen Versorgung

3.3.2.3 Hydraulik

Die hydraulische Spanntechnik ist neben der Pneumatischen ein fundamentales Medium um Werkstücke zuverlässig zu positionieren, fixieren und schnell wieder zu lösen. Dabei ist das Anwendungsfeld der Hydraulik sehr vielfältig und reicht von Antriebsmotoren für Kraftfahrzeuge, Steuerung von Stellantrieben (z.B. Flugzeugflügelklappen) über zu Kränen, Traktoren und Hubeinheiten. Hydraulische Spanntechniken besitzen einige Vorteile: Die Spannkräfte sind äußerst konstant und fein einstellbar, was zu einer sehr präzisen Positionierung und Einspannung führt. Es können damit viel größere Spannkräfte mit entsprechenden Versorgungsaggregaten erzeugt werden als mit rein mechanischen oder pneumatischen Spanneinrichtungen. Dies ist vor allem bei hohen Zerspanungskräften wichtig um zu gewährleisten, dass das Werkstück in seiner Spannung fixiert bleibt. Bei der Auslegung einer hydraulischen Werkstückspannung wird anfangs nur an drei festen Punkten positioniert, gestützt und eingespannt. Plus kann es eine weitere Verdrehsicherung oder Stützfunktion an zusätzlichen Stellen geben. Dazu werden verkettete Wegeventile für das Gesamtspannsystem eingesetzt. Weit verbreitete Spannmittelmöglichkeiten sind flexible hydraulische Backenspanner oder sogenannte Hebelspanner um komplexere, unförmige Teile zu fixieren. Der hydraulische Backenspanner, Fabrikat ROEMHELD, ist ein kleiner Spannstock mit zwei beweglichen Backen, die über einen gemeinsamen Hydraulikanschluss betätigt werden. Dabei wird das Werkstück, unabhängig von seiner Position innerhalb des Spannbereiches, zangenartig (schwimmend) gespannt. Danach werden über einen separaten Klemmanschluss die beiden Backen hydraulisch festgeklammt. Das gespannte Werkstück kann nun nicht mehr „wegschwimmen“, wenn Bearbeitungskräfte eingeleitet werden. Diese Spannelemente werden zum Stützen und Spannen von labilen Werkstückpartien eingesetzt. Sie passen sich somit der Position der Spannstelle an, ohne Verformung zu generieren. Sie wirken schwingungsdämpfend und nehmen Bearbeitungskräfte aus allen Richtungen auf [57]. Die folgende Abbildung 18 zeigt einen hydraulischen Backenspanner.



Abbildung 18. Hydraulischer Backenspanner mit Spannbacken [57]

Zur Positionierung auf einer Indexierplatte des Nullpunktspannsystems besitzt die Grundplatte ein Bohrungsmuster. Seitlich sind die hydraulischen Anschlüsse, ausgeführt als G1/8", für Spannen, Lösen, Klemmen und eine Zentralschmierung angebracht. Zur Versorgung eines hydraulischen Spannelementes benötigt es ein Pumpenaggregat. Je nach notwendigem Ölbedarf (cm^3) und Druckniveau (bar) gibt es unterschiedliche Baugrößen. Firma ROEMHELD bietet dazu Kompakt-Hydraulikaggregate für kleine bis mittelgroße Spannmittel an, Betriebsdruck bis 500bar. Es stehen maximal zwei Spannkreise für einfach oder doppelt wirkende Zylinder zur Verfügung, die unabhängig voneinander angesteuert werden können. Dadurch ist auch eine „Pendelbearbeitung“ möglich, d.h. während das Werkstück in der einen Vorrichtung bearbeitet wird, kann auf der zweiten Vorrichtung der Werkstückwechsel erfolgen [55]. Der Leitungsanschluss für das Medium ist als G1/4" ausgeführt. Um nun mehrere Spannstellen ansteuern zu können, sind höhenverkettete Wegeventile notwendig. Dazu bietet BOSCH Reihenplatten mit mehreren Plätzen, verschiedenen Drucklevel-Einstellungen und einem Versorgungsanschluss an. Final ist in folgender Abbildung 19 das hydraulische Layout dargestellt.

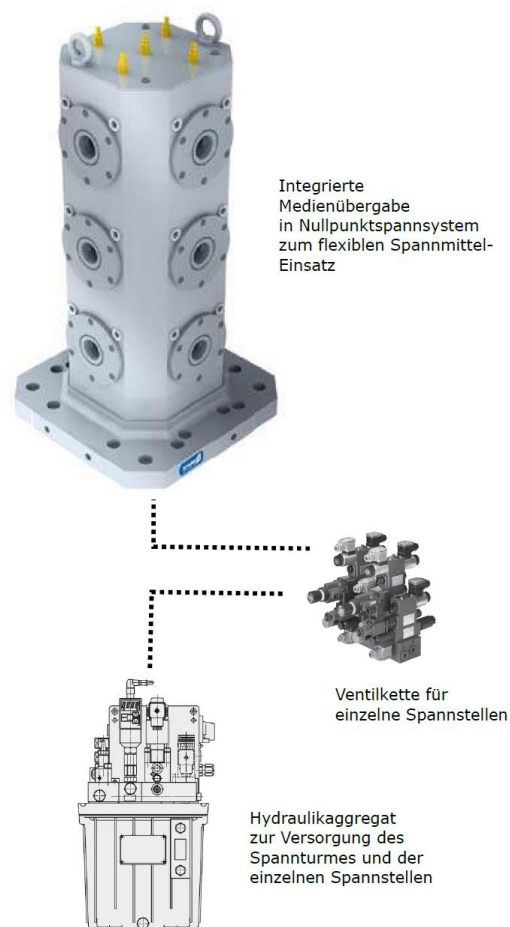


Abbildung 19. Layout der hydraulischen Versorgung

3.3.3 Prozesssensorik

„Sensorik“ bezeichnet in der Technik die Wissenschaft und die Anwendung von Sensoren zur Messung und Kontrolle von Veränderungen von umweltbezogenen, biologischen oder technischen Systemen [58]. In der „technischen Sensorik“ werden ua. nicht elektrische Messgrößen in elektrische Signale umgewandelt. Hier werden sogenannte Einheitssignale in Strom- oder Spannungseinheiten verwendet, z.B. mA oder V. Ziel der Integration von Sensorik ist, ein aktuelles Zustandsbild zu erhalten und gegebenenfalls aufgrund von Ist-Daten Veränderungen im Prozess oder an Stellgrößen herbeizuführen. Der dritte Kernpunkt des Cyber-physischen Spannmittels befasst sich somit mit der Implementierung von intelligenter Sensortechnologie.

3.3.3.1 Smarte Sensoren

Ein Smart-Sensor ist ein Sensor, der neben der eigentlichen Messgrößenerfassung auch die komplette Signalaufbereitung und Signalverarbeitung in einem Gehäuse vereinigt. Diese beinhalten oft Mikroprozessoreinheiten oder DSP-Einheiten (Digitaler-Signal-Prozessor) und stellen standardisierte Schnittstellen zur Kommunikation für übergeordnete Systeme bereit. Dies geschieht meist in Form von Feldbus- oder Sensorsystemen [59]. Unter einem Feldbus versteht man ein Bussystem, das in einer Anlage Feldgeräte wie Messfühler (Sensoren) und Stellglieder (Aktoren) zwecks Kommunikation mit einem Automatisierungsgerät verbindet [60]. Dies wird mit einer seriellen Verdrahtung an Sensoren und Aktoren realisiert. Smart-Sensoren können mit den unterschiedlichsten Schnittstellen ausgestattet sein: Entweder leitungsgebunden, kontaktlose mit optisch-induktiver Ankopplung oder nicht leitungsgebunden über passive wie aktive Funktechniken (batteriebetrieben). Die am häufigsten verwendeten Kommunikationsschnittstellen sind WLAN, Bluetooth, UTMS, LAN oder USB [59].

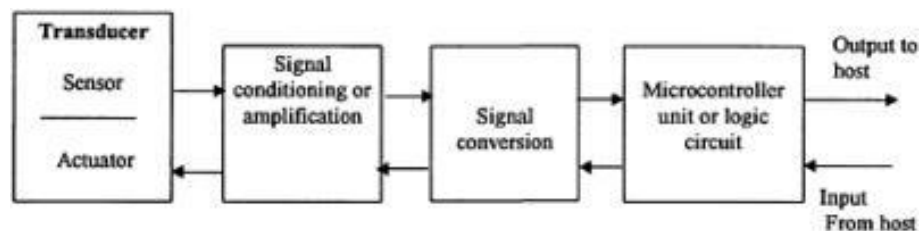


Abbildung 20. Architektur Smart-Sensor [61]

Obige Abbildung 20 zeigt eine Smart-Sensor-Kette und den charakteristischen Signalweg. Maßgeblich ist dabei, dass letztens der Output aufbereitet an den übergeordneten Empfänger gesendet wird. Die Aufbereitung und Umwandlung findet davor im Sensor selbst statt. Der User kann zusätzlich durch entsprechende Inputs z.B. Stellgrößen des Sensors verändern. Aus diesem Grunde trägt die

Implementierung von Smarten Sensoren für komplexe Aufgaben eine Schlüsselposition zur fortlaufenden Miniaturisierung in der Mikroelektronik bei.

3.3.3.2 "Echtzeitsystem" und Informationsaustausch mit OPC UA

Unter "Echtzeit" versteht man den Betrieb eines Rechensystems, bei dem Programme zur Verarbeitung anfallender Daten ständig betriebsbereit sind, derart, dass die Verarbeitungsergebnisse innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne verfügbar sind. Die Daten können je nach Anwendungsfall nach einer zeitlich zufälligen Verteilung oder zu vorherbestimmten Zeitpunkten anfallen. Der Begriff "Echtzeit" sagt jedoch nichts über die Geschwindigkeit und Verarbeitungsleistung eines Systems aus, lediglich die Fähigkeit innerhalb eines gewissen Zeitrahmens zu reagieren [64]. Als "Echtzeitsysteme" werden nun Systeme zur unmittelbaren Steuerung und Abwicklung von Prozessen bezeichnet, die dafür an sie gestellte quantitative Echtzeitanforderungen erfüllen müssen [63]. Zur Klassifizierung der Zeitspanne von Echtzeitsystemen wird zwischen harter, weicher und fester Echtzeit unterschieden.

- **harte Echtzeit:** Ein Überschreiten wird als Versagen des Systems eingestuft. Die Ergebnisse werden somit immer innerhalb der vorgegebenen Zeitschranken zur Verfügung gestellt [63].
- **weiche Echtzeit:** Dabei werden alle einkommenden Daten in einem Mittelwert oder anderen statistischen Kriterium zuverlässig abgearbeitet. Die Zeitanforderung ist als Richtlinie zu sehen.
- **feste Echtzeit:** Erfüllung der Informationsbereitstellung ohne Versagen des Systems. Jedoch nach Überschreitung kann das Ergebnis verworfen werden.

Neben OPC UA als Kommunikationsprotokoll wird heute mittels TSN (Time-Sensitive Networking) als Datenübertragungsstandard die Echtzeitfähigkeit auf Basis von Ethernet weiterentwickelt. Die Realisierung von "sinnvollen" Zeitschranken für ein bestehendes System oder eine Komponente ist deshalb bedeutend. Die Anforderungen für zeitliche Größenwerte können zwischen μ -Sekunden und mehreren Sekunden liegen, je nach Anwendungsfall. Wie bereits in vorigen Kapiteln beschrieben, stellt OPC UA eine plattformunabhängige Schnittstelle für einen User dar. Infolgedessen kann jede Information für jeden autorisierten Benutzer an beliebigen Orten zur Verfügung gestellt werden. Ziel ist es Zykluszeiten im Echtzeitbereich zu realisieren und das Einsatzspektrum von OPC UA und TSN weiter zu erhöhen. Bereits heute setzen namhafte Firmen wie ABB, Bosch Rexroth oder CISCO TSN als Übertragungsstandard in Pilotprodukten ein.

3.3.3.3 Physikalischen Einflüsse auf den Spannturm I4.0

Der Spannturm I4.0 wird in der Produktion unterschiedlichen Einflüssen ausgesetzt. Je nach Spannmittelaufbau und Zerspanungsprozess können diese Einflüsse stärker oder weniger die Prozessfähigkeit des Systems beeinflussen. Zu den physikalischen Einflüssen zählen:

1. Kräftebelastungen durch das Zerspanen
2. Schwingungen
3. Temperatur
4. Positionsüberwachung als Lagekontrolle

1. Kräftebelastungen durch das Zerspanen: Zerspankräfte und die damit verbundenen Geschwindigkeiten bilden eine der Hauptbelastungen im Prozess auf Werkstück und Spannmittel. Zu den Hauptgrößen gehören die Zerspankraft F_{zersp} , Schnittgeschwindigkeit v_c , Vorschubgeschwindigkeit v_f und die Schnitttiefe a_p . Neben diesen Parametern spielen ebenfalls der zu zerspanende Werkstoff und die Wahl des Schneidmittels eine wichtige Rolle im Prozess und den auftretenden Kräftebelastung am Spannturm I4.0. Zur Ermittlung dieser Belastungen können die wirksamen Kräfte während der Zerspanung mittels „Dynamometer“ (Fa. Kistler) aufgezeichnet und über eine entsprechende Schnittstelle ausgegeben werden (Kabelverbindung am Piezoelektrischen Sensorgehäuse). Die Messung erfolgt als Kraftnebenschlussmessung (hinter der Spannstelle) oder indirekt mittels Kraft-Dehnungssensor am Cyber-physischen Spannmittel. Die Dehnung wird als Schubkraft an das Messelement übertragen und die Befestigung erfolgt durch Einschrauben. Für die Aufbereitung der Empfangssignale muss ein Vorverstärker installiert werden. Zur Überprüfung des Spannmittels und der Spannkraft auf das Werkstück selbst, können u.a. Systeme mit integriertem Messsystem (Forkardt "iJaw") in der Spannbacke, als auch statische Methoden mit Spannkraftmesskopf und Auswertesoftware verwendet werden. Diese Form der Analyse findet vor allem im Drehbereich Anwendung.

2. Schwingungen: Entsprechend dem Nachgiebigkeitsfrequenzgang des Gesamtsystems Maschine-Werkzeughalter-Werkzeug-Werkstückspannung-Werkstück treten infolge der Zerspankräfte Schwingungen auf, die zu einem erhöhten Verschleiß, zu Werkzeugbruch, schlechten Oberflächenqualitäten oder Maschinenschäden führen können. Man unterscheidet zwischen fremderregten und selbsterregten Schwingungen. Eine entscheidende Rolle zur Minimierung von Schwingungen im System spielt dabei der Werkzeughalter, der auftretende Schwingungen an der Schnittstelle zwischen Maschine und Werkstück kompensieren kann [65]. Schwingungsaufnehmer der Fa. Prometec können sowohl in der Werkzeugaufnahme als auch am Spannmittel oder an einer zur Aufnahme passenden Stelle integriert werden. Der Piezo-Körperschallaufnehmer Typ Status

Pro VIB MS006 bietet sich dank einfacher Montage (M6-Schrauben) als problemlos zu integrierendes Messsystem am Spannturm an.

3. Temperatur: Bei jedem Zerspanungsprozess entsteht Wärme und muss durch ein Medium abgeführt werden (Luft oder Flüssigkeit). Infolge von steigenden Geschwindigkeiten kann es zu einem erhöhten Temperatureintrag im Werkstück mit Spannmittel und Werkzeug kommen. Das Resultat ist aktivierter thermischer Verschleiß am Werkzeug und Gefügeänderungen im Werkstück mit abweichenden Werkstoffeigenschaften (z.B. Erhöhte Zugspannungen). Dies kann zur frühzeitigem Ausfall des Systems führen. Integrierte Sensoren in der Werkstückspannung (z.B. BLUM Novotest TG81) überwachen die aktuelle Temperatur und übermitteln diese mittels BRC-Funktechnologie an die Maschinensteuerung oder einen Empfänger.

4. Positionsüberwachung als Lagekontrolle: Näherungsschalter können als Lagekontrolle für den korrekten Spannmittelaufbau, als auch zur Überprüfung der Werkstückspannung eingesetzt werden (Spannschieber-Endpositionen). Das erzeugte Signal kann kapazitiv, induktiv oder optisch sein. Dies dient vor allem als Kontrolle, um mögliche Folgeschäden zu vermeiden. Fa. ABB entwickelte dazu die ersten Drahtlos-Näherungsschalter, die mittels eines Magnetfeldes versorgt werden können.

3.3.3.4 Sensorintegration

	Zerspankräfte	Schwingungen	Temperatur	Position
Hersteller	Kistler	Status Pro	BLUM	ABB
Messmethode	Piezoelektrischer Sensor	Induktiver Sensor	Elektrischer Sensor	Induktiver Sensor
Einbaumöglichkeiten	Hinter der Spannstelle oder auf Spannturmoberfläche	Am oder Innerhalb des Spannturmkörpers	An Spannvorrichtung	An Spannvorrichtung
Wertebereich	-1400 - 1400 $\mu\epsilon$	4-20 mA	-5 - 80C°	Positionsüberwachung
Betriebstemperatur	-40 - 200C°	-25 - 80C°	-	-
Übertragungsart	Kabelverbindung	Kabelverbindung	Funkverbindung	Bluetooth
Anschluss	M4 neg.	PUR 4-polig	Batteriebetrieben	Induktion mit Sekundärspulen
Vorverstärker	ja	nein	nein	nein

Abbildung 21. Sensorspezifikationen

Die obige Abbildung 21 zeigt nun alle Überwachungsmöglichkeiten der physikalischen Zustände zusammenfassend an. Die entsprechende Einbauoptionen am Spannturm I4.0 werden in folgender Darstellung 22 illustriert.

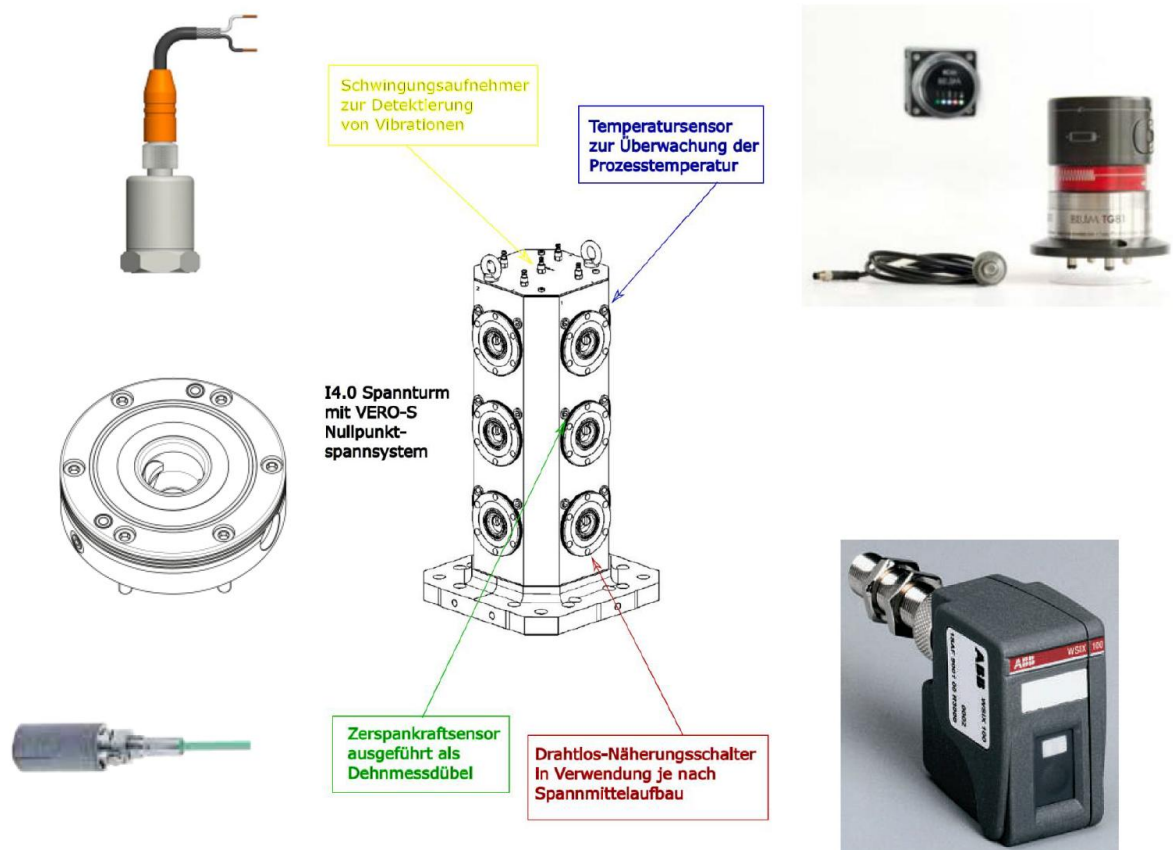


Abbildung 22. Layout Sensorintegration

Der Einbau in den Spannturmgrundkörper erfolgt mittels Montageadaptern. Dabei wird eine Gewindebohrung, meist M4 oder M5, angefertigt, um den Anschluss für den Sensor einzuschrauben. Die Adapter müssen dabei mit Klebstoff gesichert sein, sodass ein Herausdrehen verhindert wird. Für einen raschen Sensortausch verwendet man Steckerkupplungen. Die Einschraubtiefen sind dabei sensorspezifisch und variieren je nach Type. Bei der Kabelwahl müssen kühlmittelresistente PUR-Kabel in Verwendung sein, da sonst aggressive Kühlflüssigkeiten diese zerstören würden. Oft werden sogenannte 90°-Winkelstecker gebraucht, um hervorstehende Anschlüsse zu vermeiden. Alle leitungsgebundenen Sensoren sind über eine Zentralverteilereinheit mit Steuerung des Cyber-physischen Spannmittels verbunden. Die drahtlosgebundenen Sensoren übertragen Ihre Daten direkt an die Steuerungs-Recheneinheit.

3.3.4 Steuerung und Datenverarbeitung

Das Cyber-physische Spannmittel benötigt zur Verarbeitung aller generierter Informationen eine zentrale Steuerungseinheit. Dafür bietet die Mikroelektronik die Basis der Hardware zur intelligenten Steuerung, Überwachung und Identifikation von Produktions- und Logistikprozessen. Sie stellt einen umfangreichen Baukasten bereit, um Kommunikationselemente schrittweise und effizient umzusetzen. Ein Beispiel dafür sind Embedded Systems on Chip inkl. Spezialprozessoren, spezielle echtzeitfähige Mikrocontroller und Hightech-Speicher mit hoher Leistung und minimaler Leistungsaufnahme sowie Multi-Core-Architekturen [11]. Physisch kann diese Verarbeitungseinheit zentral am Kopf des Spannturms I4.0 oder aus platztechnischen Gründen separat z.B. im Werkzeugmaschinenraum angebracht sein. Um Daten zu analysieren, rückkoppelnd zu verarbeiten und Ergebnisse in einer Verwaltungsschale einem User zur Verfügung zu stellen, braucht es nun eindeutige Voraussetzungen für das System.

3.3.4.1 Anforderungen an das Rechensystem

Durch den Einsatz des Kommunikationsstandards von OPC UA sind die Anforderungen nicht herstellerspezifisch. Heutiger Maßstab und verbreitet bekannt in der Mikroelektronik, sind sogenannte Einplatinencomputer. Dabei handelt es sich um ein Ein-Chip-System mit Multicore-Prozessor in der Größenordnung einer Kreditkarte. Folgende Abbildung 23 zeigt ein aktuelles Modell des Herstellers "Raspberry" Typ Pi 3.

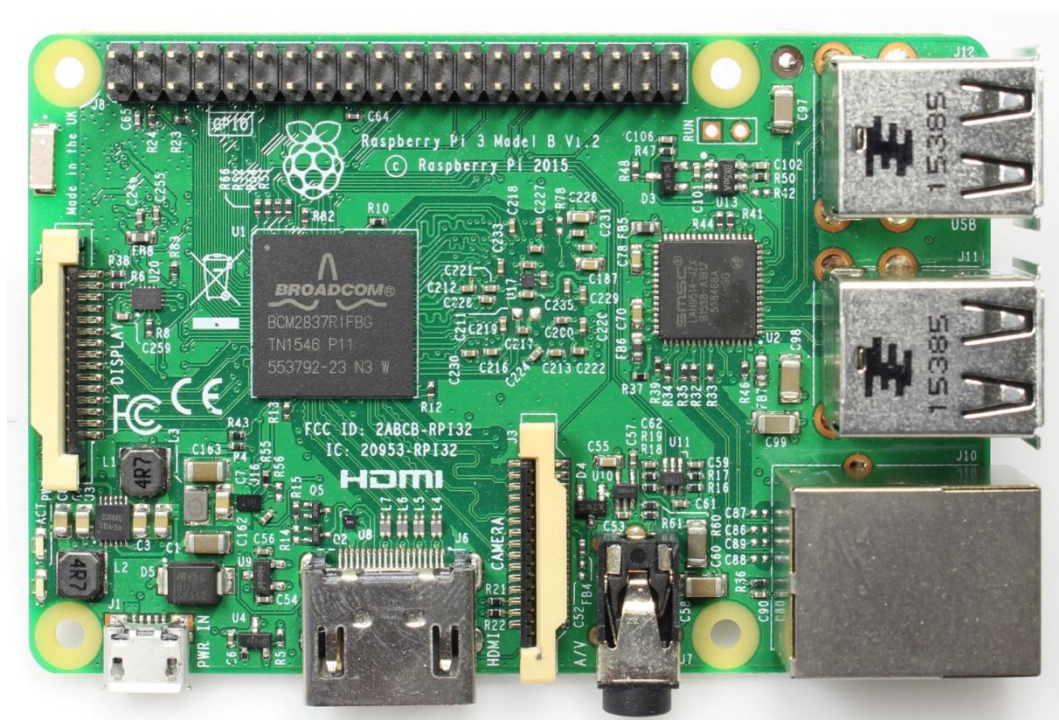


Abbildung 23. Raspberry Pi 3 Modell B [78]

Ausgestattet ist das Modell mit einer 4-Kerne CPU, jeweils 1,2 GHz und einem Arbeitsspeicher von 1024MB. Der Speicherplatz kann durch den Micro-SD-Kartenleser vom User variiert werden. Als Standardanschlüsse sind 4x USB, HDMI, Ethernet, CSI (Camera-Serial-Interface), DSI (Display-Serial-Interface) und I²C (Inter-Integrated-Circuit) für eine serielle Busverbindung definiert. Eine kabellose Kommunikation ist ebenfalls über ein 2,4GHz WLAN und das Bluetooth 4.1 LowEnergy Modul gewährleistet. Neben den Hardwarevoraussetzungen verfügt der Raspberry Pi 3 über mehrere Open-Source-Betriebssysteme. Verwendet werden können Linux-basierende Software oder Windows, als auch weniger verbreitete Systeme wie FreeBSD. Die benötigte Stromversorgung für das gesamte Rechensystem liegt bei 5V/2,5A. Letztendlich bietet der Einplatinen-PC sowohl leistungstechnisch als auch anschlussseitig sehr gute Bedingungen für einen Datenaustausch basierend auf OPC UA Technologie.

Neben Einplatinencomputern ist im heutigen industriellen Umfeld der "Industrial-PC" der am meist eingesetzte Computer für Aufgaben in der Industrie. Typische Bereiche sind Prozessvisualisierungen an CNC-Maschinen, Automatisierungstechnik und Robotik sowie Test- und Prüfstände. Gegenüber handelsüblichen Computern für den Bürobereich muss ein "Industrial-PC" robuster gegenüber Umwelteinflüssen und weitgehend ausfallsicher ausgelegt sein.

3.3.4.2 Kommunikationsprotokoll TCP-IP und Webservices

OPC UA verwendet ein TCP-basiertes, binäres Netzwerkprotokoll für den Datenaustausch mit unterschiedlichen Systemen. Das TCP-Protokoll besteht immer aus zwei Teilen, dem Header und der Nutzlast. Die Nutzlast enthält die zu übertragenden Daten. Der Header enthält für die Kommunikation erforderliche Daten sowie die Dateiformat-beschreibende Information [12]. Webservice und HTTP werden als Transportformat optional zusätzlich unterstützt. Dazu betreffend spielt das SOAP ("Simple-Object-Access-Protocol") neben dem optimierten TCP eine entscheidende Rolle. Dieses Format stützt sich auf XML-basierte Informationen. XML("Extensible-Markup-Language) beruht auf den Austausch von Textnachrichten zwischen Computersystemen über das Internet. Die anschließende Abbildung 24 zeigt zusammenfassend die Möglichkeiten der Transportprotokolle mit Portzuordnung.

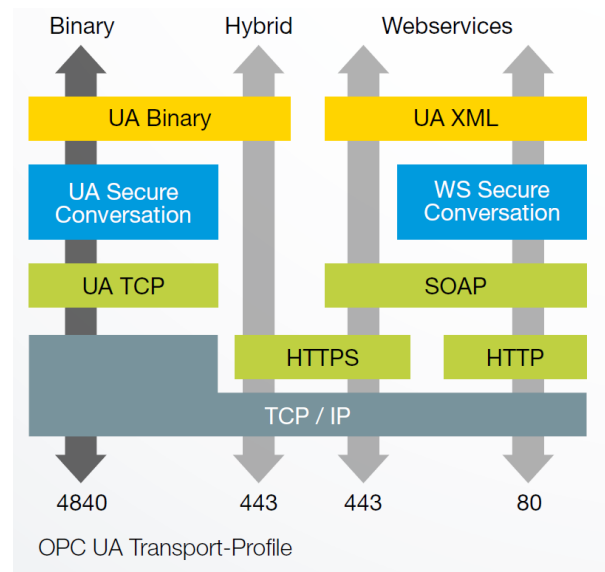


Abbildung 24. Transportprotokolle bei OPC UA [13]

Wichtig dabei ist, dass für den plattformunabhängigen Client-Zugriff spezifiziert wird, wie die Services auf bestimmte Protokolle abzubilden sind. Diese Abbildungen basieren ausschließlich auf den erwähnten standardisierten Basisprotokollen, die auf allen bekannten Plattformen bereits existieren. Wenn sich in Zukunft neue Protokolltechnologien etablieren, können weitere Abbildungen ohne Änderung am OPC UA Modell und den Services implementiert werden [13]. Alle verarbeiteten Informationen, unabhängig ob binär oder XML, unterliegen dem Security-Modell und der Authentifizierung von Usern. Zusätzlich gibt es heute bereits integrierte Realisierungen für die Informationsverarbeitung aus Java, .NET und C++.

3.3.4.3 Vernetzung von I4.0 Komponenten

Wie bereits erwähnt zeichnet sich eine I4.0-Komponente durch folgende Eigenschaften aus: CP-43 oder CP-44 Klassifizierung, kommunikationsfähiger Softwareanteil, eindeutige Identifizierbarkeit (IP-Adresse, RFID-Chip), Kapselfähigkeit, Unterstützung von standardisierten Dienstfunktionen und Zuständen eines I4.0-Netzwerks, Echtzeiteigenschaften und angepasste Schutzfunktionen (Sicherheit) der Daten. Jene Komponenten können entweder sehr umfangreiche Funktionalitäten repräsentieren, z. B. ein ganzes Simulationssystem in einer Entwicklungsumgebung, eine Modelldatenbank oder sogar eine ganze Anlage. Sie können aber auch geringer z. B. nur eine Motorsteuerung, eine spezielle Regelprozedur repräsentieren oder auch einen einfachen Sensor [10]. Neben der Definition und Implementierung von I4.0-Komponenten ist der Kommunikationsaustausch zwischen Endgeräten auf der Feldebene über die vertikalen Strukturen ein fundamentaler Aspekt von Industrie 4.0. Durch die Konnektivität und Kommunikationsfähigkeit gewährleisten die Prozesssensoren den Austausch ihrer Informationen mit anderen Sensoren im Netzwerk. Um jeden Sensor kontrollieren und fernsteuern zu können, erhalten diese ein Benutzerinterface,

welches z.B. mittels Smartphone aufrufbar ist. Die dabei ermittelten Prozesszustände werden verknüpft und bilden untereinander ein sogenanntes Sensornetzwerk. Diese Verknüpfungen stellen quasi ein Geflecht von Informationssträngen des Cyber-physischen Systems dar. Das Prinzip von "Condition-Monitoring" wird dabei durchgehend über das Sensornetzwerk und hinaus verfolgt. Unter "Condition-Monitoring" versteht man die regelmäßige Erfassung, Aufbereitung (Digitalisierung) und Übertragung der I4.0 Komponentenzustände in der notwendigen Echtzeitanforderung. Der gesamte Informationsaustausch basiert auf dem mehrfach genannten einheitlichen Protokollstandard OPC UA. Die Integrität der Daten wird dabei durch ständige Plausibilitätsprüfung gewährleistet. Eine automatische Selbstkalibrierung (Firmware-Updates) und Selbstdiagnose der smarten Sensoren findet ohne menschlichen Eingriff statt. Jedoch muss die Gültigkeit und Historie der Daten zwecks Nachverfolgung simultan in Logbüchern festgehalten werden. Statische Informationen wie Typenbezeichnung, Instandhaltungsinformationen, Handbücher, Werksparmetrierung etc. werden separat über eine Kennung aus der "Cloud" abgerufen [81]. Folgende Abbildung 25 illustriert eine I4.0 konforme Prozessautomatisierung eines Cyber-physischen Systems.

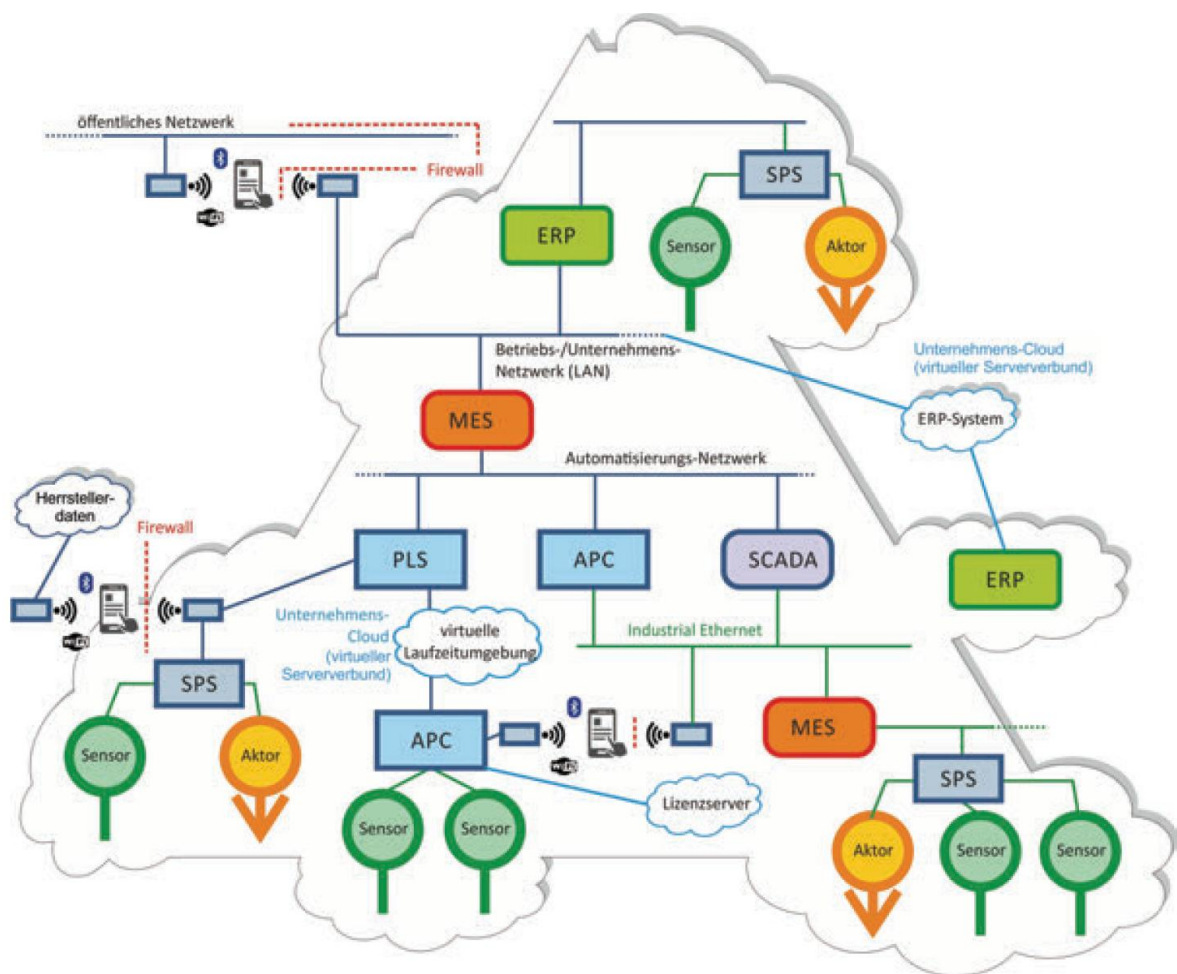


Abbildung 25. Prozesssensoren im Automatisierungsnetzwerk [81]

Es besteht eine dauerhafte Verbindung zwischen Prozesssensor und "Cloud". Damit lassen sich Dienste (anlagenbezogen, betriebsintern, herstellerintern ect.) nutzen und untereinander austauschen z.B. über WLAN. Prozesssensoren können zusätzlich selbstständig Daten, z.B. Herstellerinformationen, aus dem Internet beschaffen. Geschützt wird das Gesamtsystem durch eine Firewall, Zugriffsrechte oder separate Domänen je nach Komplexität.

3.3.4.4 Verwaltungsschale des Spannturms I4.0 im Detail

Das virtuelle Abbild des Gesamtsystems Spannturm I4.0 lässt sich in einer Grobstruktur entsprechend zusammenfassen und Vorgänge bzw. Merkmale darstellen. Wie bereits erwähnt, besteht die Verwaltungsschale aus der virtuellen Repräsentation mit Manifest, der fachlichen Funktionalität und dem Resource-Manager. Strukturell unterscheidet die Verwaltungsschale zwischen dem "Header" und dem "Body". Im „Header“ sorgt eine Liste von Merkmalen für eine Identifikation und Bezeichnung der konkreten Gegenstände und der möglichen darunter liegenden Verwaltungsschalen im jeweiligen Kontext und verweist gegebenenfalls auf ausgewählte Fähigkeiten der Gegenstände. Das Zusammenfassen und Verbinden von verschiedenen Verwaltungsschalen zu einem Gegenstand stellt somit einen fundamentalen Aspekt einer I4.0 Komponente dar. Im "Body" befindet sich der Resource-Manager, der einzelne Teilmodelle innerhalb der gesamten Verwaltungsschale inne hat. Jedes Teilmodell oder jeder Gegenstand verfügt über genau hierarchisch organisierte Merkmale, die auf individuelle Daten und Funktionen referenzieren (Field-Device). Die Gesamtheit der Merkmale aller Teilmodelle bildet somit das Manifest der Verwaltungsschale, das damit als eindeutig aufzufindendes Inhaltsverzeichnis aller Daten und Funktionen dienen kann. Auf diese Weise wird es möglich, dass die jeweiligen Merkmalstrukturen in einem strengen, einheitlichen Format vorliegen. Für nicht einordbare unterschiedliche Daten und Funktionen werden ergänzende Formate und Zugriffsmethoden verwendet. Ein I4.0-konformes, serviceorientiertes API ("Application Programmers Interface") soll die Dienste des Resource-Managers nach außen zur Verfügung stellen. In den Hierarchy-Levels des RAMI4.0 stellt das Benutzerinterface den Control-Device des Systems dar. Teil dieser Dienste ist die lebenslange Pflege der Merkmale, Daten und Funktionen innerhalb der Verwaltungsschale, die Adressierung und Identifikation von Verwaltungsschalen und Gegenständen und eine leistungsfähige Suche nach Merkmalen und referenzierten Daten und Funktionen [8]. Bei diesen Suchanfragen sollen bewusst Querverbindungen geschlossen werden, um u.a. Optimierungspotenziale aufzuzeigen. Die Interaktion zwischen Mensch und Resource-Manager bildet deshalb einen Kernaspekt aus. Jedes wichtige Ereignis in der Realität weist auf ein Ereignis in der Virtualität hin, was aufgezeigt bzw. abgerufen werden kann.

Anhand des Modells Spannturm I4.0 lassen sich nun eindeutige Merkmal- und Informationszuordnungen in der Verwaltungsschale festlegen. Mittels genauer ID (z.B. IP-Adresse) kann der Spannturm erkannt und Grunddaten aus dem "Header" ausgelesen werden. Im "Header" befinden sich ebenfalls die Merkmallisten zu möglichen Spannmittelaufbauten, Sensor- und Überwachungsmöglichkeiten, Versorgungsmodule und Peripherieeinheiten. Die Steuerung und Schnittstelle Mensch-Maschine ist ebenfalls dort zugeordnet. Mithilfe eines streng strukturierten Musters werden im "Body" die eigentlichen Informationen der Gegenstände dargestellt und mit Prozessdaten versorgt. So können z.B. bei einem hydraulischen Backenspanner statische Informationen wie Type, Bedienungsanleitung oder Wartungspläne abgerufen werden, als auch dynamische Parameter wie Spannzyklen, Spanndruck oder mögliche Belastungen. Diese Laufzeitdaten werden dabei automatisch zugeordnet und dem Resource-Manager zur Verfügung gestellt. Über das API kann nun der Benutzer auf diesen Manager zugreifen (z.B. mittels eines Login-Portals) und Suchfunktionen, Auswertungen oder Fehlerrückkoppelungen nutzen und analysieren. Die nächste Abbildung 26 illustriert diese Grobstruktur anhand des Spannturms I4.0.

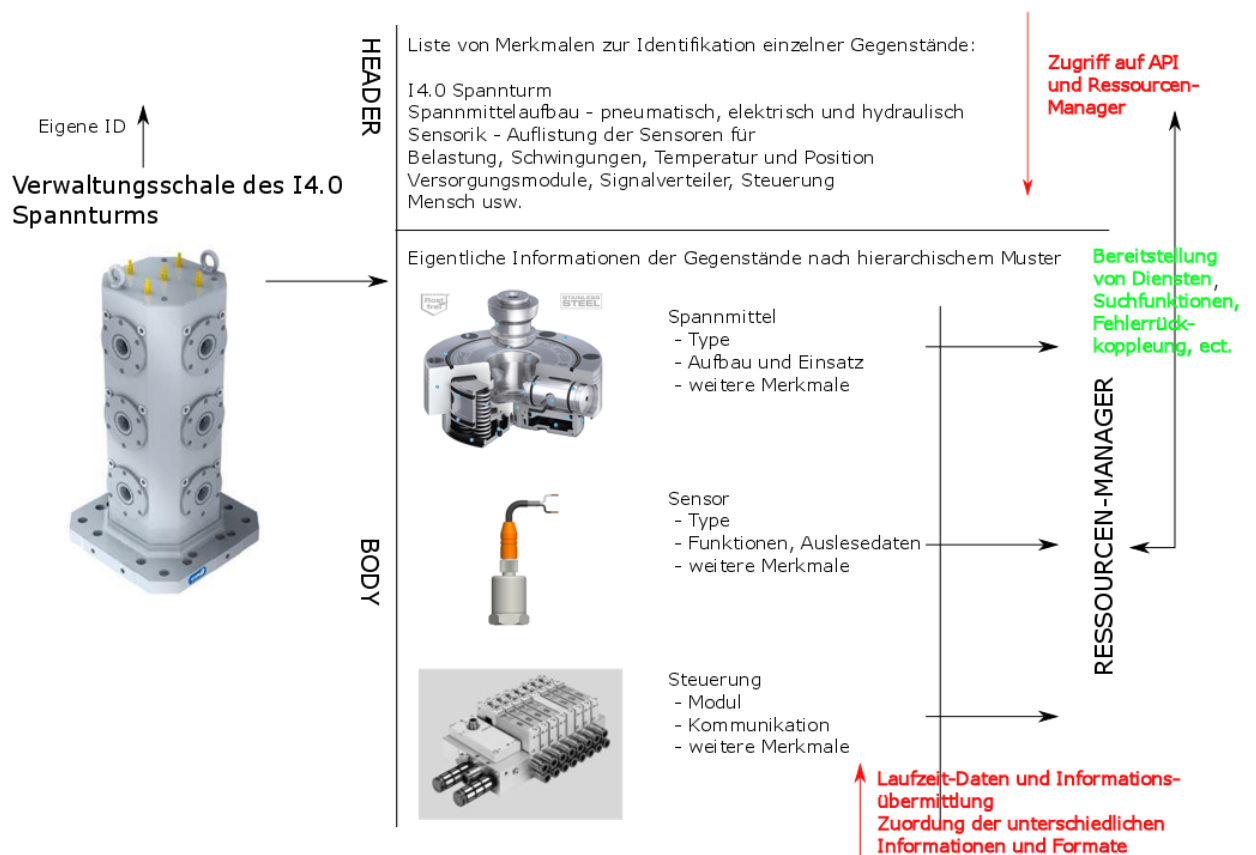


Abbildung 26. Grobstruktur der I4.0 Spannturm-Verwaltungsschale

Die obige Darstellung stellt natürlich nur einen Ausschnitt der Gegenstandsinformationen dar, primär erstreckt sich diese über gesamte Vielfalt an Komponenten des Spannturms I4.0.

3.3.5 Integration in eine Werkzeugmaschine

Das Cyber-physische Spannmittel muss nun in eine moderne CNC-Maschine integriert werden. Dabei spielen verschiedene Aspekte, wie physische Zusammenführung als auch kommunikationsseitige Anforderungen an das Gesamtsystem "CNC-Maschine-Spannturm-I4.0", eine Rolle. Zukünftig sind im Maschinenbau vermehrt die Aufgaben für I4.0 konforme Schnittstellen, sowohl Hardware- als auch softwaretechnischer Natur, vorhanden. Als mittlerweile etablierter Kommunikationsstandard wird in erster Linie OPC UA verwendet und weiterentwickelt. Wichtig bei der Einbindung ist allerdings, dass es zu keiner Einschränkung der Funktionalitäten der Grundmaschine als auch Cyber-physischen Spannmittels kommen darf.

3.3.5.1 Anforderungen an die CNC-Maschine

Heutige moderne Bearbeitungsmaschinen sind in der Lage komplexe Werkstücke, präzise unter dem Einsatz fortschrittlicher Steuerungstechnik zu bearbeiten. Einerseits steigen die Anforderungen bei Endprodukten im Bereich Präzision und andererseits in den Bereichen der Fertigung (mannloser Betrieb) und einer effizienten Produktionsumgebung (Auswertung von Produktionsdaten). Die Integration eines Cyber-physischen Spannmittels kann für beide Gebiete Vorteile bringen. Die Voraussetzungen für die Nutzung in einer CNC-Maschine müssen sowohl physisch als auch kommunikativ gelöst werden. Der I4.0 Spannturm kann dank einheitlicher Palettenschnittstelle (nach DIN55201) in heutigen Bearbeitungsmaschinen schnell und wiederholend präzise eingerüstet werden. Nebst der dimensionsmäßigen Schnittstelle benötigt es eine zentrale Versorgungsbohrung im Maschinentisch oder eine entsprechende Schnittstelle im Maschinenraum. Der Spannturm I4.0 muss sowohl elektrisch mit 400V AC, pneumatisch bis zu 8 bar und hydraulisch bis zu 500 bar versorgt werden können. Um unnötig vielen Leitungen entgegenwirken zu können, sind für die pneumatische und hydraulische Versorgung Ventilinseln in der CNC-Maschine integriert. Falls konstruktiv keine Möglichkeit für eine Tischdurchführung besteht, wäre eine zentrale Versorgungseinheit im Maschinenraum ebenfalls denkbar. Der Spannmittelwechsel erfolgt allerdings nachwievor manuell durch den Maschinenbediener. Lediglich der Einsatz von VERO-S NSE-Plus 138 Nullpunktspannsystemen bietet eine schnelle und zuverlässige Wiederholbarkeit. Die Nutzung von Nullpunktspannsystemen würde für eine zukünftige Integration einer Automatisierung darüber hinaus Vorteile, wie eine einfacher Roboterhandhabung, mitbringen. Als zentrale Steuerung besitzt der

Spannturm I4.0 einen Raspberry Pi 3 Einplatinen-Computer der mit Bluetooth und WLAN Modulen ausgestattet ist. Für einen drahtlosen Datenaustausch von Informationen über Position, Temperaturschwankungen, Schwingungen, Belastungen und Überwachungsdaten muss maschinenseitig z.B. ein Router installiert sein. Die Rechenleistung der CNC-Werkzeugmaschine muss den Anforderungen (Echtzeit) ebenfalls angepasst werden. Als gesamter Übertragungsstandard kommt OPC UA zum Einsatz. "Cloudbasierende" Kommunikationen werden von den Endgeräten im Automatisierungsnetzwerk angestrebt. Ein Abruf von Informationen mit Fehlerrückkoppelungen muss über die Maschinensteuerung oder ein User-Interface drahtlos möglich sein. Alternative wäre eine drahtgebundene Verbindung zum firmeninternen Netzwerk. Zusammenfassend lässt sich das Anforderungsprofil wie folgt auflisten:

- Einheitliche Maschinentisch-Schnittstelle
- Durchführung Maschinentisch oder zentrale Versorgungseinheit für Spannmittel
- Elektrische Versorgung der Peripherieeinheiten wie Sensoren und Verteiler
- Router und Bluetooth-Modul zum Empfang und Senden von Informationen
- Übertragungen nach Echtzeitanforderungen mit Fehlerrückkoppelungen, "cloudbasierend"
- OPC UA als Kommunikationsstandard (TCP-IP / TSN)
- Eigenes User-Interface zur Visualisierung von Informationen

3.3.5.2 Definition Achssystem und Nullpunkt

Nebst den Anforderungen zur Integration in einer CNC-Maschine gibt es das werkzeugmaschinenspezifische Achssystem und den Nullpunkt/Bezugspunkte, die für eine Implementierung beachtet werden müssen. Unter der Kinematik einer Werkzeugmaschine bzw. eines Roboters versteht sich die Organisation und technische Ausführung der Bewegungen von Werkzeug und Werkstück. Die Bewegungsrichtungen werden je nach Aufbau der Maschine in Bewegungsachsen zerlegt. Die sogenannte serielle Kinematik bezeichnet den klassischen Aufbau einer kinematischen Kette: Eine Baugruppe, die nur für den Antrieb in einer Bewegungsachse zuständig ist, setzt eine zweite mit einer anderen Bewegungsachse in Bewegung, und es können sich weitere anschließen, bis die gewünschte Gesamtbewegung erreicht ist. Einen Spezialfall dieser Kinematik stellt die so genannte kartesische Kinematik dar. Hier werden alle Vorschubachsen senkrecht zueinander angeordnet, um so die Koordinaten in einem kartesischen Koordinatensystem auf mechanisch möglichst einfache Weise zu erreichen. Dabei wird meist jede Vorschubachse nach der entsprechenden Koordinatenachse (im Dreidimensionalen beispielsweise X, Y und Z) benannt [83]. Der Ursprung des Maschinenkoordinatensystems, genannt Maschinen-Nullpunkt, liegt unveränderlich

fest und kann nicht verschoben werden. Eine werkstattgerechte CNC-Maschine verlangt, dass dieser Nullpunkt, z.B. nach dem Einschalten, rasch, einfach und genau (± 1 Weginkrement) angefahren werden kann. Vorteilhaft ist, wenn die Steuerung diese Position in jeder Achse automatisch anfahren kann. Die Zeit um Achsbewegungen steuerungstechnisch zu verarbeiten beträgt dabei 125µsek. Es gibt Fälle, wo der Maschinen-Nullpunkt aufgrund von Maschinengröße, speziellen Spannvorrichtungen (Mehrfachspannungen) oder Werkstückdimensionen nicht angefahren werden kann. Dabei werden sogenannte Referenzpunkte, also festgelegte Punkte auf den Achsen, angefahren. Statt Nullsetzen der Achsposition wird diese auf den Wert gesetzt, der der Differenz zwischen Maschinen-Nullpunkt und Referenzpunkt entspricht. Für die Bearbeitung selbst nutzen Programmierer einen werkstückbezogenen Programm-Nullpunkt, da sonst die Lage des Werkstückes zum Maschinen-Nullpunkt nicht berücksichtigt wird. Sobald der Programm-Nullpunkt angefahren wurde, können die Achsen genullt werden, d.h. der Nullpunkt wurde vom Maschinen-Nullpunkt zum Programm-Nullpunkt verschoben. Diese Möglichkeit erleichtert dem Bediener vor allem bei gleichen Bearbeitungsmustern an mehreren Bauteilen, Punkte mit einem manuell änderbaren Korrekturwert (Aufspannungsgenauigkeiten) zu transferieren [84].

3.3.5.3 Nutzung User-Interface

Die modernen CNC-Maschinen werden heute mit neuester Steuerungs- und Softwaretechnik ausgestattet. So bieten bekannte Steuerungshersteller wie Siemens, Fanuc, Heidenhain, ect. fertige Programmlösungen für unterschiedliche Bearbeitungsaufgaben und Maschinenhersteller. Bei der Implementierung des Cyber-physischen Spannmittels ist neben dem hardwaretechnischen Zusammenführen von Spannturm I4.0 und Werkzeugmaschine auch der softwarebasierte Austausch und die Visualisierung von Daten essentiell. Dabei wird meist für den Maschinenbediener ein sogenanntes User-Interface mit den Bearbeitungsaufgaben angepassten Darstellungen verwendet. Das DSI-Interface des Raspberry Pi 3 ist eine serielle Schnittstelle die genutzt werden kann, z.B. für den Anschluss eines LCD-Monitors. Weiters würde ein Kommunikationsaustausch per Bluetooth und WLAN mit Endgeräten funktionieren, die nicht direkt an die Bearbeitungsmaschine gekoppelt sind. Hier werden heute überwiegend APP-Applikationen auf Smartphones und Tablets eingesetzt. Der primäre Nutzen von einem eigenen User-Interface ist die übersichtliche Darstellungen von Prozesskenngrößen und Grundinformationen des Cyber-physischen Spannmittels. Dabei soll der Bediener auf Abweichungen und Fehler schnell reagieren können. Fa. DMG Mori bietet heute mit der APP-basierenden Oberfläche CELOS für die CNC-Bearbeitungsmaschine ein Gesamtsystem zur vernetzten Fertigung an. Durch 16 verschiedene APP's u.a. im Bereich Produktion, Wartung- und Service,

Auftragsabwicklung und auch Energiemanagement wird dem Maschinenbediener das Abarbeiten von Aufträgen ermöglicht.



Abbildung 27. DMG Mori CELOS Status-APP Oberfläche [85]

Die vorige Abbildung 27 zeigt die Status-APP einer mit CELOS ausgestatteten DMG Mori Werkzeugmaschine. Auf einen Blick hat der Benutzer die Auftragsinformation mit Stückzahl, Maschinenzustand, Achs- und Spindelauslastungen, Wartungsmeldungen und Hinweise. Die Verwendung einer ähnlichen Oberfläche für das Cyber-physische Spannmittel würde dem Nutzer vergleichbare Vorteile bringen. Das User-Interface würde die Spanninformationen (Spannmittelaufbau), Überwachungszustände für Peripherie, Übersicht und Überwachung der Prozesssensoren (Belastungen, ect.) und eine Dokumentablage beinhalten. Eine angepasste Visualisierung, z.B. als Kreisdiagramm für die Belastungen, stellt alles übersichtlich dar. Bei Warnungen und Störfällen kann so der Maschinenbediener schnell am richtigen Ort eingreifen, um die Bearbeitung in kürzest möglicher Zeit wieder aufnehmen zu können. Sämtliche Informationen werden dabei zwischen Cloud und Anlage in Echtzeit ausgetauscht.

3.3.6 Standalone Betrieb

Der Spannturm I4.0 stellt ein voll integrierbares Zusatzsystem für eine Werkzeugmaschine dar. Falls andere Bearbeitungen an der CNC-Maschine durchgeführt werden, muss Dieser abgebaut werden. Um dennoch für den User verfügbar zu sein und dem Standard einer I4.0 Komponente mit CP-Klassifizierung zu entsprechen, wird das Cyber-physische Spannmittel mit einer USB-Power-Bank mit 2 Anschlüssen und Li-Ionen-Akku versorgt. Bei niedriger Akkukapazität wird eine automatische Meldung an das Qualitätsmanagementsystem gesendet, dass schnellstmöglich eine stationäre Stromversorgung hergestellt werden soll. Ist der

Spannturm I4.0 einmal im Hochregal zur Aufbewahrung gelagert, kann mittels eines Scanners ein RFID-Chip oder Matrix-Code ausgelesen werden, um Grunddaten abzurufen. Diese Basisinformationen umfassen:

- Genaue Typenbezeichnung, IP-Adresse
- Betriebsanleitungen
- Maschineneinsatz (Betriebsstunden)
- Aktueller Spannmittelaufbau (Typen)
- Wartungspläne
- evtl. aufgetretene Fehlermeldungen (Logbuch)

Der Standalone Betrieb soll auch für Selbstdiagnosen, Selbstkalibrierung z.B. von Sensoren und automatischen Firmware-Updates genutzt werden, um bei einem weiteren Maschineneinsatz auf dem neuesten Softwarestand zu sein. Der Abruf sämtlicher Informationen und Dokumentationen soll für einen User kontextbasierend im firmeninternen Netzwerk möglich sein.

4 Informationsmodellierung mit UAModeler

Das Modellierungstool "UAModeler" von Unified Automation bietet für unterschiedliche Plattformen (z.B. C++) die Möglichkeit Quellcode zu erstellen, um ein Informationsmodell zu implementieren. Der erzeugte Adressraum ist dabei unabhängig von der gewählten Sprache.

4.1 Das Informationsmodell

Im Informationsmodell werden Typen für Daten, Objekte, Events, Referenzen oder Variablen definiert. Diese Typen dienen als Informationsbausteine für die Instanziierung von Objekten aus den jeweiligen Typdefinitionen. Folgende Abbildung 28 stellt einen Auszug der definierten ObjectTypes zur Modellierung des I4.0 Spannmittels dar.

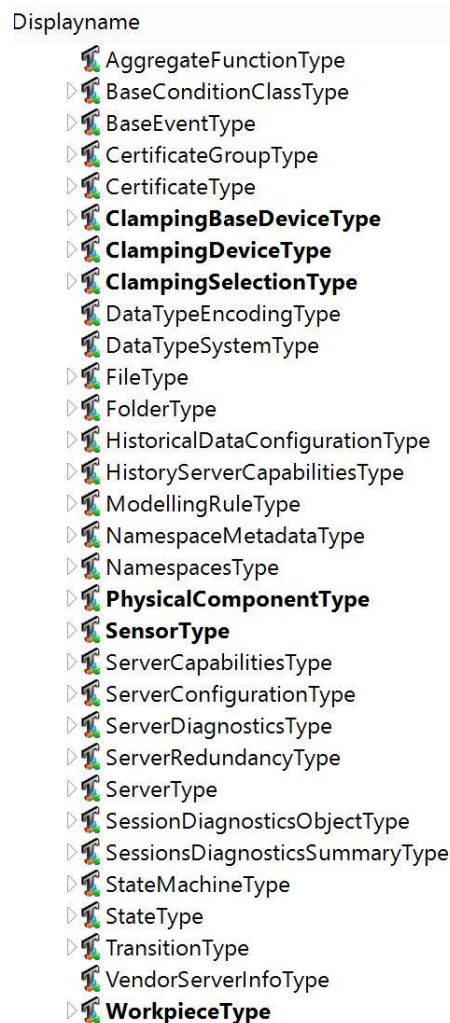


Abbildung 28. Screenshot UAModeler ObjectTypes

Zur Instanziierung des Modells "Tombstone" benötigt es ein charakteristisches ObjectType in dem alle Grundinformationen in Form von "Bausteinen" für ein beliebiges Spannturmmodell dem Benutzer nach dem Herstellen der Verbindung zum OPC UA Server zur Verfügung gestellt werden. Dies geschieht durch die Definition eines "TombstoneTypes". In diesem TombstoneType können nun Anzahl der Spannturmseiten, Anzahl jeweils zugeordneten Spanngrundmodule, Spannmittelauswahl inkl. Versorgung, Sensoren und Werkstückdaten definiert werden. Die weitere Abbildung 29 zeigt diese einzelnen Typen und deren Struktur.

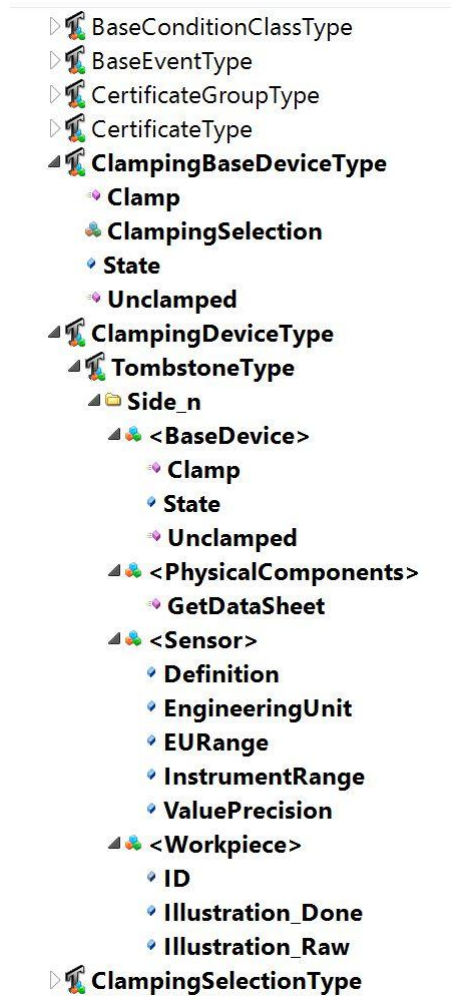


Abbildung 29. TombstoneType Details

Ausgangsbasis ist ein Spannmittelgrundmodul genannt "ClampingBaseDeviceType", um fundamentale Spanneigenschaften wie Spannen und Entspannen zu bestimmen. In diesem Modell wird das Grundspannmittel als Nullpunktspannsystem der Fa. Schunk Typ VERO-S NSE-Plus 138 ausgeführt. Ergänzend dazu das "ClampingSelectionType" zur Auswahl von pneumatischen, elektrischen oder hydraulischen Spannmitteln bzw. deren Eigenschaften. Wird keine Auswahl getroffen, können herkömmliche Handspannmittel eingesetzt werden. Zum gewählten Spannmodul inkl. optionalem Aufbau ist es möglich durch das

"PhysicalComponentType" herstellerspezifische Informationen zum Spannmittel einem User auszugeben. Das "SensorType" legt die Möglichkeit und Parameter für einen oder mehrere Überwachungssensoren fest. Dazu gehören Attribute wie Einheitsdefinition, Messbereich und Messungenauigkeiten. Exemplarisch wurden dabei die möglichen Einflüsse wie Belastung, Temperatur, Schwingungen und eine Positionskontrolle in Kapitel 3.3.3 betrachtet. Zuletzt stellt das Spannmittel I4.0 dem Benutzer das "WorkpieceType" zur Verfügung, um den Bearbeitungen eine eindeutige ID mit geometrischer Zeichnung zuzuweisen.

4.2 Typedefinition und Modellingrules

Zur Modellierung der Knoten im Adressraum gibt es mehrere NodeClasses. Folgende wurden verwendet:

- Methoden
- Objekte
- Variablen

Beispielsweise besteht das bereits erwähnte "ClampingBaseDeviceType" aus vier unterschiedlichen NodeClasses. Folgende Abbildung 30 zeigt den Aufbau in UAModeler.

NodeClass	Name	TypeDefinition	ModellingRule	DataType			
Method	Clamp		Mandatory				
Object	ClampingSelection	ClampingSelectionType	Optional				
Variable	State	PropertyType	Mandatory	ClampStateNum			
Method	Unclamped		Mandatory				
NoSelection							

Abbildung 30. NodeClasses am Beispiel "ClampingBaseDeviceType"

Die Zustände "Spannen" und "Entspannen" werden durch Methoden generiert und dazugehörig mit der Variable "State" abgefragt. Die Nummerierung der Zustände beinhaltet der Datentyp "ClampStateNum". Durch die Bezifferung des Spannzustandes kann dies z.B. auf einer Steuerung abgefragt und visualisiert werden. Das Objekt "ClampingSelectionType" ist als SubType definiert. Bei der Spannmittelwahl kann so optional die passende Versorgung gewählt werden.

Neben der Definition von NodeClasses ist die Modellingrule ein primäres Instrument zum Aufbau eines Informationsmodells. In UaModeler können vier verschiedene Regeln festgelegt werden:

- Mandatory
- Optional
- Mandatory Placeholder
- Optional Placeholder

NodeClasses die als "Mandatory" definiert sind, werden z.B. bei der Instanziierung eines ObjectTypes bindend ausgeführt, d.h. diese Komponente oder Eigenschaft wird immer erstellt. Vergleichsweise die "Optional" festgelegten NodeClasses kann der Benutzer selbst wählen. Beide Modellingrules gibt es auch als "Placeholder"-Definition. Die nächste Abbildung 31 zeigt die Verwendung der "Placeholder"-Funktion anhand des Spannmittels I4.0.

Children					
NodeClass	Name	TypeDefinition	ModellingRule	DataTyp	
Object	Side n	FolderType	MandatoryPlaceholder		+
NoSelection					x

Children / Organized Instances					
NodeClass	Name	TypeDefinition	ModellingRule	DataTyp	
Object	BaseDevice	ClampingBaseDeviceType	MandatoryPlaceholder		+
Object	PhysicalComponents	PhysicalComponentType	MandatoryPlaceholder		+
Object	Sensor	SensorType	OptionalPlaceholder		+
Object	Workpiece	WorkpieceType	OptionalPlaceholder		+
NoSelection					x

Abbildung 31. ModellingRule "Placeholder"

Da jeder Aufspannturm zumindest eine Seite besitzen muss, kann die "MandatoryPlaceholder"-Definition verwendet werden. Es wird also zumindest eine Seite instanziiert mit der theoretischen Möglichkeit "n" weitere Seiten festzulegen. Bei der Betrachtung des Aufspannturms beschränkt sich Fa. Schunk mit dem Modell VERO-S auf bis zu vier Spannseiten. Diese NodeClasses erhalten dabei dieselben Eigenschaften, jedoch mit anderem Namen. Eine idente Betrachtung kann für die ObjectTypes "ClampingBaseDevice" und "PhysicalComponent" getroffen werden. Pro gewählter Seite braucht es zumindest ein Grundspannmittel mit entsprechenden Informationen wie Type, Seriennummer und techn. Spezifikation. Für jede weitere Seite können individuell nun zusätzlich "n" Grundspannmittel definiert werden, die erweiterte Eigenschaften mittels optionaler Auswahl des "ClampingSelectionTypes" beinhalten. Wie schon bei der Spannturmseitenwahl erfolgt die Benennung benutzerdefiniert. Als "OptionalPlaceholder" zugeordnete Typen können durch den Benutzer ebenfalls wahlweise selektiert werden, jedoch mit der zusätzlichen Besonderheit "n" weitere Typen wie z.B. Sensoren oder Werkstücke mit gleicher Charakteristik festzulegen. Eine Instanziierung ist jedoch nicht zwingend.

Als zusätzliche Typeneigenschaft kann ein ObjectType als "Is Abstract" bestimmt werden. Durch diese Präzisierung entsteht eine nicht instanziiierbare Basisklasse eines ObjectTypes. Somit dient diese abstrakte Type als Grundkonstrukt für weitere SubTypes, die dann entsprechende Eigenschaften und Attribute aufweisen können. Ein Beispiel dazu sind die unterschiedlichen Überwachungssensormöglichkeiten, die im Spannmittel I4.0 verwendet werden können. Sensorspezifische Informationen

werden erst in der Subtype realisiert. Die Grundinformation ist in der Basisklasse "SensorType" festgelegt. Somit stehen dem User die Werkzeuge für einen individuelle Konfiguration zur Verfügung.

4.3 Proof of Concept

Die Möglichkeiten und Umsetzungen für ein schrittweise intelligentes Spannmittel wurden von bekannten Spannmittelherstellern wie Forkardt, Röhm, ect. bereits aufgegriffen. Die Hersteller bieten zusätzliche Überwachungsmöglichkeiten wie Drucküberwachungen oder Spannkraftkontrolle in den Backen in Ihrer Technologie an. Diese Prozesse und Bewertungen sind jedoch manuell durch einen Mitarbeiter zu bewerkstelligen bzw. Korrekturen vorzunehmen. Die Auslegung eines I4.0 konformen Spannmittels auf Basis der RAMI4.0 Modells bietet somit der heutigen industriellen Fabrikstruktur hinsichtlich automatischer Datenerfassung, Prozessoptimierung und OPC UA Übertragungsstandard neue Möglichkeiten.

Die Realisierung und Implementierung eines Informationsmodells ist durch die Grundstruktur eines Showmodells entwickelt worden. Folgende Abbildung 32 zeigt das Aufbaukonzept mit seinen Hauptmerkmalen 1. OPC UA Server, 2. Positionssensor, 3. Pneumatikzylinder, 4. Temperatursensor, 5. Ventilinsel und 6. Akku-Pack.

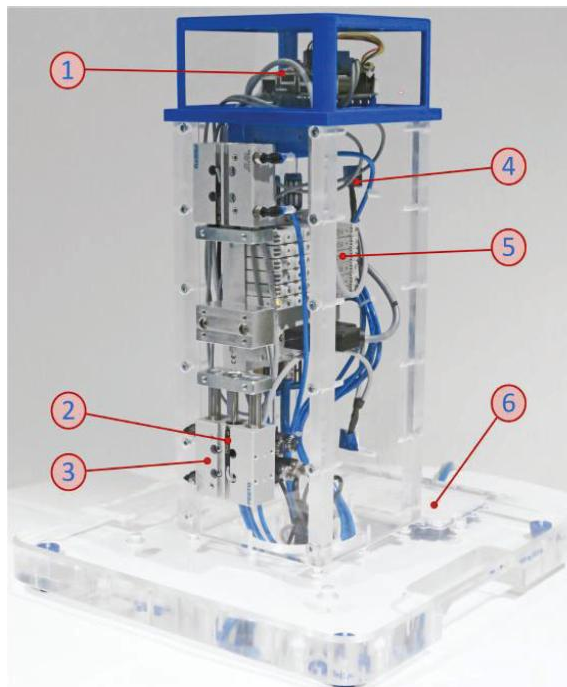


Abbildung 32. "Showmodell" Spannturm [87]

Aufgrund dieser Architektur lassen sich mit dem Informationsmodell "Tombstone" weitere Varianten ableiten bzw. darstellen. Die nächste Abbildung 33 zeigt eine

zweite Variante eines I4.0 Spannmittels bestehend aus charakteristischen NodeClasses des "TombstoneTypes".

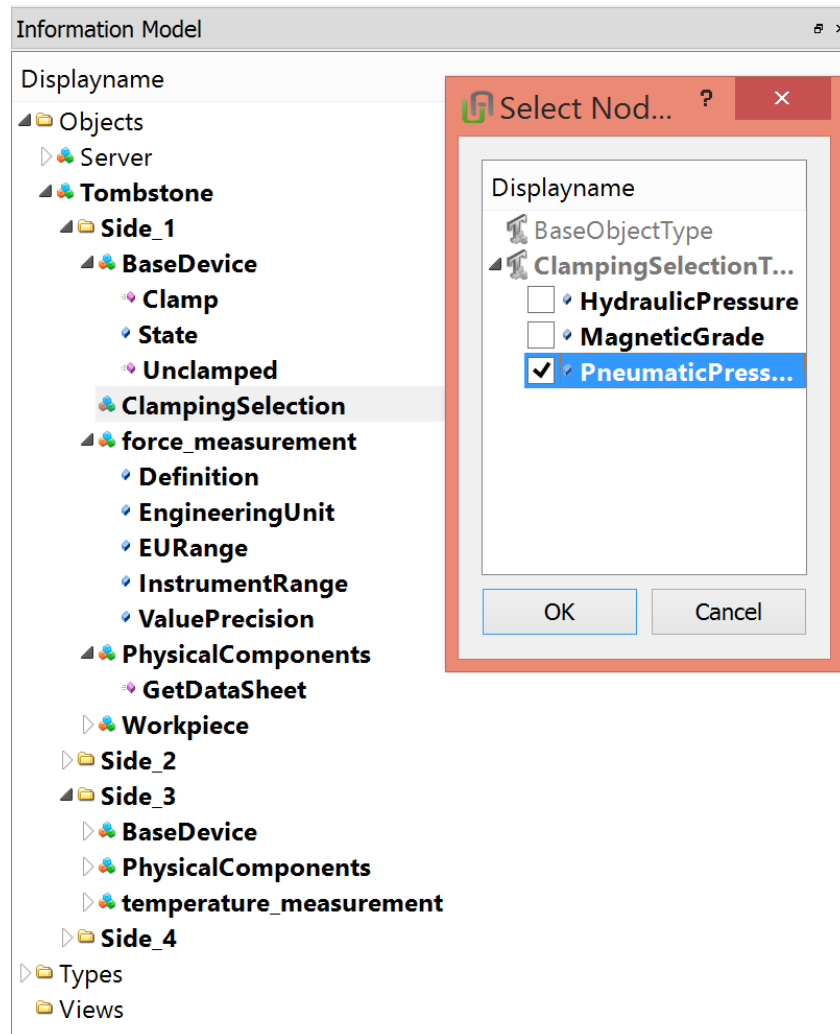


Abbildung 33. Modell eines I4.0 Spannmittels

An diesem Modell erkennt man die Instanziierung von vier Spannturmseiten inkl. grundlegender Funktionen wie Spannen bzw. Entspannen und detaillierte Spann- und Überwachungsmöglichkeiten auf Seite 1 und Seite 3. Auf der ersten Seite ist eine Bearbeitung mit pneumatischem Spannmittel geplant. Durch das Object "ClampingSelection" kann der Bediener die benötigte Versorgung einfach auswählen. Zusätzlich wird der Prozess durch einen Kraftsensor (force_measurement), als DMS-basierte Kraftnebenschlussmessung, überwacht. Dabei können durch den Bediener die jeweiligen Sensoreigenschaften hinterlegt werden. Auf Seite 3 ist ein Temperatursensor (temperature_measurement) angebracht, um Schwankungen im Prozess und der Kühlmittelversorgung auszugleichen. Das Object "PhysicalComponents" ermöglicht dem Benutzer pro instanzierter Seite das Abrufen von herstellerspezifischen Informationen (z.B. Datenblätter der Nullpunktspannsysteme). Abschließend können somit ähnliche Modelle mit dieser Struktur vom User schnell und flexibel spezifiziert werden.

5 Resümee / Ausblick

Aktuell steht der Begriff Industrie 4.0 vorwiegend für Aspekte wie vorbeugende Instandhaltung. Die technologischen Potentiale der Digitalisierung und Vernetzung von Komponenten miteinander als dezentrale Automation stehen erst am Beginn der fortschreitenden Entwicklung. Immer noch fehlendes Bewusstsein oder unausgereifte Prozesse sind nach wie vor an der Tagesordnung in vielen Groß- und Kleinbetrieben. "Smarte Produkte" werden jedoch nicht nur im industriellen Umfeld, sondern auch am privaten Sektor immer mehr an Bedeutung gewinnen.

Intelligente Spannmittel bieten vor allem im Bereich der Serienfertigung neue Möglichkeiten um Prozesse stabiler und effizienter zu gestalten. Das Modell I4.0 Aufspannturm ist ein Universalkonstrukt bzw. Gesamtprofil an Möglichkeiten ein Cyber-physisches Spannmittel zu konfigurieren. Neben der verschiedenen Optionen ein intelligentes Spannmittel auszulegen, sind vor allem die Schnittstellen ein äußerst wichtiger Aspekt. Ohne einheitliche Standards im Bereich der Schnittstellen zwischen Werkzeugmaschine, Spannmittel und auch Mensch werden die Cyber-physischen Systeme erschwert umgesetzt werden können. Auch die Schnittstelle zur Automatisierung, wie Roboter oder Portalsystemen, muss einheitlich mit der "Smarten-Technologie" abgestimmt werden. Werkzeugmaschinenhersteller müssen Standards im Bereich der Kommunikation, z.B. OPC UA fähige Ausgabe bzw. Aufnahme von Informationen, entwickeln. Gesellschaften wie VDI/VDE können dabei eine tragende Funktion in der Vereinheitlichung übernehmen.

Zukunftsschwerpunkte in der Entwicklung für die erfolgreiche Implementierung von Cyber-physischen Systemen können sein:

- Die Automatisierungstechnologie ist eine Schlüsselkompetenz in der Entwicklung weiterer "Smarter-Technologien".
- Durch die erfolgreiche Integration von Cyber-physischen Systemen wird der Grad an Automatisierung nochmals steigen. Die umfassende Daten- und Informationsnutzung wird neue Dienste und Funktionen hervorbringen.
- Daten-, Informations- und Kommunikationssicherheitsstandards werden unumgänglich. OPC UA bietet Verschlüsselungsmechanismen für den Datenaustausch als Standardfunktionen bereits an.
- Der Mensch muss am Ende die zentrale Stelle sein, die nachwievor den Überblick über das Cyber-physische System hat. Geeignete Visualisierungen für den User sind dabei nötig.
- Schnittstellen müssen standardisiert werden.
- Bei der Planung neuer Fertigungssysteme ist das Engineering gefordert um neue Methoden in der Gestaltung der vernetzten Architektur zu entwickeln.

- Weitere Forschungen im Bereich Informatik, Automatisierungstechnik und neue Ausbildungsformen an Hochschulen sollen angestrebt werden.
- Erfahrungsaustausch durch das Einrichten von Plattformen, vor allem für Klein- und Mittelbetriebe.

Die Entwicklung von Cyber-physischen Systemen bietet also eine Vielzahl von Chancen für die Industrie. Kurzfristige Erfolge werden zur Optimierung von Prozessen führen. Langfristig erfordert es aber eine Strategie in der Entwicklung neuer Produkte und Dienstleistungen. Innovative Unternehmen sollten animiert werden diesen Weg der dynamischen Digitalisierung zu gehen.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Cyber-physisches System. (2016, März 6). In *Wikipedia*. Abgerufen von https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Cyber-physisches_System&oldid=152225588
- [2] Industrie 4.0. (2016, März 31). In *Wikipedia*. Abgerufen von https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Industrie_4.0&oldid=153029570
- [3] Smart Factory. (2016, Jänner 18). In *Wikipedia*. Abgerufen von https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Smart_Factory&oldid=150390769
- [4] Stellungnahme_Cyber-Physical_Systems.pdf. (o. J.). Abgerufen von https://www.vdi.de/uploads/media/Stellungnahme_Cyber-Physical_Systems.pdf
- [5] Statusreport_-_Digitale_Chancen_-_Geschaeftsmodelle_fuer_I4.0_ANSICHT.pdf. (o. J.). Abgerufen 25. Jänner 2017, von https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/gma_dateien/END_6329_PUB_GMA_Statusreport_-_Digitale_Chancen_-_Geschaeftsmodelle_fuer_I4.0_ANSICHT.pdf
- [6] VDI-GMA_Statusreport_Referenzarchitekturmodell-Industrie40.pdf. (o. J.). Abgerufen 3. Mai 2016, von https://www.vdi.de/fileadmin/user_upload/VDI-GMA_Statusreport_Referenzarchitekturmodell-Industrie40.pdf
- [7] acatech. (o. J.). Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Abgerufen 25. Jänner 2017, von <http://www.acatech.de/?id=1405>
- [8] 6146_PUB_GMA_ZVEI_Statusreport_-_RAMI_4-0_Struktur_der_Verwaltungsschale_Internet.pdf. (o. J.). Abgerufen 31. Jänner 2017, von https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/gma_dateien/6146_PUB_GMA_ZVEI_Statusreport_-_RAMI_4-0_Struktur_der_Verwaltungsschale_Internet.pdf
- [9] RAMI 4.0 und die Industrie-4.0-Komponente. (o. J.). Abgerufen 7. Februar 2017, von <http://www.openautomation.de/detailseite/rami-40-und-die-industrie-40-komponente.html>

- [10] VDI_Industrie_4.0_Komponenten_2014.pdf. (o. J.). Abgerufen 3. Juni 2016, von https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/sk_dateien/VDI_Industrie_4.0_Komponenten_2014.pdf
- [11] Umsetzungsstrategie I4.0.pdf. (o. J.). Abgerufen 18. März 2017, von <https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2015/Leitfaden/Umsetzungsstrategie-Industrie-40/150410-Umsetzungsstrategie-0.pdf>
- [12] OPC Unified Architecture. (2017, Jänner 31). In *Wikipedia*. Abgerufen von https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=OPC_Unified_Architecture&oldid=162170240
- [13] OPC UA-Wegbereiter-der-I40.pdf. (o. J.). Abgerufen 21. April 2016, von [https://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/21752/OPC UA-Wegbereiter-der-I40.pdf?command=downloadContent&filename=OPC UA-Wegbereiter-der-I40.pdf](https://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/21752/OPC-UA-Wegbereiter-der-I40.pdf?command=downloadContent&filename=OPC+UA-Wegbereiter-der-I40.pdf)
- [14] Hypertext Transfer Protocol. (2017, Februar 28). In *Wikipedia*. Abgerufen von https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Hypertext_Transfer_Protocol&oldid=163105004
- [15] Internet Assigned Numbers Authority. (2017, Jänner 31). In *Wikipedia*. Abgerufen von https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Internet_Assigned_Numbers_Authority&oldid=162163847
- [16] Machine to Machine. (2016, Oktober 14). In *Wikipedia*. Abgerufen von https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Machine_to_Machine&oldid=158742299
- [17] Transmission Control Protocol. (2017, März 18). In *Wikipedia*. Abgerufen von https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Transmission_Control_Protocol&oldid=163711563
- [18] Transport Layer Security. (2017, März 3). In *Wikipedia*. Abgerufen von https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Transport_Layer_Security&oldid=163215136
- [19] Werkzeugmaschinen 1 Maschinenarten und Anwendungsbereiche, 6. überarbeitete Auflage 2005, Autor: Weck Manfred,

ISBN 978-3-540-22504-1 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

- [20] KG, S. G. & C. (o. J.). VERO-S Baukasten: VERO-S - bringt Rationalisierung auf den Punkt. Abgerufen 15. April 2016, von <http://www.schunk-vero-s.de/de/inhalt/startseite/vero-s-baukasten.html>
- [21] SCHUNK_Aufspanntuerme_ACHTECK_VERO-S_VAT_AE__DE_EN.pdf. (o. J.). Abgerufen von http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/catalogs/9954732_10M_2011-11/SCHUNK_Aufspanntuerme_ACHTECK_VERO-S_VAT_AE__DE_EN.pdf
- [22] VERO-S Nullpunktspannsystem. (o. J.). Abgerufen 8. April 2016, von http://www.schunk-vero-s.de/fileadmin/user_upload/Download_PDFs/stat_spanntechnik_Seiten_32-33_RGB_300dpi.pdf
- [23] Bluetooth. (2017, Juni 30). In Wikipedia. Abgerufen von <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Bluetooth&oldid=166849942>
- [24] Wireless Local Area Network. (2017, Mai 31). In Wikipedia. Abgerufen von https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Wireless_Local_Area_Network&oldid=165970570
- [25] DEUTSCHLAND, F. (o. J.). iJaw - The INTELLiJaw [Text]. Abgerufen 10. Mai 2017, von <http://www.forkardt.net/index-22.html>
- [26] RÖHM Futter mit Drucküberwachung. (o. J.). Abgerufen 13. April 2016, von <http://www.roehm.biz/fileadmin/content/pdf/products/de/Datenuebertragung.pdf>
- [27] Lastenheft. (2016, November 16). In *Wikipedia*. Abgerufen von <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Lastenheft&oldid=159734696>
- [28] Großspannstation. (o. J.). Abgerufen 15. April 2016, von http://www.schunk-vero-s.de/fileadmin/user_upload/Download_PDFs/stat_spanntechnik_Seiten_166-170_RGB_300dpi.pdf
- [29] Modulübersicht - VERO-S. (o. J.). Abgerufen 8. April 2016, von http://www.schunk-vero-s.de/fileadmin/user_upload/Download_PDFs/stat_spanntechnik_Seiten_82-92_300dpi.pdf

- [30] SCHUNK GmbH & Co. KG Spann- und Greiftechnik - pdf Spannturmdaten. (o. J.). Abgerufen 8. April 2016, von http://www.at.schunk.com/schunk/schunk_websites/products/programs.html?product_level_1=249&product_level_2=18322&product_level_3=18332&menu1=3&country=AUT&lngCode=DE&lngCode2=DE
- [31] VERO-S Nullpunktspannsystem - Datenblatt NSE Plus 138. (o. J.). Abgerufen 8. April 2016, von http://www.schunk-vero-s.de/fileadmin/user_upload/Download_PDFs/stat_spanntechnik_Seiten_32-33_RGB_300dpi.pdf
- [32] Modulübersicht - VERO-S. (o. J.). Abgerufen 8. April 2016, von http://www.schunk-vero-s.de/fileadmin/user_upload/Download_PDFs/stat_spanntechnik_Seiten_82-92_300dpi.pdf
- [33] SAV 242-92.pdf - Permanent-Magnet-Spanntürme SAV GmbH. (o. J.). Abgerufen 3. August 2017, von <https://www.sav.de/de/downloads/>
- [34] SAV 876-12.pdf - Zubehör-Umpolsteuergeräte SAV GmbH. (o. J.). Abgerufen 3. August 2017, von <https://www.sav.de/de/downloads/>
- [35] Elektropermanentmagnet. (2015, Jänner 18). In *Wikipedia*. Abgerufen von <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Elektropermanentmagnet&oldid=137920077>
- [36] 8-poliger Stecker. (o. J.). Abgerufen 5. August 2016, von http://engelking.de/sites/default/files/6000_power.pdf
- [37] Steckverbinder wasserdicht: Bulgin, 8, IP65, 15-19A | Engelking Elektronik GmbH - Bulgin, ITW Switches, wasserdichte Steckverbinder, Kaltgerätestecker, Stecker IP68, Taster... (o. J.). Abgerufen 5. August 2016, von <http://engelking.de/produkte/steckverbinder/wasserdicht/results/taxonomy%3A2%2C47%2C25%2C96>
- [38] Raspberry Pi® 3 Model B Advanced-Set 1 GB - conrad.at | 001419717. (o. J.). Abgerufen 3. August 2016, von <https://www.conrad.at/de/raspberry-pi-3-model-b-advanced-set-1-gb-1419717.html>
- [39] Zentralverteiler - ifm electronic. (o. J.). Abgerufen 3. August 2017, von <https://www.ifm.com/at/de/product/EBC074>
- [40] Powerbank-Daten. (o. J.). Abgerufen 5. August 2016, von <http://www.xtorm.eu/files/xtorm-handleiding-xb101.pdf>

- [41] Ventile – FestoWiki - deutsch. (o. J.). Abgerufen 25. August 2016, von <https://www.festo.com/wiki/de/Ventile>
- [42] Wegeventil - Erklärung. (2016, Mai 11). In *Wikipedia*. Abgerufen von <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Wegeventil&oldid=154293496>
- [43] Wegeventile & Grundlagen Pneumatik. (o. J.). Abgerufen 25. August 2016, von http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/095000_ausschnitt_web.pdf
- [44] Pneumatik. (2017, April 18). In *Wikipedia*. Abgerufen von <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Pneumatik&oldid=164693162>
- [45] Schunk Kraftspannblock Datenblatt. (o. J.). Abgerufen 8. August 2017, von <https://schunk.com/fileadmin/pim/docs/IM0018652.PDF>
- [46] Kraftspannblock Pneumatisch. (o. J.). Abgerufen 5. August 2016, von <https://at.schunk.com/fileadmin/pim/docs/IM0012553.PDF>
- [47] FESTO-Ventilinsel. (o. J.). Abgerufen 21. April 2016, von https://www.festo.com/net/de-at_at/SupportPortal/default.aspx?q=VTUG
- [48] Ventilinsel VTUG | Festo Österreich. (o. J.). Abgerufen 21. April 2016, von https://www.festo.com/cms/de-at_at/18556.htm
- [49] FESTO VTUG-G_DE.pdf. (o. J.). Abgerufen 8. August 2017, von https://www.festo.com/cat/de-at_at/data/doc_de/PDF/DE/VTUG-G_DE.PDF#NAMEDDEST=VTUG
- [50] Festo_Druckluftaufbereitung_2013_06.pdf. (o. J.). Abgerufen 5. August 2016, von https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/40314/Festo_Druckluftaufbereitung_2013_06.pdf
- [51] Bosch Rexroth HRS06 Ventilsteuerung. (o. J.). Abgerufen 21. September 2016, von https://md.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownload-internet.dll/rd48107_2015-08.pdf?db=brmv2&lvid=1189065&mvid=12323&clid=1&sid=A4BA642F21220BF878F3F317087D7E2E.borex-tc&sch=M&id=12323,1,1189065
- [52] Bosch Rexroth Industrial Hydraulics. (o. J.). Abgerufen 7. September 2016, von <http://www.boschrexroth.com/ics/Vornavigation/Vornavi.cfm?Language=DE&VHist=Start,p537401&PageID=p537406>

- [53] Hydraulische Spanntechnik | Enerpac. (o. J.). Abgerufen 21. April 2016, von <http://www.enerpac.com/de/neuigkeiten/hydraulische-spanntechnik>
- [54] Proportionalventil. (2016, August 5). In *Wikipedia*. Abgerufen von <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Proportionalventil&oldid=156746002>
- [55] Pumpenaggregate - Produktauswahl - ROEMHELD Online-Katalog. (o. J.). Abgerufen 21. April 2016, von <http://www.roemheld.de/de/roemheld.aspx?cmd=images&csid=126&sm=>
- [56] Hydraulik. (2017, März 20). In *Wikipedia*. Abgerufen von <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Hydraulik&oldid=163765104>
- [57] Positionsflexibler Spanner getrennter Klemmenanschluss doppelt wirkend max. Betriebsdruck 250 bar - Produktauswahl - ROEMHELD Online-Katalog. (o. J.). Abgerufen 8. August 2017, von <http://www.roemheld.de/de/roemheld.aspx?cmd=IMAGES&csid=73>
- [58] Sensorik (Technik). (2016, März 23). In *Wikipedia*. Abgerufen von [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Sensorik_\(Technik\)&oldid=152778563](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Sensorik_(Technik)&oldid=152778563)
- [59] Smart-Sensor. (2015, Mai 16). In *Wikipedia*. Abgerufen von <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Smart-Sensor&oldid=142119938>
- [60] Feldbus. (2016, April 24). In *Wikipedia*. Abgerufen von <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Feldbus&oldid=153759356>
- [61] Chapter 47: Smart Transducers (Sensors or Actuators), Interfaces, and Networks | Engineering360. (o. J.). Abgerufen 9. August 2017, von <http://www.globalspec.com/reference/60189/203279/chapter-47-smart-transducers-sensors-or-actuators-interfaces-and-networks>
- [62] Echtzeit-Ethernet. (2015, März 6). In *Wikipedia*. Abgerufen von <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Echtzeit-Ethernet&oldid=139510847>
- [63] Echtzeitsystem. (2016, April 11). In *Wikipedia*. Abgerufen von <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Echtzeitsystem&oldid=153367512>
- [64] Echtzeit. (2016, Juni 16). In *Wikipedia*. Abgerufen von <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Echtzeit&oldid=155339062>
- [65] admin. (o. J.). Schwingungen in der Zerspanung. Abgerufen 18. Oktober 2016, von <http://www.zerspanungstechnik.de/2008/04/29/damit-die-fertigung-nicht-zur-konzerthalle-wird/>

- [66] Zerspantechnik - Prozesse, Werkzeuge, Technologien, 12.Auflage, Autoren: Eberhard Pauksch, Sven Holsten,, Marco Linß und Franz Tikal, ISBN 978-3-8348-0279-8, Vieweg+Teubner Verlag
- [67] Kraft- und Dehnungssensor Typen. (o. J.). Abgerufen 21. Oktober 2016, von <https://www.kistler.com/?type=669&fid=270&model=download&callee=frontend>
- [68] Kraftsensoren | Kistler. (o. J.). Abgerufen 8. Oktober 2016, von https://www.kistler.com/de/de/produkte/komponenten/kraftsensoren/?gclid=CjwKEAajwsuK_BRDD9ISR1bawwUwSJACbOiix9hLV76n0rnucuvqO4blwtUTwgYBnCo_1apbCYsOSnBoCdFfw_wcB#1__komponenten__kraftsensor__fz_bis_7_5_k_n_1_68_klb_f_9001_a
- [69] ijaw_flyer_d.pdf. (o. J.). Abgerufen 15. April 2016, von http://www.forkardt.net/ijaw_flyer_d.pdf
- [70] Spannkraftmessgerät. (o. J.). Abgerufen 13. April 2016, von <http://eshop.roehm.biz/media/attachment/file/d/c/dc0001754.pdf>
- [71] Datenblatt Kistler Dehnungsmessdübel. (o. J.). Abgerufen 11. August 2017, von <https://www.kistler.com/?type=669&fid=63943&callee=frontend>
- [72] Kabel Schwingungsaufnehmer. (o. J.). Abgerufen 15. April 2016, von [http://www.statuspro.de/userfiles/pdf/Condition-Monitoring/Technische-Daten/TD-CA-M12\(W\)-xM.pdf](http://www.statuspro.de/userfiles/pdf/Condition-Monitoring/Technische-Daten/TD-CA-M12(W)-xM.pdf)
- [73] Schwingungsaufnehmer. (o. J.). Abgerufen 15. April 2016, von http://www.statuspro.de/userfiles/pdf/Condition-Monitoring/Technische-Daten/TD_1185AQS_D.pdf
- [74] Schwingungsaufnehmer Montageadapter. (o. J.). Abgerufen 15. April 2016, von <http://www.statuspro.de/userfiles/pdf/Condition-Monitoring/Technische-Daten/TD-MSXXX-Montageadapter.pdf>
- [75] TG81 Temperaturmessgerät für Bearbeitungszentren. (o. J.). Abgerufen 15. April 2016, von <http://www.blum-novotest.de/de/messkomponenten/produkte/temperaturmessgeraet.html>
- [76] TG81_DE.pdf. (o. J.). Abgerufen von http://www.blum-novotest.de/uploads/media/TG81_DE.pdf
- [77] Drahtfreie Näherungsschalter Literatur - ABB. (o. J.). Abgerufen 1. November 2016, von <https://library.e.abb.com/public/09a28dfbd3a0be2ac1256ddd00346e55/42-49%20M798%20GER.pdf>

- [78] Raspberry Pi. (2017, Juli 20). In *Wikipedia*. Abgerufen von https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Raspberry_Pi&oldid=167427525
- [79] SOAP. (2017, Jänner 20). In *Wikipedia*. Abgerufen von <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=SOAP&oldid=161834228>
- [80] Extensible Markup Language. (2017, August 12). In *Wikipedia*. Abgerufen von https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Extensible_Markup_Language&oldid=168091982
- [81] TW_GMA__Thesen_und_Handlungsfelder_Roadmap-Prozesssensoren_4-0_-_Web.pdf. (o. J.). Abgerufen 19. August 2017, von https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/gma_dateien/TW_GMA__Thesen_und_Handlungsfelder_Roadmap-Prozesssensoren_4-0_-_Web.pdf
- [82] CNC-Maschine. (2017, März 15). In *Wikipedia*. Abgerufen von <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=CNC-Maschine&oldid=163618232>
- [83] Werkzeugmaschine. (2017, Juni 28). In *Wikipedia*. Abgerufen von <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Werkzeugmaschine&oldid=166793417>
- [84] Auslegung von Werkzeugmaschinen, Univ.Prof.Dr.F.Bleicher, Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik, Stand 2013
- [85] DMG Mori Celos User Interface. (o. J.). Abgerufen 22. Oktober 2017, von <https://at.dmgmori.com/blob/171002/c2d4a7e3758fd78809efac911680e704/s1de15-celos-pdf-data.pdf>
- [86] UaModeler „verwandelt Design in Quellcode“. (2017, Dezember 7). Abgerufen 1. April 2018, von <https://www.unified-automation.com/de/produkte/entwicklerwerkzeuge/uamodeler.html>
- [87] SOA on Smart Manufacturing Utilities for Identification, Data Access and Control, 11th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering 19-21 July 2017, Gulf of Naples, Italy; von Iman Ayatollahi, Jens Brier, Benjamin Mörzinger, Michael Heger, Friedrich Bleicher; available online at www.sciencedirect.com;
- [88] Fertigungsautomatisierung, "Cyber-physischer Spannturm(Showcase) Intertool Fachmesse für Fertigungstechnik 2016 in Wien, von Dipl. Ing. Iman Ayatollahi;
- [89] Proof of Concept: Risikominimierung für Systemeinführungen | beteo. (o. J.). Abgerufen 19. Jänner 2017, von <http://blog.beteo.ch/2008/06/11/proof-of-concept-risikominimierung-fur-systemeinfuehrungen/>

-
- [90] Industrie-PC. (2017). In *Wikipedia*. Abgerufen von <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Industrie-PC&oldid=163899437>
- [91] OPC UA TSN. (2018). In *Wikipedia*. Abgerufen von https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=OPC_UA_TSN&oldid=176908942

6.1 Weiterführende Literatur

Bänsch, Axel: Wissenschaftliches Arbeiten, Seminar- und Diplomarbeiten, München : R. Oldenburg, 2002

Friedrich, Christoph (Bearb.): Duden Taschenbücher; Bd. 27, Duden, Schriftliche Arbeiten im technisch-naturwissenschaftlichen Bereich, Ein Leitfaden zur Effektiver Erstellung und zum Einsatz moderner Arbeitsmethoden. Mannheim : Dudenverlag, 1997

Holzbaur, Ulrich D.; Holzbaur, Martina M.: Die Wissenschaftliche Arbeit, Leitfaden für Ingenieure, Naturwissenschaftler, Informatiker und Betriebswirte. München : Hanser, 1998

Lück, Wolfgang: Technik des wissenschaftlichen Arbeitens. München, Wien : Oldenburg, 1998

Preißner, Andreas: Wissenschaftliches Arbeiten. München, Wien : Oldenburg 1994

Scholz, Dieter: Diplomarbeiten normgerecht verfassen : Schreibtipps zur Gestaltung von Studien-, Diplom- und Doktorarbeiten. Würzburg : Vogel, 2001

Wanning, Frank: Internationale Typographie und wissenschaftliche Textverarbeitung, Normen und Regeln wissenschaftlicher Arbeiten in Deutschland und Frankreich. Frankfurt a. M. : Haag und Herchen, 1996

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Brainstorming-Grafik.....	8
Abbildung 2. Automatisierungspyramide und "neue" dezentrale Automation [4].....	12
Abbildung 3. Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 [8]	12
Abbildung 4. Vernetzungssystem in einem Life-Cycle [8].....	14
Abbildung 5. Darstellung Hierarchieebenen [6]	14
Abbildung 6. CP-Klassifizierung [10]	16
Abbildung 7. Die Verwaltungsschale einer I4.0-Komponente [6].....	16
Abbildung 8. Schichtenmodell von OPC UA [13].....	19
Abbildung 9. Form- und kraftschlüssiges Spannen [19]	23
Abbildung 10. Hydraulischer Spanndorn(Quelle RÖHM) [19].....	24
Abbildung 11. Generisches Architekturmodell.....	26
Abbildung 12. Schunk VERO-S Aufspannturm [21].....	27
Abbildung 13. Funktionsdarstellung VERO-S NSE Plus 138 [31].....	28
Abbildung 14. Magnetspannsystem mit Umpolsteuereinheit [33], [34]	30
Abbildung 15. Layout der elektrischen Versorgung	31
Abbildung 16. Funktionsbild Keilhaken-Spannblock [45].....	32

Abbildung 17. Layout der pneumatischen Versorgung.....	33
Abbildung 18. Hydraulischer Backenspanner mit Spannbacken [57]	34
Abbildung 19. Layout der hydraulischen Versorgung	35
Abbildung 20. Architektur Smart-Sensor [61]	36
Abbildung 21. Sensorspezifikationen	39
Abbildung 22. Layout Sensorintegration.....	40
Abbildung 23. Raspberry Pi 3 Modell B [78].....	41
Abbildung 24. Transportprotokolle bei OPC UA [13]	43
Abbildung 25. Prozesssensoren im Automatisierungsnetzwerk [81]	44
Abbildung 26. Grobstruktur der I4.0 Spannturm Verwaltungsschale	46
Abbildung 27. DMG Mori CELOS Status-APP Oberfläche [85]	50
Abbildung 28. Screenshot UAModeler ObjectTypes	52
Abbildung 29. TomstoneType Details.....	53
Abbildung 30. NodeClasses am Beispiel "ClampingBaseDeviceType"	54
Abbildung 31. ModellingRule "Placeholder"	55
Abbildung 32. "Showmodell" Spannturm [87]	56
Abbildung 33. Modell eines I4.0 Spannmittels.....	57

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Beschreibung der Layers RAMI4.0-Modell	13
---	----

9 Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CNC	Computerized-Numerical-Controlled
CP	Communication-Presentation Wert
CPS	Cyber-physisches System
CPPS	Cyber-Physical-Production-Systems
d.h.	das heißt
DLZ	Durchlaufzeit
DMC	Data-Matrix-Code
etc.	et cetera
exkl.	exklusive
GPS	Ganzheitliches Produktionssystem
HTTP	Hypertext-Transfer-Protocol
i.d.R	in der Regel
IANA	Internet Assigned Numbers Authority
IE	Industrial Engineering, Industrial Engineer (Person)
IEC	International electrotechnical Commission
inkl.	Inklusive
lt.	laut
M2M	Machine to Machine
MTM	Methods-Time Measurement
Min.	Minuten
o.g.	oben genannt
OPC UA	OPC Unified Architecture
RFID-Chip	Radio-Frequency-Identification-Chip
Sek.	Sekunden
SOA	Service-oriented-Architecture
Std.	Stunden
Stk.	Stück
TCP	Transmission-Control-Protocol
TLS	Transport-Layer-Security
tlw.	teilweise
TPS	Toyota Produktionssystem
u.a.	unter anderem
VDI	Verein deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
WLAN	Wireless Local Area Network
z.B.	zum Beispiel