

Masterarbeit

# EINSATZ SMARTER SENSOREN UND AKTOREN MIT IO-LINK ZUR VERBESSERUNG VON PRODUKTIVITÄT UND WARTUNG VON ANLAGEN

ausgeführt am



FACHHOCHSCHULE DER WIRTSCHAFT

Fachhochschul-Masterstudiengang  
Automatisierungstechnik-Wirtschaft

von

**Ing. Thomas KAINZ, BSc.**

1710322027

betreut und begutachtet von

DI (FH) Gernot Hofer

Graz, im Februar 2022

A handwritten signature in purple ink that reads "Thomas Kainz". Below the signature is a horizontal dotted line.

Unterschrift

## EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benützt und die benutzten Quellen wörtlich zitiert sowie inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

A handwritten signature in purple ink, reading "Thomas Kairuz", is written over a horizontal dotted line.

Unterschrift

## DANKSAGUNG

In erster Linie möchte ich mich bei allen bedanken, die mich im Zuge der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt haben und mir mit Motivation, Rat und Tat zur Seite standen.

Dabei möchte ich mich vor allem bei der Firma BK Maschinenbau bedanken, bei der ich bereits seit Jahren beschäftigt bin. Der Anstoß zu diesem Thema der Arbeit war durch die Tätigkeit im Unternehmen sowie durch die Interaktion mit den Kunden entstanden.

Die Unterstützung und die zur Verfügung gestellte Zeit waren neben dem Zugang zu Testkomponenten von großem Wert für die Arbeit. Bei der Integration sowie bei den Komponenten für den Testaufbau konnte ich auf eine große Bereitschaft der Unterstützung von den Lieferanten Balluff, Festo, SMC, IFM und Turck zurückgreifen. Ein großer Dank gilt auch meinen Arbeitskollegen, die mir bei der praktischen Umsetzung zur Seite gestanden sind und meine Fortschritte immer mit einem kritischen Auge betrachteten.

Außerdem möchte ich mich noch bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die in der Schaffensphase dieser Arbeit, aufgrund meiner beschränkten Freizeit, auf mich verzichten mussten.

Zum Schluss geht der Dank auch noch an meinem Betreuer Herrn DI (FH) Gernot Hofer, der mir durch kritisches Hinterfragen neue bzw. andere Blickwinkel zu diesem Thema zeigte und mit seiner Expertise in der ein oder anderen Frage den Wegweiser zur Lösung geben konnte.

Vielen Dank für die Zeit und Mühe!

## **KURZFASSUNG**

Diese Masterarbeit befasst sich mit smarten, intelligenten Sensoren, Aktoren oder Hybridgeräten in der Automatisierungstechnik, die bedingt durch ihre Intelligenz zusätzliche Daten neben den eigentlichen Prozessdaten generieren. Erst die in den Geräten integrierte intelligente Schnittstelle über IO-Link macht die Kommunikation in die unterste Ebene der Automatisierungspyramide realisierbar und ermöglicht den Transport der Daten. Eine detaillierte Betrachtung der Technik der IO-Link-Schnittstelle und der Möglichkeiten von IO-Link in der Automatisierungstechnik lieferte beim Aufbau der Kommunikation und bei der Nutzung der zusätzlichen Parameter- und Diagnosedaten das notwendige Knowhow für die azyklische Kommunikation mit dem IO-Link-Device. Eine Analyse der zur Verfügung gestellten Daten und Möglichkeiten dieser Geräte von unterschiedlichen Herstellern für die unterschiedlichsten Anwendungen gewährt einen kleinen Einblick in den Horizont von IO-Link Devices und zeigt einen derzeitigen Auszug der am Markt verfügbaren Technik. Dabei stellen die Geräte abhängig vom Verwendungszweck und der Auswahl der Type unterschiedliche Variationen von Datensätzen zur Verfügung. Die Verarbeitung kann, ähnlich der Prozessdaten in der Steuerung, in dieser, oder in übergeordneten Side-Systemen erfolgen. Diese sollen ganz nach dem Motto der Industrie 4.0 den Y-Way zur Cloud realisieren und eine Grundlage für Analysen zur Verwendung wie in Folge von Predictive Maintenance beisteuern. Eine Betrachtung der einzelnen Softwaresysteme der einzelnen Hersteller zeigte eine Unabhängigkeit zu den IO-Link Geräten, jedoch aber eine teilweise Einschränkung durch die übergeordneten Schnittstellen der Mastersysteme der IO-Link Kommunikation. Die Tests dieser Systeme zeigten das Potenzial der Zusatzdaten und Prozessdaten der intelligenten IO-Link Devices und führten bedingt durch die Lizenzkosten zur Entwicklung des Gedankens an eine Low-Cost Variante eines ähnlichen Systems durch OpenSource-Softwaretools in Verbindung mit der Nutzung der IIoT-Protokolle im Hintergrund der übergeordneten Systeme. Die Kurzeittests des entwickelten Systems brachten positive Ergebnisse mit einem spannenden Ausblick für die Nutzung in Langzeittests – mit geeigneten Analysen zur Unterstützung in der Instandhaltung im Hinblick auf die dadurch erzielbare Steigerung der Anlagenverfügbarkeit.

## **ABSTRACT**

This master's thesis deals with smart, intelligent sensors, actuators as well as hybrid devices in automation technology. They generate additional data besides the actual process data based on their intelligence. Only the intelligent interface via IO-Link integrated in the devices makes communication to the lowest level of the automation pyramid possible. It also enables the transport of data. A closer look at the technology of the IO-Link interface and the possibilities of IO-Link in automation technology provided the necessary know-how for setting up an acyclic communication with the IO-Link device. An analysis of the provided data and the capabilities of these devices for a wide range of applications by different manufacturers provides an insight into IO-Link devices. It depicts the currently available technology on the market. The devices provide different variations of data sets depending on the intended use and the selection of the type of the device. Similar to the process data in the controller, the data processing can take place in this or in higher-level side systems. In line with the slogan of Industry 4.0 and the realization of the Y-way to the cloud, this could contribute to a basis for analyzes for the usage as a result of predictive maintenance. An examination of the individual software systems of the different manufacturers showed an independence to the IO-Link devices with a partial restriction by the higher-level interfaces of the master system of the IO-Link communication. The tests of these systems showed the potential of the additional data besides the process data of the intelligent IO-Link devices. Due to the licensing costs of the cloud systems, the development of a low-cost variant began. A similar system through open source software tools was developed with the usage of the communication protocols in the background of the IO-Link masters. The short-term tests of the developed system showed positive results with the possibility of using it for long-term tests.

# INHALTSVERZEICHNIS

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG .....	i
DANKSAGUNG .....	i
KURZFASSUNG .....	ii
ABSTRACT .....	iii
Inhaltsverzeichnis .....	iv
1 Einleitung.....	1
1.1 Unternehmen BK Maschinenbau.....	1
1.2 Ausgangslage .....	1
1.3 Aufgabenstellung .....	2
1.4 Zielsetzung.....	2
2 Aktoren und Sensoren.....	3
2.1 Aktoren.....	3
2.1.1 Smarte Aktoren .....	4
2.2 Sensoren.....	4
2.2.1 Smarte Sensoren .....	10
3 Bussysteme in der Automatisierungstechnik .....	11
3.1 Automatisierungspyramide .....	11
3.2 OSI-Schichtenmodell .....	12
3.3 Feldbussysteme.....	14
3.3.1 Feldbussysteme.....	15
3.3.2 Industrial Ethernet.....	17
3.3.3 Sensor/Aktor-Bussysteme .....	19
4 IO-Link.....	22
4.1 Was ist IO-Link.....	22
4.2 Normung und Organisation.....	22
4.3 Systemaufbau .....	23
4.3.1 Zentrale Integration über SPS .....	24
4.3.2 Dezentrale Integration durch Feldbusmaster oder Industrial Ethernet Master .....	24
4.3.3 IO-Link als Verkabelungssystem .....	24
4.4 IO-Link Master .....	25
4.5 IO-Link Device .....	26
4.6 Übertragungsmedium .....	27
4.6.1 Physikalische Schnittstellendaten.....	28
4.6.2 Masterportvarianten.....	28
4.6.3 Wireless IO-Link.....	30
4.7 Datenübertragungsraten .....	30
4.8 IO-Link Interface .....	31
4.8.1 IO-Link Device Interface .....	32

4.8.2	IO-Link Master Interface .....	32
4.9	IO-Link Kommunikation .....	33
4.9.1	Datenkanäle .....	33
4.9.2	Kommunikationsaufbau .....	35
4.10	IO-Link Telegramm .....	37
4.10.1	Message Sequenz .....	37
4.10.2	UART .....	41
4.10.3	ISDU .....	42
4.11	IO-Link Safety .....	44
5	Integration von IO-Link Geräten .....	46
5.1	IO-Link Master .....	46
5.1.1	Anlagenbetrachtung .....	46
5.1.2	Masterportauswahl .....	46
5.1.3	Masterportkonfiguration .....	49
5.2	IO-Link Teilnehmer .....	56
5.2.1	IO-Link-Device Geräteklassen .....	56
5.2.2	Direct-Parameter-Page 1 .....	57
5.2.3	Direct-Parameter-Page 2 .....	58
5.2.4	Erweiterte IO-Link Parameter .....	58
5.2.5	Input Output Device Description (IODD) .....	60
5.3	Parametrierung und Konfiguration .....	61
5.3.1	IO-Link Device Parametrierung .....	61
5.3.2	Inbetriebnahme .....	62
5.3.3	Konfigurationsmöglichkeiten und Tools .....	63
5.4	IO-Link und IIOT .....	67
5.4.1	OPC UA .....	67
5.4.2	JSON/REST-API Interface .....	68
5.4.3	MQTT Interface .....	69
6	Verarbeitung der Daten von IO-Link Geräten im Test .....	70
6.1	Verarbeitungssysteme .....	70
6.1.1	SPS Steuerung .....	70
6.1.2	Webserver und Cloud .....	74
6.1.3	Y-Way to the Cloud .....	74
6.2	Nutzung und Aufbereitung der Daten .....	79
7	Anlagenkennzahlen .....	80
7.1	Auslegungsfaktoren und Anforderungen .....	80
7.2	Overall Equipment Effectiveness (OEE) .....	81
7.3	Weitere Kennzahlen .....	84
7.4	Berechnung der Anlagenkennzahlen .....	85
7.5	Anlagenproduktivitäts- und Leistungsberechnung .....	85
7.6	Aussagekraft der Anlagenkennzahlen .....	87

7.7	Beeinflussungsfaktoren der Anlagenkennzahlen .....	88
8	Instandhaltung.....	89
8.1	Instandhaltungsstrategien.....	89
8.2	Instandhaltung mit IO-Link.....	91
9	Analyse von IO-Link Sensoren und Aktoren .....	94
9.1	Sensorvarianten.....	94
9.1.1	Induktive Sensoren .....	94
9.1.2	Optische Sensoren .....	95
9.1.3	Drucksensoren.....	96
9.1.4	Ultraschallsensoren .....	97
9.1.5	Drehgeber.....	97
9.1.6	Condition Monitoring Sensoren .....	98
9.2	Aktorvarianten.....	99
9.2.1	Linearachsen .....	99
9.2.2	Schwenkachsen.....	99
9.2.3	Greifersysteme.....	100
9.2.4	Ventilinseln.....	101
9.3	Sonstige IO-Link Teilnehmer .....	101
9.3.1	RFID Reader.....	101
9.3.2	Sensor-/Aktorhub.....	102
9.4	Ergebnis der Zusatzfunktionen, Zusatzdaten und dessen Nutzung.....	103
9.5	Kostenberechnung.....	104
10	Testaufbau .....	108
10.1	Testaufbau B&R SPS X20.....	108
10.1.1	Komponenten für den Testaufbau: .....	108
10.1.2	Gerätekonfiguration .....	109
10.1.3	Azyklische Daten und Parameteränderung .....	114
10.2	Testaufbau Siemens SPS ET200SP 1500 .....	118
10.2.1	Komponenten für Testaufbau: .....	118
10.2.2	Gerätekonfiguration .....	118
10.2.3	Funktionsblock IO-Link Device .....	120
10.3	RaspberryPI mit Balluff Master .....	121
10.3.1	Hardware .....	121
10.3.2	NodeRed.....	121
10.3.3	Grafana .....	122
11	Ergebnis und Ausblick.....	124
11.1	Rüsten durch IO-Link Parametrierung.....	124
11.2	Verarbeitung von IO-Link Daten .....	124
11.3	Instandhaltungsmöglichkeiten mit IO-Link.....	125
	Literaturverzeichnis .....	126
	Abbildungsverzeichnis.....	130

Tabellenverzeichnis .....	133
Abkürzungsverzeichnis.....	135

## 1 EINLEITUNG

### 1.1 Unternehmen BK Maschinenbau

Die Firma BK Maschinenbau GmbH wurde 1999 von den beiden Geschäftsführern Manfred Kicker und Werner Barilich gegründet und arbeitet im Tätigkeitsbereich des Sondermaschinenbaus und der Automatisierung von Anlagen. Durch die Kreativität des Teams in Kombination mit der Kompetenz und der langjährigen Erfahrung auf diesem Segment des Maschinenbaus entstehen auf die Produkte und Bedürfnisse unserer Kunden optimal angepasste Sondermaschinen. Diese Anlagen sind nahezu immer Sonderanfertigungen und bringen dadurch immer wieder neue Herausforderungen an den Sondermaschinenbauer sowie an den späteren Betreiber der Anlage.



Abb. 1: Firmenlogo, Quelle: BK-Maschinenbau GmbH (2020), Onlinequelle [20.01.2021]

### 1.2 Ausgangslage

Sondermaschinen sind nahezu immer Einzelanfertigungen und durchleben aus diesem Grund nicht die Entwicklungsschritte einer Serienanlage, welche von Anlage zu Anlage weiterentwickelt und verbessert werden kann. In der Branche des Sondermaschinenbaus kann lediglich aus den Problemen und Erfahrungswerten vorangegangener Anlagen gelernt werden, in der Hoffnung diese Problemlösung vielleicht für eine der nächsten Anlagen verwenden zu können. Diese sind jedoch in ihrer Ausführung und Verwendung den bereits gebauten Anlagen meist fremd, da sie auf andere Bedürfnisse bzw. Produkte zugeschnitten sind.

Die Kundenbedürfnisse gehen immer mehr in die Richtung einer individuellen Produktions-, Montage- oder Prüfanlage, welche meist die Produktion von mehreren Bauteilen oder Werkstücken ohne Rüsttätigkeiten und Adaptierungen realisieren sollen. Des Weiteren besteht die Anforderung, Produkte auf Bedarf bzw. „Just in Time“ zu produzieren und nicht wie in der Vergangenheit gewohnt mit einer definierten Lagerkapazität zu bevorraten. Dieser Forderung bedarf es, eine hohe Anlagenverfügbarkeit zu garantieren und unvorhergesehene Anlagenausfälle zu verhindern.

Im Sondermaschinenbau werden unterschiedliche Sensoren zur Detektion von Bauteilen sowie Anlagenbewegungen eingesetzt. Darüber hinaus werden Sensoren zum Vermessen von Bauteilen oder zum Messen prozessrelevanter Umgebungsbedingungen verwendet. Viele dieser Sensoren sind für den Prozess der Anlage betriebsnotwendig. Ein Ausfall aufgrund von Sensorbruch bzw. -verschleiß oder erreichter Lebensdauer führt zu Problemen in der Produktion und Ausschussteilen, bis hin zum Ausfall der gesamten Anlage. Dieses Problem besteht im selben Ausmaß auch bei den Aktoren der Anlagen und Maschinen. Der Einsatz von Intelligenten Sensoren bzw. Aktoren mit einer Kommunikation bis in die unterste Feldebene mit IO-Link könnte einige Vorteile bieten, welche in der Praxis die Anlagenverfügbarkeit bzw. die Konfigurationsmöglichkeit bei einem Produktwechsel auf der Anlage ermöglichen könnten.

## 1.3 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung ist die Analyse des Einsatzes von intelligenten Sensoren und Aktoren in der untersten Feldebene einer Anlage im Sondermaschinenbau mit einer IO-Link Kommunikation. Dabei besteht das Interesse, die Vor- bzw. Nachteile dieser smarten Sensoren und Aktoren und die zusätzlich bereitgestellten Daten und Konfigurations-möglichkeiten zu betrachten.

Im ersten Schritt soll die Materie der Sensor-Aktor-Kommunikation dargestellt und die Möglichkeiten der Vernetzung von intelligenten Sensoren und Aktoren festgestellt werden.

Im weiteren Schritt sollen verschiedenste IO-Link Sensoren und Aktoren getestet und ihre Möglichkeiten der Konfiguration betrachtet werden. Auf der Grundlage dieser Betrachtung soll folglich untersucht werden, ob bei einem Einsatz in Anlagen des Sondermaschinenbaus mögliche Rüstvorgänge für Bauteilwechsel durch Konfigurationsänderungen eingespart werden können. Die möglichen zusätzlich bereitgestellten Daten sollen von übergeordneten Feldsystemen ausgewertet und der Instandhaltung über das HMI bzw. dem Leitsystem bereitgestellt werden, um Vorteile in einer einfacheren vorausschauenden Wartung zu generieren und dadurch die Anlagenverfügbarkeit erhöhen zu können.

Um ein Verbesserungspotenzial herauszufinden und um diesbezüglich eine entsprechende Aussage treffen zu können, müssen dazu auch die unterschiedlichen Anlagenkennzahlen betrachtet werden. Hinsichtlich der Produktion ist der Einflussfaktor dieser neuen Sensoren- bzw. Aktoren-Technologie zu prüfen, um eine positive oder negative Auswirkung erfassen zu können.

Ebenfalls soll die IO-Link Kommunikation analysiert werden, sowie deren Möglichkeiten der Kommunikation und Verwendung betrachtet werden. Dahingehend wird auch ein Vergleich der Systemaufbauvarianten notwendig werden, um eine Kostenabschätzung für den Zusatzaufwand im Vergleich zu einfachen Sensoren in Hinsicht auf Hardwarekosten und Inbetriebnahmekosten in Bezug auf den dadurch generierten Nutzen aufstellen zu können.

## 1.4 Zielsetzung

Das Ziel der Arbeit ist die Analyse der intelligenten bzw. smarten Sensoren und Aktoren auf IO-Link Basis, um die Vorteile aber auch Nachteile zu erkennen und eine Abschätzung für den Einsatz hinsichtlich Kosten und Nutzen treffen zu können. Darüber hinaus sollen die zusätzlichen Möglichkeiten betreffend der Konfigurationsmöglichkeiten für den Fall eines Produktwechsels untersucht werden. Ein Test von Varianten von Konfigurationen für einen Produktwechsel soll ohne Rüsttätigkeiten im Betrieb lediglich durch Konfigurationsänderungen getestet werden. Das Hauptziel soll die Erprobung der zusätzlichen Daten dieser Devices sein, welche neben den eigentlichen Messwerten geliefert werden. Dahingehend soll auch ein System für die Bereitstellung der Daten bzw. das Handling dieser bis hin zum Leitsystems der Anlage für den Kunden erstellt werden. Eine Betrachtung mehrerer möglicher Systeme und Varianten soll durch eine Analyse eine geeignete Lösungsvariante für die Umsetzung liefern.

Mithilfe dieser Diagnosedaten soll dem Kunden eine höhere Anlagenverfügbarkeit bzw. ein höherer Nutzungsgrad zur Verfügung gestellt werden können. Aufgrund einer besseren vorausschauenden Wartung hervorgerufen durch die Zusatzdaten der IO-Link Sensoren und Aktoren soll dies ermöglicht werden.

## 2 AKTOREN UND SENSOREN

Aktoren und/oder Sensoren sind Bestandteile jeder Maschine oder Anlage. Je höher der Grad der Automatisierung einer Maschine realisiert wird, desto höher ist die Anzahl der benötigten Aktoren und Sensoren. Das Aufgabengebiet von Aktoren, aber auch Sensoren, liegt dabei in unterschiedlichen Bereichen. Abhängig von der Anwendung bzw. dem Zweck der Anlage müssen diese unterschiedliche Aufgaben innerhalb der Maschine ausführen.

### 2.1 Aktoren

Als Aktoren, in der Literatur oftmals auch Aktuator oder Effektor genannt, werden Antriebselemente bezeichnet, welche angestoßen durch Schaltsignale von Steuerungen oder anderen übergeordneten befehlsgibenden Systemen Energie in eine physikalische Arbeit umsetzen. Die umgesetzte Energie wird im Aktor meistens in eine Bewegung oder Zustandsänderung transferiert. Die Einteilung von Aktoren kann nach unterschiedlichen Kriterien erfolgen, meist wird dazu die Einteilung nach der Form der verwendeten Energie erstellt. Abb. 2 zeigt eine Übersicht der Einteilung.<sup>1</sup>

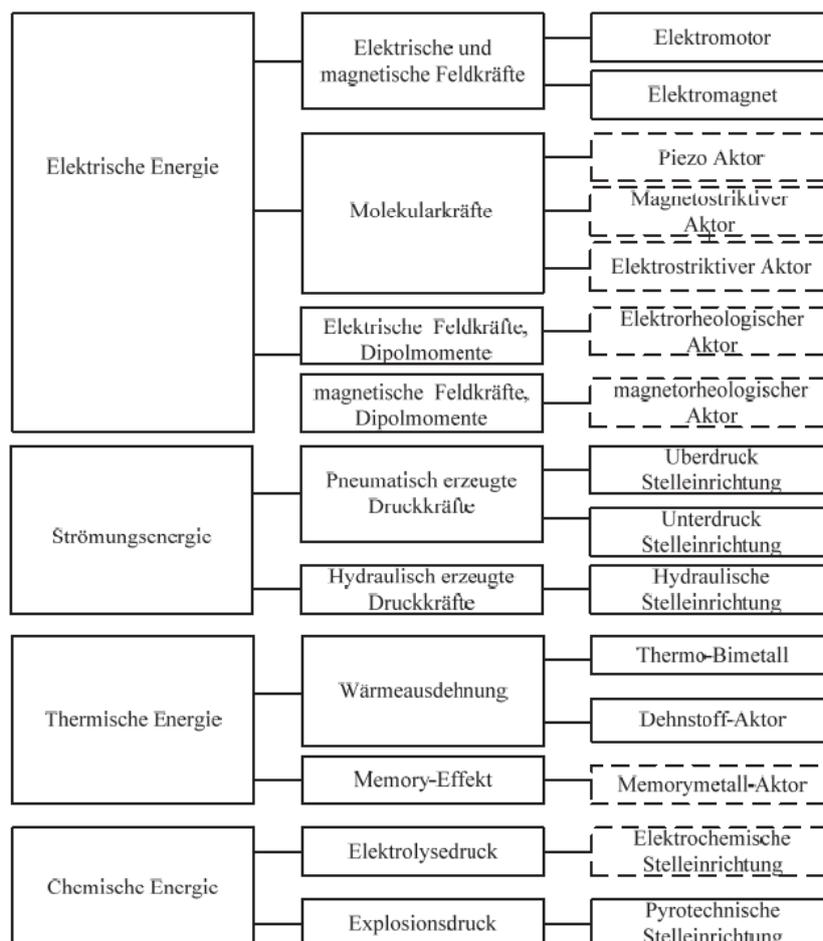


Abb. 2: Einteilung der Aktoren, Quelle: Gerke (2012), S. 6.

<sup>1</sup> Vgl. Gerke (2012), S. 5.

Der Großteil der verbauten Aktoren im Sondermaschinenbau findet sich in den Kategorien der elektrischen Energie, speziell jene mit elektrischen und magnetischen Feldkräften wie Elektromotoren, Servoantrieben, Elektrozyylinder, Stellantrieben sowie Ventilen. Darüber hinaus werden auch in hoher Anzahl Aktoren der Kategorie Strömungsenergie verbaut, konzentriert befinden sich Linearzylinder, Schwenkzylinder, Fluidmotoren angetrieben hauptsächlich durch Pneumatik, bei höheren Kräften auch Hydraulik, darunter. Begründet durch die vermehrte Anwendung im Sondermaschinenbau wird sich die Abhandlung der Arbeit im Folgenden mit diesen beiden Kategorien näher befassen und die weiteren Kategorien nur am Rande betrachten.

### 2.1.1 Smarte Aktoren

Der Begriff „Smarter Aktor“ bezeichnet einen intelligenten Aktor, welcher neben einem Anschluss für die Energieversorgung zur Erbringung der Arbeit auch eine intelligente Schnittstelle nach außen bietet. Über diese Schnittstelle werden Signale zur Steuerung des Aktors von der übergeordneten Steuereinheit gesendet. Der Aktor wird durch diese Intelligenz kombiniert mit eingebauter Sensorik zu einem Hybridgerät<sup>2</sup> und ist in der Lage, den Zustand an die Steuerung zurückzumelden. Die Kommunikationsschnittstelle stellt auch die Datenübertragung für die Parametrierung des Aktors bereit. Seitens der Parametrierung wird es ermöglicht, beispielsweise die Bewegungsgeschwindigkeit oder den Weg zu verändern. Ebenfalls können Diagnosedaten vom Aktor über seinen Zustand bzw. bei Störungen übermittelt werden.

## 2.2 Sensoren

Sensoren erfassen den Zustand von Anlagen oder Maschinen sowie die Umgebungsbedingungen und werden teilweise ebenfalls als Fühler bezeichnet. Die physikalisch zugrundeliegende Messgröße wird abhängig vom Messprinzip auf verschiedene Art vom Sensor in ein elektrisches Signal umgewandelt, siehe Abb. 3. Die Aufgabe eines Sensors wird in drei Funktionen unterteilt: Aufnehmen, Wandeln und Verstärken.<sup>3</sup>

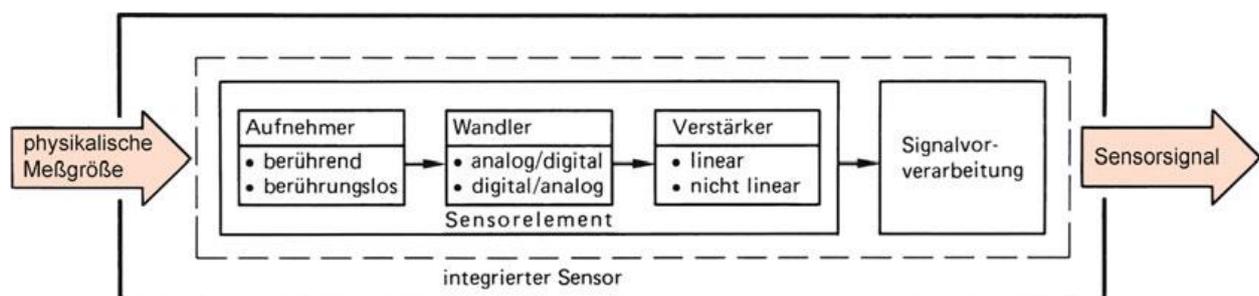


Abb. 3: Prinzip eines Sensors, Quelle: Hering (2017), S. 382.

Im ersten Schritt wird die physikalische Messgröße mit dem im Sensor zugrundeliegenden Messprinzip erfasst. Der Sensor wird von seiner Umgebung beeinflusst und wandelt die physikalische Messgröße in ein

<sup>2</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek./Jahn (2020b), S. 32ff.

<sup>3</sup>Vgl. Hering, Eckbert/ u. a. (2018), S. 447

elektrisches Signal um. Analog zur Wertänderung der physikalischen Messgröße ändert sich auch der Wert des elektrischen Signals. Für den Transport des Signals muss dieses verstärkt und für die weitere Verarbeitung in einem übergeordneten System angepasst werden. Um die unterschiedlichen Sensoren mittels unterschiedlicher Steuerungen zu verarbeiten wurden Sensorsignale als Einheitssignale genormt.

Die Gliederung von Sensoren kann nach unterschiedlichen Prinzipien in einzelnen Kategorien erfolgen. Die Unterteilung gestaltet sich entweder nach der Messgröße, dem Messprinzip, nach aktiven und passiven Sensoren oder nach dem Ausgangssignal, etc.

**Messgröße:** Unter der Messgröße wird die von Sensor zu messende physikalische Größe verstanden. Einige Beispiele dafür sind Weg, Drehzahl, Druck, Temperatur und vieles mehr. Die Erfassung derselben Messgröße kann dabei mittels unterschiedlicher Messprinzipien erfolgen.

**Messprinzip:** Das Messprinzip ist die Art der physikalischen Erfassung einer Messgröße. Die Anwendung unterschiedlicher Messprinzipien bei einer Messgröße führt zu unterschiedlichen Vor- bzw. Nachteilen. Einige Messprinzipien liefern genauere Messwerte sind aber in der Anwendung komplexer und kostenintensiver in der Herstellung. Durch die Herausforderungen an die Sensoren immer speziellere Anwendungsgebiete abzudecken, sind eine Vielzahl an Messprinzipien entstanden bzw. am Entstehen. Auch Kombinationen von Messprinzipien verbaut in einem Sensor können Lösungen für gesonderte Anwendungen sein. Die Wahl des richtigen Sensors mit dem zugrundeliegenden Messprinzip muss für jede Anwendung speziell betrachtet werden. Im folgenden Abschnitt werden einige Messprinzipie von Sensoren, welche großteils im Sondermaschinenbau Verwendung finden näher erläutert. Abb. 4 zeigt eine Übersicht von Messprinzipien und Messgrößen.

**Induktive Sensoren** können metallische Gegenstände detektieren bzw. den Abstand zum metallischen Gegenstand messen. Die Funktion wird durch einen induktiven Schwingkreis, welcher ein Magnetfeld erzeugt, realisiert.<sup>4</sup> Ein metallischer Gegenstand, welcher in das Magnetfeld eindringt, schwächt bzw. dämpft das Feld. Die eingebaute Auswerteelektronik wandelt dies in ein analoges elektrisches Signal um und signalisiert damit den Abstand zum Objekt bzw., ob sich ein Objekt innerhalb des Schaltabstandes befindet.

**Kapazitive Sensoren** ist es im Gegensatz zu induktiven Sensoren auch möglich nicht metallische Objekte zu erkennen bzw. die Entfernung zu ihnen zu messen. Diese Sensoren funktionieren durch ein elektrisches Feld, welches durch zwei aktive Flächen als offener Kondensator aufgebaut wird. Durch ein Objekt innerhalb des Feldes werden die Feldlinien durch dieses geführt und die Kapazität aufgrund der Längenänderung der Feldlinien verändert.<sup>5</sup> Die Auswertung erzeugt ein analoges Signal proportional zur Kapazitätsänderung, welche durch den Abstand des Objekts und die damit einhergehende Längenänderung der Feldlinien beeinflusst wird. Des Weiteren bewirkt das Objektmaterial einen Einfluss auf die Kapazität durch die materialspezifische Dielektrizitätskonstante, welche abhängig vom Material des Objekts

---

<sup>4</sup> Vgl. Hering, Eckbert/ u. a. (2018), S. 450f.

<sup>5</sup> Vgl. Hering, Eckbert/ u. a. (2018), S. 452f.

unterschiedlich hoch ist. Aus diesem Grund können auch Fluide detektiert werden, die eine abweichende Dielektrizitätskonstante bezogen zum Umgebungsmedium besitzen. Durch die Auswertung einer einstellbaren Schaltschwelle kann auch ein Pegelsignal als Sensorausgang geliefert werden.

**Optische Sensoren** funktionieren auf der Basis von Licht (Rotlicht), Laserlicht oder Infrarot und bestehen immer aus einer Sende- und einer Empfängereinheit. Der Empfänger detektiert den ausgesendeten Strahl des Senders, dabei kann die Lichtstärke, die Laufzeit oder Triangulation des Lichtstrahls als Messgröße verwendet werden. Bei Lichtschranken sind Sender und Empfänger getrennt voneinander montiert und dienen zur Teiledetektion. Reflexlichtschranken können ebenfalls nur Objekte durch Unterbrechung des Lichtstrahls erkennen und arbeiten mit einem Reflektor, da sich Sender und Empfänger in einem Gehäuse befinden. Lichttaster arbeiten mittels Laufzeitmessung bzw. Triangulation<sup>6</sup> zur Erkennung von Objekten sowie zur Messung von Objektabständen. Ausgangssignale sind abhängig von der Funktion Schaltpegel oder analoge Signale.<sup>7</sup>

**Ultraschallsensoren** arbeiten nach dem akustischen Messprinzip. Der Sensor sendet eine Impulsfolge im Ultraschallbereich aus. Der Schall wird am Objekt reflektiert und das Echo an den Sensor zurückgeworfen. Der Empfänger im Sensor erkennt die Impulsfolge und stoppt die Zeit zwischen Sendevorgang und Empfang.<sup>8</sup> Über die benötigte Zeit multipliziert mit der Schallgeschwindigkeit in der Luft erfolgt die Berechnung des zurückgelegten Weges, welcher etwa die doppelte Entfernung zum Objekt durch Hin- und Rückweg darstellt. Die Auswerteelektronik legt den Pegel des Analogsignals auf den Ausgang des Sensors abhängig von der Entfernung zum Objekt.

**Widerstandssensoren** können unterschiedliche Messprinzipien realisieren. Durch Temperaturwiderstände können beispielsweise Umgebungstemperaturen oder Bauteiltemperaturen erfasst werden. Diese Widerstände ändern ihren Widerstandswert anhand einer Funktion bezogen auf die Änderung der Temperatur. Anwendung finden dabei chemisch reine Metalle wie Platin, Nickel, etc. am häufigsten werden Pt100 oder Pt1000 in der Industrie eingesetzt, welche bei 0 °C ihren Nominalwert haben und sich entsprechend ihrer spezifischen Kennlinien verändern.<sup>9</sup> Dehnungsmessstreifen werden für die Messung von Dehnungen mit Analogien zu Kräften oder Drücken verwendet. Durch die Dehnung erfolgt eine Längen- und Querschnittsänderung, welche in weitere Folge zu einer Veränderung des Widerstandswerts führt. Die Widerstandsänderung erfolgt proportional zur Dehnung.<sup>10</sup> Je nach Anordnung können Zug-,

---

<sup>6</sup> Vgl. Adam/Busch/Nikolay (1997), S. 144.

<sup>7</sup> Vgl. Hering, Eckbert/ u. a. (2018), S. 454 ff.

<sup>8</sup> Vgl. Hering, Eckbert/ u. a. (2018), S. 457.

<sup>9</sup> Vgl. Hesse/Schnell (2018), S308.

<sup>10</sup> Vgl. Busch, Rolf (2011), S379 f.

Druck- und Torsionskräfte gemessen werden. Durch eine Brückenschaltung werden Störgrößen eliminiert und das Ausgangssignal verstärkt.

**Aktive Sensoren:** Aktive Sensoren erzeugen aufgrund des Einflusses der äußeren Messgröße bedingt durch das Messprinzip eine elektrische Spannung, Beispiele dafür sind Thermoelemente, piezoelektrische Sensoren, etc. Die Höhe des elektrischen Signals beträgt meist nur eine geringe Anzahl an Ladungen oder eine kleine Spannungsdifferenz abhängig vom Einfluss der Messgröße und dem Messprinzip.<sup>11</sup> Aus diesem Grund ist meist für die Auswertung des Sensorsignals eine Energiezufuhr in Form einer Versorgungsspannung für die Verstärkereinheit des Sensors notwendig.

**Passive Sensoren:** Passive Sensoren benötigen für die Erfassung der physikalischen Messgröße eine dauerhafte Energieversorgung für die interne Elektronik in Form einer elektrischen Versorgungsspannung. Die Elektronik des Sensors wird von außen durch die physikalische Messgröße unterschiedlich stark beeinflusst<sup>12</sup>, dies bewirkt eine Wertänderung im elektronischen System und folglich des Ausgangssignals. Abhängig vom Anwendungsgebiet des Sensors werden von den übergeordneten Systemen unterschiedlich hohe Versorgungsspannungen zur Verfügung gestellt. Aus diesem Grund sind eine Vielzahl an industriell eingesetzten Sensoren für einen Spannungsbereich von 10-30 V DC ausgelegt. In Anlagen und Sondermaschinen werden häufig Sensoren mit einer Steuerspannung von 24 V DC verwendet.

---

<sup>11</sup> Vgl. Hesse/Schnell (2018), S5.

<sup>12</sup> Vgl. Hesse/Schnell (2018), S5.

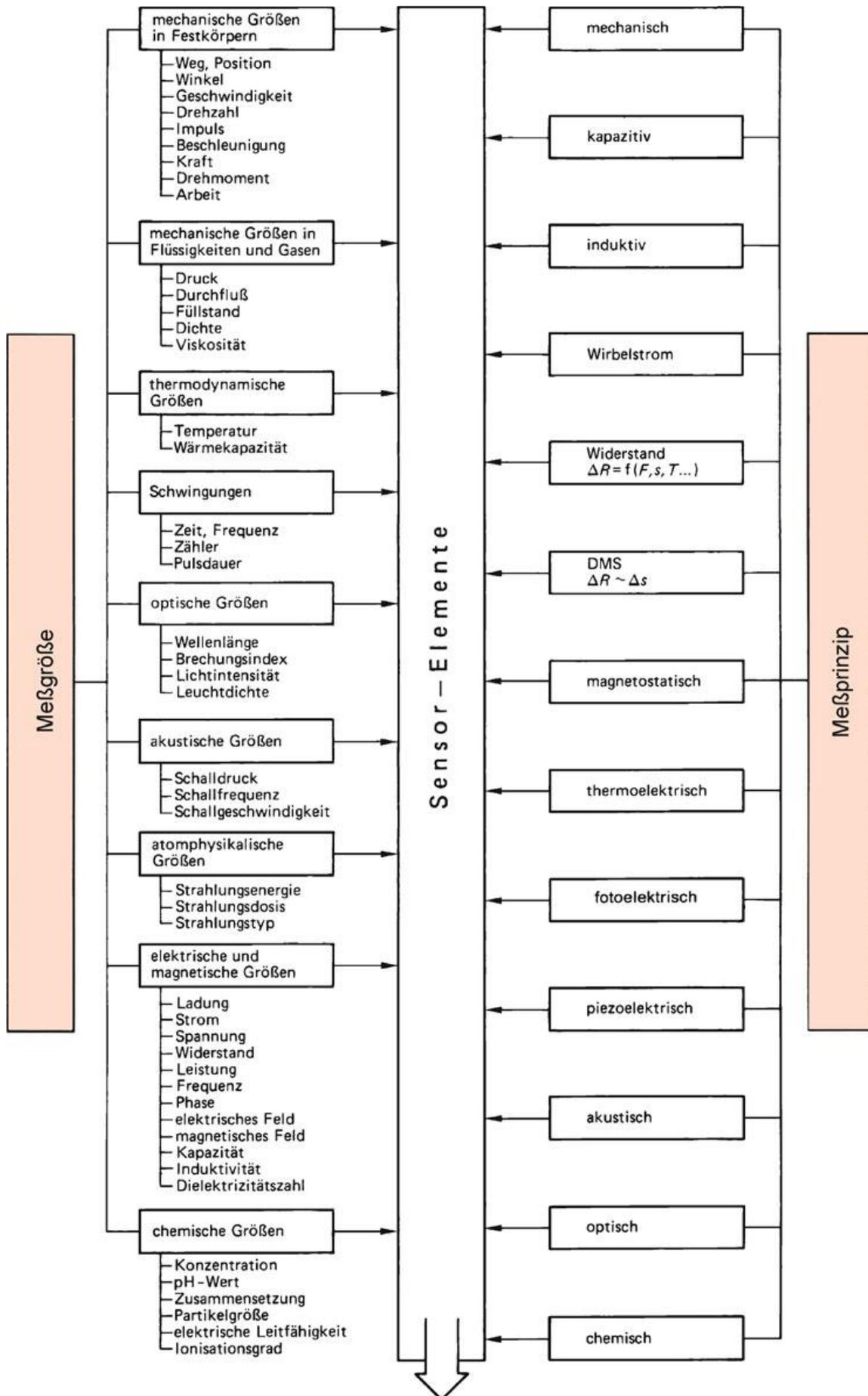


Abb. 4: Einteilung der Sensoren, Quelle: Hering (2017), S. 383.

**Ausgangssignale:** Abhängig vom Ausgangssignal werden Sensoren in unterschiedlichen Kategorien gegliedert, die Einteilung erfolgt größtenteils in folgenden Kategorien: binäre Sensoren, digitale Sensoren und analoge Sensoren.

Das Ausgangssignal von **binären Sensoren** verfügt über zwei digitale Schaltpegel „Null“ oder „Eins“, wobei die Höhe des Pegels abhängig vom Sensor und von der Versorgungsspannung ist.<sup>13</sup> Für den Pegel „Null“ wird nahezu immer 0 V DC oder GND verwendet, der Pegel „Eins“ wird meist durch Aufschalten des spannungsführenden Anschlusses der Versorgungsspannung (meist 24 V DC) auf den Ausgang realisiert. Binäre Sensoren erfassen die Messgröße und wandeln diese meist intern in ein analoges elektrisches Signal um. Wird ein spezielles, oft auch einstellbares, Level erreicht, schaltet der Sensor den Ausgangspegel um. Diese Sensoren werden auch als „Schalter“ bezeichnet und dienen meist zur Positionserkennung, Bauteildetektion oder zum Erkennen eines voreingestellten Schaltlevels einer Messgröße.

**Analoge Sensoren** liefern abhängig von der Messgröße ein analoges Ausgangssignal. Die Höhe des Ausgangssignals wird durch den physikalischen Einfluss der Messgröße auf den Sensor beeinflusst.<sup>14</sup> Die Verarbeitung und der Transport von analogen Sensorsignalen bringen Komplexität und Problematiken mit sich. Äußere Einflüsse sowie die Leitungslänge beeinflussen das Signal auf dem Weg zur Auswertung und können dadurch das Messergebnis des Sensors verfälschen. Durch geeignete Leitungen mit einer Schirmung gegen äußere Störeinflüsse und einer gezielten Leitungsverlegung mit Abstand zu leistungsführenden Leitungen vermag man die Signalveränderungen beim Transport einzudämmen. Abhilfe gegen den Einfluss der Leitungslänge bzw. des Leitungswiderstandes kann durch 3-Leiter oder 4-Leiter Anschlusstechniken gefunden werden, benötigt aber eine komplexere Auswertung des Signals. Zur Vereinfachung der Verarbeitung des analogen Sensorsignals wurden genormte Analogsignale standardisiert dazu gehören 0-10 V DC, -10-10 V DC, 0-20 mA, 4-20 mA. Bei größeren Leitungslängen und äußeren Störeinflüssen sind Spannungssignale immer nachteilig, zudem bietet das Stromausgangssignal die Möglichkeit der Leitungsbrucherkennung sowie der Versorgung des Sensors mit bis zu 4mA über dieselbe Leitung. Bei der Verarbeitung des Signals in der Steuerung (SPS) wird das analoge Signal durch einen Analog/Digital-Wandler in ein Digitalsignal umgewandelt.

**Digitale Sensoren** sind analoge Sensoren mit integriertem A/D-Wandler im Sensorgehäuse. Die Sensoren wandeln den analogen Messwert direkt an der Messstelle in ein digitales Signal um. Dadurch kann das Signal direkt in der übergeordneten Steuerung als digitaler Messwert verarbeitet werden.<sup>15</sup> Störeinflüsse durch den Signaltransport ähnlich dem Analogsignal werden dadurch ausgeschlossen. Die Genauigkeit der Messung ergibt sich durch das Messprinzip und die Signalverarbeitung direkt im Sensor und spiegelt die Systemgenauigkeit wider. Der Transport des Signals muss über eine intelligente digitale Schnittstelle erfolgen, wobei meist ein

---

<sup>13</sup> Vgl. Hesse/Schnell (2018), S.8.

<sup>14</sup> Vgl. Hesse/Schnell (2018), S.8.

<sup>15</sup> Vgl. Adam/Busch/Nikolay (1997), S.12

Bussystem Verwendung findet. Durch den Einsatz der Elektronik zur Signalverarbeitung ist der Einsatz an exponierten Umgebungsbedingungen wie hoher Temperatur für die Elektronik problematisch.

### 2.2.1 Smarte Sensoren

Smarte oder intelligente Sensoren erweitern die Funktion von digitalen Sensoren dahingehend, dass sie neben den Daten der eigentlichen Messgröße weitere Zustandsdaten erfassen und liefern. Sie arbeiten wie andere Sensoren nach bestimmten physikalischen Messprinzipien zur Erfassung einer Messgröße. Die Messgröße wird über ein analoges elektrisches Signal festgehalten und in ein digitales Signal umgewandelt. Über eine digitale Kommunikationsschnittstelle in Form eines Bussystems wird das Signal an die übergeordnete Steuerung übertragen. Eine zusätzlich eingebaute Intelligenz ermöglicht die Konfiguration des Sensors sowie dessen Parametrierung über die Schnittstelle, Abb. 5 zeigt den schematischen Aufbau eines smarten Sensors. Mittels Parametrierung können beispielsweise der Messbereich, Schaltlevel oder Schnittstellensignale verändert werden. Zusätzlich bieten diese Sensoren weitere Daten zur Diagnose des Sensors selbst sowie dessen Umgebungsbedingungen an, welche über die Schnittstelle abgefragt werden können.<sup>16</sup>

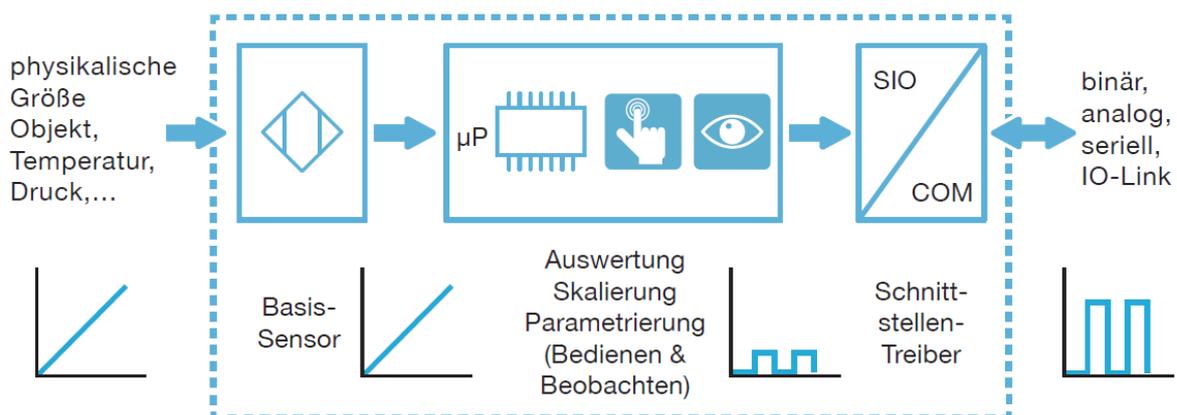


Abb. 5: Aufbau Intelligenter Sensor, Quelle: Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020a), S. 15.

<sup>16</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020a), S. 13 ff.

### 3 BUSSYSTEME IN DER AUTOMATISIERUNGSTECHNIK

In der ersten Phase der Automatisierungstechnik war die „Zentralisierung“ der Schlüssel zum Erfolg. Eine Anlage oder Maschine, sogar ganze Produktionslinien, wurden durch eine zentrale Steuereinheit gesteuert, dazu wurden alle Anschlussleitungen von Aktoren und Sensoren auf einen konzentrierten Punkt zusammengeführt. Mit der steigenden Komplexität und den immer größer werdenden Funktionalitäten wurden bald Grenzen erreicht. Eine Trendumkehr zur Dezentralisierung und Vernetzung war die Lösung des Problems und erscheint bis dato noch immer auf Erfolgskurs zu sein. Die Dezentralisierung geht dabei immer weiter und möchte die kleinsten Teilnehmer in den Automatisierungssystemen erreichen.

#### 3.1 Automatisierungspyramide

Aufgrund der komplexer werdenden Produktherstellungsprozesse und des höher werdenden Automatisierungsgrads mit immer neuen Systemen in der Herstellung von Produkten werden die einzelnen Systeme dezentralisiert. Nach dem Motto: „Teile und Herrsche“ werden die Einzelsysteme überschaubarer und einfacher handzuhaben. Eine Gliederung der Systeme in der Automatisierungstechnik findet aufgrund der aufbauenden Struktur in hierarchischen Ebenen statt. Veranschaulicht wird diese Struktur durch die Automatisierungspyramide Abb. 6. Die Dezentralisierung findet sowohl ebenenübergreifend, als auch innerhalb der Ebenen statt.

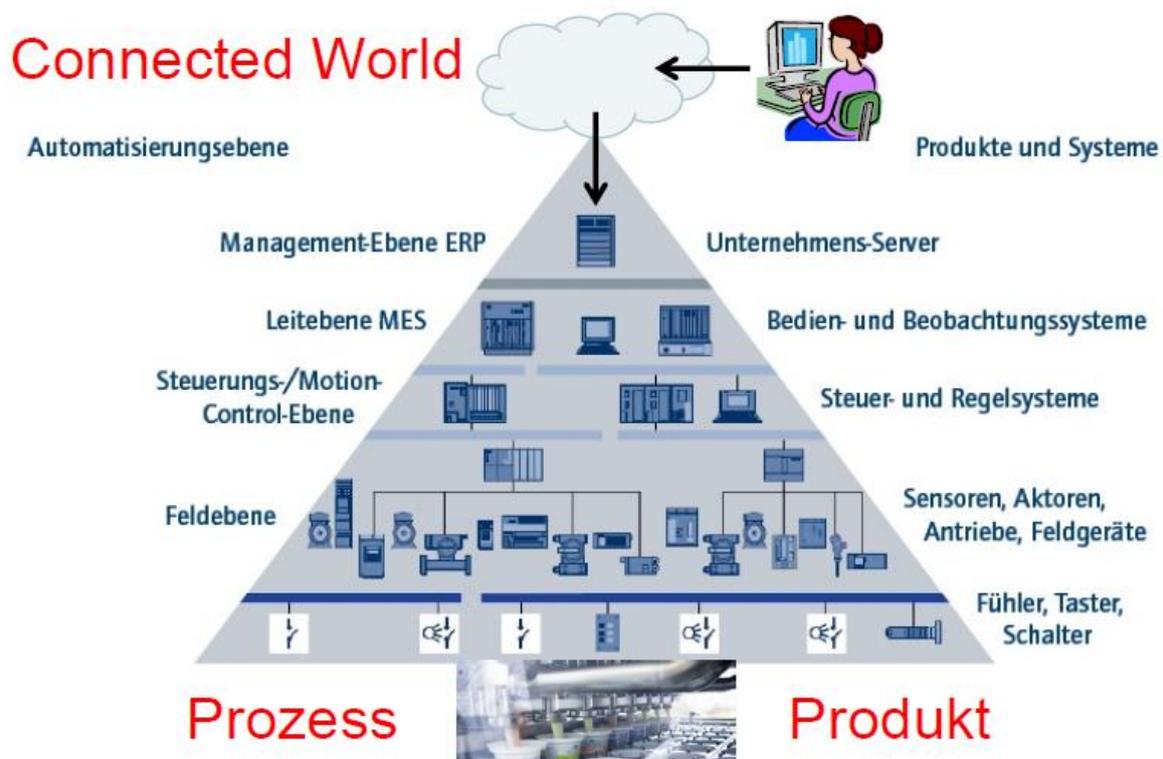


Abb. 6: Automatisierungspyramide, Quelle: Schewe (Dat. ohne Angabe) Onlinequelle [30.04.2021].

In der untersten Ebene der Pyramide – Produktionsebene genannt, siedelt sich der eigentliche Produktionsprozess der Maschine oder Anlage an. Dies erfolgt durch die Aktoren und Sensoren der Sensor/Aktor-Ebene, gefolgt von der Feldebene. Die Feldmodule sammeln die Signale der Sensoren

zusammen und geben diese weiter an die übergeordneten Steuerungen. In der Steuerungsebene werden die Signale der Sensoren von den Steuerungen (SPS) verarbeitet und die Signale an die Aktoren ausgegeben und geregelt. Die Aktor-Signale werden über die Feldebene an die Aktoren verteilt. Aufbauend auf die Steuerungsebene befindet sich die Prozessleitebene, welche zur Beobachtung und Bedienung des Produktionsprozesses verantwortlich für die Prozessplanung ist. Sie wird meist durch ein SCADA-System (Supervisory Control and Data Acquisition) oder vereinfacht durch ein HMI (Human Machine Interface) dargestellt.<sup>17</sup>

Übergeordnet befindet sich die Betriebsleitebene, in welcher alle Informationen und Daten der integrierten Betriebsanlagen in ein System zusammenlaufen, um die nötige Grundlage für die Produktionsfeinplanung zu liefern. Durch geeignete MES-Systeme (Manufacturing Execution System), welche zur Anwendung kommen, erfolgt das Materialmanagement und die Produktionsplanung im Detail. Die Spitze der Pyramide bildet die Unternehmensebene. Meist durch ein ERP-System (Enterprise-Ressource-Planning) unterstützt, findet hier die Auftragsabwicklung von Bestellungen und Lieferungen und außerdem auch eine grobe Produktion- und Ressourcenplanung statt.<sup>18</sup>

Mit Industrie 4.0 und dem Internet of Things soll eine übergeordnete Vernetzung in ein Cloudsystem erfolgen und weitere Vorteile durch Datenanalysen bis in die unterste Ebene generieren.<sup>19</sup> Eine Kommunikation und Vernetzung der Systeme muss daher innerhalb und auch ebenenübergreifend realisiert werden. Wobei an die Vernetzung der unterschiedlichen Ebenen meist unterschiedliche Anforderungen an das Kommunikations- und Bussystem gestellt werden.

Die Abhandlung dieser Masterarbeit befasst sich im speziellen mit der Vernetzung und Kommunikation in den untersten Ebenen der Automatisierungstechnik. Der Übergang von der Feldebene zur Prozessebene wird in der Literatur teilweise durch die Sensor/Aktor-Ebene unterteilt. Aus diesem Grund beschränkt sich die Betrachtung der Kommunikationssysteme auf jene der Feldebene bzw. hierarchisch darunter liegende Sensor/Aktor-Ebene.

### 3.2 OSI-Schichtenmodell

Die Kommunikation in einem Netzwerk verläuft nach bestimmten Regeln und Mustern. Dafür wurde 1984 von der Internationalen Organisation für Normung (ISO) ein umfassendes Modell für die Kommunikation zwischen Netzwerkteilnehmern entwickelt. Dieses Modell unterteilt die wesentlichen Leistungen in einem Netzwerk in sieben aufeinander aufbauenden Schichten, wobei jede eine spezielle Aufgabe hat. Abb. 7 zeigt den Datentransport von der Applikationsschicht bis zum Physical-Layer und die notwendigen Erweiterungen der eigentlichen Daten die pro Schicht hinzugefügt werden. Die Schichten sind in sich geschlossen und kommunizieren mit definierten Übergabestationen mit den angrenzenden Schichten. Die Einteilung in die einzelnen Layer macht diese unabhängig von Änderungen anderer. Das OSI-Modell (Open

---

<sup>17</sup> Vgl. Roth (Hrsg.) (2016), S. 49 ff.

<sup>18</sup> Vgl. ebd.

<sup>19</sup> Vgl. ebd.

System Interconnection) dient als Modell und Grundlage und ermöglicht deshalb sehr viele Abweichungen, Ausnahmen und Variationen an Kommunikationsnetzwerken.<sup>20</sup>

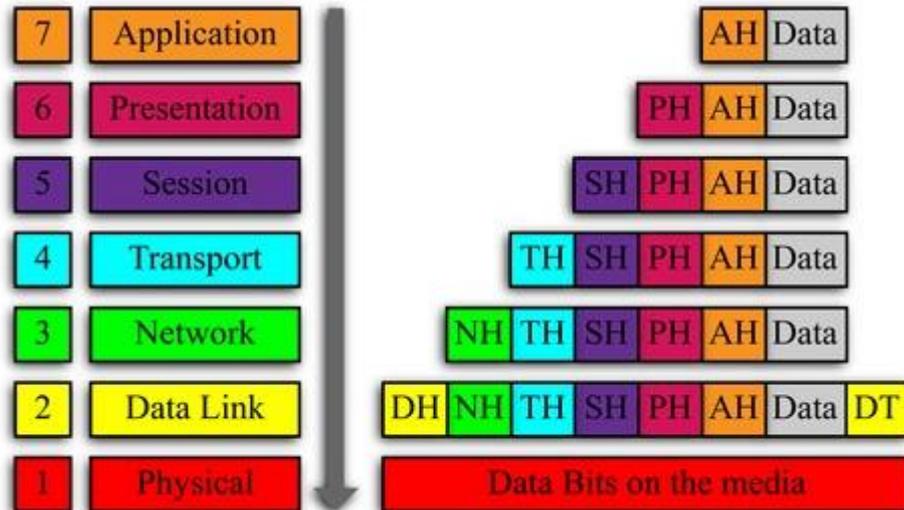


Abb. 7: OSI-Schichtenmodell, Quelle: Mindlands Solutions UG (Dat. ohne Angabe) Onlinequelle [07.05.2021].

**Bitübertragungsschicht (Physical Layer)** regelt die Übertragung der Bitströme über das Übertragungsmedium. Dabei werden alle physikalischen Parameter der Übertragung wie Übertragungsmedium (Kabel, Glasfaser, Funk), Funktion der Leitungen (Daten- bzw. Steuerleitungen), Übertragungsrichtung (simplex, halb-duplex, duplex) und Übertragungsgeschwindigkeit festgelegt.<sup>21</sup>

**Sicherungsschicht (Data Linked Layer)** hat die Aufgabe einen zuverlässigen Austausch von Datenpaketen zu gewährleisten, dies wird durch zwei Protokolle geregelt. Jeder physische Netzwerkteilnehmer erhält in der Herstellung eine eindeutige MAC-Adresse (Medium Access Control Protokoll). Die Sicherungsschicht fügt jedem Datenpaket die Empfangs- und Sende-MAC-Adresse hinzu. Zusätzlich werden die Daten aus der übergeordneten Schicht durch das LLC-Protokoll (Logical Link Control) in Datenframes geteilt und mit Fehlererkennungs- und Fehlerkorrekturmaßnahmen versehen.<sup>22</sup>

**Netzwerkschicht (Network Layer)** übernimmt die Steuerung der Datenpakete, damit diese ihr Ziel erreichen. Ein direktes Erreichen des Ziels ist kaum möglich, weshalb der Weg fast immer über Zwischenziele realisiert werden muss. Diese Schicht identifiziert alle Netzwerkteilnehmer im Netz und kann dadurch die Steuerung des Transportweges vornehmen. Dieses Routing wird mit der Herstellung der Verbindungskanäle abgeschlossen.<sup>23</sup>

**Transportschicht (Transport Layer)** übergibt die Datenpakete an die Schichten des Anwendungssystems. Das Transportsystem endet in dieser Schicht und geht in das Anwendungssystem

<sup>20</sup> Vgl. Schreiner (2014), S.3 f.

<sup>21</sup> Vgl. Mindlands Solutions UG (Dat. ohne Angabe) Onlinequelle [07.05.2021].

<sup>22</sup> Vgl. Mindlands Solutions UG (Dat. ohne Angabe) Onlinequelle [07.05.2021].

<sup>23</sup> Vgl. Mindlands Solutions UG (Dat. ohne Angabe) Onlinequelle [07.05.2021].

über. Die Datenpakete werden anhand der Protokollinformationen umgewandelt und für den Empfänger in der nächsten Schicht richtig zusammengesetzt.<sup>24</sup>

**Sitzungsschicht (Session Layer)** baut die logischen Verbindungen zwischen Sender und Empfänger auf, welche nach dem Sendevorgang wieder beendet werden. Die Sitzungsschicht hat die Kontrolle über die logischen Verbindungen.<sup>25</sup>

**Präsentationsschicht (Presentation Layer)** übersetzt die Daten vom Format des Senders in jenes für den Empfänger. Dabei werden die Daten je nach Richtung ver- oder entschlüsselt sowie komprimiert oder extrahiert.<sup>26</sup>

**Anwendungsschicht (Application Layer)** übernimmt die eigentliche Schnittstelle zur Benutzeranwendung und bereitet die Netzwerkdaten in die Daten für die Nutzeranwendung auf.<sup>27</sup>

Nicht jede Kommunikation über ein Netzwerk nutzt beim Transport der Daten die Schichten 1-7 des OSI-Schichtenmodells. Abhängig von Übertragungssystem werden unterschiedliche Schichten unterschiedlich stark genutzt. Viele Netzwerke haben dabei auch schichtenübergreifende Protokolle im Einsatz. Feldbussysteme und Sensor/Aktor-Bussysteme nutzen das OSI-Modell genauso wie Computernetzwerke.

### 3.3 Feldbussysteme

Die ersten Bussysteme fanden den Einzug in die Automatisierungstechnik mit dem Beginn der Dezentralisierungsmaßnahmen. Es entstanden primäre Feldbustechnologien vorangetrieben durch die einzelnen Hersteller von Automatisierungskomponenten. Die Hersteller verfolgten dabei meist unterschiedliche Technologien, wodurch eine Vielzahl an Feldbussystemen entstanden ist. Die unterschiedlichen Marktanteile der Hersteller sowie Funktionalitäten der Feldbusse verursachten, dass sich branchen- bzw. anwendungsspezifische Marktführer herauskristallisierten und andere Systeme vom Markt verdrängten. Dabei führt die regionale Marktführerschaft verteilt über den Globus zu einer Variation der Feldbustechnologien, Abb. 8 veranschaulicht die Marktanteile der einzelnen Feldbusse bezogen auf das Jahr 2019.

An die Datenübertragung von Bussystemen in der Automatisierungstechnik werden spezielle Anforderungen gestellt, welche sich erheblich von jenen im Office-Bereich unterscheiden. Bussysteme in diesem Anwendungsbereich müssen extrem widrigen Bedingungen standhalten und robust gegen Störungen aufgrund äußerer Einflüsse sein. Eine korrekte Datenübertragung bzw. das Erkennen von Übertragungsfehlern spielt eine große Rolle, da falsche Daten zu Zerstörungen des Produkts aber auch der Anlage durch einen Crash führen können. Ein weiterer Gesichtspunkt ist das Echtzeitverhalten des Systems. Daten müssen sicher innerhalb einer wiederkehrenden Zeitspanne aktualisiert sein und zur

---

<sup>24</sup> Vgl. Mindlands Solutions UG (Dat. ohne Angabe) Onlinequelle [07.05.2021].

<sup>25</sup> Vgl. Mindlands Solutions UG (Dat. ohne Angabe) Onlinequelle [07.05.2021].

<sup>26</sup> Vgl. Mindlands Solutions UG (Dat. ohne Angabe) Onlinequelle [07.05.2021].

<sup>27</sup> Vgl. Mindlands Solutions UG (Dat. ohne Angabe) Onlinequelle [07.05.2021].

Verarbeitung bereitstehen. Verzögerungen können bei Produktionsprozessen zu Bauteilschäden oder Anlagenschäden führen, auch eine Gefahr für Personen kann unter bestimmten Umständen entstehen.

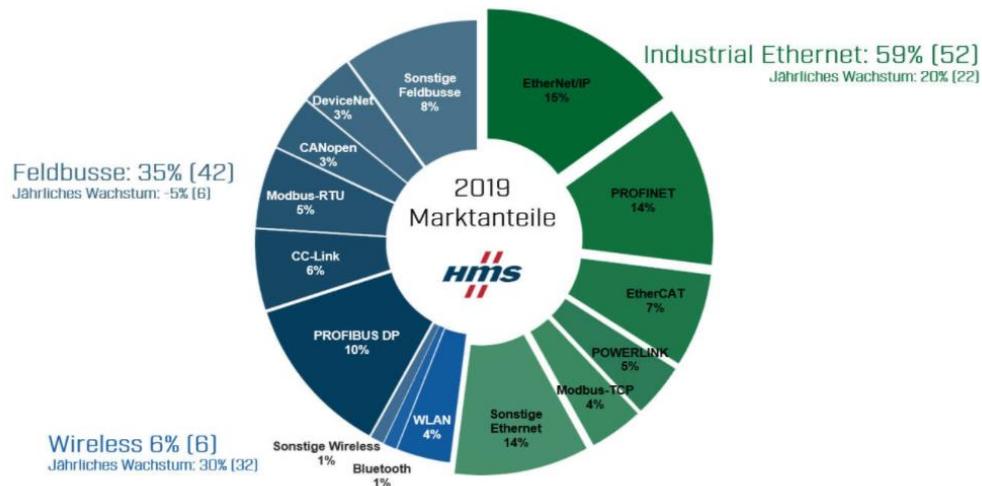


Abb. 8: Marktanteile für Feldbusse: Quelle: HMS Industrial Networks GmbH (2019), Onlinequelle [04.05.2021].

Im folgenden Abschnitt werden einige namhafte Feldbussysteme, Industrial Ethernet sowie Sensor/Aktor-Bussysteme für einen Einblick in die Materie vorgestellt. Aufgrund der technischen Merkmale sollen die Unterschiede und Verwendungszwecke im Gegensatz zu IO-Link dargestellt werden.

### 3.3.1 Feldbussysteme

**Profibus** wurde von einem Herstellerverbund in Deutschland entwickelt und war einer der ersten genormten Feldbusse gemäß DIN EN 61158. Durch die Ausprägungsvarianten von Profibus DP (Dezentrale Peripherie) für die Feldebene, Profibus PA (Prozess-Automation) für die Prozessautomation und Profibus FMS für die Vernetzung komplexer Anlagen, konnten mit diesem Bussystem mehrere Ebenen der Automatisierung untereinander kommunizieren.<sup>28</sup>

#### Technische Merkmale:

- verdrehte geschirmte Zweidrahtleitung (violetter Außenmantel)
- maximal 32 Teilnehmer mit Repeater bis zu 127
- maximale Buslänge von 100 m bei 12 Mbit/s, 200 m bei 500 kBit/s, 1200 m bei 93,75 kBit/s
- 9 poliger Sub-D oder M12 Stecker
- Aktiver Busabschluss an den Enden
- Master-Slave System
- Baut auf RS485 auf

<sup>28</sup> Vgl. Hering, Eckbert/ u. a. (2018), S. 492 ff.

**CAN-Bus** (Controller Area Network) ist als Bussystem für die Automobilindustrie zur Vernetzung von Teilnehmern im Auto entstanden. Durch eine Hammingdistanz von bis zu 6 kann eine erfolgreiche Datenübertragung auch bei Störungen garantiert werden. Eine schnelle Datenübertragung in Echtzeit wird durch das Multimastersystem und dem zerstörungsfreien Arbitrierungsverfahren CSMA/CA (Carrier sense multiple access/collision avoidance) erreicht.<sup>29</sup>

### Technische Merkmale:

- verdrehte geschirmte Zweidrahtleitung
- maximal  $2^{11}$  Teilnehmer im Standardformat
- maximale Buslänge von 34 m bei 1 MBit, über 1 km bei reduzierter Übertragungsrate
- 9 poliger Sub-D oder M12 Stecker
- Multi Master System mit gleichberechtigten Teilnehmern
- baut auf RS485 auf

**DeviceNet** wurde von Rockwell aufbauend auf den CAN-Bus entwickelt, wodurch sich die Verbreitung hauptsächlich im amerikanischen Raum vollzog. Aufbauend auf die CAN Kommunikation wurde die Arbitrierung CSMS/CA durch ein Zugriffsverfahren in einer höheren Protokollschicht ersetzt und auf ein Monomaster System geändert. Die Standardisierung erfolgt durch IEC 62026.<sup>30</sup>

### Technische Merkmale:

- 4 polige Leitung mit 2x2 verdrehten Aderleitungen mit unterschiedlichem Querschnitt
- Maximal 64 Teilnehmer inklusive Master
- Maximale Buslänge von 100 m bei 500 kBaud/s, 500 m bei 125 kBaud/s
- Master-Slave System
- Baut auf RS485 auf
- Hybridleitung für Kommunikation und Versorgung
- Busabschluss an den Enden

**CC-Link** (Control and Communications) hat sein Hauptverbreitungsgebiet im asiatischen Raum und wurde von der Firma Mitsubishi entwickelt. Im Netzwerk gibt es immer nur einen Master der dieses scannt. Die Kommunikation über den Bus erfolgt durch drei unterschiedliche Buszyklen: Startzyklus (initial cycle), Datenzyklus (refresh cycle) und Wiederanlaufzyklus (return cycle). Abhängig von der Phase findet eine unterschiedliche Buskommunikation statt, der Datenzyklus ist der normale Betriebsmodus.<sup>31</sup>

### Technische Merkmale:

- 3 polige geschirmte verdrehte Leitung
- Maximal 64 Teilnehmer inklusive Master
- Maximale Buslänge von 100 m bei 10 MBit/s, 160 m bei 5 MBit/s und 1200 m bei 156 kBit/s
- Master-Slave System
- 9 poliger Sub-D oder M12 Stecker
- Busabschluss an den Enden
- Baut auf RS485 auf

---

<sup>29</sup> Vgl. Hering, Eckbert/ u. a. (2018), S. 496 ff.

<sup>30</sup> Vgl. Hering, Eckbert/ u. a. (2018), S. 500 ff.

<sup>31</sup> Vgl. Hering, Eckbert/ u. a. (2018), S. 507 ff.

**Modbus** wurde von der Firma Gould-Modicon entwickelt, um eine Kommunikation zwischen einem Rechner und einer SPS herzustellen.<sup>32</sup> Jeder Teilnehmer im Netzwerk erhält eine eindeutige Adresse. Der Modbus arbeitet mit vier unterschiedlichen Adressbereichen für die Ablage der unterschiedlichen Datenformate, Datenrichtungen und Zugriffsrechte. Zur Konfiguration der Kommunikation müssen bei Master und Slave die Datentabellen mit den Adressbereichen übereinstimmend erstellt werden. Die Daten werden in diesen Datentabellen abgelegt.<sup>33</sup>

### Technische Merkmale:

- Maximal 32 Teilnehmer inkl. Master
- Maximal 1200 m bei 1200 Baud/s
- Master-Slave System
- Baut auf RS232 und RS485 auf
- Busabschluss an den Enden
- 9 poliger Sub-D Stecker

Die Feldbussysteme waren die ersten Vertreter der Vernetzung aufgrund der Dezentralisierung in der Automatisierungstechnik. Der Aufbau eines Feldsystems ist erst bei einer bestimmten Anlagengröße rentabel, da die höheren Kosten durch den Nutzen gedeckt werden müssen. Die Feldbusanbindung an Sensoren und Aktoren wurde aufgrund der Kosten für einen integrierten Feldbusknoten erst bei Großkomponenten herstellereitig realisiert. Einfache Sensoren mit Feldbusanbindung waren am Markt kaum etabliert. Ein weiterer Grund dafür war auch die Größe des Feldbusknotens, welcher erst im Gerätegehäuse untergebracht werden musste. Feldbusse waren und sind noch immer eine gute Lösung für die Vernetzung von Feldkomponenten und Anlagen, dennoch verlieren sie immer mehr Marktanteile. Durch die Anforderungen schnellerer Systeme für höhere Datenmengen zu schaffen, folgte die Entwicklung geeigneter Systeme auf Basis von Ethernet. Damit soll auch eine Vernetzung in höhere Ebenen der Automatisierungspyramide stattfinden.

### 3.3.2 Industrial Ethernet

Aufgrund der größer werdenden Vernetzung mit höheren Datenmengen in der Automatisierungstechnik wurden neue Kommunikationssysteme benötigt, welche diesen Anforderungen gerecht werden können. Die Entstehung von Ethernet basierenden Echtzeitbussystemen war nur eine Frage der Zeit. Die Standardisierung aller Ethernet Netzwerksysteme wird durch die IEEE 802.3 geregelt. Durch Datenrahmen von bis zu 12000 Bits können mehr Daten pro Sendevorgang übertragen werden. Dabei sind auch die Übertragungsgeschwindigkeiten von 100 MBit/s bis 1 GBit/s jenseits derer von Standard Feldbussen. Die Adressierung bei Industrial Ethernet wird über die IP-Adresse in Kombination mit der Subnetzmaske realisiert.<sup>34</sup>

---

<sup>32</sup> Vgl. Kunbus GmbH (Dat. ohne Angabe) Onlinequelle [07.05.2021].

<sup>33</sup> Vgl. Wachendorf Prozesstechnik GmbH & Co. KG (2014) Onlinequelle [07.05.2021].

<sup>34</sup> Vgl. Hering, Eckbert/ u. a. (2018), S. 508 ff.

**Profinet** wurde in der Entwicklung von Siemens vorangetrieben und ist der Nachfolger von Profibus. Es ist eines der am meisten verbreiteten Industrial Ethernet-Systeme und in der IEC 61158 genormt. Der Kommunikation liegt die TCP/IP Technologie mit einem aufgesetzten Softwareteil zur Echtzeitkommunikation zugrunde. Die Konfiguration und Projektierung erfolgt über eine Gerätesteuerdatei GSDML (Generic Station Description Markup Language).<sup>35</sup>

### Technische Merkmale:

- 4 polige geschirmte Leitung
- Nahezu unbegrenzte Anzahl an Teilnehmern durch Switch
- Maximal 100 m Leitungslänge
- RJ45 oder M12 Stecker
- Master-Slave System

**Powerlink** wurde in den Grundzügen von B&R Automation entwickelt und von der Ethernet Powerlink Standardization Group spezifiziert. Powerlink lässt sich auf herkömmlichen Ethernet Komponenten realisieren. Die Datenübertragung findet in zwei aufeinander folgenden Phasen statt, nach der zyklischen Phase mit den Echtzeitdaten folgt der azyklische Teil. Alle Powerlink Teilnehmer werden über das Netzwerk zeitlich für die Echtzeitübertragung (200 µs Zykluszeit) synchronisiert. Kollisionen am Netzwerk werden durch Controlled Nodes verhindert, jeder Teilnehmer darf nur in seiner Node Phase senden. In der asynchronen Phase können auch nicht Echtzeitdaten anderer Protokolle gesendet werden, dadurch sind Powerlink Netzwerke für alle anderen Protokolle offen. Darüber hinaus kann auch CanOpen am Netzwerk integriert werden.<sup>36</sup>

### Technische Merkmale:

- Master-Slave System
- RJ45 oder M12 Stecker
- Standard Ethernet Leitung

**Ethernet/IP** ist der Nachfolger von DeviceNet auf Basis von Ethernet und wurde großteils von Rockwell entwickelt. Das System arbeitet nicht nach dem Source-Destination-Modell wie Standard Ethernet sondern nach dem Producer-Consumer Modell. Dadurch können mehrere Teilnehmer dieselben Daten empfangen. Statt der Zieladresse wird eine Connection ID verwendet. IP steht im Zusammenhang mit Ethernet/IP für Industrial Protokoll.<sup>37</sup>

### Technische Merkmale:

- Master-Slave oder Peer-to-Peer-Netzwerk
- Übertragungsraten 10 MBit/s, 100 MBit/s oder 1 GBit/s
- RJ45 oder M12 Stecker
- 4 polige geschirmte Leitung

---

<sup>35</sup> Vgl. Hering, Eckbert/ u. a. (2018), S. 518 ff.

<sup>36</sup> Vgl. Kunbus GmbH (Dat. ohne Angabe) Onlinequelle [08.05.2021].

<sup>37</sup> Vgl. Hering, Eckbert/ u. a. (2018), S. 520 ff.

**Ethercat** wurde hauptsächlich von Beckhoff als Ethernet-basierendes Feldbussystem entwickelt und ist in IEC61158, IEC61784 und ISO 15745-4 genormt. Das Funktionsprinzip von Ethercat unterscheidet sich grundlegend von anderen Industriellen Ethernet Varianten. Bei Ethercat wird ein Telegramm über das Netzwerk gesendet, auf das alle Slaves zugreifen. Jeder Slave hat einen bestimmten adressierten Slot für Eingangs- und Ausgangsdaten. Die Entnahme und das Verpacken der Daten erfolgt im Nanosekundenbereich, weshalb mit Ethercat extrem schnelle Prozesse und High-End-Performances erreicht werden.<sup>38</sup>

### Technische Merkmale:

- Master-Slave System
- Übertragungsrate 200 MBit/s
- RJ45, M12 oder M8 Stecker

**ModbusTCP** ist der Nachfolger von Modbus RTU (Remote Terminal Unit) auf Basis von Ethernet TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol). Der Verbindungskanal wird über den reservierten Standard TCP-Port 502 hergestellt.<sup>39</sup> Dieses Bussystem wurde von Schneider Automation eingeführt und ist bei beinahe allen SPS-Herstellern on-Board integriert. Die Konfiguration mit Datentabellen ist dabei ähnlich ModbusRTU<sup>40</sup>.

### Technische Merkmale:

- Multi Master-Slave System<sup>41</sup>
- Übertragungsrate 100MBit/s

Industrial Ethernet Varianten sind derzeit die High-end-Lösung der Vernetzung in der Automatisierungstechnik. Die Vernetzung kann damit von der Feldebene bis nahezu in die Spitze der AUT-Pyramide realisiert werden. Bei den einfachen Sensoren bzw. Aktoren bestimmt das Problem der hohen Anbindungskosten die am Markt verfügbaren Geräte. Es sind hauptsächlich Großkomponenten wie z.B. Messsysteme, Bildverarbeitungssysteme oder Antriebssysteme, etc. verfügbar. Die Integration von Kommunikationssystemen in Kleinkomponenten wurde durch sogenannte Sensor/Aktor-Bussysteme geschaffen, da diese einfacher und kostengünstiger in den Geräten integriert werden können.

### 3.3.3 Sensor/Aktor-Bussysteme

Um eine Kommunikation bis zum Sensor oder Aktor in der untersten Ebene der Automatisierungstechnik zu realisieren, wurden Sensor/Aktor-Bussysteme entwickelt. Mit Hilfe dieser Bussysteme sollen die Daten der kleinsten Teilnehmer in der Automatisierungspyramide kommunikationstechnisch erfasst werden können.

---

<sup>38</sup> Vgl. HMS Industrial Networks GmbH (Dat. ohne Angabe), Onlinequelle [08.05.2021].

<sup>39</sup> Vgl. Kunbus GmbH (Dat. ohne Angabe) Onlinequelle [07.05.2021].

<sup>40</sup> Vgl. Kunbus GmbH (Dat. ohne Angabe) Onlinequelle [06.05.2021].

<sup>41</sup> Vgl. Wachendorff Prozesstechnik GmbH & Co. KG (2014) Onlinequelle [07.05.2021].

**ASi-Bus** (Aktor-Sensor Interface) wurde von namhaften Herstellern von Sensoren und Aktoren mit dem Hintergrund entwickelt, einen einfachen, schnellen und kostengünstigen Feldbus zu realisieren. Die Datenübertragung erfolgt durch eine zweipolige ungeschirmte Leitung, welche auch zur Versorgung der Slaves genutzt werden kann. Dazu wird die Versorgungsspannung von den üblichen 24 V auf 30 V angehoben und die Belastung pro Slave auf 100 mA limitiert. Alternativ werden Ausgänge und Aktoren über eine ergänzende zweipolige schwarze Profilleitung neben der gelben profilierten Datenleitung versorgt.<sup>42</sup> Für den Anschluss an Geräte werden meist Koppelmodule von Profilleitung auf M12 Verbindungsleitung benötigt.

### Technische Merkmale:

- Master-Slave System
- Zweipolige profilierte gelbe Datenleitung mit 1,5 mm<sup>2</sup>
- Anschluss der Teilnehmer mittels Durchdringtechnik ohne Stecker
- Maximale Leitungslänge 100 m mit Repeater bis zu 300 m
- Maximale Übertragungsrate 150 kBit/s

**Lin-Bus** (Local Interconnect Network) ist eine Entwicklung der Automobilindustrie zur Steuerung von Kleinkomponenten im Automobil. Lin ist ein Eindrahtbus mit einem Master und mehreren Slaves, die auch untereinander kommunizieren können. Der Buszugriff erfolgt nach im zeitgesteuerten Ablauf mit Scheduling-Tabellen. Verwendet wird dieses Bussystem meist als Untersystem zu einem CAN-Bus, wobei der Master die Schnittstelle bildet. Die Spezifizierung erfolgt unter ISO14765-2.<sup>43</sup>

### Technische Merkmale:

- Single Master System
- Maximale Übertragungsrate 20 kBit/s
- Eindrahtbussystem über Kupferleitung
- Maximal 10 Teilnehmer

**SPE** (Single Pair Ethernet) soll die Kommunikation vom ERP-System der Pyramide bis zum Sensor oder Aktor in der untersten Ebene durchführen, auch eine Anbindung an die Cloud für Industrie 4.0 soll mit Echtzeit möglich sein. Es ist eine Ethernet Kommunikation über ein Adernpaar, das zusätzlich die Versorgung der Teilnehmer liefern kann. Das Industrial Internet of Things soll so für den Sensor erreichbar werden.<sup>44</sup>

### Technische Merkmale:

- Zweipolige Twisted Pair Leitung
- Stecker passend für M8 u. M12 Gehäuse
- Maximale Übertragungsrate 20 GBit/s
- Maximale Leitungslänge 40 m

---

<sup>42</sup> Vgl. Hering, Eckbert/ u. a. (2018), S. 502 ff.

<sup>43</sup> Vgl. Kunbus GmbH (Dat. ohne Angabe), Onlinequelle [09.05.2021].

<sup>44</sup> SPE Industrial Partner Network e.V. (Dat. ohne Angabe) Onlinequelle [08.05.2021].

**IO-Link** wurde erstmals 2006 öffentlichkeitswirksam präsentiert und ist inzwischen mit der IEC 61131-9 genormt. Die Kommunikation funktioniert über eine Peer-To-Peer Verbindung des Sensors oder Aktors mit dem IO-Link Master. Der Master ist entweder ein Feldebusteilnehmer im übergeordneten Feldbus oder eine SPS Schnittstellenkarte. Durch den intelligenten Teilnehmer mit inkludierter Schnittstelle können Prozessdaten, Diagnosedaten und Konfigurationsdaten ausgetauscht werden. Die Konfiguration erfolgt ähnlich zu Profinet oder Profibus mit Gerätedateien im speziellen mit IODD (IO-Link Device Description).<sup>45</sup> IO-Link bietet damit das Fundament für die Umsetzung von Industrie 4.0.<sup>46</sup>

### **Technische Merkmale:**<sup>47</sup>

- Stecker M12, M8, M5
- Übertragungsraten 4,8 kBaud, 38,4 kBaud und 230 kBaud
- Standard Sensor- bzw. Aktorkabel mind. 3-polig
- Maximale Kabellänge 20 m

Die verschiedenen Vertreter der Sensor/Aktor-Bussysteme sind in ihren Topologien und Protokollen sehr unterschiedlich, auch bezugnehmend auf die Verbreitung in der Automatisierungstechnik. Das Lin-System wurde für den Einsatz im Automobil entwickelt und ist größtenteils auch dort in Verwendung geblieben. Berührungspunkte mit dem Sondermaschinenbau gab es rückblickend nur bei der Kommunikation mit den auf der Anlage produzierten Bauteilen.

Mit Referenz zum ASi-Bus gibt es auch kaum industrielle Komponenten für die Automatisierungstechnik. ASi hat sich hauptsächlich in der Logistik und Verpackungsindustrie etabliert, im Sondermaschinenbau gab es in der Vergangenheit nur vereinzelt Anwendungen dieses Systems. Zudem benötigt man neben dem gelben Profilkabel meist ein Adaptermodule für M12 Leitungen zum Anschluss von Sensoren und Aktoren mit ASi-Bus Schnittstelle.

IO-Link war bereits vor Industrie 4.0 in aller Munde und hat mit dem Thema Industrie 4.0 und Internet of Things eine extreme Nachfrage entwickelt. Nahezu jeder namhafte Hersteller bietet Sensoren oder Aktoren mit dieser Schnittstelle an. Darüber hinaus werden diese Komponenten immer intelligenter und mit zahlreichen Zusatzfunktionen ausgestattet. Sidesysteme zur Nutzung der Daten entwickeln sich immer weiter, weshalb die Abhandlung dieser Arbeit sich auf dieses Thema fokussiert. SPE wurde erst in den letzten Jahren ins Leben gerufen und steckt noch in den Kinderschuhen, da noch kaum Komponenten mit dieser Schnittstelle erwerbbar sind. Zusätzlich gibt es auch bereits Konzeptstudien für die Integration bzw. Erweiterung von IO-Link in Richtung SPE<sup>48</sup> und umgekehrt.

---

<sup>45</sup> Vgl. Hering, Eckbert/ u. a. (2018), S. 523 ff.

<sup>46</sup> Vgl. Uffermann/Wienzek,/Jahn (2020a), S. 3.

<sup>47</sup> Vgl. Uffermann/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 9.

<sup>48</sup> Vgl. Gringauz, Dmitry/ u. a. (2020), S. 1.

## 4 IO-LINK

IO-Link ist eine Schnittstelle zur Kommunikation mit intelligenten Geräten der Sensor/Aktor-Ebene in Automatisierungssystemen. IO-Link differenziert sich dabei von anderen Bussystemen der Sensor/Aktor-Ebene in der technischen Anwendung und Spezifikation. Ein detailliertes Hintergrundwissen bietet Vorteile in der Planung, Anwendung und Inbetriebnahme dieses Systems. Durch die sich bietenden Möglichkeiten soll es ein Ansatz zur Umsetzung von Industrie 4.0 sein.

### 4.1 Was ist IO-Link

Der Anstoß zu IO-Link wurde 2005 durch eine herstellerübergreifende Arbeitsgruppe der Profibus Nutzerorganisation vorgenommen. Der anfängliche Gedanke intelligente Sensoren und Aktoren an eine SPS anzuschließen und eine einheitliche Sensorparametrierschnittstelle zu entwickeln wurde erweitert, um eine Kommunikation auf Basis einer 24V Schnittstelle zu realisieren. Durch die Integration von Herstellern unterschiedlicher Automatisierungskomponenten ist es im Gegensatz zu den Feldbussen gelungen einen weltweiten Standard zu generieren. Durch den Ansatz bestehende Strukturen für die Integration von IO-Link zu nutzen und somit die Option der Nachrüstung<sup>49</sup> zu garantieren wurden die Schnittstellenkommunikation über ein Standard Sensorkabel realisiert. Die Punkt-zu-Punkt Verbindung über die bewährte 3-Leiter Physik durchbricht durch die bidirektionale Kommunikation in die unterste Ebene am Feld.<sup>50</sup>

### 4.2 Normung und Organisation

Der Markenname IO-Link steht für Input (Eingang), Output (Ausgang) und Link (Schnittstelle) und ist vielen im Milieu der Automatisierungstechnik bereits ein Begriff. Damit einher verbunden ist auch das geschützte Logo in Form eines Kreises mit den beiden entgegengesetzten Pfeilen in Abb. 9. Die Pfeile signalisieren die bidirektionale Übertragung und damit die Kommunikationsmöglichkeit des Geräts mit aufgedrucktem Logo.<sup>51</sup>

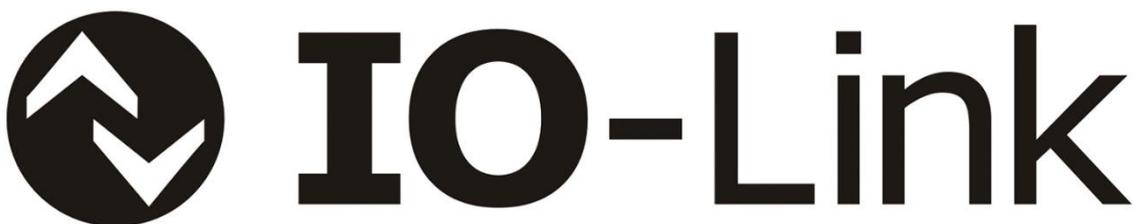


Abb. 9: IO-Link Symbol und Schriftzug, Quelle: Rockwell Automation, Inc.(2022), Onlinequelle [08.06.2022].

---

<sup>49</sup> Vgl. Uffermann/Wienzek,/Jahn (2020a), S. 1, 23 ff.

<sup>50</sup> Vgl. Uffermann/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 1.

<sup>51</sup> Vgl. Uffermann/Wienzek,/Jahn (2020a), S. 24.

Inhaber des Markennamens ist die IO-Link-Community, welche die Weiterentwicklung vorantreibt. Sie gehört der Profibus Nutzerorganisation an, wird aber als eigenständiger und unabhängiger Teil der Organisation betrachtet. Ein Beitritt zur Nutzerorganisation ist durch ein schriftliches Ansuchen unter der Voraussetzung der Anerkennung der Communityregeln möglich. Als Mitglied besteht voller Zugriff auf alle Entwicklungen, Spezifikationen sowie Mitgestaltung und Mitarbeit bei zukünftigen Neuerungen.<sup>52</sup> Die aktuelle Version 1.1.3 der Spezifikation wurde ab Juni 2019 veröffentlicht.<sup>53</sup>

Zum weltweiten Standard wurde IO-Link durch die Standardisierung in der internationalen Norm IEC 61131-9, ist jedoch nicht unter dieser Bezeichnung darin auffindbar. Aufgrund des geschützten Markennamens, welcher in einer Norm nicht verwendet werden darf, wurde IO-Link unter der Bezeichnung SDCI (single-drop digital communication interface) genormt.<sup>54</sup>

### 4.3 Systemaufbau

IO-Link bietet dem Anwender der Technologie mehrere Möglichkeiten zum Aufbau eines Kommunikationssystems mit Sensoren und Aktoren oder Hybridgeräten an. Abhängig von der Systemaufbauvariante können durch die Vernetzung unterschiedliche Vorteile generiert werden. Allen Topologievarianten liegen spezielle Regeln zugrunde, Abb. 10 zeigt die unterschiedlichen Möglichkeiten der Einbindung von IO-Link Komponenten in das Steuerungssystem einer Anlage.

Jeder IO-Link Teilnehmer im System benötigt für die Umsetzung einer Kommunikation einen IO-Link-Masterport. IO-Link bezeichnet sich daher nicht als Bussystem, sondern als Punkt-zu-Punkt Verbindung. Durch diese direkte Verbindung mit dem Master entsteht keine Anforderung an eine Adressierung des Slaves, darüber hinaus wird auch eine Kollision der Datenübertragung zwischen zwei gleichzeitig sendenden Teilnehmern ausgeschlossen. Jeder IO-Link Master kann zur Integration von einfachen Sensoren oder Aktoren mit einer Ansteuerung über normale Ein- bzw. Ausgänge genutzt werden.<sup>55</sup> Eine weitere Möglichkeit zur rückwärtskompatiblen Integration von Geräten über Standard Ein- bzw. Ausgänge kann über spezielle IO-Link Module realisiert werden. Die Einbindung von Sensoren mit einem analogen Ausgangssignal sowie von Aktoren mit analogem Eingangssignal kann nicht direkt über ein Masterport erfolgen. Eine Lösung dafür bieten spezielle IO-Link Module für einen oder mehrere analoge Ein- oder Ausgänge.<sup>56</sup>

---

<sup>52</sup> Vgl. Profibus Nutzerorganisation e.V. (Dat. ohne Angabe), Onlinequelle [10.05.2021].

<sup>53</sup> Vgl. IO-Link Community (2019), Onlinequelle [30.04.2021].

<sup>54</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 1.

<sup>55</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek,/Jahn (2020a), S. 27 ff.

<sup>56</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek,/Jahn (2020a), S. 169 ff.

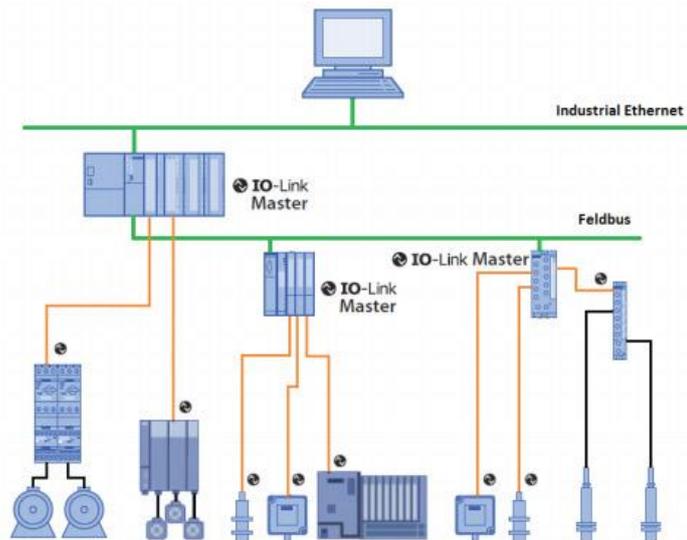


Abb. 10: Topologievarianten IO-Link, Quelle: Professional Control Corporation (2020), Onlinequelle [10.05.2021].

### 4.3.1 Zentrale Integration über SPS

Die ersten Integrationsvariante von IO-Link Teilnehmern war die Direktverbindungen zu einem SPS-IO-Link Master. Dieser ist als Schnittstellenkarte für die IO-Baugruppe nahezu aller SPS Steuerungshersteller verfügbar. Die Masterports kommunizieren direkt über den Rückwandbus der SPS mit der CPU der Steuerung und waren die erste Lösung zur Topologie eines IO-Link Systemaufbaus.

### 4.3.2 Dezentrale Integration durch Feldbusmaster oder Industrial Ethernet Master

Eine weitere Variante der Integration von IO-Link Devices wurde durch die präventive Vorbereitung auf den Einsatz einer Vielzahl an IO-Link-fähigen Teilnehmern in einer Anlage entwickelt. Ein weiterer Grund war die Vorbereitung von IO-Link für dezentralisierte Systeme ähnlich jener mit Topologie mit Feldbussystemen. Bei dieser Topologielösung ist IO-Link keine Ersatzlösung für den Feldbus, sondern baut auf diesen durch Feldbus-Master auf. Feldbus-Ein-/Ausgangshubs wurden durch die Erweiterung der Ports durch die IO-Link Schnittstelle zu IO-Link Feldbusmaster. Der Trend in der Automatisierungstechnik zu Industrial Ethernet als Ersatz für den Feldbus erhielt auch Einzug in die Welt der IO-Link-Master. Durch die Entwicklung von Industrial Ethernet für die Feldbusebenen ergeben sich auch für IO-Link neue Möglichkeiten durch die Konnektivität in höhere Ebenen der Automatisierungspyramide.

### 4.3.3 IO-Link als Verkabelungssystem

Mit der Verwendung von IO-Link Sensor/Aktor-Hubs erfolgt der Sprung von der Ebene der IO-Link-Master zu den IO-Link Teilnehmern. Diese IO-Link fähigen Sensorhubs waren der Schlüssel zur Integration von IO-Link in das Automatisierungssystem von Anlagen. Die ersten Versionen waren reine Eingangsausführungen für binäre Sensoren mit Schaltsignalausgang, im nächsten Schritt erschienen Ausgangsvarianten bis zur Entwicklung der heutigen konfigurierbaren Sensor/Aktor-Hubs mit der Möglichkeit zur Erweiterung zur effizienteren Nutzung eines Masterports. Daneben gibt es diese Module auch für analoge Sensoren, unabhängig von Spannungs-, Stromsignal oder Sonderfunktionen konfigurierbar. Die Verdrahtung von Sensoren in der Anlage wurde durch die Nutzung von IO-Link als

Verdrahtungssystem von der Tätigkeit eines Elektrikers zu jener eines Monteurs. Diese Art der Verdrahtung wurde durch IO-Link nicht revolutioniert, da ähnliche Versionen dieser Hubs auch als Feldbusknoten bereits verfügbar waren. Der Vorteil durch IO-Link war jener eines weltweiten Standards und der Feldbusunabhängigkeit durch die preiswertere Möglichkeit der Realisierung solcher dezentraler Systeme.<sup>57</sup>

## 4.4 IO-Link Master

**SPS-IO-Link-Master** waren aufgrund des Grundgedankens eine Kommunikation zwischen SPS und intelligenten Sensoren zu schaffen die ersten Varianten für am Markt erhältlichen IO-Link Master. Diese Module werden über den Rückwandbus der SPS mit der CPU dieser verbunden. Die meisten in die SPS integrierbaren Module verfügen über vier Masterports pro Modul.<sup>58</sup> Der Anschluss der IO-Devices erfolgte über Klemmenkontakte mit jeweils drei Klemmen pro Kanal. Dabei werden über zwei Adern die Spannungsversorgung mit 24V und 0V ausgeführt und die eigentliche Kommunikationsleitung C/Q<sup>59</sup>. Eine zusätzliche Spannungsversorgung für das Device ähnlich einem Port A oder Port B Anschluss (siehe 4.6.2.1) muss bei dieser Art extern über Klemmen im Schaltschrank realisiert werden. Lautend der Spezifikation für Masterports ist neben der IO-Link Kommunikation der Anschluss C/Q als Ein- oder Ausgang konfigurier- und beschaltbar. Die Konfiguration zur Inbetriebnahme der IO-Link Teilnehmer selbst erfolgt über Assistenzmodule in der Projektierungssoftware des SPS-Herstellers bzw. während dem Betrieb mittels Funktionsblöcken über die azyklischen Daten.

**Feldbus-/Industrial Ethernet-IO-Link-Master** für Feldanwendung waren der nächste Schritte in der Entwicklung von IO-Link Mastern. Bei größeren Anlagen mit einer Vielzahl an Aktoren und Sensoren ist es üblich einen Feldbus zur Dezentralisierung hierarchisch unter der SPS einzufügen. Über den Feldbus werden alle Geräte der Anlage in die Steuerung eingebunden, spezielle Feldbusknotenmodule bilden dabei die Schnittstelle zu binären bzw. analogen Sensoren oder Aktoren sowie Großkomponenten mit integrierten Feldbusknoten. Die Entwicklung von Feldbus-IO-Link Mastern war nur eine Frage der Zeit. Mittlerweile sind IO-Link Master für nahezu alle Feldbusschnittstellen für die Verkabelung im Feld mit IP67 am Markt verfügbar. Mit der Einführung von Industrial Ethernet wurden in den Mastermodulen einfach die Feldbusschnittstellen ausgewechselt und für diese Art der Kommunikation marktreif gemacht. IO-Link Master auf Basis von Feldbussen oder Industrial Ethernet müssen sich an die lautende Spezifikation von IO-Link halten und die Einbindung von Standard Ein- und Ausgängen durch Konfiguration ermöglichen. Diese Module besitzen meist 4, 8 oder 16 Ports mit einer M12-Steckverbindung für ein konventionelles Sensorkabel und verfügen je nach Kaufentscheidung über Port A oder Port B Anschlüsse (siehe 4.6.2.1) bzw. eine Kombination aus beiden.<sup>60</sup> Die Projektierung eines IO-Link Devices mit Parametrierung erfolgt wiederum über den IO-Link Master mittels Assistenzmodule im Feldbusmodul der SPS

---

<sup>57</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020a), S. 171.

<sup>58</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020a), S. 40.

<sup>59</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 1.

<sup>60</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020a), S. 161.

Projektierungssoftware oder im Betrieb über den Austausch von azyklischen Daten. Bei Industrial Ethernet besteht auch die Möglichkeit der Konfiguration über die Webserveranwendung am Master selbst.

**IO-Link Schaltschrankmaster mit Feldbus- oder Industrial Ethernet Knoten** sind eine IP20 Variante der oben genannten IO-Link Master im Feld. Aufgrund der einfachen Möglichkeit der externen Versorgung von IO-Link Teilnehmern über Klemmen im Schaltschrank ist der Großteil der Schaltschrankmaster mit Masterportvariante A verfügbar. Der Anschluss der IO-Link Slaves erfolgt über geeignete Klemmen am Master. Die Konfigurations- und Parametrierungsmöglichkeiten sind jenen für die Feldverkabelung ähnlich.

**USB IO-Link Master** sind eine spezielle Form von IO-Link Mastern. Sie wurden zur direkten Anbindung von IO-Link Devices unabhängig ob Sensor, Aktor oder Hybridgeräten an einen PC entwickelt. Damit können vor allem Parametrierungen der Geräte vor dem Einbau in die Anlage vorgenommen werden. Durch diese Konfiguration im Vorfeld der Montage der Anlage kann die Inbetriebnahmephase am Ende des Anlagenherstellungsprozess verringert werden. Daneben ermöglicht dieser Master auch den Einsatz von IO-Link Teilnehmern für Testzwecke oder zur Diagnose beim Serviceeinsatz im Falle einer Anlagenstörung.

## 4.5 IO-Link Device

Neben den beschriebenen IO-Link Teilnehmern in Form von Sensoren, Aktoren oder Hybridgeräten, Aktoren mit integrierter Sensorik, gibt es noch weitere Formen von IO-Link Devices. Der Blickwinkel fällt dabei auf IO-Link Module für die Vernetzung und Einbindung von Geräten der Sensor/Aktor-Ebene in der Automatisierungstechnik. Diese Module bieten teilweise Vorteile bei der Verkabelung, Digitalisierung von Sensorsignalen oder bei der Parametrierung von Geräten.

**IO-Link Sensor-/Aktorhubs** ermöglichen eine einfache Feldverkabelung von binär schaltenden Sensoren oder von Aktoren über digitale Ausgänge sowie die Einbindung von Hybridgeräten auf Basis von digitalen Ein- und Ausgängen. Dabei gibt es unterschiedliche Module für nur Eingänge, nur Ausgänge oder konfigurierbaren Ports für Ein- und Ausgänge. Neben den Schaltsignalen liefern die Teilnehmer auch Diagnosedaten wie Kurzschlussmeldungen, Kabelbruch, Überstrom, Spannungsabfall etc. abhängig von der Intelligenz des Moduls. Verfügbare Modulgrößen von 4, 8, 16 oder mit Erweiterung von 32 digitalen Ein- oder Ausgängen können über einen Masterport in das System integriert werden.

**IO-Link Device für Multipolstecker** wurden speziell entwickelt um rückwärtskompatibel Ventilinseln und anderen Geräte mit standardisierten Multipolsteckern über IO-Link in das Automatisierungssystem zu integrieren. Diese Teilnehmer verfügen über Aus- und/oder Eingänge, welche auf den Multipolstecker geschaltet sind und können teilweise auch konfiguriert werden. Diagnosefunktionen zur Ermittlung von Kurzschlüssen, Kabelbruch und Spannungsabweichungen können abgefragt werden. Weiters können Ausgangsparameter für den Fall eines Kommunikationsausfalls mit Defaultwerten eingestellt werden.

**Universelle IO-Link Schnittstellen** sind Zwischenstecker mit integrierter IO-Link Schnittstelle und einem Multipolkabel für 24 V Schaltsignale für Ausgänge sowie Eingänge. Die Beschaltung der Multipoladern kann durch Parametrierung zwischen Ein- oder Ausgang geändert werden. Die bewährten

Diagnosefunktionen wie Kurzschluss, Spannungsabweichung, Kabelbruch oder Überstrom sind abhängig vom Device verfügbar.

**Analoge IO-Link Feldmodule** dienen zur Einbindung von Analogen Sensoren oder Aktoren mit analoger Sollwertvorgabe in das IO-Link System. Sie ähneln im Aussehen den Sensor-/Aktorhubs. Analoge Schnittstellen können nicht wie digitale Ein- oder Ausgänge auf ein Masterport angeschlossen werden. Analogmodule sind in unterschiedlichen Ausführungen für Strom und/oder Spannungssignale erhältlich. Anhängig von ausgewählten Device stehen 1, 4 oder bis zu 8 Analogschnittstellen zur Verfügung, teils auch für spezielle Analogsensoren wie Thermoelemente, Pt100 / Pt1000 oder DMS Sensoren mit hinterlegten Auswerteparameterlisten parametrierbar.<sup>61</sup>

**Inline Parametriergeräte** können dazu verwendet werden, ein in der Anlage verbautes IO-Link Device ohne Masterportanschluss zu parametrieren. Die Steuerung des IO-Link Teilnehmers erfolgt über Ein-/Ausgänge, die Parametrierung über das Parametriergerät.<sup>62</sup> Diese Parametriergeräte werden in die Sensorleitung gehängt und können durch eine zusätzliche Schnittstelle wie z. B. Bluetooth mit dem PC oder Handy verbunden werden. Vor allem bei Serviceeinsätzen und Störungsbehebung können diese Geräte ihre Vorteile ausspielen.

## 4.6 Übertragungsmedium

Die IO-Link Kommunikation benutzt als Übertragungsmedium eine dreipolige Kupferleitung. Die Anforderungen daran sind sehr gering und decken sich mit jenen eines Standard-Sensorkabels genormt in IEC 61131-2. Dadurch ist auch die Grundvoraussetzung der Rückwärtskompatibilität zur klassisch schaltenden Signalwelt gegeben. Durch den Spannungshub von 24 V auf der Datenleitung spielen Störeinflüsse nur eine geringe Rolle, wodurch die Verwendung ungeschirmter Kabel ausreicht. Lediglich die Anforderung eines minimalen Aderquerschnitts von 0,34 mm<sup>2</sup> mit einer Maximallänge von 20 m müssen zur Begrenzung des Leitungswiderstandes  $R_L$  auf 6  $\Omega$  eingehalten werden. Die Leitungskapazität darf dabei maximal 3 nF bei einer Frequenz unter 1 MHz betragen. Ansonsten könnten die Umladungszeiten der Leitung bei einer Kommunikation für die unterschiedlichen Übertragungsraten die Signalerkennung von High- und Lowpegel durch Verschleifen des Rechtecksignals stören.<sup>63</sup>

Die dreipolige Anschlussleitung dient zu Übertragung der Spannungsversorgung für den IO-Link Teilnehmer über Pin1 24 V(L+) und Pin 3 0 V(L-). Auf der 3. Ader wird – angeschlossen an Pin 4 des M12 Steckers – das Datensignal von IO-Link Teilnehmern oder das Schaltsignal von binären Aktoren oder Sensoren über die C/Q Leitung übertragen.<sup>64</sup>

Abhängig von der Auswahl des Masters stellen diese noch weitere Signale pro Masterport für die Teilnehmer zur Verfügung. Die dreipolige Anschlussleitung überträgt die Minimalanzahl an Signalen,

---

<sup>61</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020a), S. 154.

<sup>62</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020a), S. 40.

<sup>63</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 6 ff, 288.

<sup>64</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 7 ff.

welche ein IO-Link Teilnehmer für die Kommunikation benötigt. Nutzt man weitere Signale vom Masterport, muss auch die Anschlussleitung dafür ausgewählt sein.

### 4.6.1 Physikalische Schnittstellendaten

Zusammenfassung der wichtigsten Eckdaten von IO-Link/SDCI:<sup>65</sup>

- maximale Kabellänge zwischen IO-Link-Master und IO-Link-Device: 20 m
- Medium: Standard-Sensorleitung, ungeschirmtes 3-, 4-, alternativ 5-adriges Kabel (für Port B)
- minimaler Aderquerschnitt: 0,34 mm<sup>2</sup>
- Schleifenwiderstand: 6 Ω
- Linienkapazität: 3 nF bei < 1 MHz
- Anschlusstechnik: M12, M8, M5, Klemmen
- Pin 4 ist die C/Q-Leitung (Kommunikationsleitung)
- bei Klemmen ist in der Regel die schwarze Litze die C/Q-Leitung
- Übertragungsphysik: 24 V-Pulsmodulation
- Digitaler-Output-Strom des IO-Link Masters: typisch 200 mA, dieser kommt oft aus der Versorgung Us→Datenblattangaben des IO-Link Gateway/Masterherstellers beachten
- Stromversorgung des IO-Link-Devices: minimal 200 mA→Datenblattangaben des IO-Link Gateway/Masterhersteller beachten
- Stromsenke im Digital Input Betrieb nach IEC 61131-2 Type 2

### 4.6.2 Masterportvarianten

#### 4.6.2.1 Masterportvariante Port A

Die Masterportvariante Port A ist die grundsätzliche IO-Link Schnittstellenausführung. Zur Kommunikation werden L+ (Pin1), L- (Pin3) für die Spannungsversorgung und C/Q (Pin4) als Datenleitung für die IO-Link-Kommunikation benötigt. Diese Masterportschnittstelle gibt es als Klemmen oder als M5, M8, M12 Buchse. Pin4 (C/Q) kann dabei entweder zur Datenübertragung oder als digitaler Ein- oder Ausgang verwendet werden. Dies ermöglicht wiederum die Rückwärtskompatibilität zur digitalen Signalwelt. Abhängig vom Hersteller ist die Beschaltung von Pin2 als Ein- oder Ausgang sowie bei speziellen Mastern als Analogeingang konfigurierbar. Diese Eigenschaft deckt sich noch mit jener von Feldbusknoten zur Verkabelung von binären Sensoren oder Aktoren. Pin5 ist laut Spezifizierung bei der M12-Buchse nicht belegt.<sup>66</sup>

#### 4.6.2.2 Masterportvariante Port B

Die Masterportausführung Port B wurde speziell für den Anschluss von Aktoren entwickelt und verfügt über eine zusätzliche Spannungsversorgung für den Betrieb der Aktoren. In der Ausführung gibt es diese nur als M12 Buchse auf Feldbus IO-Link-Master. Die Belegung von Pin1, Pin3 und Pin4 sind identisch mit jener vom Port A. Der Unterschied liegt in der Belegung von Pin2 (U+) und Pin5 (U-). Aktoren brauchen oftmals für den Betrieb eine zusätzliche Spannungsversorgung als Energiequelle für die zu verrichtende Arbeit oder zum Schalten von Ausgängen. Zusätzlich kann durch Abschalten dieser Spannungsversorgung auch eine sicherheitstechnische Abschaltung der Aktoren realisiert werden. Dadurch kann der Busknoten durch

---

<sup>65</sup> Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 9.

<sup>66</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 7 ff.

die Schnittstellenversorgung auf Pin1 und Pin3 aufrechterhalten werden und eine Kommunikation weiterhin trotz sicherheitstechnischer Abschaltung stattfinden.<sup>67</sup>

Die Auswahl des Masters sollte aufgrund der Anforderungen des IO-Link Slaves getroffen werden. An einem Masterport A sollte ein Port Class A-IO-Link-Device angeschlossen sein. Diese Regelung gilt auch für Masterport B. Da IO-Link Teilnehmer einer Anlage meist unterschiedliche Portvarianten benötigen gibt es Master mit einer Kombination von beiden Portvarianten. Eine nicht reinrassige Kombination kann durch Tricks in der Verkabelung bzw. durch Adapterstecker gelöst werden. Vor dem Herstellen der physikalischen Verbindung zwischen Master und Slave sind die Datenblätter bezüglich der Parametrierung zu kontrollieren.

### 4.6.2.3 Kombination unterschiedlicher Porttypen

**Class A-Device mit Masterport B:** Erfolgt eine Verbindung nicht korrespondierender Systeme durch die Kombination eines Class A-IO-Link-Device kann die Spannungsversorgung auf Pin2 des Masters bei einem Port Class A Gerät zur Zerstörung des IO-Link Teilnehmers führen. Bei einem Class A-Device wird der Pin 2 für unterschiedliche Zwecke wie z.B. Teacheingang, Diagnoseeingang, zusätzliches Schaltsignal, Parameterumschaltung oder Aktorversorgung verwendet. Eine Bestromung der Ader kann zu Fehlfunktionen aber auch zur Zerstörung eines Bauteils der Verbindung führen.<sup>68</sup>

Abhilfe kann durch eine Verkabelung mit drei Adern geschaffen werden. Ist seitens des Teilnehmers ein weiterer Ausgang oder Eingang notwendig, kann durch einen Adapterstecker der Teilnehmeranschluss aufgeteilt werden. Für diesen Fall kann man einen weiteren Mastereingang mit der Eingangs- oder Ausgangsfunktion parametrieren oder einen Sensor-/Aktorhub verwenden.

**Class B-Device mit Masterport A:** Im entgegengesetzten Fall tritt eine ähnliche Problematik auf. Dem Teilnehmer fehlt eine entsprechende Spannungsversorgung für den Betrieb. Es wird lediglich die Kommunikationsschnittstelle versorgt. Problematisch kann eine Überlastung des Masters sein, wenn der Teilnehmer über den Pin2 einen entsprechend hohen Strom zu ziehen versucht, Fehlfunktionen oder Zerstörung können mögliche Folgen sein. Auch für diesen Fall kann ein entsprechender Adapter im Verbindungskabel einen Anschluss für eine externe Spannungsversorgung für den Aktor im Verbindungskabel ermöglichen, siehe dazu **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..** Die Voraussetzung für eine Schadensprävention ist ein dreipoliger Anschlussstecker zum Masterport ausgeführt im Adapter.<sup>69</sup>

---

<sup>67</sup> Vgl. Uffermann/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 8 ff.

<sup>68</sup> Vgl. Uffermann/Wienzek,/Jahn (2020a), S. 35, 178.

<sup>69</sup> Vgl. Uffermann/Wienzek,/Jahn (2020a), S. 178.

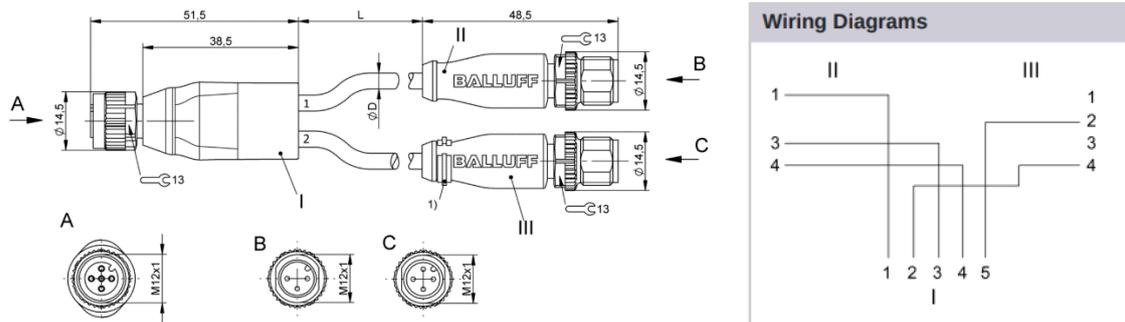


Abb. 11: Adapter BCC0HC5 für externe Spannungsversorgung bei Class A Port mit Class B Device, Quelle: Balluff GmbH (2022), Onlinequelle [20.02.2022].

### 4.6.3 Wireless IO-Link

Neben dem physikalischen Übertragungsmedium in Form eines Sensorkabels ist die Datenübertragung kabellos möglich. Dazu gibt es bereits einige Entwicklungen am Markt, die sowohl die Master aber auch die IO-Link Teilnehmer betreffen. Ein weiterer Ansatz von Wireless-IO-Link ist durch Bridgemodule im Übertragungsmedium möglich. Derzeit sind Funkstrecken von bis zu 20m möglich<sup>70</sup>. Eine weitere Möglichkeit sind induktive Koppler zur Auftrennung des Übertragungsmediums über einige Millimeter bis Zentimeter.

## 4.7 Datenübertragungsraten

Laut Spezifikation ermöglicht IO-Link die Kommunikation auf der C/Q-Leitung mit drei unterschiedlichen Datenübertragungsraten. Die Hersteller von IO-Link Mastern verpflichten sich die Ausführung der Masterports zur Beherrschung aller drei spezifizierten Datenraten zu gestalten. Den IO-Link-Device-Herstellern steht die Wahl frei die Devices für eine der drei möglichen Übertragungsraten zu bauen. Die Auswahl der Datenübertragungsrate des Devices erfolgt dabei passend zur Applikation mit dem Hintergrund der zu übertragenden Datenmengen und der Zykluszeit. Teilweise ist es auch möglich die Datenübertragungsraten des IO-Link Devices über die Konfiguration zu ändern, wodurch das Device physikalisch für mehrere Datenraten gebaut ist.<sup>71</sup>

Die unterschiedlichen Datenraten stellen auch unterschiedliche Anforderungen an den Aufbau der IO-Link-Device-Interfaces dar. Die geringste Datenrate Com1 mit 4,8 kBit/s benötigt zur Kommunikation nur eine P-schaltende Ausgangsstufe<sup>72</sup>. Bei den höheren Datenraten ist es notwendig die Leitung aktiv auf 0 V zu ziehen, siehe 4.8.1.

<sup>70</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek,/Jahn (2020a), S. 204.

<sup>71</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 10 f.

<sup>72</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 10.

	COM1	COM2	COM3
Baudrate	4,8kBit/s	38,4 kBit/s	230,4 kBit/s
Typische Zykluszeit <sup>1)</sup>	10 ms	2,3 ms	0,4 ms
Bit Zeit TBIT	208.33 $\mu$ s	26,04 $\mu$ s	4,34 $\mu$ s

<sup>1)</sup>Die Typische Zykluszeit bezieht sich auf die M-Sequenz der Länge zwei Byte Prozessdaten und ein Byte OnRequest-Daten. Bei längeren Datenformaten verlängert sich die Zykluszeit!

Tabelle 1: IO-Link Datenübertragungsraten: Quelle: Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 10 (berichtigt).

### 4.8 IO-Link Interface

Für eine IO-Link Kommunikation sind die drei Teile des IO-Link Interface bestehend aus dem IO-Link Masterteil, dem Übertragungsmedium und dem IO-Link-Device-Teil notwendig. Der Aufbau des Masterteils unterscheidet sich dabei etwas vom Aufbau des Deviceteils. Den Zwischenteil bildet das Verbindungskabel in Form einer 3-poligen Leitung. Abb. 12 veranschaulicht den Aufbau und wird in weiterer Folge näher erläutert.

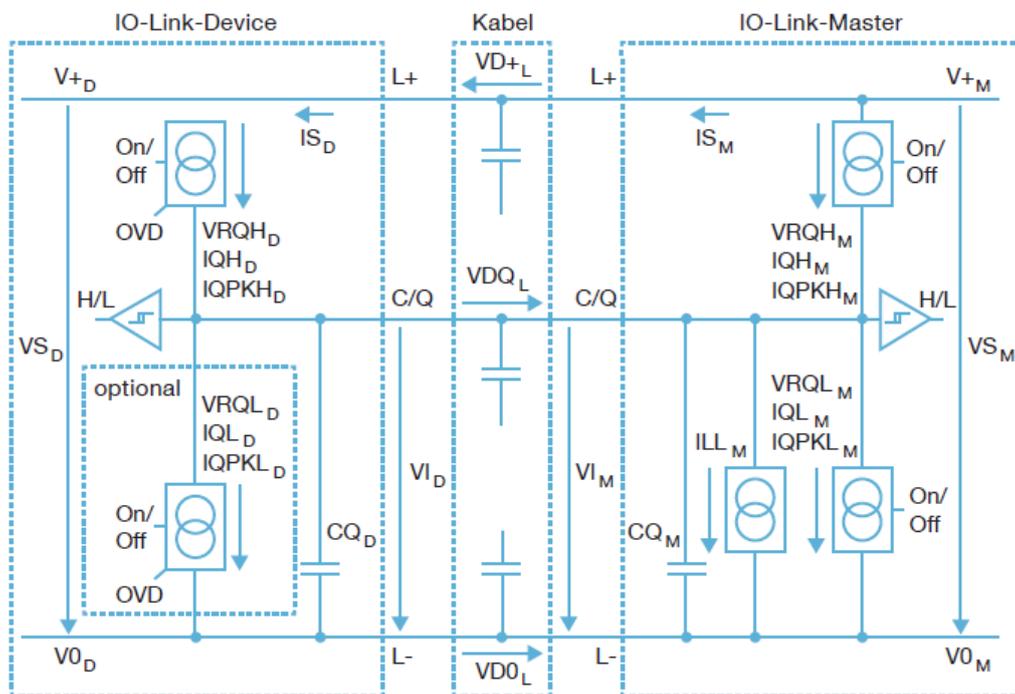


Abb. 12: IO-Link Interface im Überblick: Quelle: Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 279.

### 4.8.1 IO-Link Device Interface<sup>73</sup>

Der Aufbau des IO-Link Device Interface ist abhängig von der getroffenen Auswahl der Datenübertragungsrate des Herstellers. Für Com1 mit 4 kBit/s ist lediglich eine reine P-Schaltstufe notwendig um den 24V-Hub der Leitung vorzunehmen. Nach Abschalten der Stufe kehrt die Leitung durch Entladung nach einer bestimmten Zeit von selbst wieder auf 0 V zurück. Diese Entladungszeit ist kurz genug um die Übertragung mit Com1 unter Einhaltung der Schwellspannungen zu ermöglichen.

Bei Com2 mit 38,4kBit/s und Com3 mit 230,4 kBit/s muss hingegen die C/Q-Leitung aktiv auf 0 V gezogen werden, diese erfordert eine Push-Pull-Endstufe im Interface des IO-Link Devices. Mit dieser Endstufe erfolgt die Umladung der Leitung entsprechend schnell, um die Kommunikationssignale mit den Schwellspannungen in hoher Qualität am Empfänger ankommen zu lassen.

Der interne Aufbau des IO-Link-Device-Interface ist herstellerabhängig, Abb. 12 zeigt einen schematischen Aufbau. Hauptsächlich werden dafür fertige am Markt verfügbare Bausteine von integrierten Schaltungen (ASIC) als reine Pegelwandler oder mit integriertem M-Sequenzhandler verwendet. Alle IO-Link Devices müssen den IO-Link-Testspezifikationen entsprechen um die zu übertragenden UART-Bits senden zu können. Im Empfangsmodus werden die empfangenen Daten von einem Komparator aufbereitet und an den UART-Baustein im Mikrocontroller übergeben. Durch das Abschalten der Stromquelle der Push-Pull Endstufe wird die C/Q-Leitung während der Empfangsphase hochohmig.

### 4.8.2 IO-Link Master Interface<sup>74</sup>

IO-Link Master sind laut Spezifikation immer mit einer Push-Pull-Endstufe pro Port aufgebaut und unterstützen dadurch alle drei Datenübertragungsraten. Ausnahmen können ältere Mastermodelle darstellen, welche durch Entwicklung der Spezifikation Com3 diese noch nicht unterstützen.

Der Master vollzieht die Datenübertragung auf dieselbe Weise wie das IO-Link-Device. Mittels der Push-Pull-Endstufe wird die Kommunikationsleitung entsprechend der Datenübertragung aktiv zwischen 24 V und 0 V geschaltet. Damit erfolgt die entsprechende 24 V-Pulsmodulation für die Übertragung der UART-Bits. Durch die aktive Umschaltung der Datenleitung erfolgt eine entsprechend schnelle Umladung um eine garantierte Qualität der Schaltschwellen der Kommunikationssignale am Empfänger zu erreichen.

Der schematische Aufbau (siehe Abb. 12) ist entsprechend herstellerabhängig und zeigt eine Grundstruktur, da meist unterschiedliche integrierte Schaltungen (ASIC) in Kombination mit unterschiedlichen Mikrocontrollern zum Einsatz kommen. Neben der Kommunikation muss der Master auch den Digital-Input und Output Mode unterstützen. Für einen Digital-Output werden über die Push-Pull-Endstufe die Signale High oder Low auf die Leitung für den Ausgang gelegt. Im Digital-Input Mode sorgt die zweite Stromsenke  $ILL_M$  für den zugehörigen Strom abhängig vom Binärsignal für die Zustände High oder Low.

---

<sup>73</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 280ff.

<sup>74</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 283 ff.

## 4.9 IO-Link Kommunikation

IO-Link ist eine bidirektionale Punkt-zu-Punkt-Verbindung und hat zwei logische Kommunikationskanäle. Diese arbeiten im Halbduplexverfahren und senden die Daten zyklisch und azyklisch getrennt voneinander. Im zyklischen Kanal werden die Prozessdaten der Sensoren und Aktoren übertragen. Der azyklische Kanal ist für die Übertragung von Diagnosedaten, Parameter und Eventdaten und kommt im Bedarfsfall zur Anwendung.<sup>75</sup>

### 4.9.1 Datenkanäle

Neben den logischen Kanälen für zyklische und azyklische Datenübertragung wird die IO-Link Kommunikation in weitere Datenkanäle unterteilt, wie in Abb. 13 veranschaulicht. Am logischen zyklischen Kanal erfolgt die Prozessdatenübertragung. Der logische azyklische Kanal wird für die Übertragung der Daten des Parameterdatenkanals, des Diagnosedatenkanals und des Eventdatenkanals genutzt.

#### 4.9.1.1 Zyklischer Datentransfer (Prozessdatentransfer)<sup>76</sup>

Die IO-Link Prozessdaten werden in der Operate Phase der IO-Link Kommunikation zwischen Master und Teilnehmer zyklisch in beiden Richtungen übertragen. Die Prozesseingangs- und Prozessausgangsdaten werden in jeder Richtung zyklisch und deterministisch ausgetauscht. Die vom IO-Link-Device an den Master gesendeten Prozessdaten enthalten im Checkbyte des Telegramms ein Valide-Bit, das die Gültigkeit der aktuell gesendeten Daten bestätigt. Dieses bestätigt nur die gültig erfassten Prozessdaten des Teilnehmers und ist unabhängig von Fehlerprüfungen oder Checksummen der Datenübertragung. Die Prozessdaten vom Master an das IO-Link Device enthalten dieses Valid-Bit nicht. Die Bestätigung des Masters für die Gültigkeit der Prozessdaten erfolgt in Form eines Masterkommandos „ProcessDataOutOperate“ an den angeschlossenen Aktuator und veranlasst diesen zur Ausführung der Aktion laut Prozessdaten. Im Falle ungültiger Daten bieten Aktoren unter den Parametern die Einstellung einer definierten Aktion unabhängig der Prozessdaten um in einen sicheren Zustand überzugehen.

Der M-Sequenzaufbau der IO-Link-Kommunikation ermöglicht das Übertragen der gesamten Prozessdatenbreite von 1 bis 32 Byte. Die Größe der Prozessdatenbreite wird vom Hersteller des IO-Link-Device festgelegt und in der IODD und Anwenderdokumentation des Devices dokumentiert. Das Kommunikationssystem stellt sich durch den Austausch von Parametern im Kommunikationsaufbau selbst auf die notwendige Prozessdatenbreite ein. Die Übertragung der gesamten Prozessdatenbreite in einem Zyklus ist die Voraussetzung für die hohe Geschwindigkeit und Konsistenz der Daten und somit der Grund für die geringen Zykluszeiten.

---

<sup>75</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 2 ff.

<sup>76</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 15 ff.

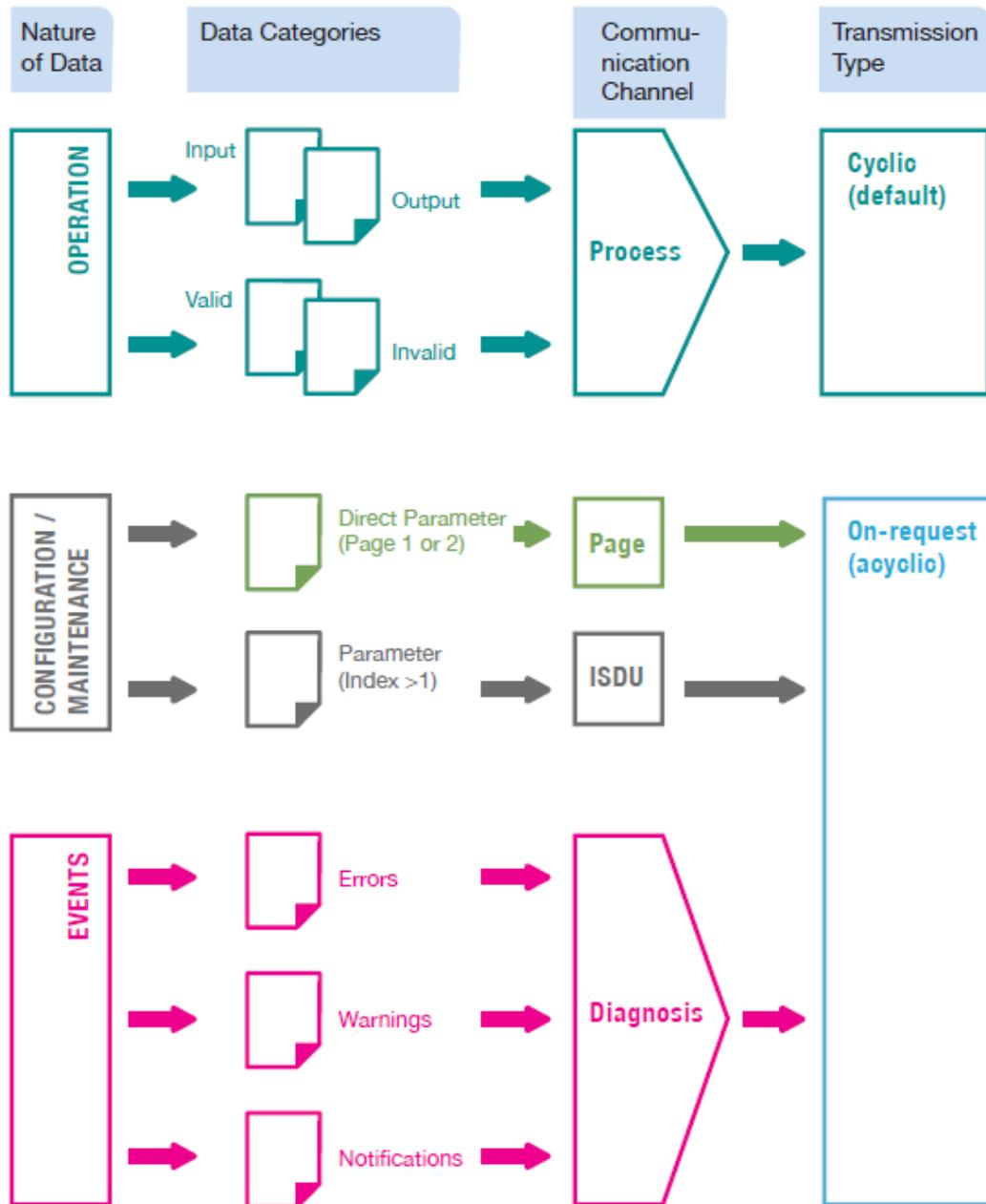


Abb. 13: Datenqualitäten in IO-Link: Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 5.

#### 4.9.1.2 Azyklischer Datentransfer (Parameter und Diagnosedaten)<sup>77</sup>

Die azyklischen Daten werden nur auf Anfrage übertragen und werden OnRequest-Daten genannt. Die Übertragung dieser Daten kann in beide Richtungen erfolgen. Sie werden zusammen mit den zyklischen Prozessdaten in eine M-Sequenz verpackt. Die OnRequest-Datenlänge pro Zyklus ist abhängig vom IO-Link-Device und kann 1, 2, 8 und 32 Byte betragen. Als azyklische Daten werden Parameter-, Konfigurations- und Diagnosedaten als Event- oder Maintenancedaten übertragen. Können die angeforderten OnRequest-Daten nicht innerhalb eines Zyklus übertragen werden, erfolgt eine Aufteilung

<sup>77</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 20 ff.

durch ein übergeordnetes Protokoll. Das ISDU-Protokoll (Indexed Service Data Unit) teilt die Daten in die Segmente für die einzelnen M-Sequenzen.

Spezielle Parameterdaten, die ein Teil der Direct-Parameter-Page sind, können nur durch Einzelbytezugriff gelesen oder geschrieben werden. Die Übertragung erfolgt ohne Konsistenzüberprüfung und ist durch den Anwender durch Rücklesen der Daten zu prüfen. Der Zugriff auf azyklische Parameter- und Diagnosedaten erfolgt über die gewünschten Indices und Subindices der IO-Link Devices. Eine zugehörige Liste dieser ist in der IODD oder der Anwenderdokumentation des Geräts zu finden. Eine Übertragung von Eventdaten wird priorisiert und unterbricht die Übertragung aller Parameterdaten. Die Diagnosedaten aus Fehlern, Warnungen und Meldungen können in Kombination mit der Anwenderdokumentation und der IODD die Problembeseitigung vereinfachen.

### 4.9.1.3 Event Datentransfer<sup>78</sup>

Zur Verfügung stehende Eventdaten werden dem Master durch ein Bit im Checksummen-Byte der zyklischen Datenübertragung signalisiert. Der IO-Link Master muss die Eventinformationen im Diagnosebereich schnellstmöglich auslesen und fordert diese im nächsten Zyklus an um dem Anwender die Diagnoseinformation zu bieten. Eine Übertragung von Parametern wird im azyklischen Teil der M-Sequenz dafür unterbrochen.

Die Länge der Diagnosedatensätze beschränkt sich immer auf drei Byte, wobei ein weiteres Byte bei der Übertragung zur Signalisierung des aktiven Diagnosesatzes übermittelt wird. Aktive Eventeinträge können dabei den Diagnosedatenkanal blockieren, bis Quittierungsmaßnahmen vom Master gesendet werden. Aus diesem Grund sollten wichtige Diagnosedaten vom übergeordneten System behandelt und abgearbeitet werden.

## 4.9.2 Kommunikationsaufbau<sup>79</sup>

Der Kommunikationsaufbau zwischen IO-Link Master und angeschlossenen IO-Link Teilnehmer erfolgt nach bestimmten Regeln. Nach dem Herstellen der Verbindung über ein Sensorkabel wird der Teilnehmer mit Spannung versorgt und befindet sich im Grundzustand, wo er auf ein Kommunikationssignal des Masters wartet.

**SIO:** Der Grundzustand nahezu aller Sensoren, Aktoren und IO-Link Devices ist die Standard Input/Output Signalkommunikation genormt laut IEC 61131-2. Über diesen Zustand wird bei IO-Link die Rückwärtskompatibilität zur Standard binären Sensor-/Aktorwelt aufrechterhalten. Eine Ausnahme bilden einige IO-Link Aktoren durch die ständige Kommunikationsbereitschaft. Durch ein entsprechendes Signal vom Master erfolgt der Zustandswechsel.

**Wake Up:** Der IO-Link Standard nutzt einen WakeUp-Puls um das angeschlossene Device in den Kommunikationsmodus zu schalten. Dabei zieht der Master die C/Q-Leitung aktiv auf das entgegengesetzte Signal und löst einen kurzzeitigen von IO-Link definierten Kurzschluss auf der Leitung

---

<sup>78</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 23 ff.

<sup>79</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 11 ff.

aus. Damit es nicht zu Schäden kommt ist dieser Kurzschluss zeitlich streng definiert und begrenzt. Für das Device ist dabei nicht der Pegel sondern der erhöhte Strompegel das Umschaltsignal. Als Reaktion des IO-Link-Devices folgen nach einer definierten Verzögerungszeit eine Abschaltung der Stromquellen im Kommunikationsinterface und ein Wechsel in den hochohmigen Empfangszustand, wie Abb. 14 zeigt.<sup>80</sup>

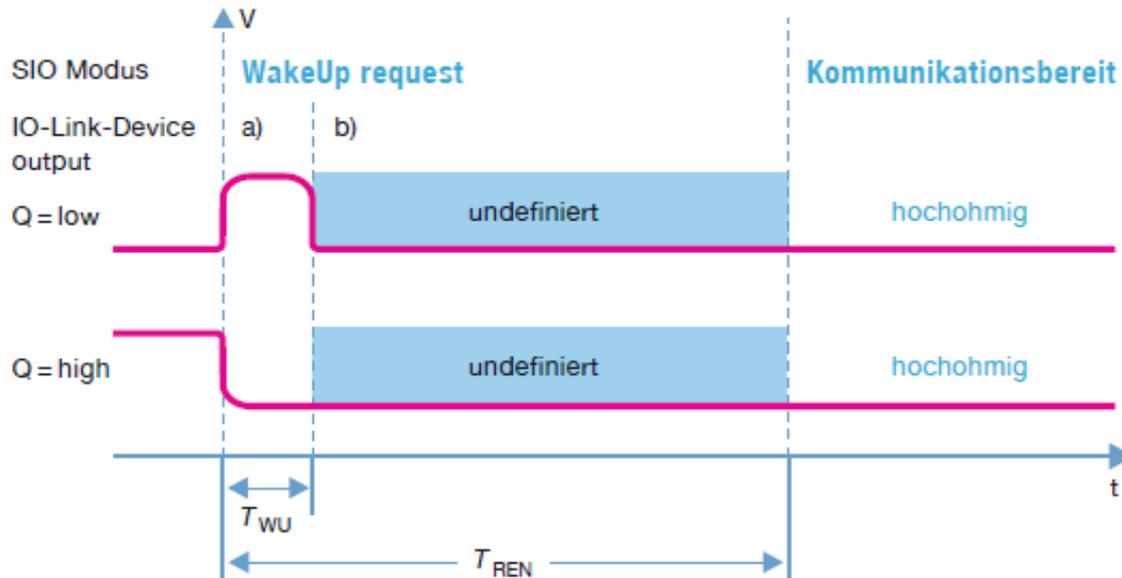


Abb. 14: IO-Link WakeUp-Puls, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 286.

**ComRequest:** Im Zustand des ComRequest erfolgt die Abstimmung der Übertragungsrate des Masters auf jene des IO-Link Teilnehmers. Dazu sendet der Master bis zu drei spezielle Sequenzen beginnend mit der höchsten Datenübertragungsrate Com3. Folgt keine Antwort wird die Sequenz auf Com2 und danach auf Com1 übertragen. Sobald der Slave antwortet, werden notwendige Kommunikationsparameter aus der Direct-Parameter-Page ausgelesen und es erfolgt der Wechsel in den nächsten Zustand.

**StartUp:** In dieser Phase stellt sich der Master durch die Auswahl der richtigen M-Sequenz-Typen auf das Device ein. Die M-Sequenz ist dabei abhängig von der Prozessdatenbreite und der OnRequest-Datenlänge. Laut Spezifikation stehen in der Protokollebene von IO-Link sieben Grund-M-Sequenz-Typen zur Auswahl.

**Preoperate:** Ab IO-Link Spezifikation 1.1 folgt nach dem StartUp die Preoperate-Phase. Es findet eine Überprüfung der IO-Link-Device-Eigenschaften und der Konfiguration des Geräts statt. Entspricht das Gerät nicht der Vorgabe der Masterportkonfiguration wird eine Fehlermeldung an das übergeordnete System gemeldet und die Kommunikation bleibt in dieser Phase. Ist die richtige Gerätetype verbunden, erfolgt je nach Masterportkonfiguration eine Reparametrierung des Teilnehmers oder eine Übernahme der Daten des Deviceparametersatzes vom Device mit Speicherung im Master. Für den Austausch von Parametersätzen steht in dieser Phase eine spezielle M-Sequenz ohne Prozessdaten bereit.

<sup>80</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 286 f.

**Zyklischer Betrieb:** Die zyklische Phase ist der Abschluss des Kommunikationsaufbaus zwischen den IO-Link-Kommunikationspartnern. Im zyklischen Betrieb werden die Prozessdaten deterministisch übertragen. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit Parameter-, Diagnose- oder Eventdaten als OnRequest-Daten in der azyklischen Datenübertragung zu senden.

## 4.10 IO-Link Telegramm

Die Kommunikation vom Master mit den IO-Link Teilnehmern wird durch den bidirektionalen Austausch von Telegrammen realisiert. Die Daten werden für die Übertragung in Telegramme verpackt. Die aus der Kommunikation entstehenden Frames werden durch die IEC-Restriktion, bezogen auf IO-Link, als Message-Sequenz (M-Sequenz) bezeichnet. In der StartUp Phase des Kommunikationsaufbaus stellt sich der Master auf das angeschlossene IO-Link-Device ein und wählt den passenden M-Sequenztyp aus. Die einzusetzende M-Sequenz-Variante für die Kommunikation bestimmt damit der Device-Hersteller, in Abhängigkeit der Prozessdaten und der OnRequest-Daten, welche sein Device liefern kann. Die Übertragung der Daten auf der Datenleitung selbst erfolgt nach UART-Standard.<sup>81</sup>

### 4.10.1 Message Sequenz

Eine Message-Sequenz in Bezug auf die IO-Link Kommunikation ist eine normierte Bezeichnung für das Kommunikationsframe. Die M-Sequenz besteht dabei immer aus einem M-Sequenz-Telegramm des IO-Link Masters und aus einem M-Sequenz Telegramm des IO-Link-Devices. Die Telegramme von Master und Device unterscheiden sich im Aufbau aufgrund der unterschiedlichen Kommunikationsaufgaben und werden in Abb. 15 veranschaulicht. Die Aufgabe des IO-Link Teilnehmers ist es auf das Anfragetelegramm des Masters zu antworten. In jedem Zyklus wird vom Master ein Anfragetelegramm ausgesendet und die Antwort empfangen. Die reale Zykluszeit ergibt sich dadurch aus der Übertragungsrate in Kombination mit der Menge der Daten der M-Sequenz addiert mit der Verarbeitungszeit der beiden Geräte.

Die IO-Link Message Sequenz verfügt über die Checksumme im Master- und Device-Telegramm über eine Hamming-Distanz von 4.<sup>82</sup> Damit ist es möglich bis zu drei fehlerhafte Bits zu erkennen und ein fehlerhaftes Bit zu korrigieren. Stimmt die Checksumme nicht mit den Daten überein und kann auch nicht korrigiert werden, wird die Übertragung der M-Sequenz noch zweimal wiederholt bevor ein Kommunikationsfehler ausgegeben wird, welcher zum Abbruch der Verbindung führt.<sup>83</sup>

#### 4.10.1.1 Master-Telegramm der M-Sequenz<sup>84</sup>

Das Mastertelegramm unterscheidet sich je nach Kommunikationsanfrage an das Device. Für den schnelleren Aufbau der Kommunikation wurden besondere M-Sequenzen und Telegrammtypen entwickelt.

---

<sup>81</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 289.

<sup>82</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 246.

<sup>83</sup> Vgl. PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. (Dat. ohne Angabe), Onlinequelle [15.05.2021].

<sup>84</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 291 f.

Ein Master-Telegramm kann aus bis zu vier unterschiedlichen Teilen bestehen und wird in folgender Reihenfolge übertragen.

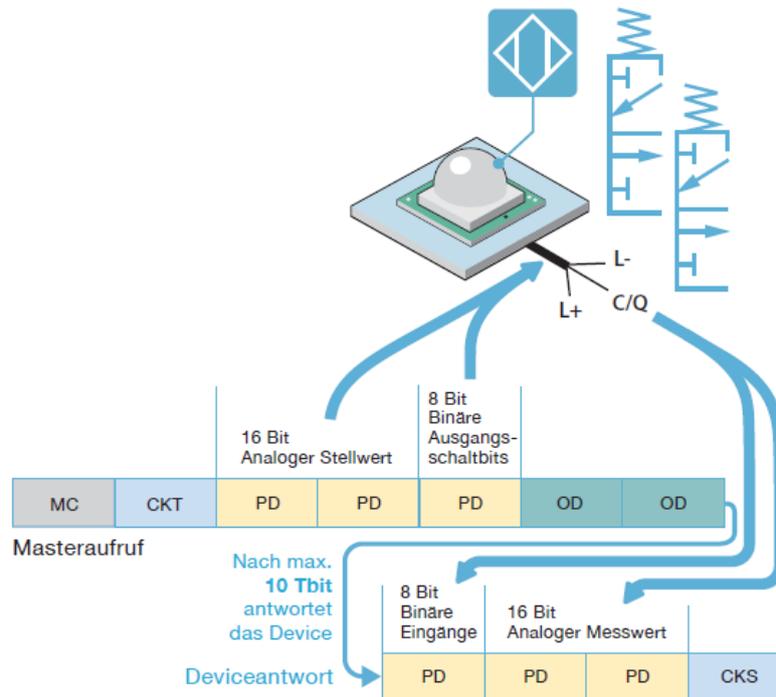


Abb. 15: Message Sequenz mit Prozessdaten und OnRequest-Daten, Quelle: Uffelman/Wienzek/Jahn (2020b), S. 299.

**Master Control Byte (MC):** Das Master Control Byte ist fixer Bestandteil in einem Master-Telegramm und steht am Beginn des Telegramms. Dieses Byte beinhaltet Informationen über die Datenrichtung (Read oder Write), den Datenkanal und die Adresse.

**M-Sequenz-Typ + Checksumme (CKT):** Über dieses Byte des Mastertelegramms wird die M-Sequenztype des Telegrammaufbaus übermittelt. Die Bits der Checksumme stellen eine Prüfsumme für alle Bytes des Mastertelegramms dar und werden nach der Übermittlung vom Device damit gegengeprüft.

**Prozessdaten (PD):** Die Prozessdaten sind die zyklisch übertragenen Daten und sind die eigentlichen Messdaten bei Sensoren oder Steuerdaten bei Aktoren bzw. eine Kombination bei Hybridgeräten. Eine M-Sequenz-Telegramm des Masters beinhaltet nur die Prozessausgangsdaten zum IO-Link Device. Die Prozessausgangsdaten können laut IO-Link Spezifikation von 0 bis 32 Byte pro Telegramm betragen und werden durch den Hersteller des Device definiert. Die Anzahl der Prozessdaten ist nach im zyklischen Betrieb immer ident.

**OnRequest-Daten (OD):** Die OnRequest-Daten bilden die Kommunikation der azyklischen Daten. Eine Mastertelegramm kann wahlweise 0, 1, 2, 8 oder 32 Byte azyklische Daten beinhalten. Die azyklischen Daten werden nur bei Bedarf gesendet und können Parameter-, Diagnose-, und Eventdaten beinhalten. Die maximale Anzahl an azyklischen Daten pro Zyklus wird durch den Device-Hersteller abgestimmt auf das Device definiert.

#### 4.10.1.2 Device-Telegramm der M-Sequenz<sup>85</sup>

Das Device-Telegramm baut sich abhängig von der Mastertelegrammanfrage auf. Ein fixer Bestandteil ist dabei immer das Checksummen-Byte. Weitere Elemente sind die Prozessdaten und die OnRequest-Daten sie werden in folgender Reihenfolge übertragen.

**OnRequest-Daten (OD):** Die Übertragung der azyklischen Daten wie Parameter-, Diagnose- und Eventdaten erfolgt anfragebedingt durch den Master. Ein Device-Telegramm kann pro Zyklus 0, 1, 2, 8 oder 32 Byte OnRequest-Daten beinhalten. Die Maximalanzahl wird durch den Devicehersteller definiert, wobei Maximalwerte für die azyklischen Ein- und Ausgangsdaten ident sind.

**Prozessdaten (PD):** Die Prozessdaten werden im zyklischen Betrieb abhängig von der Konfiguration dauerhaft pro Zyklus übertragen. Es können bis zu 32 Byte Prozesseingangsdaten vom Device an den Master gesendet werden. Die maximale Prozessdatenbreite ist abhängig von der Herstellerdefinition variabel zwischen 0 und 32 Byte. Die maximale Anzahl der Prozesseingangsdaten kann sich dabei von den maximalen Prozessausgangsdaten unterscheiden.

**Checksummen-Byte (CS):** Das Checksummen-Byte befindet sich immer am Ende des Device-Telegramms und beinhaltet eine Checksumme zur Kontrolle der empfangenen Daten durch den Master. Weiteres beinhaltet diese Byte ein Bit für die Gültigkeit der Prozessdaten. Das Eventbit signalisiert dem Master am Device anstehende Fehler, Warnungen oder Meldungen.

#### 4.10.1.3 Message-Sequenz Typen<sup>86</sup>

Die unterschiedlichen Message-Sequenz Typen werden in unterschiedlichen Phasen der Kommunikation zwischen dem Master und dem Teilnehmer eingesetzt. Die Typen werden aufgrund ihrer Zusammensetzung aus den möglichen Elementen der Master- und Device-Telegramme differenziert. Detailliert dargestellt wird dies in Abb. 16 durch die verschiedene Zusammensetzung von Elementen aus dem Master- und dem Device-Telegramm.

**Typ 0:** Der M-Sequenz-Typ 0 beinhaltet keine Prozessdaten und dient ausschließlich der Etablierung der Kommunikation zwischen den Teilnehmern.

**Typ 1:** Der M-Sequenz-Typ 1 ermöglicht eine schnelle Parametrierung durch die Übertragung reiner azyklischer Daten, da dieser Typ ebenfalls ohne Prozessdaten definiert ist.

**Typ 2:** Im zyklischen Betrieb der Kommunikation wird der M-Sequenz-Typ 2 angewendet. Das Frame beinhaltet abhängig vom Device eine konfigurierte Anzahl an Prozesseingangs- und Ausgangsdaten sowie die azyklischen Daten bei Bedarf.

---

<sup>85</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek/Jahn (2020b), S. 293 f.

<sup>86</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek/Jahn (2020b), S. 292.

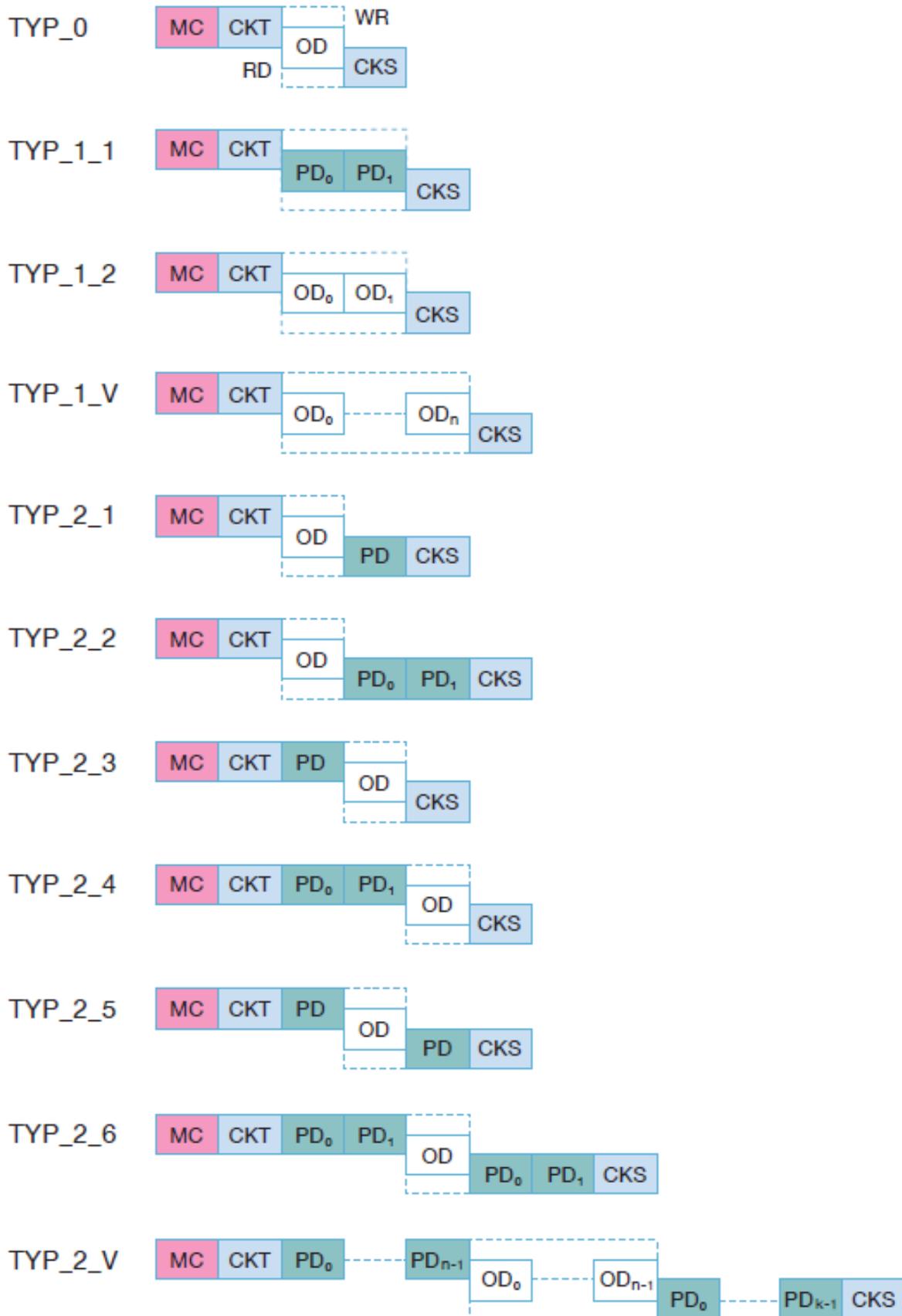


Abb. 16: Message-Sequenz Typen, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 294.

## 4.10.2 UART

Die physikalische Übertragung der Daten erfolgt nach dem UART-Prinzip. Die Bytes einer M-Sequenz werden in UARTs verpackt und auf der C/Q-Leitung übertragen.<sup>87</sup>

Der Universal Asynchronous Receiver and Transmitter (UART) ist ein Übertragungsbaustein im Bereich der  $\mu$ C-Hardware. Er ist einer der häufigsten verwendeten Bausteine für die bitserielle Übertragung von Daten. Die asynchrone Übertragung nutzt für die Synchronisation des Empfängers die übertragenen Zeichen selbst. Der Aufbau eines UART-Zeichens ist mit DIN 66022 und 66203 genormt und besteht aus elf Bits, siehe Abb. 17. In ein UART-Zeichen kann ein Byte an Daten verpackt werden. Die Übertragung beginnt mit einem Startbyte, das immer logisch Null ist. Im Anschluss folgen die acht Bits des Datenbytes gefolgt von einem Parity-Bit, das die Quersumme des Datenbytes je nach Einstellung auf gerade oder ungerade ergänzt. Den Abschluss des UART-Zeichens bildet das Stoppbit mit einer logischen Eins.<sup>88</sup>

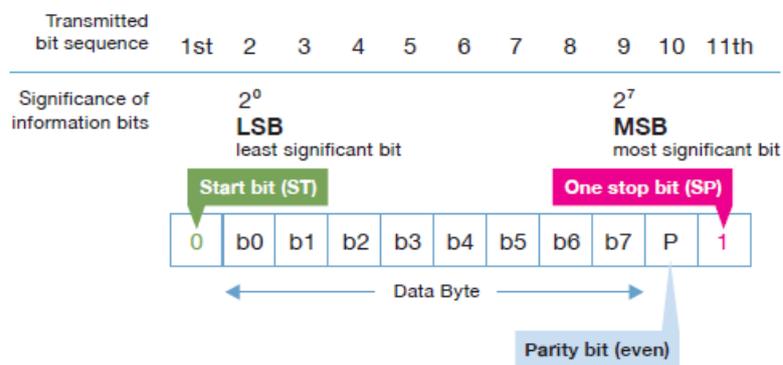


Abb. 17: Standard-UART-Frames verwendet bei IO-Link, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 294.

Die Anordnung des Datenbytes im UART-Zeichen erfolgt bei mit dem niedrigsten Bit (LSB) nach dem Startbit bis zum höchstwertigen Bit (MSB) vor dem Parity-Bit. IO-Link verwendet als Parity „even“<sup>89</sup> wodurch auf eine gerade Quersumme erweitert wird.

<sup>87</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 289.

<sup>88</sup> Vgl. Schnell/Wiedemann (Hrsg.) (2006), S. 46 f.

<sup>89</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 289.

### 4.10.3 ISDU<sup>90</sup>

Zusätzlich zu den Prozessdaten können pro Zyklus nur eine bestimmte Menge an azyklischen Daten entsprechend der On-Request-Datenbreite gesendet und empfangen werden. Daten wie Parameter oder Events können diese Datenbreite übersteigen und müssen aus diesem Grund über mehrere Zyklen aufgeteilt in Paketen übertragen werden.

Das Index Service Data Unit (ISDU) ist ein Protokoll, das dem M-Sequenz-Protokoll überlagert die Segmentierung der OnRequest-Daten vornimmt und die Konsistenz der Daten sichert. Die azyklischen Daten werden entsprechend der OnRequest-Datenbreite (1, 2, 8 oder 32 Byte) aufgeteilt und mit einem Checksummen-Mechanismus zur Kontrolle der Daten versehen. Das ISDU kann Datenpakete bis 232 Byte segmentieren und fügt bis zu 6 Byte an Header hinzu. Die Reihenfolge bei der Übertragung der Einzelsegmente wird durch ein Flow-Control sichergestellt. Auf der Gegenstelle sorgt das ISDU wieder für den exakten Zusammenbau des Datenpakets aus den Einzelsegmenten über die zusätzlichen Headerdaten.

Das ISDU besteht aus bis zu 6 Bytes, welche den Daten hinzugefügt werden. Die in Abb. 18 dargestellten Request Befehle des Masters zeigen beispielhafte ISDU-Header-Erweiterungen der Daten. Den Beginn des Headers bildet das Service Byte, es beinhaltet die Information für den Service (Read/Write, Request/Respond) und die Längenangabe bis zu einer Länge von 15 Byte. Ist das Datenpaket größer wird ein optionales Datenbyte für die Längenangabe nach dem Service-Byte hinzugefügt. Danach folgt die Indexangabe als 8 Bit-Index, 8 Bit-Index mit Subindex oder 16 Bit-Index mit Subindex. Der Request des Masters beinhaltet im Gegensatz zum Respond des Device diese Angabe der Adresse. Nach den Daten des Pakets folgt das Checksummen-Byte (CHKPDU). Mit dem Inhalt diese Bytes erfolgt die Kontrolle der zusammengesetzten segmentierten Daten auf Vollständigkeit, Fehler und Konsistenz.

---

<sup>90</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek/Jahn (2020b), S. 301.

## Request

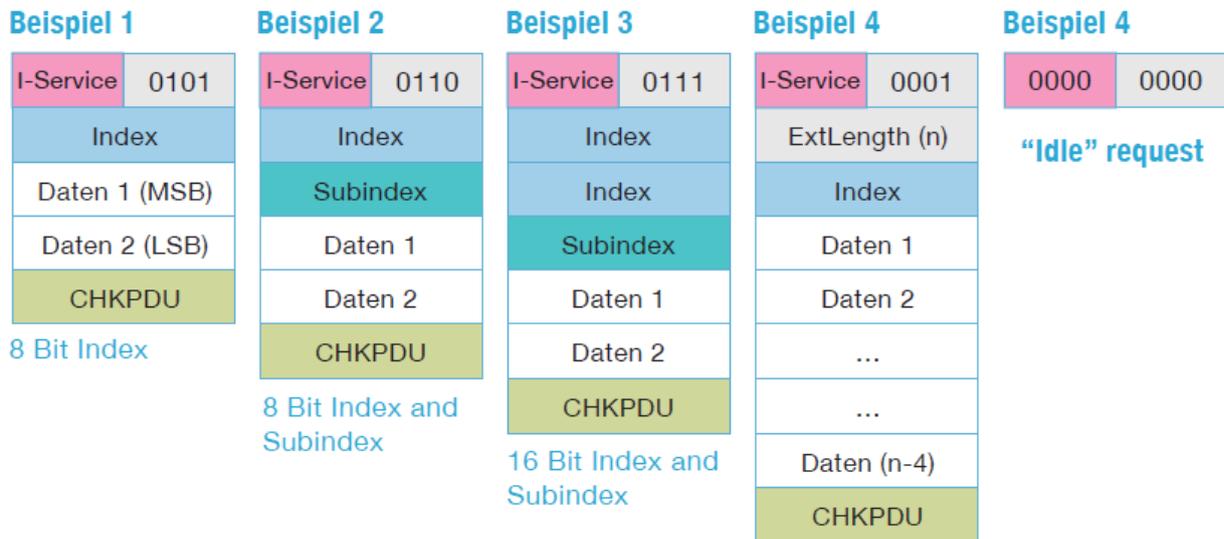


Abb. 18: Write Request ISDU-Beispiele, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 302.

Spezielle Request und Respond Befehle beinhalten keine Daten oder weniger Headerdaten. Der Idle Request des Masters signalisiert dem Device einen Stillstand der azyklischen Datenübertragung und beinhaltet daher weder Anfrage noch Steuerbytes. Der Busy Respond des Device aus Abb. 19 ist die Antwort auf eine Anfrage des Masters, für die das Device noch etwas Zeit zum Zusammenstellen der Daten benötigt. Die Antwort des Device auf einen Write-Request des Masters beinhaltet immer das Checksummen-Byte als Bestätigung. Das Checksummen-Byte ist ein Teil des überlagerten ISDU-Protokolls und steht in keiner Beziehung zur Checksumme der M-Sequenz.

## Response

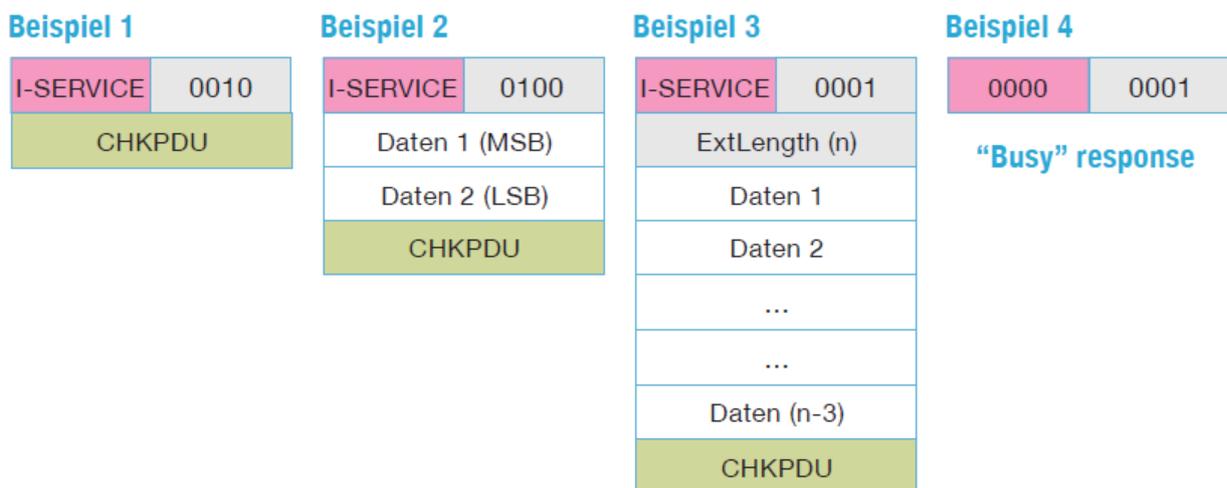


Abb. 19: Respond ISDU-Beispiele, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 302.

## 4.11 IO-Link Safety

Für die Entwicklung von IO-Link Safety wurde eine weitere Sicherheitskommunikationsschicht IO-Link SCL (Safety Communication Layer) bei IO-Link Mastern und IO-Link Devices mit Functional Safety (FS) Zulassung etabliert. Die IO-Link Community hat für IO-Link Safety eine eigene Spezifikation geschaffen. IO-Link Safety folgt wie Feldbusse dem Back Channel Prinzip (Abb. 20), bei dem Sicherheitsdaten mit einem eigenen speziellen Nachrichtentyp übertragen werden. Um die Restfehlerwahrscheinlichkeit zu verringern, wird mit den Sicherheitsdaten auch ein Sicherungscode mitübertragen. IO-Link Safety verfügt damit über eine Zulassung für Sicherheitsfunktionen bis SIL3 (Safety Integrity Level) oder einem Performancelevel bis PLe.<sup>91</sup>

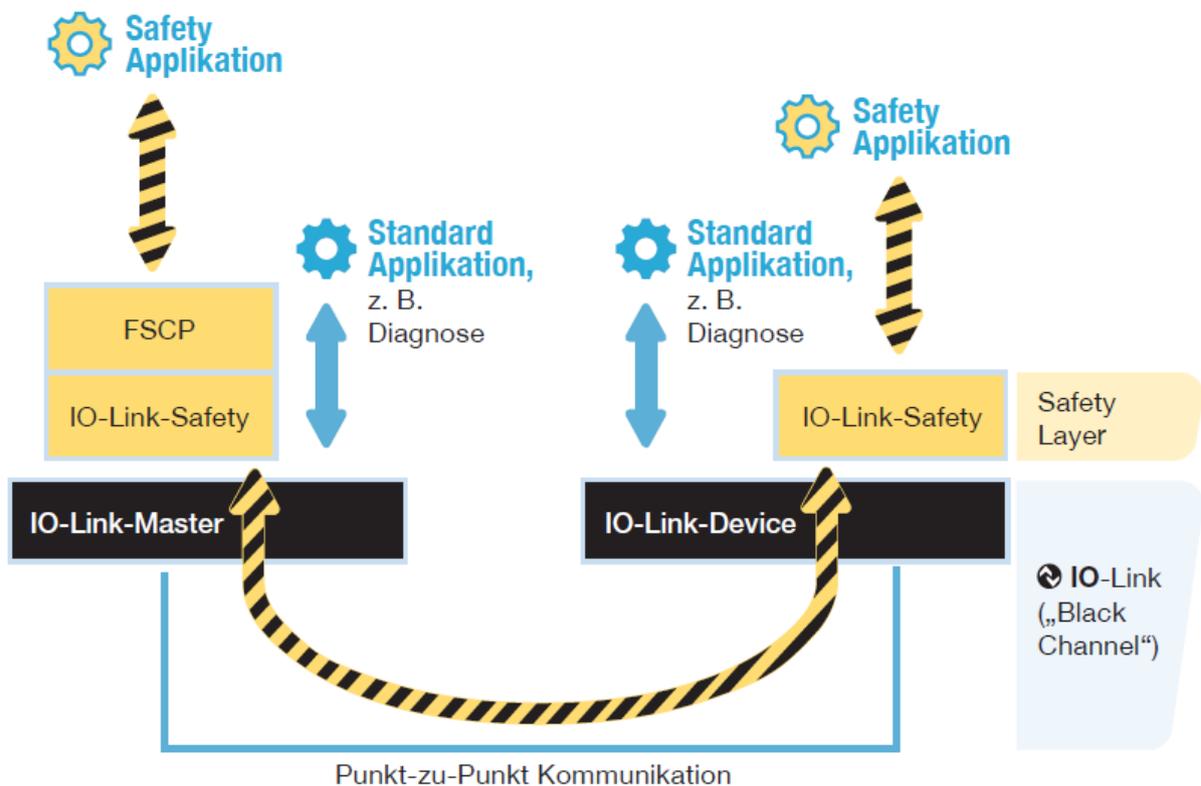


Abb. 20: IO-Link Safety Back Channel Prinzip, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 312.

IO-Link Safety Komponenten sind bereits seit ein paar Jahren am Markt verfügbar. Durch immer neue Entwicklungen werden die Anwendungsgebiete stetig erweitert.

<sup>91</sup> Vgl. IO-Link Community (2018), S. 3 ff.

Dieser Einblick in die Tiefe der IO-Link Kommunikationstechnik zeigt ein geringes Spektrum der Komplexität hinter der IO-Link Datenübertragung, welche dem einfachen Anwender dieser Technologie meist fremd bleibt. Ein basiertes Hintergrundwissen und damit ein Verständnis der einzelnen Funktionen des IO-Link Masters sowie des IO-Link Device ist für jeden Anwender von Vorteil und kann vor Überraschungen bei der Inbetriebnahme vorbeugen. Eine gelungene Inbetriebnahme beginnt bereits bei der Planung der Anlage und setzt in der Auswahl der richtigen Komponenten die Grundlage für einen positiven ersten Zugang zu dieser Technologie. Ein vertiefendes Wissen bei der Parametrierung und Konfiguration der Komponenten vereinfacht das Handling bei der Inbetriebnahme und lässt auch den Zugriff auf die azyklischen Prozessdaten ähnlich der zyklischen Prozessdaten wie „Plug and Play“ erscheinen.

## 5 INTEGRATION VON IO-LINK GERÄTEN

IO-Link Master und smarte IO-Link Sensoren und Aktoren verfügen je nach Ausprägung über unterschiedliche Parameter zur Konfiguration für die Anpassung an das Einsatzgebiet. Mit der Auswahl des Geräts wird bereits der Funktionsumfang definiert und festgelegt. Bestimmte Grundparameter und Konfigurationsmöglichkeiten sind in allen IO-Link Mastern sowie in den IO-Link Teilnehmern durch die IO-Link-Spezifikation definiert. Abhängig vom Funktionsumfang der Geräte werden diese Grundfunktionen und Parameter entsprechend erweitert. Bestimmte Funktionen können durch ändern von Parametern freigeschaltet, aktiviert oder deaktiviert werden. Eine bestimmte Grundkonfiguration wird durch die Werkseinstellungen vorgegeben und ermöglicht erste Funktionen bei der Inbetriebnahme, welche im Anschluss adaptiert werden können.

### 5.1 IO-Link Master

Die Auswahl der geeigneten IO-Link Master erfordert die Betrachtung der gesamten Anlage, die mit der Integration von IO-Link vernetzt werden soll. Nach der Definition der zu verwendenden IO-Link Devices ergeben sich daraus die Anforderungen an die IO-Link Master. Eine große Rolle spielen ebenfalls die Umgebungsbedingungen bezüglich der Schutzart und die Ausdehnungen der Anlage, da IO-Link mehrere Möglichkeiten der Vernetzungstopologie anbietet.

#### 5.1.1 Anlagenbetrachtung

Bei kleinen Anlagen mit geringer Ausdehnung und einer zentralen Steuerung bietet sich die Variante der IO-Link Master als Steckkarte direkt an der SPS an. Alternativ dazu gibt es auch IO-Link Master Module für den Schaltschrank mit IloT-Schnittstellen für eine parallele Übertragung der Daten an Sidesysteme. Die Anbindung an die Steuerung erfolgt über die Auswahl eines geeigneten Bussystems, definiert durch den Onboardbus der Steuerung.

Bei großen Anlagen mit weitläufiger Ausdehnung kann man durch den Einsatz von dezentralen Steuerungseinheiten auch SPS-IO-Link Masterkarten benutzen. Zu beachten wäre dabei die maximale Ausdehnung von 20 m für die IO-Link Kommunikation gemessen von jeder dezentralen IO-Baugruppe der Steuerung. Als Alternative bietet sich die Vernetzung der Anlage mit einem Feldbussystem oder Industrial Ethernet als Zwischenebene zwischen Steuerung und Sensor-/Aktorebene. Unabhängig vom Feldbussystem gibt es eine Vielzahl an Möglichkeiten für IO-Link Master mit einer geeigneten Schnittstelle zur übergeordneten Steuerung. Der Vorteil der weitläufigeren Vernetzung wird durch die vereinfachte Verkabelung der IO-Link Devices sowie durch die Anbindungsmöglichkeit der Datenkommunikation an ein übergeordnetes Sidesystem zur Auswertung der Zusatzdaten abgerundet.

#### 5.1.2 Masterportauswahl

Die IO-Link Devices werden prozessbedingt entsprechend der Anforderungen an die Anlage ausgewählt und erfordern diesbezüglich eine bestimmte Masterportvariante für ihre uneingeschränkte Funktion. Dabei gibt es zwei unterschiedliche Portvarianten: Port Class A und Port Class B. Die Grundfunktionen für die Versorgung des Kommunikationsknotens und die Kommunikation zum IO-Link Teilnehmer ist in beiden

Varianten identisch. Der Unterschied zwischen den Varianten liegt dabei, dass Port B das IO-Link Gerät mit einer zusätzlichen Spannungsversorgung versorgt. Port A hingegen ermöglicht auf Pin 2 einen Ein- oder Ausgang entsprechend der Masterkonfiguration. Details siehe Abschnitt 4.6.2

### **IO-Link Master im Schaltschrank**

IO-Link Master als SPS Schnittstellenkarten sind hauptsächlich als Port-Class A im 3 Leiteranschluss über Feldklemmen ausgeführt. Die vierte Leitung, welche bei IO-Link Master Feldmodulen als Ein- oder Ausgang verwendet werden kann, muss hier über den Anschluss an eine Eingangs- und/oder Ausgangskarte realisiert werden. Schaltschrank IO-Link Master verfügen zum Teil über einen direkten Anschluss für Pin 2 ähnlich den IO-Link Feldbusmaster, dies ist aber herstellerabhängig und nicht spezifiziert.

### **Feldbusmaster Class A**

Feldbus IO-Link Master, wie beispielhaft in Abb. 21, gibt es in beiden Ausführungen Port Class A und Port Class B. Der Großteil der IO-Link-Sensoren sind für den Anschluss an Masterports Class A konzipiert, da ihnen die Versorgung über Pin 1 und Pin 3 ausreicht. Der Pin 2 kann über die Konfiguration vom Masterport parametrierbar werden und ist abhängig von den IO-Link Device Vorgaben einzustellen. IO-Link Sensor-/Aktorhub als Verkabelungsmodule für digitale oder analoge Ein- oder Ausgänge benötigen meist über Pin 2 eine Versorgung in Form eines Ausgangs vom IO-Link Master für die Beschaltung der digitalen oder analogen Ausgänge. Diese kann über eine sicherheitstechnische Abschaltung freigegeben werden. Eine falsche Parametrierung vermag zu einer Beschädigung des IO-Link Teilnehmer führen. Die Verwendung von einem 3-poligen Anschlusskabel schließt bei nicht benötigtem Pin 2 Konfigurationsfehler und daraus resultierende Beschädigungen aus.



Abb. 21: IO-Link Master mit 8 Class A Ports von Baumer, Baumer Electric AG (2022), Onlinequelle [23.02.2022].

### **Feldbusmaster Class B**

IO-Link Master mit Port Class B gibt es nur als Feldbusmaster mit einer 5-poligen M12-Buchse als Schnittstelle, als Beispiel wurde ein Master von IFM GmbH in Abb. 22 gewählt. Diese Masterports wurden speziell für den Anschluss von IO-Link Aktoren bzw. Hybridgeräten entwickelt. Über Pin 2 (U+) und Pin 5 (U-) der M12-Buchse wird diese zusätzliche Versorgung für das IO-Link Device bereitgestellt. Diese zusätzliche Spannungsversorgung ermöglicht den Betrieb des Geräts unabhängig von der Kommunikationsknotenversorgung. Aus sicherheitstechnischen Gründen kann es notwendig sein, die Versorgungsspannung vom Aktor oder Hybridgerät abzuschalten um Bewegungen oder ein Anlaufen bei geöffneten Sicherheitseinrichtungen zu unterbinden. Die IO-Link Kommunikation bleibt durch die

bestehende Kommunikationsknotenversorgung aufrecht. Feldbusmodule haben diesbezüglich einen eigenen Versorgungskanal für die Aktorversorgung für diesen Fall.



Abb. 22: IO-Link Master mit 4 Class B Ports von IFM, Quelle: IFM Electronic GmbH (2022), Onlinequelle [23.02.2022].

### **Stromaufnahme**

Bei der Portzuordnung der IO-Link Geräte auf den jeweiligen Master ist auch die maximale Stromaufnahme der angeschlossenen Geräte zu berücksichtigen. Der Maximalwert muss pro IO-Link-Port sowie auch für den gesamten Master berücksichtigt werden. In der Planungsphase sollten entsprechende Reserveports eingeplant werden, diese dürfen bei der Stromberechnung nicht vergessen werden.

Übersteigt bei den Class B Ports die maximale Stromaufnahme der zusätzlichen Aktorversorgung kann mit geeigneten Adapterstücken in der Verkabelung zwischen Master und Device eine Aktorversorgung eingeschliffen werden. Die Ableitung vom Masterport darf dabei nur 3-polig erfolgen, ansonsten kann es zu Retourströmen in der Schleife kommen.

### **Masterportklassenanpassung**

Mittels Adapterstück können Class A Ports für den Anschluss von Class B Devices adaptiert werden und ersparen den Einsatz eines eigenen Class B Masters bei nur vereinzelt Class B Devices. Alternativ gibt es auch Master mit einer Kombination aus Class A und Class B Ports wie in Abb. 23 ersichtlich.



Abb. 23: IO-Link Master mit 4 Class A Ports und 4 Class B Ports von Balluff, Quelle: Balluff GmbH (2022), Onlinequelle [23.02.2022].

## Umgebungsbedingungen

Eine wichtige Rolle für eine garantierte Funktion der IO-Link Kommunikation spielt die Einhaltung aller Eckdaten der Spezifikation. Darunter fällt die Auswahl eines geeigneten Übertragungskabels mit einem minimalen Aderquerschnitt von 0,34 mm<sup>2</sup> sowie einer Maximallänge von 20 m mit der Option der Erhöhung durch einen Repeater. Für die Anschlusstechnik über M5, M8 oder M12 sowie Klemmen sind verschiedene Sensor-/Aktorkabel auch mit unterschiedlichen Steckerkombinationsvarianten am Markt verfügbar. Zu beachten dabei sind die geforderten Schutzklassen durch die Umgebungsbedingungen der Anlage. IO-Link Schaltschrankkomponenten sind durch die Schutzart IP20 nicht außerhalb eines geeigneten Schaltschranks verwendbar. Alternativen für den Einsatz im Feld gibt es mit Schutzart IP65/67/96(K) – zu beachten ist dabei auch die Schutzart des Übertragungskabels mit den Anschlusssteckern.

### 5.1.3 Masterportkonfiguration

Nach der Auswahl der benötigten Systemaufbaukomponenten in Form von IO-Link Master und IO-Link Device folgt die Konfiguration des Masters zur Einbindung und Integration der IO-Link Slaves. Ein IO-Link Master verfügt über mehrere Ports, welche einzeln entsprechend der angeschlossenen Geräte konfiguriert werden können. Über unterschiedliche Parameter definieren sich die Verhaltensweise des Masters im Gesamten sowie dessen einzelne Ports. Für die Konfiguration des Masters gibt es unterschiedliche Möglichkeiten und Tools, zum Teil herstellerübergreifend aber auch herstellerspezifisch. Für jeden IO-Link Master gibt es ähnlich wie für IO-Link Geräte eine Beschreibungsdatei wie GSDML (Generic Station Description Markup Language), EDS (Electronic Data Sheet) oder XML (Extensible Markup Language), abhängig vom übergeordneten Bus- oder Steuerungssystem.

#### 5.1.3.1 Masterportbetriebszustand<sup>92</sup>

Jeder Masterport kann mehrere Betriebszustände, siehe Tabelle 2, entsprechend der gewünschten Funktion einnehmen. Der Betriebszustand kann über ein Tool bei der Inbetriebnahme konfiguriert werden. Konfigurationsänderungen während des Betriebes sind nur durch Zugriff auf den gewünschten Parameter der Parameterliste des Masters möglich.

---

<sup>92</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek/Jahn (2020b), S. 98 ff.

Betriebszustand	Beschreibung
<b>Deaktiviert (Inaktiv)</b>	Dieser Modus schaltet den IO-Link Masterport ab und steht somit nicht als Eingang, Ausgang oder IO-Link-Port zur Verfügung. Mit angeschlossenen Geräten erfolgt kein Datenaustausch, die eingestellte Prozessdatenbreite mit Null spart zusätzlich Bandbreite. Angeschlossene Geräte können keine Fehler am Master verursachen.
<b>DI_C/Q (Digital Input)</b>	In dieser Konfiguration wird aus dem IO-Link Masterport ein digitaler Eingangsport mit einem Bit Nutzdatenbreite. Dieses Bit kann mit weiteren Eingangsports oder allein in ein Byte verpackt sein. Diese Einstellung ermöglicht die Rückwärtskompatibilität zum Anschluss eines einfachen Sensors mit Schaltausgang ohne Datenkommunikation. Auch mit IO-Link Geräten wird in diesem Modus keine Datenkommunikation gestartet sondern im SIO-Modus gearbeitet. Die Anzeige des Schaltzustandes am Eingang wird mit einer gelben LED für High signalisiert.
<b>DO_C/Q (Digital Output)</b>	Dieser Parameter ändert den IO-Link Port in einen Ausgangsport mit einem Bit meist verpackt mit weiteren Ausgangsports oder allein in einem Byte. Diese ermöglicht einen Anschluss eines einfachen Aktors oder eines IO-Link Geräts im SIO-Modus. Die visuelle Anzeige des High-Signals am Ausgang erfolgt mit einer gelben LED.
<b>IOL_Autostart (Scan Mode)</b>	In diesem Modus findet die IO-Link Kommunikation mit dem IO-Link Device statt und wird mit einem WakeUp entsprechend der Anlaufphase gestartet. Der Master führt keine Device-Identifikation des angeschlossenen Geräts durch, sondern etabliert die Kommunikation und holt sich die notwendigen Parameter aus der Parameterliste des Device. Dieser Modus ist speziell für die erleichterte Inbetriebnahme (BottomUp) vorgesehen. Nach der Inbetriebnahme sollte in den IOL-Manual Modus geschaltet werden, um Fehler durch Portverwechslungen bei Wartungsarbeiten zu erkennen.
<b>IOL-Manual (Fixed Mode)</b>	Mit diesem Modus wird die Funktion des IOL-Autostart mit der zusätzlichen IO-Link-Device-Identifikation erweitert. Es erfolgt eine Überprüfung des angeschlossenen Teilnehmers anhand des Parameters für die Validierung beim Aufbau der IO-Link Kommunikation.
<b>Digital Input with IO-Link Access</b>	Dieser Modus ermöglicht das Umschalten des Betriebsmodus zwischen digitalem Eingang und IO-Link-Kommunikation während der Betriebspausen und ermöglicht dadurch Parametrierungen und Diagnosen. Da nur wenige Master und Devices diesen Modus bis dato unterstützten wurde er in der IO-Link Spezifikation 1.1.3 nicht mehr berücksichtigt.

Tabelle 2: Masterportbetriebszustände, Quelle: Eigene Darstellung.

Dieser Einstellparameter betrifft nur die C/Q Leitung auf Pin 4, für Pin 2 kann es abhängig von Masterhersteller und Type andere Konfigurationsmöglichkeiten geben.

### 5.1.3.2 IO-Link Validierungsmodus<sup>93</sup>

Im IO-Link Kommunikationsmodus ermöglicht jeder Masterport eine spezielle Stufe der Identifikation (Inspection-Level) des angeschlossenen Teilnehmers laut Tabelle 3. Diese Prüfung soll Fehler im Betrieb der Anlage verhindern, da abhängig von der Validierungsstufe nur bestimmte Geräte am Masterport kommunizieren dürfen.

Validierung	Beschreibung
<b>No Check</b> (keine Validierung)	Bei deaktivierter Validierung erfolgt keine Prüfung des angeschlossenen IO-Link Device. Jedes IO-Link Gerät kann über diesen Port in Verbindung mit dem Master treten, dies ist vor allem für die Inbetriebnahme und erste Konfiguration eine hilfreiche Einstellung für die Bottom-Up Parametrierung.
<b>Type_Comp</b> Kompatibilität	Im Kompatibilitätsmodus überprüft der Master in der Anlaufphase die VendorID und die DeviceID des Teilnehmers. Weichen diese Parameter ab, wird vom Master versucht den Teilnehmer in den Kompatibilitätsmodus zu schalten. Die vorgegebene DeviceID wird in die Parameterliste des Devices geschrieben und im Falle der Akzeptanz ist das System funktionsfähig. Im gegenteiligen Fall wird eine Fehlermeldung ans übergeordnete System übergeben, die Kommunikation mit dem Teilnehmer bleibt im Preoperate-Modus für Fehlerbehebungsmaßnahmen aufrecht.
<b>Identical</b> Identität	Im Modus Identical muss zusätzlich zur VendorID und DeviceID auch die Seriennummer des Teilnehmers mit den eingetragenen Parametern am Masterport für eine funktionsfähige Kommunikation übereinstimmen. Andernfalls wird ein Fehler gemeldet und die Kommunikation im Preoperate Modus belassen. In der IO-Link Spezifikation 1.1.3 ist diese Prüfung nicht mehr berücksichtigt, kann aber über einen programmtechnischen Vergleich in der Steuerung realisiert werden.

Tabelle 3: Masterport Validierungsmodus von IO-Link Devices, Quelle: Eigene Darstellung.

Eine Prüfung auf Kompatibilität sollte auf jeden Fall durchgeführt werden, um Manipulationen und Verkabelungsfehler an einer Anlage zu unterbinden. Ein nicht kompatibler IO-Link Teilnehmer könnte ähnliche Prozessdaten bei unterschiedlichem Anlagenzustand liefern, was unentdeckt zu Schäden an der Anlage selbst oder am Produkt bis hin zum Produktionsausfall führen kann.

<sup>93</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 104 ff.

### 5.1.3.3 Portzyklus Betriebsarten<sup>94</sup>

Ein Großteil der Master ermöglicht die Konfiguration des Portzyklus. Dabei handelt es sich um die Aktualisierungszeit der zyklischen Daten am IO-Link Master. Abhängig von der ausgewählten Betriebsart aus Tabelle 4 werden bestimmte Verhaltensmuster der Applikation gewährleistet.

Betriebsart	Beschreibung
<b>FreeRunning</b>	Bei dieser Konfiguration stellt sich der Master auf die Zykluszeit des Device ein. Jeder Port wird unabhängig aktualisiert. Die Zykluszeit für jeden Port ergibt sich durch die Wahl des Masters unter Berücksichtigung der minimalen Zykluszeit der Devices.
<b>FixedValue</b>	In dieser Einstellung hält sich der Master an eine gewählte fix einstellbare Zykluszeit. Diese darf die minimale Zykluszeit des Teilnehmers nicht unterschreiten und muss für den Masterport kompatibel sein. Die Auflösung der einstellbaren Zykluszeiten ist herstellerabhängig. Eine Synchronizität zwischen zwei Ports mit derselben Zykluszeiteinstellung ist nicht zwingend gegeben.
<b>Message Synchron</b>	Dieser Konfiguration unterliegen immer mindestens zwei Masterports. Dabei wird die Kommunikation vom Master durch die Anfrage gleichzeitig gestartet. Die Zykluszeit wird vom Teilnehmer mit der höchsten minimalen Zykluszeit bestimmt. Durch diesen Portzyklus werden die Daten der betreffenden Ports immer gleichzeitig aktualisiert.

Tabelle 4: Portzyklus Betriebsarten des IO-Link Masterports, Quelle: Eigene Darstellung.

Unabhängig von der Einstellung des Portzyklus bleibt die Zykluszeit über den Betrieb hindurch gleich und unterliegt nur Genauigkeitsschwankungen von -1 % bis +10 %. Bei der Überarbeitung der IO-Link Spezifikation 1.1.3 fielen diese Konfigurationen aus der Spezifikation, können aber von den Herstellern weitergeführt werden. FreeRunning steht als Default Einstellung durch die bis dato hauptsächliche Nutzung weiterhin zur Verfügung.

---

<sup>94</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 107 ff.

### 5.1.3.4 Prozessdatenzuordnung<sup>95</sup>

Verschiedene IO-Link-Devices liefern abhängig von ihrer Herstellerdefinition eine unterschiedliche Anzahl an Prozesseingangs- und Prozessausgangsdaten anhand Tabelle 5 zyklisch über die Kommunikationschnittstelle. Bei der Konfiguration der Prozessdaten am Master ist die Bedienungsanleitung des Devices heranzuziehen, zusätzlich sind die Werte auch in der IODD dokumentiert. Der Import der IODD erleichtert die Parametrierung des Masters sowie des Device über geeignete Parametrierungstools, da eine Grundkonfiguration vorgegeben wird.

Prozessdaten	Beschreibung
<b>Eingangsprozessdaten</b>	Abhängig vom Device können bis zu 32 Byte zyklische Daten über die IO-Link – Schnittstelle übertragen werden. Die tatsächliche Anzahl ist in der Devicedokumentation zu finden. IO-Link-Master stellen teilweise auch über einen Offsetwert die Möglichkeit bereit spezifische Prozessdaten aus den Eingangsdaten herauszulösen um die Übertragung unnötiger Daten zu minimieren.
<b>Ausgangsprozessdaten</b>	Die Ausgangsprozessdaten können ebenfalls von 1 bis 32 Byte parametrieren werden. Ähnlich wie bei den Eingangsprozessdaten findet sich der entsprechende Wert in der Bedienungsanleitung. Die Möglichkeit spezifische Prozessdaten durch ein Offset in die Datenbreite zu packen wird abhängig vom Master auch ermöglicht.

Tabelle 5: IO-Link Master Prozessdatenzuordnung, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Datenbreite der Eingangs- und Ausgangsprozessdaten ist bei den meisten Devices gleich groß, kann aber auch variieren. Die Datenbreite der azyklischen OnRequest Daten wird vom Devicehersteller für sein Device definiert und ist von dieser Einstellung unabhängig.

---

<sup>95</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 110 ff.

### 5.1.3.5 Parameterserver<sup>96</sup>

IO-Link stellt über den Parameterserver drei Einstellmöglichkeiten für die Datenhaltung der Parameter von IO-Link Devices zur Verfügung. Tabelle 6 gibt Aufschluss über die Möglichkeiten der Konfiguration. Abhängig von der Einstellung bewirkt diese eine Speicherung der Parameter der Devices am Masterport und kann im Austauschfall von defekten Geräten eine Datensicherung garantieren.

Parameterserver	Beschreibung
<b>Commissioning</b>	Bei dieser Einstellung werden keine IO-Link Device spezifischen Einstellungsparameter am Parameterserver des Masters gespeichert. Dieser Modus wird hauptsächlich für die Erstinbetriebnahme verwendet. Ein Wechsel in diesen Modus löscht alle am Parameterserver vorhandenen IO-Link Device Parametrierungseinstellungen und unterbindet unnötigen Datentransfer.
<b>Backup/Restore</b>	Dieser Modus vollzieht einen Upload der Parametereinstellungen des Device auf den Parameterserver sobald sich diese am IO-Link Gerät ändern. Ausgelöst wird dieser Upload durch das UploadFlag das als Event an den Master gemeldet wird. Während der Inbetriebnahmephase werden immer die aktuellsten Daten am Parameterserver gespeichert, da das UploadFlag bei jeder Parameteränderung am Device gesetzt wird. Im Austauschfall darf nur ein neues oder mit FactoryReset zurückgesetztes Device mit nicht gesetztem UploadFlag angeschlossen werden. Ansonsten würde es zu einem Upload der Daten in den Parameterserver kommen, ein Rücksetzen auf Werkseinstellung wäre trotz neuem Gerät vor dem Anschließen eine Empfehlung.
<b>Restore</b>	Im Restore-Modus wird der Parametersatz vom Device nur bei leerem Parameterserver in diesem hochgeladen und gespeichert. Wird die Konfiguration am IO-Link Device aktiv geändert, wird sie vom Master mit den hinterlegten Parametern überschrieben. Für diesen Fall müsste man mit dem Umschalten in Commissioning die Daten löschen oder auf Backup/Restore wechseln. Nach erfolgreicher Änderung kann Restore wieder aktiviert werden.

Tabelle 6: IO-Link Datenhaltungsoptionen, Quelle: Eigene Darstellung.

Die richtige Einstellung des Parameterservers kann bei der Inbetriebnahme oder im Ersatzteifall den gesamten Prozess vereinfachen. Beim PowerOn oder StartUp erfolgt ein Vergleich der Checksumme der Parameterdaten mit jener am Parameterserver, bei Abweichung wird die entsprechende Handlung vom Masterport ausgeführt. Bei Parameteränderungen oder Rezepturumschaltungen am Device führt eine nicht

<sup>96</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 118 ff.

kompatible Parameterservereinstellung womöglich zu einem Fehlverhalten. Die Einstellung des Parameterservers sollte deshalb immer gesondert für folgende Fälle betrachtet werden:<sup>97</sup>.

- Einschaltverhalten (Startups / Power on),
- Ersatzteilfall (Replacement / Spare Part).
- externe Parametrierung “Schreibtisch Parametrierung” (local commissioning),
- Teach und lokale Bedienung (teach in / local operations / local interface),
- Parametrierung über Funktionsblöcke in der SPS (Parameterization via FunctionBlock)
- Parametrierung über Tools (Parameterization via Engineering or Device-Tool)

IO-Link Master stellen unterschiedliche Parameter für Konfigurationsmöglichkeiten bereit, um die entsprechend gewünschten Eigenschaften für die Kommunikation mit dem IO-Link Device zu wählen. Dabei ist es essenziell die Auswirkungen der einzelnen Parameter zu kennen, um bei der Inbetriebnahme Probleme abzuwenden, sowie im späteren Anlagenbetrieb oder Ersatzteilfall nicht vor Überraschungen zu stehen. Mit der richtigen Konfiguration des Masterports für das angeschlossene Device geht es im nächsten Schritt daran die Aufmerksamkeit auf die Parametrierung des IO-Link Teilnehmers zu richten.

---

<sup>97</sup> Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 122 ff.

## 5.2 IO-Link Teilnehmer

Durch die Vielzahl der Anwendungen in der Automatisierungstechnik und Prozessindustrie gibt es bereits ein enormes Angebot von Sensoren, Aktoren und Hybridgeräten mit einer IO-Link Schnittstelle. Da diese unterschiedliche Anwendungsgebiete abdecken, verfügen diese auch über unterschiedliche Parameter für die Parametrierung, Diagnose und Fehlerbehebung. Die Parameter der einzelnen Devices werden in der entsprechenden Herstellerdokumentation zum Gerät sowie in der IODD des Geräts beschrieben.

### 5.2.1 IO-Link-Device Geräteklassen

Um die unterschiedlichen Parameter in ihrer Vielzahl zu standardisieren und einzuteilen wurden bestimmte Parameter zu Gruppen zusammengefasst und bestimmten Registern zugeordnet. Durch diese Zuordnung besitzen alle IO-Link Geräte die gleiche Struktur in ihren Daten.

Abhängig von den zur Verfügung gestellten Parametern der IO-Link Geräte durch ihre Hersteller erfolgt eine Einteilung in zwei IO-Link Geräteklassen. Die Base-Class enthält nur den minimalen geforderten Parameterbereich mit der Direct Parameter Page 1 und 2 im Indexbereich 0 und 1. Im Gegensatz dazu stehen die IO-Link Geräte, die den vollen Umfang der IO-Link Parameter nutzen und den gesamten Funktionsumfang inklusive IIoT- und Industrie 4.0-Anwendungen bieten. Bei diesen Geräten wird der Base-Class Indexbereich, wie in Abb. 24 dargestellt, um den Indexbereich der erweiterten IO-Link Parameter ausgedehnt.<sup>98</sup>

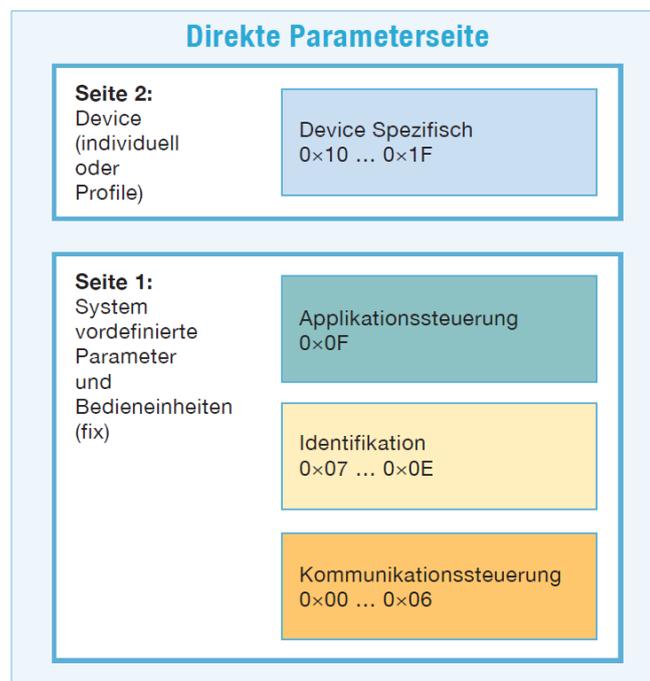


Abb. 24: Aufbau der Direct-Parameter-Page 1 u. 2, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 36.

<sup>98</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 35.

## 5.2.2 Direct-Parameter-Page 1

Die Direct-Parameter-Page 1 beinhaltet alle Parameter für die Systeminformationen für den Systemanlauf, die Parameter für die Kommunikationseinstellungen sowie zur Überprüfung der IO-Link-Device-Konfiguration. Damit beinhaltet diese nur systeminterne Parameter von IO-Link für interne Zwecke und ist über den IO-Link-Index-0 nur lesbar.<sup>99</sup>

Art	Address hex 0x	Address dec	Objekt Name	Kommentar
Kommunikationsparameter	00	0	Master Command <sup>a)</sup>	Der Inhalt ist nicht rücklesbar bzw. die Rücklesewerte ergeben keine Aufschluss über das abgesetzte Kommando oder den Status
	01	1	Master cycle time <sup>a)</sup>	Der IO-Link-Master schreibt in dieses Byte seine Mastercycletime. Dies ist die vom Master garantierte Zykluszeit im zyklischen Prozessdatenaustausch.
	02	2	Min. cycle time <sup>a)</sup>	Das IO-Link-Device gibt vor, mit welcher minimalen Zykluszeit es angesprochen werden darf.
	03	3	M-Sequenz Capability <sup>a)</sup>	Dieser Parameter teilt dem IO-Link-Master in der Anlaufphase mit, ob erweiterte Parameter (ISDU-Mechanismus) oder welche Telegrammtypen vom Device unterstützt werden.
	04	4	IO-Link Revision ID <sup>a)</sup>	Dieser Parameter ermöglicht dem IO-Link-Master festzustellen, nach welcher IO-Link-Version das Device erstellt ist.
	05	5	Process data In <sup>a)</sup>	Der Parameter gibt an, mit welcher Prozessdatenbreite vom Device zum IO-Link-Master zu rechnen ist.
	06	6	Process data Out <sup>a)</sup>	Der Parameter gibt an, mit welcher Prozessdatenbreite vom IO-Link-Master zum IO-Link-Device zu rechnen ist.
Identifikation	07	7	Vendor ID 1 - MSB <sup>a)</sup>	Die IO-Link-VendorID ist eine eindeutige Identifikation der IO-Link-Hersteller. Eine aktuelle Liste aller IO-Link-VendorIDs und der zugehörigen Hersteller findet sich auf der Seite <a href="http://www.io-link.com">www.io-link.com</a> .
	08	8	Vendor ID 2 - LSB <sup>a)</sup>	
	09	9	Device ID 1 - MSB <sup>a)</sup>	Die IO-Link-DeviceID ist eine herstellerspezifische Kennung der Devices eines Herstellers.
	0A	10	Device ID 2 <sup>a)</sup>	
	0B	11	Device ID 3 - LSB <sup>a)</sup>	
	0C	12	reserved	
	0D	13	reserved	
	0E	14	reserved	
Systemkommandos	0F	15	System Command <sup>b)</sup>	Dieser Parameter ermöglicht dem Anwender, verschiedene Funktionen zur Laufzeit auszuführen. Die genaue Funktion ist dabei vom IO-Link-Device-Hersteller definiert. Die Funktion gibt der Hersteller des IO-Link-Devices in seiner Dokumentation an.

Tabelle 7: Direct-Parameter-Page 1, Quelle: Uffelman/Wienzek/Jahn (2020b), S. 37.

<sup>99</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek/Jahn (2020b), S. 36.

### 5.2.3 Direct-Parameter-Page 2

In der Direct-Parameter-Page 2 kann der Device Hersteller Parametersätze eintragen. Die Parameter sind über den Index <sup>100</sup> abhängig von der Herstellerdefinition lesbar und/oder schreibbar anzusprechen. Inhalt dieser Parameter wird über die Herstellerdokumentation des Geräts beschrieben. Dieser Parameterbereich wird vor allem von BaseClass Geräten genutzt.<sup>101</sup>

### 5.2.4 Erweiterte IO-Link Parameter<sup>102</sup>

Die erweiterten IO-Link Parameter sind in Gruppen gegliedert und stehen dem IO-Link System in Teilen optional zu Verfügung. Dabei wird zwischen reservierten, herstellerspezifischen und IO-Link Profilparametern unterschieden. Die Herstellerdokumentation und die IO-Link Spezifikation gibt dazu im Detail Aufschluss, eine Übersicht der Parametergruppen bildet Abb. 25.

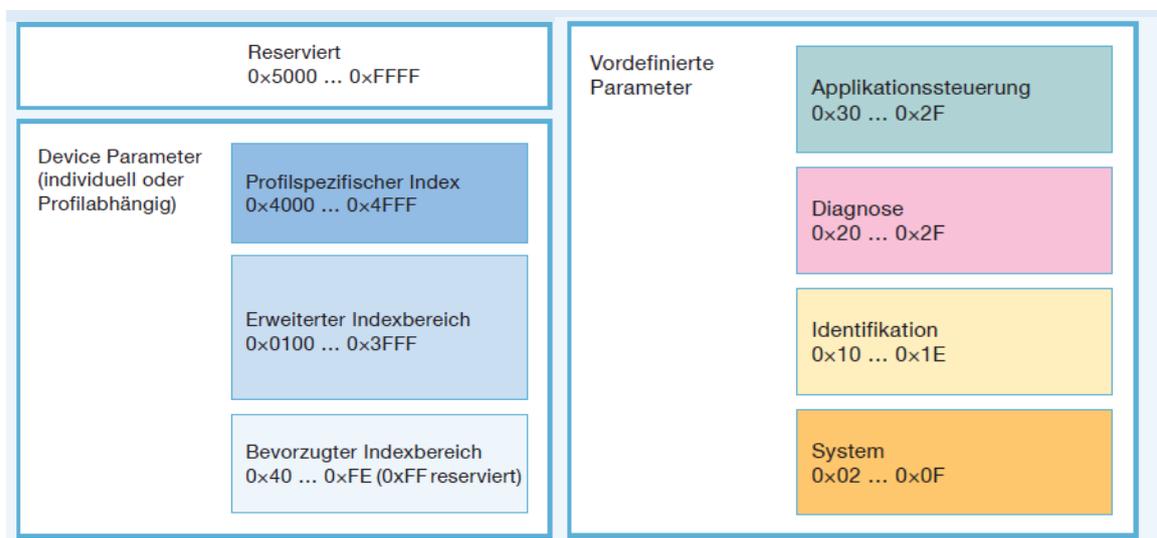


Abb. 25: Erweiterte IO-Link Parameter, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 45.

<sup>100</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 44.

<sup>101</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 36.

<sup>102</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 45 ff.

**Systemparameter:**

In den Systemparametern (Tabelle 8) sind devicespezifische Daten abgelegt, die Datenhaltung, FactoryReset, Prozessdatenprofile sowie die Struktur der Prozesseingangs- und Ausgangsdaten regeln.

	Idx in hex	Index in dez	Name	Read/Writeable	Länge	Datentyp	Pflicht / optional	Bemerkung
Systemindex	0000	0	Direct Parameter Page 1	R	15 Byte	RecordT	M	
	0001	1	Direct Parameter Page 2	R/W	16 Byte	Record	M	
	0002	2	System Command	W	1 Byte	Octet	M/O	Bei Unterstützung des Indexes siehe Erklärung unten
	0003	3	Data Storage Index	R	variabel	RecordT	O	vorhanden bei IO-Link-Devices, die Datenhaltung unterstützen
	0004 – 000B	4 – 11	reserved					
	000C	12	Device Access Locks	R	2 Octets	RecordT	C	Sperren des IO-Link-Devices gegen Parameterschreiben, DataStorage, lokale Parametrierung
	000D	13	Profile Characteristic	R	variabel	ArrayT of UIntegerT16	O	Beschreibung der Prozessdaten, die einem Profil folgen
	000E	14	PDInput Descriptor	R	variabel	ArrayT of OctetStringT3	O	Beschreibung der Struktur der Input-Prozessdaten
	000F	15	PDOut Descriptor	R	variabel	ArrayT of OctetStringT3	O	Beschreibung der Struktur der Output-Prozessdaten

Tabelle 8: System-Parameter IO-Link Device, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 46.

**Identifikationsparameter:**

Die Identifikation Parameter (Tabelle 9) werden im Gegensatz zu den Base-Class-Geräten bei allen anderen hier abgelegt. Sie dienen dem Master als Überprüfungsdaten bei der Identifikation und sind Pflichtparameter, welche zum Großteil nur lesbar sind. Zusätzlich hat der Anwender noch die Möglichkeit über drei Register anlagenspezifische Daten auf das Device zu schreiben.

	Idx in hex	Index in dez	Name	Read/Writeable	Länge	Datentyp	Pflicht / optional	Bemerkung
Identifikationsdaten	0010	16	Vendor Name	R	max. 64 Byte	StringT	M	Herstellername
	0011	17	Vendor Text	R	max. 64 Byte	StringT	O	additive Information des Herstellers
	0012	18	Product Name	R	max. 64 Byte	StringT	M	Produktname
	0013	19	Product ID	R	max. 64 Byte	StringT	O	z. B. Klartext der Artikelnummer/Bestelltext
	0014	20	Product Text	R	max. 64 Byte	StringT	O	z. B. Angabe der zu messenden physikalischen Größe (Druck, Temperatur, ...)
	0015	21	Serialnumber	R	max. 16 Byte	StringT	O	vendorspezifische Angabe
	0016	22	Hardware Revision	R	max. 64 Byte	StringT	O	vendorspezifische Angabe
	0017	23	Firmware Revision	R	max. 64 Byte	StringT	O	vendorspezifische Angabe
	0018	24	Application Specific Tag	R/W	max. 64 Byte	StringT	O	anwenderspezifische Anlagenkennung
	0019	25	Function Tag	R/W	max. 32 Byte	StringT	O	anwenderspezifische Funktionskennung
	001A	26	Location Tag	R/W	max. 32 Byte	StringT	O	anwenderspezifische Ortskennung
	001B bis 001F	27 bis 31	reserved					

Tabelle 9: Identifikations-Parameter IO-Link Devices, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 47.

**Diagnoseparameter:**

In dieser Gruppe sind Parameter für die Diagnose (Tabelle 10 des Betriebszustandes abgelegt. Diese Daten könnten in Bezug auf die Instandhaltung und Wartung bei richtiger Interpretation Vorteile generieren. Dazu ist es notwendig die Einzelinformationen mit geeigneten Systemen zu analysieren und im Gesamtsystem zu betrachten. Diese Parameter sind zum Teil optional durch den Hersteller definiert und über die Herstellerdokumentation in Bedeutung zu stellen. Teilweise werden Fehlermeldungsparameter sowie Diagnosedaten auch in den herstellereigenen Parameterbereichen eingetragen.

	Index in hex	Index in dez	Name	Read/Writeable	Länge	Datentyp	Pflicht/optional	Bemerkung
Diagnosedaten	0020	32	Error count	R	2 Byte	UIntegerT	O	Zahl der Fehler seit Power up
	0021 bis 0023	33 bis 35	reserved					
	0024	36	Device Status	R	1 Byte	UIntegerT	O	Wellnessfaktor des IO-Link-Devices
	0025	37	Detailed Device Status	R	variabel	RecordT	O	Zusatzinformationen in Verbindung mit Profilen
	0026 bis 0027	38 bis 39	reserved					
	0028	40	Process Data Input	R	PD length	Device specific	O	die letzten Prozessdaten können azyklisch gelesen werden
	0029	41	Process Data Output	R	PD length	UnitXX	O	die letzten Prozessdaten können azyklisch gelesen werden
	002A bis 002F	42 bis 47	reserved					

Tabelle 10: Diagnose Parameter IO-Link Device, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 48.

**5.2.5 Input Output Device Description (IODD)**

Die IODD ist eigentlich vergleichbar mit einem elektronischen Datenblatt im Dateiformat .XML. Darin sind alle IO-Link und devicespezifischen Daten abgelegt. Alle notwendigen Variablen, Prozesswertbeschreibungen, Menüs und Logiken sind darin enthalten. Über Engineeringtools werden die Daten der IODD anwenderfreundlich dargestellt und der Anwender über eine grafische Oberfläche durch die Konfigurationsparameter geführt.<sup>103</sup> Die IODD beschreibt ein Device bezüglich:<sup>104</sup>

- Identifikation,
- Parameter mit Adresse, Wertebereich oder ENUMs, Default-Wert und Datentypen,
- Prozessdatenaufbau inklusive Länge, Struktur und Wertebereiche,
- Eventliste,
- Textverweise für Sprachdateien,
- Menü-Strukturen

Diese elektronische Gerätebeschreibungsdatei ist für jedes IO-Link Device verfügbar und muss vom Hersteller entsprechend einem strikten Muster erstellt werden. Vor der Veröffentlichung muss jede IODD von einem Prüfwerkzeug – dem IODD-Checker – freigegeben werden. Dabei wird der Aufbau überprüft und die IODD mit einer Prüfsumme versehen. Jeder Hersteller stellt die benötigte IODD für seine IO-Link

<sup>103</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 227.

<sup>104</sup> Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 229.

Devices auf der eigenen Homepage zum Download bereit. Der Download in Form eines Zip-Files beinhaltet, siehe Abb. 26, neben der IODD auch ein Bild, ein Icon und ein Firmenlogo und meistens auch ein Bild der Anschlussbelegung. Darüber hinaus sind neben der englischen Version auch XML-Files mit Texten entsprechender Landersprachen inkludiert. Die Namensgebung der IODD beinhaltet immer den Hersteller, die Devicetype, das Datum und die IO-Link Reversionskennung. Neben der Bereitstellung auf der herstellereigenen Homepage werden alle IODDs auch auf der Homepage [www.io-Link.com](http://www.io-Link.com) im IODD-Finder abgelegt.<sup>105</sup>



Abb. 26: IODD Ordner Inhalt Festo Positionstransmitter, Quelle: Eigene Darstellung.

Jede Korrektur an der IODD führt zu einer neuen Version. Ebenfalls können IO-Link Devices mehrere IODD Dateien besitzen, da komplexe Funktionen oder Anwendungsprofile zu einer weiteren IODD führen können. Bei der Auswahl sind diese Ausprägungen sowie Revisionen zu berücksichtigen und entsprechend der Applikation auszuwählen.<sup>106</sup>

Viele Hersteller von IO-Link Mastern und Steuerungssystemen bieten Konfigurationstools für IO-Link Devices mit sogenannten IODD Interpreter an. Diese stellen die Daten der IODD anwenderfreundlich dar. Dazu werden die IODD Dateien importiert bzw. über ein PlugIn direkter Zugriff auf den IODD-Finder gewährt. Für die Konfiguration beider Kommunikationsteilnehmer stehen unterschiedliche Möglichkeiten zur Verfügung, die im jeweiligen Anwendungsfall ihre Vorteile ausspielen.<sup>107</sup>

## 5.3 Parametrierung und Konfiguration

Für die Parametrierung von IO-Link Mastern und IO-Link Devices gibt es verschiedene Möglichkeiten. Dabei ist immer die Konfiguration des Gesamtsystems von Master und Device im Verbund zu betrachten.

### 5.3.1 IO-Link Device Parametrierung<sup>108</sup>

Die Parametrierung eines IO-Link Device lässt sich grundsätzlich in vier Arten unterscheiden.

**Einzelparmetrierung:** Bei dieser Parametrierung erfolgt ein gezielter Zugriff auf einzelne Parameter durch den angegebenen Index und Subindex. Die Struktur, Gültigkeit und Konsistenz der Daten wird bei

---

<sup>105</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek/Jahn (2020b), S. 232.

<sup>106</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek/Jahn (2020b), S. 231.

<sup>107</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek/Jahn (2020b), S. 233.

<sup>108</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek/Jahn (2020b), S. 67 ff.

jedem Zugriff durch das Device geprüft. Demnach muss bei verketteten Parametern auch die Reihenfolge eingehalten werden. Bei einem ungültigen Parametersatz wird dieser verworfen und mit der letztgültigen Einstellung weitergearbeitet. Beim Einzelparameterzugriff wird der Datenerhaltungsmechanismus des Masters durch das Datenhaltungs-Event nicht aktiviert. Nur das manuelle setzen des „UploadFlag“ über den Parameterzugriff würde ein Überschreiben durch den Master bei aktivierter Datenhaltung verhindern.

**Blockparametrierung:** Dabei werden mehrere Parameter zu einem Block zusammengestellt und gleichzeitig über die geklammerte Parametrierung auf einmal übertragen und verändert. Mit dem Systemkommando ParamDownloadStart startet die Parametrierung und endet durch das Kommando ParamDownloadEnd oder ParamDownloadStore. Die Prüfung der Parameter auf Konsistenz, Struktur und Gültigkeit erfolgt nach dem Ende des Downloads für den gesamten Parameterblock. Bei ungültiger Prüfung wird der gesamte Parameterblock verworfen und mit dem alten Datensatz weitergearbeitet. Endet der Download mit dem Kommando ParamDownloadEnd wird das UploadFlag nicht gesetzt. Mit dem Kommando ParamDownloadStore wird hingegen das DataStorage-Event ausgelöst und der Datenhaltungsmechanismus des Masters gestartet.

**Datenhaltung:** Die Parametrierung über den Datenhaltungsmechanismus setzt die entsprechende Einstellung am Master voraus. Außerdem muss sich bereits einmal ein richtig konfiguriertes IO-Link Device am Masterport befunden haben. Je nach Mastereinstellung wird ein Up- oder Download der Parameter mittels Blockparametrierung durchgeführt.

**Dynamische Parametrierung:** Dieser Parametriermodus wird auch Teach-Modus genannt und kann über ein entsprechendes Systemkommando oder über das Device selbst gestartet werden. Damit können auch Rezepturumschaltungen über z. B. externe ERP-Systeme realisiert werden. Detaillierte Informationen zu diesem Modus und dem Verhalten siehe Herstellerdokumentation.

Abhängig von der Inbetriebnahme werden eine oder mehrere Arten der Parametrierung teilweise aufeinanderfolgend angewendet. Dabei spielt das angewendete System bzw. Konfigurationstool eine große Rolle welche Art der Parametrierung im Hintergrund zur Anwendung kommt. Die Einzelparametrierung kommt vor allem bei Parameteränderungen zur Laufzeit durch Funktionsblöcke im Anwenderprogramm zum Einsatz.

### 5.3.2 Inbetriebnahme<sup>109</sup>

Bei der Projektierung und Konfiguration von IO-Link Systemen verfolgt man zwei unterschiedliche Ansätze zur Inbetriebnahme.

**BottomUp-Strategie:** Die Voraussetzung für diese Strategie ist eine bestehende Verbindung zwischen Master und IO-Link Device. Durch die Einstellung IOL-Autostart an den Masterports wird die IO-Link Kommunikation aufgebaut und die Identifikationsdaten aus dem Device geladen. Durch den anschließenden Wechsel in die Betriebsart IOL-Manual des Masterports wird Konfiguration fixiert. Über die IO-Link Konfigurationstools der einzelnen Systeme können dann die IODD manuell oder automatisch über

---

<sup>109</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek/Jahn (2020b), S. 117.

das IODD-Finder-Plug-In geladen werden. Verkabelungsfehler wie Portverwechslung müssen manuell mit den Planungsunterlagen verglichen werden.

**TopDown-Strategie:** Bei dieser Strategie wird die Konfiguration der Masterports über das Konfigurationstool des verwendeten Systems durchgeführt und im Anschluss in den Master geladen. Fehler in der Verkabelung können durch die Sollvorgabe anhand der Planungsunterlagen erkannt werden. Durch den Betriebsmodus IOL\_Manual der Masterports werden falsch angeschlossene oder fehlende Devices durch Fehlermeldungen angezeigt.

Die Wahl der Inbetriebnahmestrategie wird meist anlassbezogen gewählt, da beide Strategien in bestimmten Fällen ihre Vorteile ausspielen können. Die Entscheidung erfolgt meist passiv aufgrund der angewendeten Systeme und der systembezogenen Konfigurationstools.

### 5.3.3 Konfigurationsmöglichkeiten und Tools

Die Konfiguration von IO-Link Devices kann nur in Verbindung mit einem IO-Link Master erfolgen. Die Hersteller von Steuerungssystemen und IO-Link Mastern stellen für die Parametrierung unterschiedliche Tools und Softwarepakete zur Verfügung. Teilweise ermöglichen IO-Link Feldbusmaster auch einen Zugriff auf eine am Master laufende Webserveranwendung zur Parametrierung und Konfiguration mit IODD Import.

#### **Schreibtischparametrierung<sup>110</sup>**

Bei dieser Art der Parametrierung von IO-Link Devices erfolgt die Konfiguration bereits vor dem Einbau des Geräts in eine Applikation. Das IO-Link Gerät wird im Büro parametriert. Zur Kommunikation zwischen PC und dem Device kann ein USB-Master verwendet werden. Das IO-Link Device wird nach erfolgreicher Parametrierung in der Anlage verbaut und die Parametrierung in die Steuerung oder den Master hochgeladen.

Alternativ kann auch der zum späteren Einbau in die Anlage gewählte Feldbusmaster verwendet werden. Dabei kann dieser gleich im Gesamten mit allen verwendeten Ports und Devices mitkonfiguriert werden, nach dem Einbau folgt ein Upload der Parametrierung in das Steuerungssystem. Die meisten Steuerungshersteller bieten diesen Uploadmechanismus in ihren Systemen an. Weiters besteht auch die Möglichkeit mit einer Teststeuerung den Master und die Devices gleich direkt über das Applikationstool der Steuerungssoftware zu parametrieren. Eine weitere Möglichkeit bieten Master mit OnBoard-Webserveranwendungen zur Konfiguration.

Der Vorteil der Schreibtischparametrierung liegt darin, die Inbetriebnahmezeit einzusparen, da die Konfiguration der IO-Link Master und Devices parallel zur Montage der Anlage durchgeführt werden kann.

#### **Webserveranwendungen von Industrial Ethernet IO-Link Master**

Mehrere Hersteller von IO-Link Feldbus Master ermöglichen die Parametrierung des Masters sowie der IO-Link Devices an den einzelnen Ports über eine Webserveranwendung, siehe Abb. 27. Dieser Webserver

---

<sup>110</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek/Jahn (2020b), S. 186.

läuft am Master selbst und ist bei bestehender Netzwerkverbindung über den Browser am PC aufrufbar. Als Adresse wird die IP-Adresse des Feldbusmasters eingegeben und die Webserveroberfläche erscheint. Nach der Konfiguration der Mastereinstellungen können die IODD hochgeladen und die Devices konfiguriert werden. Dabei bieten die einzelnen Hersteller unterschiedliche Umfänge von Parametrierungsmöglichkeiten über die Weboberfläche an.

**BALLUFF** BNI PNT-509-105-Z033

Home Ports IODD Logout Config Log Info

**IO-Link Device Properties (Port 0)**

**Identification Data**

Vendor ID: 0x0378  
 Device ID: 0x0E0102  
 Vendor Name: Balluff  
 Vendor Text: www.balluff.com  
 Product Name: BCM R15E-002-DI00-01,5-S4  
 Product ID: BCM0002  
 Product Text: Condition Monitoring Sensor  
 Serial Number: DE00745253284238  
 Hardware Revision: v2.1  
 Firmware Revision: v3.04.010  
 Application specific tag: Port 0

**Process Data**

Inputs (hex): 3C 93 2D FE 3C 8B 08 C0 3C B4 3E 21 41 EC B1  
 92 00 00 40 01  
 Outputs (hex): no outputs

[Conditional process data \(Process Data Profile: Vibration Velocity\)](#)

**Input**

Vibration Velocity RMS v-RMS X	0.017966266721487045
Vibration Velocity RMS v-RMS Y	0.016971945762634277
Vibration Velocity RMS v-RMS Z	0.02200228162109852
Contact Temperature Contact Temperature	29.58670425415039
Status Bits Pre-Alarm a-RMS X Status	false
Status Bits Main-Alarm a-RMS X Status	false

Abb. 27: Parametrierung eines Condition Monitoring Sensors am Port 1 eines IO-Link Masters, Quelle: Eigene Darstellung.

### IO-Link Konfigurationstools

Hersteller von IO-Link Komponenten bieten teilweise Softwarepakete mit einer Vielzahl an Applikationen für die Nutzung mit ihren aber auch fremden IO-Link Geräten und Mastern an. Diese Softwarepakete beinhalten unter anderem auch Konfigurationstool für IO-Link Komponenten, welche ähnlich zu den DTM (Device-Tool-Manager) AddOns von Steuerungssystemen vollen Funktionsumfang in der Parametrierung bieten. Zudem beinhalten diese Pakete auch Tools für die Aufzeichnung von Daten und den Zugriff auf Diagnosen zur raschen Behebung und Instandsetzung von Störungen und Fehlern. Dabei nutzen sie IIoT-Protokolle durch den Y-Way parallel vorbei an der eigentlichen Steuerung. Abb. 28 zeigt die Oberfläche der Applikation IFM Moneo von der Firma IFM Electronic GmbH. In der Abbildung wird die Konfiguration eines Schwingungssensors VVB001 von IFM dargestellt.

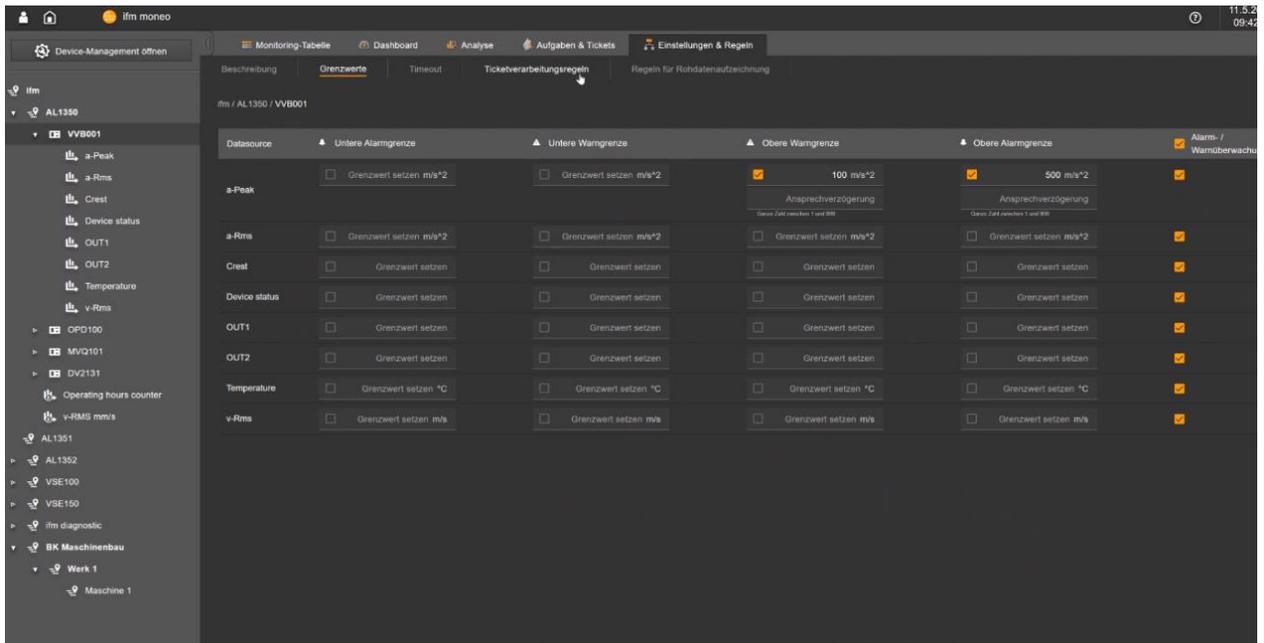


Abb. 28: IFM Moneo von IFM Electronic GmbH, Quelle: Eigene Darstellung.

### Konfigurationstool Steuerungssysteme

Unabhängig vom verwendeten Steuerungssystem bietet nahezu jede dazugehörige Projektierungssoftware ein DTM AddOn für die Projektierung und Konfiguration von Feldbuskomponenten. Darin inkludiert sind auch die Importmöglichkeiten von IODD und deren Interpretation in einer userfreundlichen grafischen Oberfläche. Damit können sowohl IO-Link Geräte, welche an einer SPS-IO-Link Masterkarte sowie Devices an Feldbus-IO-Link Mastern hängen, konfiguriert werden. Diese Tools bieten nach dem Import der IODD sowie der Gerätebeschreibungsdatei von Feldbusmastern den vollen Funktionsumfang in der Konfiguration und Parametrierung der Geräte und Master – teilweise vereinfacht per Drag and Drop. Abb. 29 zeigt beispielhaft die Darstellung der grafischen Konfigurieroberfläche im AutomationStudio von B&R nach dem Import der IODD für einen kapazitiven Füllstandssensor BCS011L von Balluff.

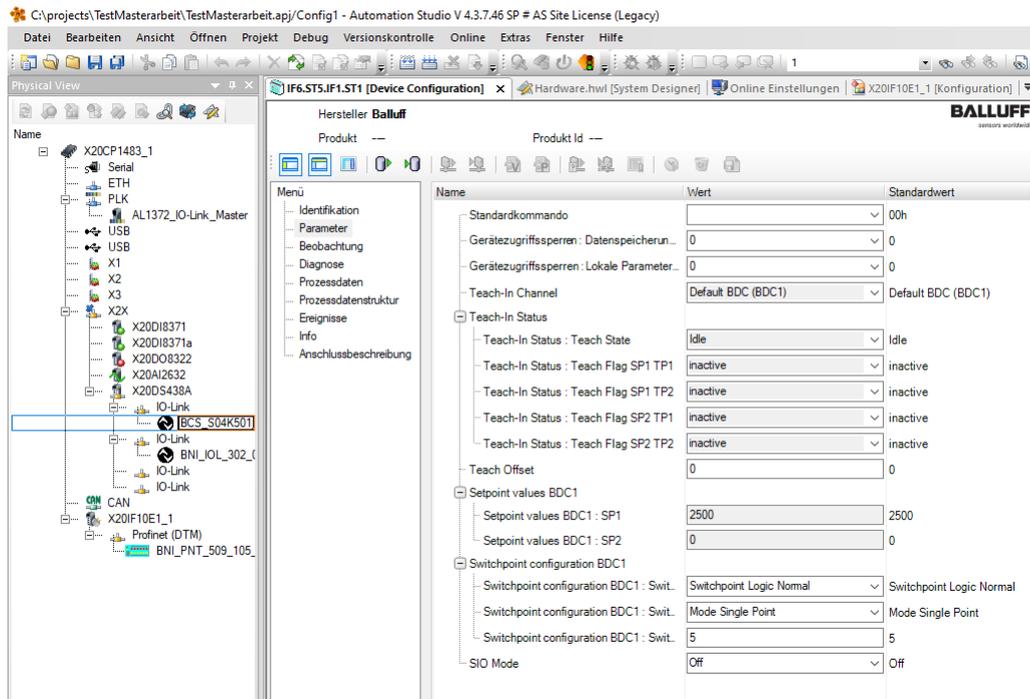


Abb. 29: DTM Gerätekonfiguration für IO-Link Devices des B&R Automation Studios, Quelle: Eigene Darstellung.

### Einzelparameterzugriff durch Funktionsblöcke

Nahezu alle Konfigurations- und Parametrierungstools sind für die Inbetriebnahme entwickelt und können nicht automatisiert die Parameter während des Betriebs der IO-Link Devices entsprechend der Applikation der Anlage ändern. Die automatisierte Änderung der Parameter während des Betriebs von Anlagen ist nur über das Steuerungsprogramm und entsprechende Funktionsblöcke der zuständigen Bibliotheken möglich. Über den Aufruf entsprechender Funktionsblöcke erfolgt ein gezielter Zugriff durch Angabe von Index und Subindex auf einzelne Parameter der IO-Link Devices. Damit können die IO-Link Geräte bei möglichem Bauteilwechsel mit anderen Parametern beschrieben werden, um ihre Funktionsweise ähnlich einer Rezeptumschaltung der Anlage zu ändern und Rüstprozesse einzusparen. Die Abb. 30 veranschaulicht einen Aufruf eines Funktionsblockes für einen Parameterzugriff durch ein Siemens Steuerungssystem.

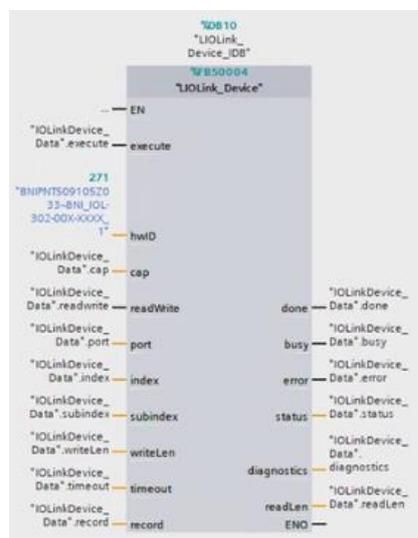


Abb. 30: IO-Link Device Funktionsblock Siemens TIA Portal, Quelle: Eigene Darstellung.

## 5.4 IO-Link und IIOT

Industrie 4.0 fordert mit dem Industrial Internet of Things (IIoT) neue Entwicklungen im Bereich der Datensammlung und der Konnektivität zwischen unterschiedlichen Systemen. Um Systeme miteinander zu verknüpfen gibt es auch bei IIoT-Schnittstellen mehrere Lösungen aufgrund der fehlenden Standardisierung bei nahezu identen Anforderungen.

- Sammeln von lokalen standardisierten Daten mit einheitlicher Semantik
- Datenverbindungen zwischen unterschiedlichen Systemen
- Geringer Implementierungsaufwand für Datengewinnung und Datenverbindungen

IO-Link ermöglicht durch intelligente Geräte und ihrer Kommunikationsmöglichkeit bis in die unterste Automatisierungsebene das Sammeln zusätzlicher Daten an den Geräten vor Ort. Durch die Standardisierung von IO-Link können verschiedene Geräte unterschiedlicher Hersteller miteinander kommunizieren. Für die Verbindung zum IIoT wurden bereits drei IIoT-Schnittstellen von der IO-Link-Community standardisiert.<sup>111</sup>

### 5.4.1 OPC UA<sup>112</sup>

Die **Open Platform Communication-Universal Architecture**-Schnittstelle kann bereits auf eine längere Vergangenheit zurückblicken. Der Name verrät bereits die Plattform- und Betriebssystemunabhängigkeit und kann damit nahezu allen Prozessorumgebungen wie PC-Hardware, Cloud-System Servern, SPSen und Microcontrollern installiert werden. Die IO-Link-Community hat in Zusammenarbeit mit der Nutzerorganisation OPC Foundation die Spezifikation OPC-UA or IO-Link-Masters and IO-Link Devices herausgegeben.

OPC-UA baut auf ein Client-/Server Modell auf. Die von Servern bereitgestellten Daten werden vom Client abgerufen. Der IO-Link Master übernimmt die Rolle des Servers. Jeder Teilnehmer im OPC-UA System bekommt eine eigene NodeID zur eindeutigen Erreichbarkeit, auch eine Hierarchie mit untergeordneten Sub-NodeIDs ist möglich. Im Falle von IO-Link bekommen die Devices eine Sub-NodeID und der Master die übergeordnete NodeID. Clients können in Form von ERP-, MES-Systeme, HMIs, Browsers, Smartphones oder Instandhaltungssystemen die Daten der IO-Link Geräte abrufen aber auch Parameter der IO-Link Geräte schreiben und verändern. Für den Transport und die Kommunikation werden verschiedene Protokolle verwendet, dabei kann neben TCP/IP auch webbasierte Protokolle wie JSON over Websockets oder http verwendet werden.

Durch definierte Variablen können Prozesswerte oder Einstellungen abgerufen werden, Objekte führen einzelne Befehle dazu aus. Durch Objekte und Variablen werden die unterschiedlichen Methoden beschrieben, welche in ihren Instanzen vererbbar sind. Die Daten werden dabei verschlüsselt übertragen. Zusätzlich erfolgt über ein Zertifikat eine Identifizierung und Steuerung der in Kommunikation stehenden Applikationen.

---

<sup>111</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 351.

<sup>112</sup> Vgl. IO-Link Community/OPC Foundation (2018), S. 8ff, Onlinequelle [10.01.2022].

## 5.4.2 JSON/REST-API Interface<sup>113</sup>

JavaScript Object Notation wurde auf der Grundlage von Java Script entwickelt und bildet zusammen mit Representational State Transfer- Application Programming Interface eine weitere IIoT-Schnittstelle für den Zugang der IO-Link Daten zu Cloud Systemen.

**JSON** spielt in dieser Rolle als Datenformat seine Vorteile durch die Plattform- und Programmiersprachenunabhängigkeit aus und ist dabei noch einfach von Mensch und Maschine interpretierbar. Der Zugriff auf Daten und Parameter erfolgt anhand des JSON Device Layer Models. Jeder Master mit seinen Ports und angeschlossenen IO-Link Devices wird anhand dieser Struktur repräsentiert. Als Schnittstelle nach oben zur IIoT fungiert eine Gateway Applikation. Die Grundlage für diese einheitliche Struktur bildet ein herausgegebenes Paper der zuständigen Arbeitsgruppe der IO-Link Community, darin wird auch die Umsetzung und Anwendung des Zugriffs auf IO-Link Teilnehmer Daten beschrieben und veranschaulicht. Durch Anwendung der vorgegebenen Syntax können Daten im JSON-Datenformat abgerufen oder geschrieben werden.

**REST** wurde als Konzept von Roy Fielding parallel zu HTTP entwickelt und ist mit seiner API eine einfache Programmierschnittstelle für den Abruf von Information auf verteilten Systemen über HTTP. Die Infrastruktur für REST liefert dabei das World Wide Web durch die Architekturprinzipien wie Client-Server, Zustandslosigkeit, Caching, einheitliche und unabhängige Schnittstellen, Layered Systems mit Kapselung und Code-on-Demand in den Web-Diensten.

Die Informationen aus den IO-Link Mastern können durch REST-API anhand der Eingabe der URL über Browser oder HTTPS-Übertragung als JSON Format abgerufen werden. Über vier HTTP-Methoden können gezielte Aktionen wie Lesen (GET), Schreiben (POST), Löschen (DELETE) und das Aufrufen der möglichen Methoden als Liste (OPTIONS) durchgeführt werden. Durch das JSON Device Layer Model kann durch Angabe der Strukturtiefe neben dem Zugriff auf das IO-Link Device auch auf Einstellungen und Daten der Ports, des Master selbst und auf das am Master laufende Gateway zugegriffen werden. Dabei ist vor allem der Zugriff mit Schreibberechtigung während der Laufzeit zu regeln, da durch Zugriff vorbei an der übergeordneten Steuerung bei Parameteränderungen zu möglichen Gefahren in Anlagensituationen führen können. IO-Link Master verfügen teilweise über zwei Hardware- oder Softwareschnittstellen für den Y-Way, Feldbus und IIoT. Über die Schreibhoheit verfügt meist die SPS bzw. der Feldbus.

---

<sup>113</sup> Vgl. IO-Link Community (2020), S. 360 ff.

### 5.4.3 MQTT Interface<sup>114</sup>

Das Message Queuing Telemetry Transport Interface, entwickelt von IBM, wird aufgrund der einfachen Implementierung und den geringen Anforderungen an Prozessoren als IIoT-Schnittstelle zwischen Endgeräten und Cloud-Applikationen zahlreich angewendet. Ebenfalls als Machine-to-Machine Schnittstelle nutzt MQTT die TCP/IP-Netzwerkstandards beim Publish-and-Subscribe Verfahren. Die Daten werden vom Master, dem MQTT-Broker, bereitgestellt (publish), der Broker legt diese in einer Ressource ab, von wo sie von anderen Geräten MQTT-Clients abgeholt (subscribe) werden. Die Verbindung zwischen Master und Cloud findet dabei meist indirekt über ein Edge-Gateway als MQTT-Broker statt. Es besteht auch die Möglichkeit, dass ein Gerät beide Verfahren in sich vereint. Der Broker greift über HTTP-Methoden wie GET oder POST auf die vordefinierten Instanzen (Verzeichnisstrukturen) der IO-Link Master zu. Die Antwort erfolgt im JSON-Format.

Anbieter von Cloud Systemen bieten neben online Cloudsystemen auch die Möglichkeit, den Broker auf einem privaten Cloudsystem an, sodass die Daten nicht das Unternehmen verlassen. Der Schutz der Daten ist ein hohes Gut, deshalb wird die Daten-Security durch Authentifizierungsverfahren und TLS Transport sichergestellt. Die Anwendung eines Edge-Gateways bedarf keiner Verpflichtung empfiehlt sich aber aufgrund des indirekten Zugriffmechanismus für eine sichere Verbindung. Zusätzlich ermöglichen diese Gateways auch die Verbindung mit nicht MQTT-fähigen IO-Link Master zum Cloud System. Zusätzlich zum Sammeln der Daten findet durch geeignete Cloud-Applikationen eine gleichzeitige Datenanalyse und Auswertung, teilweise sogar in Echtzeit, statt. Dem Anwender stehen unbegrenzte Möglichkeiten der Datennutzung durch entsprechende Analysen zur Verfügung, als Beispiele können Key Performance Indikatoren wie OEE oder ähnliches ausgewertet werden. Über geeignete Dashboards findet eine visuelle Darstellung für den User statt.

Es muss nicht immer ein Cloud-System für die Verarbeitung der zyklischen und azyklischen Daten sein. Auch andere Systeme leisten unter Umständen einen guten Dienst bei der Auswertung der Daten. Darunter können neben bereits bestehenden Systemen ebenfalls eigene Low-Cost Entwicklungen auf Basis der IIoT-Kommunikation ihren Beitrag zur Nutzung der Daten leisten. Geeignete Tests im Kapitel 6.1.3 *Y-Way to the Cloud* bzw. Kapitel 10.3 *RaspberryPI mit Balluff Master* der Möglichkeiten sollen dazu eine entsprechende Aussage liefern.

---

<sup>114</sup> Vgl. Uffelman/Wienzek/Jahn (2020b), S. 364 ff.

## **6 VERARBEITUNG DER DATEN VON IO-LINK GERÄTEN IM TEST**

IO-Link Geräte wie Sensoren, Aktoren oder Hybridgeräte werden in Automatisierungssystemen eingebaut. In der Regel sind dies Standard Sensoren oder Aktoren erweitert mit einer intelligenten Kommunikationsschnittstelle. Zusätzlich bieten die IO-Link Devices neben den zyklischen Prozessdaten noch weitere Diagnosedaten. Grundsätzlich werden die Daten der IO-Link Teilnehmer primär von der übergeordneten Steuerung für das Steuern von Maschinen und Anlagen verarbeitet. Eine zusätzliche Nutzung der Daten kann über bestimmte Systeme und Schnittstellen für spezielle Anwendungen abseits der Maschine realisiert werden.

### **6.1 Verarbeitungssysteme**

Alle bereitgestellten Daten eines IO-Link Geräts beinhalten Informationen über das Gerät selbst, dessen Zustand oder dessen Umfeld. Dabei liefert das Gerät die Daten entweder zyklisch als Prozessdaten oder azyklisch als OnRequest-Daten, welche Parameter-, Diagnose- oder Eventdaten des Geräts beinhalten.

Alle Systeme in der Automatisierungstechnik, die aufgrund der Topologie direkt oder indirekt mit dem IO-Link-Device kommunizieren, würden die Möglichkeit besitzen auf dessen Daten direkt oder durch ein Subsystem zuzugreifen. Durch die Kommunikation von IO-Link bis in die unterste Sensor-/Aktorebene könnten die Daten bis in die Spitze der Pyramide gehandelt werden. Mit bestimmten Subsystemen ist auch ein Zugang der Daten zur Cloud realisierbar.

#### **6.1.1 SPS Steuerung**

Speicherprogrammierbare Steuerungen sind in der Automatisierungstechnik allgegenwärtig und werden zur Steuerung von Maschinen oder Anlagen verwendet. Verbaute IO-Link Geräte in einer Anlage kommunizieren mit der übergeordneten Steuerung in Form einer SPS und melden den Zustand der Anlage oder führen Tätigkeiten in der Anlage aus. Die IO-Link-Kommunikation in die Sensor-/Aktorebene findet entweder direkt über einen SPS-IO-Link-Master als Steckkarte einer SPS-Baugruppe oder über eine Zwischenebene in Form eines Feldbus-IO-Link-Masters statt. Die Einbindung des IO-Link-Device als Teilnehmer unterscheidet sich dabei abhängig von der Programmierumgebung des Steuerungssystems sowie bei einer direkten Verbindung oder einem zwischengeschalteten Feldbus jeglicher Art. Einen Einblick in die Konfiguration der unterschiedlichen Systeme ist unter Kapitel 10.1 zu sehen. Unabhängig davon, stehen in jedem System die Prozessdaten des IO-Link Teilnehmers zyklisch für die Steuerungsaufgaben zur Verfügung. Neben den Prozessdaten sind auch die Parameter-, Diagnose- und Eventdaten durch die azyklische Datenkommunikation für die SPS durch Aufrufen von entsprechenden Funktionsbausteinen verfügbar. Hier ist es lediglich zu beachten, dass sich die Adressierung der entsprechenden Daten mittels der Funktionsbausteine über die Systeme und Topologien sowie Feldbusse unterscheidet. Die folgenden Bilder zeigen unterschiedliche Topologien an unterschiedlichen SPS-Systemen. Die Auswahl der Systeme erfolgte dabei auf Siemens aufgrund der verbreiteten Nachfrage unserer Kunden und auf B&R aufgrund der differenzierten Arbeitsweise zu Siemens und des Herstellungsbezugs in Österreich.

### 6.1.1.1 B&R-SPS X20CP1382 und Automation Studio

Für die Integration von IO-Link Teilnehmern in eine Maschine oder Anlage gibt es eine Vielzahl an Möglichkeiten, um das IO-Link Device mit der SPS in Kommunikation zu bringen. Die Unterschiede zeichnen sich dabei abhängig von der Topologie der Integration ab. Die Abb. 31

zeigt den Aufbau des Systems im Hardwaremanager von B&R Automation Studio. Genauere Infos zu Integration und Konfiguration sowie Programmierung siehe Testaufbau Kapitel 10.

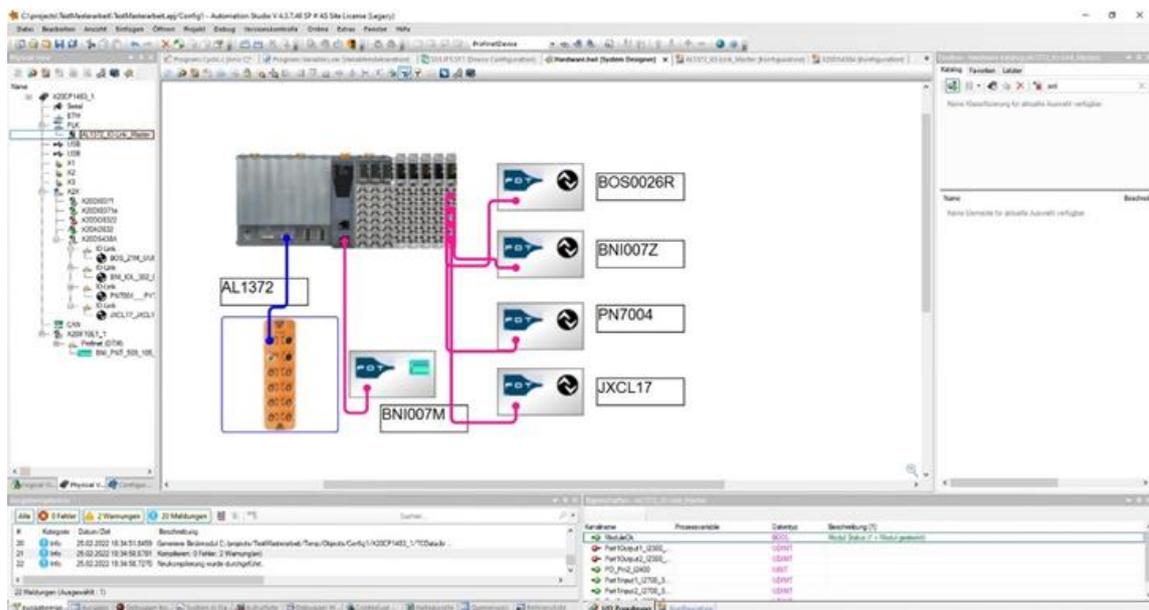


Abb. 31: B&R Automation Studio, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Verarbeitung der Prozessdaten der IO-Link Devices erfolgt unabhängig von der Topologie. Es ergeben sich keine Unterschiede in der Konfiguration der Prozessdaten, da diese über die Gerätekonfiguration der Einzelgeräte im Automation Studio entsprechend den Vorgaben der Handbücher der IO-Link Teilnehmer konfiguriert werden müssen. Die Prozessdaten stehen auf der SPS in Echtzeit zur Verfügung.

Bei den azyklischen Daten wie Diagnose- und Parameterdaten spielt die Topologie eine große Rolle. Für den IO-Link Master von B&R steht zur azyklischen Kommunikation jeweils ein Baustein für das Lesen und Schreiben der azyklischen Daten aus der Bibliothek AsIOlink zur Verfügung.

Beim IO-Link Master von Balluff ist das Ansprechen der azyklischen Daten des IO-Link Teilnehmers nur über die Funktionsblöcke der Profinet-Bibliothek AsNxPnM möglich. Die Adressierung des Bausteins für das Lesen bzw. Schreiben erfolgt dabei auf das Profinet-Modul das als Gateway zu den IO-Link Ports mit den angeschlossenen Devices fungiert. Dies macht die richtige Adressierung relativ kompliziert, ist aber mittels der Handbücher des Balluff-IO-Link Master und der Informationen zur Profinetbibliothek möglich. Das Profinet-Modul stellt über einen bestimmten Datenbereich den Zugang zum Senden bzw. Empfangen von azyklischen Daten auf den ausgewählten IO-Link Port zur Verfügung. Durch diese zusätzliche Ebene in der Kommunikation sind dafür Detailinformationen notwendig und erschweren damit den Weg zu den OnRequest-Daten. Unerfahrene Anwender werden dadurch sicher abgeschreckt, können aber durch die Herstellerunterstützung ans Ziel kommen.

Der IO-Link-Master von IFM kommuniziert über den internen Powerlink Industrial Ethernet Feldbus der B&R SPS und soll diesbezüglich einfacher betreffend der azyklischen Daten ansprechbar sein. Die Kommunikation über die azyklischen Daten erfolgt über die Powerlink-Bibliothek AsEPL mit den Funktionsblöcken für das Lesen und Schreiben. Die Adressierung ist dabei analog zum Profinet-IO-Link Master etwas einfacher. Durch die Kommunikation über den internen Bus ohne Gateway entfällt eine zusätzliche Ebene in der Kommunikation. Über die Beispieldokumentation zur Integration von IFM bekommt man einen Leitfaden für die richtige Adressierung durch entsprechend gezielte Suche in den Handbüchern des IO-Link Masters sowie der IO-Link Teilnehmer.

### 6.1.1.2 Siemens SPS ET200SP 1512

Bei der Integration von IO-Link Teilnehmern besteht auch beim SPS System von Siemens die Möglichkeit verschieden Topologien abhängig vom Anlagenkonzept zu realisieren. Die Abb. 32 zeigt die Hardwareansicht einer Siemens ET200SP analog zum Testaufbau. Genauere Informationen zur Integration, Konfiguration sowie Programmierung siehe Kapitel 10 Testaufbau. Auch hier wurden im Testaufbau wieder verschiedene Topologien verwendet.

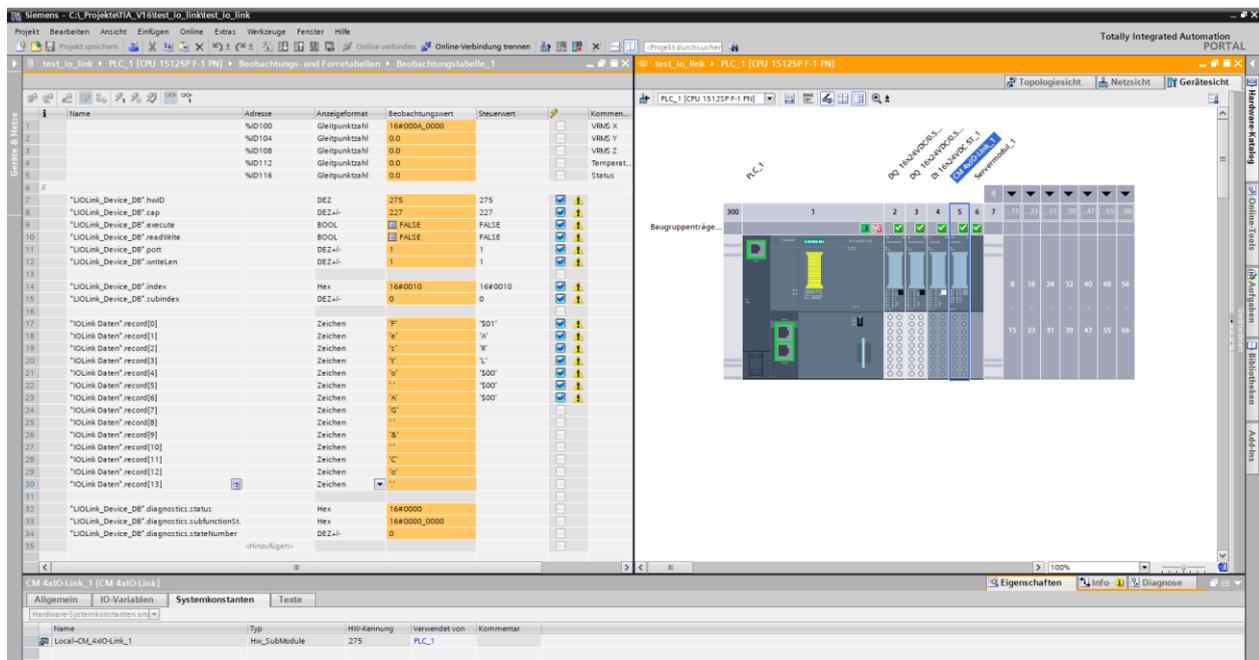


Abb. 32: Siemens TIA Portal Hardwareansicht, Quelle: Eigene Darstellung

Die Prozessdatenverarbeitung der IO-Link Teilnehmer verhält sich unabhängig der Topologie. Die Unterschiede zwischen der direkten Kommunikation oder einem zwischengeschalteten Profinet Feldbus ergeben sich lediglich in unterschiedlichen Adressbereich, ansonsten spielt der zwischengeschaltete Feldbus keine Rolle. Bei der Konfiguration der Prozessdaten sind die Vorgaben der IO-Link Devices aus den Handbüchern zu entnehmen. Die Prozessdaten stehen bei korrekter Konfiguration zyklisch zur Verfügung.

Siemens stellt über das TIA-Portal (Totally Integrated Automation) eine Bibliothek für das Lesen und Schreiben von azyklischen Daten zur Verfügung. Die Kommunikation erfolgt in beiden Richtungen mit dem

Funktionsbaustein IOLink\_Device. Damit können Parameterdaten am Device geändert und Diagnosedaten ausgelesen werden.

Die Adressierung des Funktionsbausteins auf die Datenpunkte der Device-Schnittstelle bei einer direkten Verbindung zwischen SPS und IO-Link-Device ist für das Lesen oder Schreiben von azyklischen Daten über einen Siemens IO-Link Master als Steckkarte für die ET200SP relativ unkompliziert.

Bei der Verwendung eines IO-Link Masters von Balluff gestaltet sich die Adressierung der azyklischen Daten beim Lesen oder Schreiben etwas komplizierter, da durch den Feldbus in der Adressierung eine Ebene dazukommt. Die Adressierung des Datenbereichs für den Zugriff durch den Funktionsbaustein ist über das Handbuch von Siemens für den IO-Link Baustein bzw. durch die Anwenderdokumentation von Balluff nachzulesen.

### **6.1.1.3 Ergebnis Datenverarbeitung SPS**

Sind die Daten der IO-Link Teilnehmer auf der Steuerung erstmal verfügbar, stehen dem Anwender unterschiedliche Möglichkeiten zur Nutzung zur Verfügung. Durch gezielte Aufrufe von Funktionsblöcken können auch azyklische IO-Link-Daten zyklisch gelesen und geschrieben werden. Zu beachten sind dabei die Zykluszeiten sowie die Unterbrechung der Übertragung von Parameterdaten durch Diagnosedaten in Form von Events aufgrund unterschiedlicher Priorisierung. Eine Überprüfung der Datenbreite der OnRequest Daten pro IO-Link Zyklus ist bei einer zyklischen Nutzung des Funktionsbausteins über mehrere Instanzen vorzunehmen, um die IO-Link Kommunikation nicht zu überlasten.

Eine SPS ist zwar laut Definition nicht dafür vorgesehen, Datenanalysen durchzuführen. Wenn es die Laufzeit des Systems für die Steuerungsaufgaben der Maschine oder Anlage nicht überlastet, können verschiedene Datenverarbeitungen direkt auf der Steuerung gemacht werden. Die Diagnosedaten können ausgewertet und dem Bediener über das HMI bereitgestellt werden. Zusätzlich generierte Alarmer und Meldungen können den Bediener frühzeitig auf Probleme an der Anlage aufmerksam machen. Die Aufzeichnung bzw. Verarbeitung von azyklischen Daten der IO-Link Geräte über die Umgebung wie Temperatur, Vibrationen, Luftfeuchtigkeit oder ähnliches kann als Sideeffekt vom Sensor aufgenommen werden. Für die Rückverfolgbarkeit oder Analyse von Produktionsfehlern können Umgebungsdaten von hoher Bedeutung sein.

### **6.1.1.4 Ergebnis Datenverarbeitung durch Datenhandling an übergeordnetes System**

Verfügt die SPS über die zyklischen und azyklischen Daten von IO-Link, stehen sie bei einer Anbindung der Steuerung an übergeordnete Systeme auch diesen optional zur Verfügung. Die Daten würden bei einer durchgängigen Kommunikation über die Ebenen der Automatisierungspyramide bis in die Spitze bzw. auch in die Cloud übertragen werden können. Notwendig dazu ist ein Datenhandling der SPS in weiteren Ebenen. Dazu stehen einige Protokolle und Schnittstellen als Grundausstattung bei vielen Herstellern von Steuerungssystemen zur Verfügung. Für dieses Datenhandling in höheren Ebenen können unterschiedliche Schnittstellen wie OPC UA, Modbus TCP, TCP/IP, UDP, etc. angewendet werden.

Die Nachteile der Datenweitergabe über SPS Systeme liegen darin, dass für den Datentransport auch Rechenleistung der SPS benötigt wird. Es sollten deshalb genügend Ressourcen trotz Datenhandling frei und für die Steuerungsaufgaben reserviert bleiben. Die Auswertung von großen Datenmengen, wie sie für

Predictive Maintenance und Industrie 4.0 benötigt werden, ist mit der SPS durch die geringe Speicherkapazität und der eigentlich differenteren Nutzungsanforderung kaum möglich. Die Notwendigkeit eines SPS-Programmierers, für die Konfiguration der Schnittstellen nach oben und unten bzw. für das Auslesen von azyklischen Daten zu sorgen, könnte sich bei späteren Änderungen oder Anpassungen ebenso nachteilig auswirken. Neben den steuerungstechnischen Anpassungen muss abseits vom Zugriff auf das SPS-Programm auch die Datenverarbeitung im Detail berücksichtigt und durch den SPS-Programmierer entsprechend verändert werden.

### **6.1.2 Webserver und Cloud**

Mit der IO-Link Schnittstelle und der Kommunikation in die unterste Ebene der Automatisierung kann durch geeignete Anbindungsmöglichkeiten der Weg der Daten auf einen Webserver oder in die Cloud möglich gemacht werden. Der Weg über die SPS wie zuvor geschildert, ist mit bestimmten Nachteilen geprägt. Dadurch begründet wurden alternative Wege gesucht und bereits teilweise gefunden.

### **6.1.3 Y-Way to the Cloud<sup>115</sup>**

Der Y-Weg ist die Entwicklung eines alternativen Weges der Daten in die Cloud zu realisieren. Der Datenstrom läuft dabei nicht mehr über die SPS, sondern seitlich an ihr vorbei. Geeignete Sidesysteme in Form von speziellen IO-Link Gateways sind dazu von unterschiedlichen Herstellern verfügbar. Die gesamten Informationen und Daten der IO-Link Devices werden über ein TCP/IP Protokoll an der SPS vorbei an eine Datenbank auf einem Server gesendet ohne die SPS bei ihren Steuerungsaufgaben zu belasten.<sup>116</sup>

Je nach Hersteller wird zwar einheitlich eine TCP/IP Datenübertragung angewendet, jedoch gibt es unterschiedliche IIoT-Protokolle die der TCP/IP Datenübertragung übergeordnet werden. Dabei gehen die Wege der Hersteller komplett auseinander und forcieren die Nutzung entweder von OPC-UA, JSON, Rest-API oder MQTT. Neben der IIoT-Protokolle verfolgen die unterschiedlichen Hersteller von Automatisierungssystemen bzw. IO-Link Devices verschiedene Integrationen der Gateways für die Y-Way Variante.

#### **6.1.3.1 IFM MONEO**

Die IFM Electronic GmbH bietet eine IIoT-Plattform mit dem Namen Moneo an. Moneo ist ein Softwarepaket, das aus einzelnen Tools besteht und teilweise auf einander aufbaut. Das Herzstück ist das Moneo OS und regelt neben dem Benutzerzugriff die virtuelle Abbildung der Anlagenstrukturen sowie die Einbindung der Devices. Eine grafische Oberfläche ermöglicht die Verarbeitung und Anzeige der Daten. Die Lizenzierung erfolgt einmalig durch das Softwarepaket und über die einzelnen Infopoints, dabei kann das Paket durch weitere Tools wie Moneo-RTM erweitert werden. Moneo RTM ermöglicht Auswertungen

---

<sup>115</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020a), S. 68.

<sup>116</sup> Vgl. Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020a), S. 68.

der Daten für Condition-Monitoring und eine visuelle Anzeige über benutzerspezifische Dashboards mit einer Alarmausgabe direkt an den Instandhalter über E-Mail.<sup>117</sup>

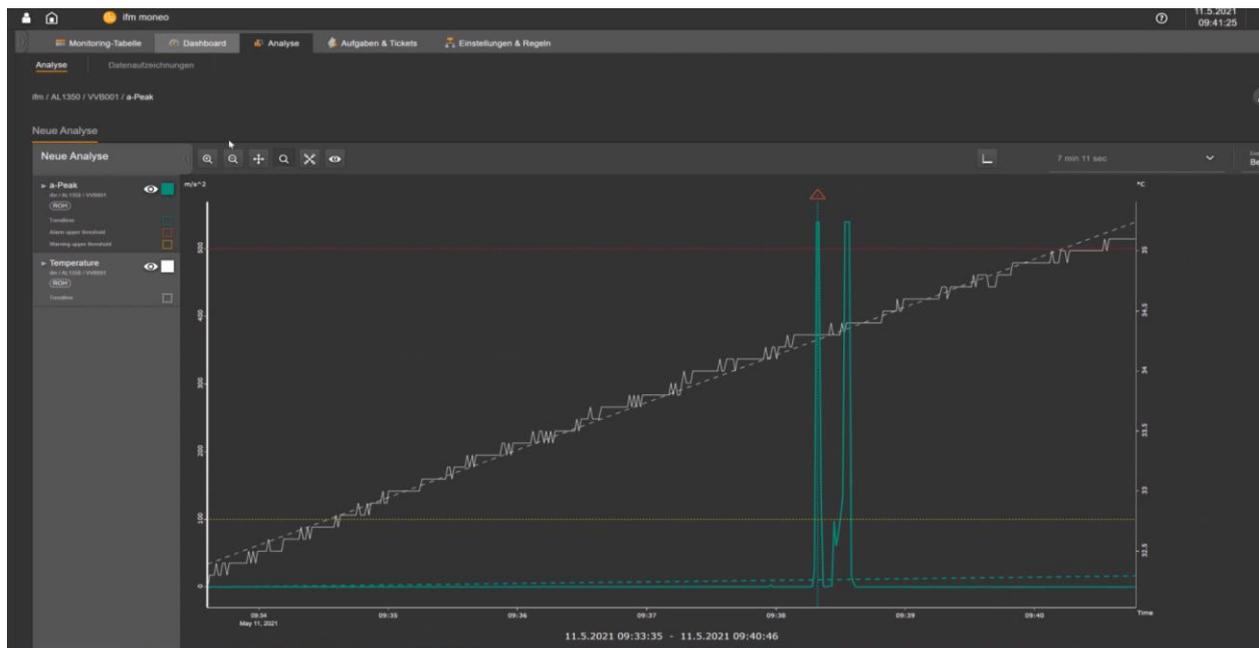


Abb. 33: IFM Moneo Messwertaufzeichnung, Quelle: Eigene Darstellung.

Beim Testaufbau mit dem Starterkit von IFM wurde ebenfalls der IO-Link Master AL1372 mit einem IO-Link Sensor benutzt. Die IO-Link Master von IFM besitzen neben der Industrial Ethernet Schnittstelle noch eine weitere Ethernet-Schnittstelle für die Kommunikation über TCP/IP mit IIoT-Systemen im Format von MQTT mit JSON. Die Konfiguration der Software für die Einbindung der Sensordaten erwies sich, mit ein wenig Unterstützung durch den Techniker von IFM, relativ unkompliziert nach dem Motto Plug and Play. Dabei konnten neben den zyklischen Daten auch die azyklischen Parameterdaten durch die Auswahl der richtigen Adressen laut Handbuch in der Software als Datenpunkte integriert werden. Die Software wurde dazu auf einem Laptop installiert und dieser mit dem Master über ein LAN-Netzwerk verbunden. Neben der Variante der Installation der Software auf der Windowsumgebung liefert IFM auch eine Hardware namens Moneo Appliance in Form eines IPC. Die Grundkonfiguration der notwendigen Tools von Moneo mit ca. 25 inkludierten Datenpunkten beläuft sich auf ca. € 2.000,00 inkl. IO-Link Master, aber ohne den Industrie-PC Moneo Appliance.

Die Abb. 33 zeigt die Auswertung des Schwingungssensors VVB001 über die Plattform IFM Moneo. Dieser Schwingungssensor bietet neben der Hauptfunktion noch weitere Zusatzfunktionen wie Temperaturerfassung, Betriebsstunden etc. Das Diagramm zeigt über die grüne Kennlinie die Schwingung und über die weiße Kennlinie die Temperatur im Sensorbereich an. Über eine Auswertung im Hintergrund können Alarmer und Warnungen definiert bzw. Berechnungen von Kennwerten durchgeführt werden. Informationen sind damit für den Instandhaltungstechniker visuell, einfach und unkompliziert über ein Dashboard verfügbar sowie mit entsprechenden Meldungen verlinkt. Diese können an die zuständige

<sup>117</sup> Vgl. IFM Electronic GmbH (2021), Onlinequelle [14.05.2021].

Person auch per Mail zugestellt werden. Die rote und gelbe Grenzlinie signalisieren das Limit für die Warn- bzw. Alarmschwelle.

### 6.1.3.2 Turck Cloud

Die Firma Hans Turck GmbH bietet mit ihrer IIoT-Lösung bereits den Zugang der Daten aus der Automatisierungsebene in die Cloud an. Die Field-Logic-Controller sind intelligente Feldbuscontroller zur Steuerung von dezentralen Einheiten, die Steuerungsaufgaben und Signalverarbeitungsaufgaben wahrnehmen können. Über diese Field-Logic-Controller besteht die Möglichkeit, die Daten der angeschlossenen Sensoren, Aktoren und IO-Link Geräte für die OPC-UA Schnittstelle weiter zu verarbeiten. Über ein Gateway mit MQTT und OPC-UA erfolgt der Zugang der Daten zur Cloud von Turck, die auf einem bereitgestellten Server von Turck oder auf einem Server im eigenen Unternehmen sein kann. Die Cloud-Anwendungssoftware ermöglicht die Verarbeitung der Daten und eine Auswertung für Condition Monitoring Systeme oder anderen Analysen. Ein Dashboard zur Überwachung der wichtigsten Parameter mit Alarmfunktionen und Alarmierung rundet die Anwendung ab.

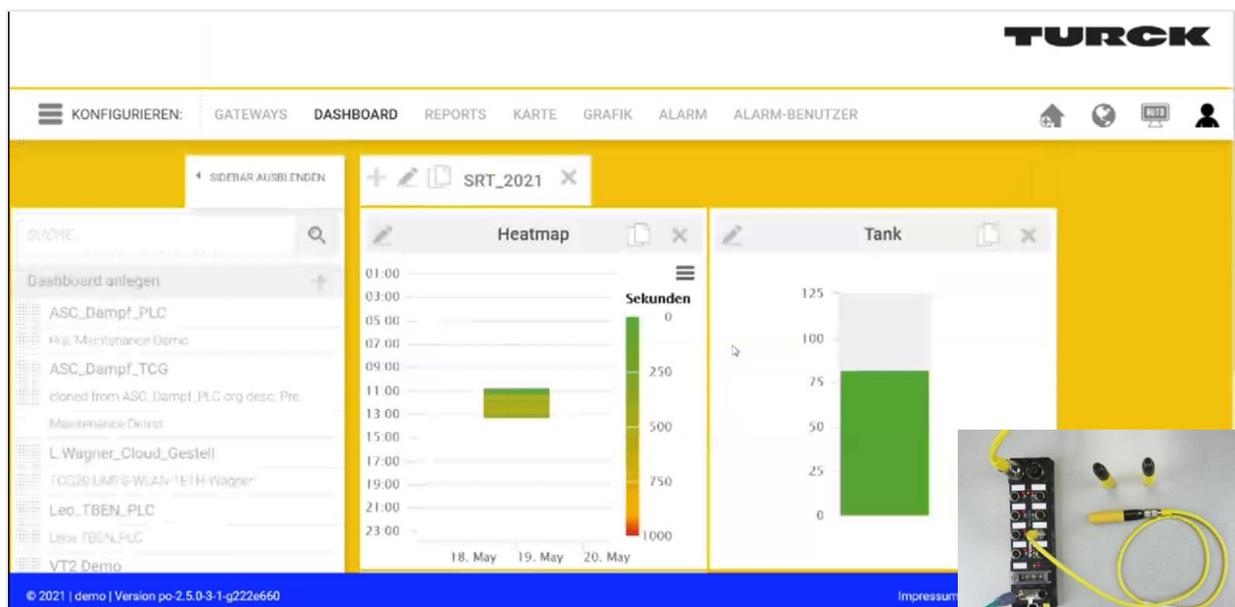


Abb. 34: Turck Cloud im Test, Quelle: Eigene Darstellung.

Für den Test der Turck-Cloud wurde von der Firma Turck ein Testzugang zur Cloud zur Verfügung gestellt. Als Hardware diente ein Testaufbau von Komponenten der Firma Turck, der auch über die Cloud steuerbar war. Der Aufbau war zur Beobachtung über einen virtuellen Teams-Kanal zugeschaltet. Die Konfiguration von Datenpunkten, Auswertungen und Dashboards ist über die Cloud-Anwendung einfach zu bedienen und durchzuführen. Die Kosten für das System sind eine Kombination einer Projektregistrierung mit einer laufenden monatlichen Gebühr pro Gateway-Modul. Abb. 34 zeigt die Oberfläche der Turck Cloud mit dem Dashboard für die Auswertung des Testaufbaus.

### 6.1.3.3 Low-Cost Konzept mit RaspberryPI, NodeRed und Grafana

Die vorhandenen Cloud Systeme sind durch ein Lizenzmodel käuflich zu erwerben und priorisieren den Einsatz der herstellereigenen Komponenten, vor allem bei den IO-Link-Mastern. Da die IO-Link Feldbus-Master der unterschiedlichen Hersteller bereits IIoT-Protokolle wie MQTT und JSON/REST-API unterstützen, war die Überlegung eine andere Möglichkeit zu nutzen, um einen Zugang zu den Daten zu bekommen. Angestoßen durch ein veröffentlichtes Video der Firma Balluff GmbH wurde die Idee aufgegriffen das JSON/Rest-API Interface zu nutzen, um die Daten der einzelnen IO-Link Devices und Master zu sammeln. Eine Analyse auf einem geeigneten System soll die Daten dem Anwender verfügbar machen. Als Hardwaresystem wurde ein Raspberry PI gewählt, da NodeRed auf diesem Gerät bereits vorinstalliert ist. Für die Visualisierung wäre auch das NodeRed Dashboard eine Option, die Entscheidung fiel aber auf Grafana als Visualisierungslösung aufgrund der umfangreichen Funktionen und des ansprechenden Designs. Die Veröffentlichung des Skriptums für JSON Integration der IO-Link Community diene als Unterstützung zur Umsetzung.

### 6.1.3.4 NodeRed

NodeRed wurde von IBM entwickelt und ist seit 2013 ein Open Source Flow-Based-Programming Tool. Bei der flussbasierten Programmierung erfolgt der Datenfluss zwischen einzelnen Knoten des Netzwerks und ist eine sehr einfache Programmiermethode. Jeder Knoten für sich stellt eine Blackbox dar und beinhaltet den gewünschten Code, dies fördert so die visuelle Darstellung eines Modells (Abb. 35). NodeRed bietet neben dem Flow-Editor zugleich auch die Ausführungsplattform Node.js als Webanwendungen der Laufzeitumgebung. NodeRed ist dabei selbst eine browserbasierte Webanwendung mit Node.js für Webtechnologien wie IoT und kann auf verschiedene Plattformen wie Edge-Geräten (vorinstalliert auf Raspberry PI) oder Cloud-Anwendungen (Standarddienst bei IBM-Cloud) eingesetzt werden. Damit ist es eine optimale IoT-Lösung für den Endanwender zur Datenverarbeitung, da MQTT-, HTTP- und JSON-Protokolle abgearbeitet werden können. Jede Node ist eine JSON-Datei und kann einzelnen Funktionen oder gesamte programmierte Abläufe enthalten, diese können vom einzelnen Anwender über eine öffentliche Bibliothek der „Welt“ bereitgestellt werden. Dies treibt immer neue Entwicklungen voran, von denen alle Nutzer profitieren.<sup>118</sup>

---

<sup>118</sup> Hagino, Taiji (2021), S. 6 ff.

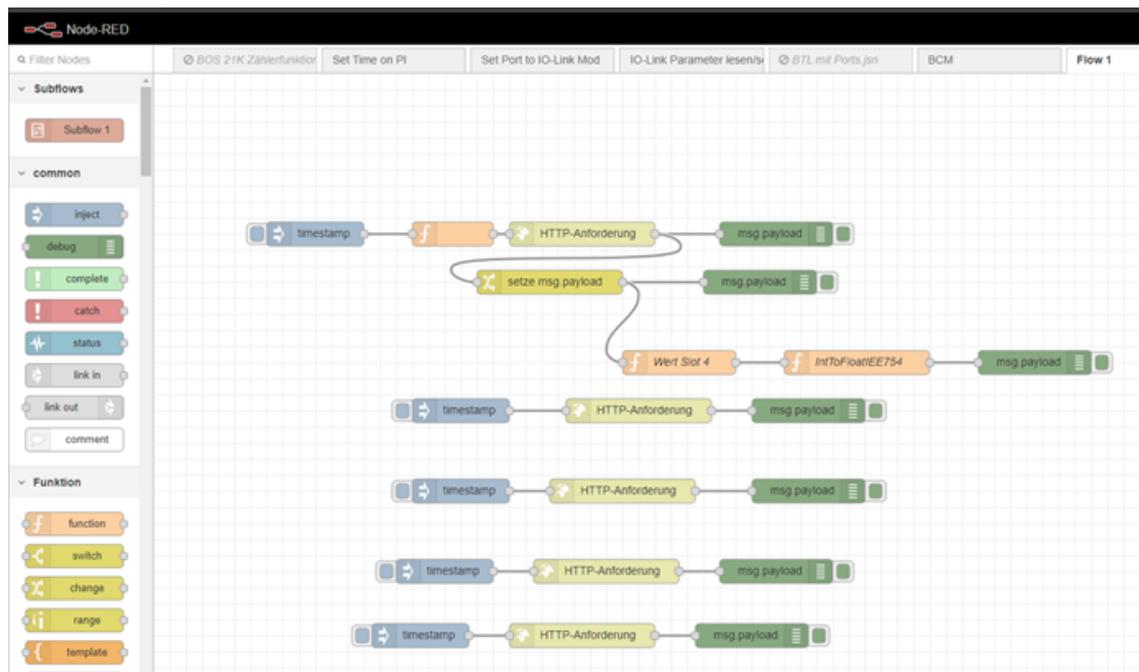


Abb. 35: NodeRed Programmierumgebung, Quelle: Eigene Darstellung.

### 6.1.3.5 Grafana

Grafana ist eines von vielen Systemen zur Datenvisualisierung und besticht durch die Apache Open-Source Technologie mit kostenloser Lizenzierung. Ein dadurch begründetes schnelles Wachstum wird durch eine begeisterte Community gefördert, welche durch Open-Source neue Funktionen und Plug-Ins entstehen lässt. Neben der Visualisierung ermöglicht Grafana die Analyse von Daten einer oder mehrerer Datenbanken und die Benachrichtigung durch spezielle Funktionen. Die Plug-In Architektur erlaubt die Einbindung einer Vielzahl an Datenbanken, Analysetools, Bibliotheken und weiterer Funktionen, welche durch neue Plug-Ins erstellt von Grafana Labs oder der Grafana Community die Entwicklung vorantreiben. Für den Support steht ein großes Anwendernetzwerk oder ein erwerbbarer Support für den kommerziellen Nutzen von Grafana Labs bereit. Die Unterstützung vieler Bibliotheken für Dashboard Elemente – darunter auch die D3-Bibliothek – verleiht der Visualisierung ein attraktives Design. Grafana ist auf allen \*nix-Betriebssystemen (wie Linux, OSX) und Windows lauffähig und lokal auf einem Laptop, Workstation oder Edge-Device sowie auf einem entfernten Server installierbar. Weiters wird auch eine gehostete Cloud-Anwendung von Grafana Labs teilweise kostenlos angeboten. Im Kern läuft Grafana als Webserver und ist lokal über den Browser unter <http://localhost:3000> aufrufbar.<sup>119</sup>

<sup>119</sup> Salituro, Eric (2020), S. 28 ff.

## 6.2 Nutzung und Aufbereitung der Daten

Nach der erfolgreichen Inbetriebnahme einer Anlage ausgestattet mit IO-Link Mastern und Geräten geht es an die Integration der Datengewinnung über unterschiedliche Systeme. Sobald man die Daten in einer Datenbank vorliegen hat, stellen sich die Fragen des Nutzens dieser Daten.

### **„Was nutzen diese Daten in der Datenbank?“**

Solang die Daten nur als Werte in einer Datenbank liegen, wird daraus kein Nutzen generiert werden können. Es müssen geeignete Analysen und Auswertungen vorgenommen und die Ergebnisse visuell dem Anwender angezeigt werden. Ein wichtiges Konzept ist dabei, diese Auswertungen mit entsprechenden Warnungen und Meldungen zu versehen, damit eine automatisierte Benachrichtigung der zuständigen Personen stattfinden kann. All das muss natürlich speziell für die Applikationen der Anlage zugeschnitten sein und erfordert eine individuelle Integration der Auswertungstools. Infolgedessen ist eine einfache Bedienung des Systems essenziell, denn auch der Anwender soll bei Bedarf in der Lage sein neue Analysen hinzufügen zu können.

### **„Wer darf diese Daten eigentlich nutzen?“**

Als Hersteller von Anlagen ist man in der Lage, bereits in der Planungsphase die Weichen für eine intelligente Anlage bis in die unterste Sensor-/Aktorebene zu stellen. Die Inbetriebnahme der Anlage sowie die Integration von Sidesystemen zur Datenauszeichnung und Analyse befinden sich noch immer im Verantwortungsbereich des Maschinenbauers. Steht die Anlage dann beim Kunden in Betrieb ist sie in seinen Besitz übergegangen.

Die Anlagenbetreiber stehen einer Nutzung der Daten in einem externen Cloudsystem skeptisch gegenüber, was aus einer Befragung der Kunden von BK Maschinenbau hervorgegangen ist. Die Sorgen bezüglich Datendiebstahl, dem Zugriff auf die Parametrierung der Geräte oder Manipulation überwiegen. Dies beschränkt die mögliche Umsetzung auf lokale Systeme, dazu gibt es auch lokale Versionen der Cloudsysteme auf einem internen Server. In erster Linie erfolgt die Nutzung durch die Instandhaltungsabteilung sowie von den Produktionsleitern, dabei setzt trotz Analysetool, Auswertung und visueller Darstellung ein hohes Knowhow für das technische Verständnis der Anlage vom Anwender voraus. Die Herausgabe der Daten an den Anlagenhersteller für die technische Interpretation und Betreuung bezüglich Wartung und Instandhaltung wird von den Kunden ebenfalls nur in Ausnahme oder Notfällen aufgrund der oben genannten Gründe gestattet und steht meist in Konflikt mit den konzerninternen Vorgeben.

Vor allem die Hersteller könnten von einem Zugang zu den Daten profitieren und könnten auf dessen Grundlage etwaige Probleme erkennen, um Entwicklungen und Problemlösungen voranzutreiben.

## 7 ANLAGENKENNZAHLEN

Maschinen und Anlage führen eine produktive Tätigkeit aus und unterstützen damit den Menschen bei der Produktion von Gütern. Maschinen haben bezogen auf ihre Aufgabe bestimmte Kennzahlen, die unterschiedliche Aussagen über diese treffen können. Als Sondermaschinenbauer bekommt man in der Angebotsphase einer Maschine oder Anlage die vom Kunden gewünschten Kennzahlen einer Anlage. Diese Kennzahlen sind Teil der Lastenhefte unserer Kunden und bestimmen damit im Grunde die Leistung der Sondermaschine.

### 7.1 Auslegungsfaktoren und Anforderungen

Neben der Definition des eigentlichen Prozesses der Sondermaschine beinhaltet das Lastenheft des Kunden auch die Auslegungsfaktoren der Anlage. Dabei ist die Grundkennzahl die Jahresproduktion, welche mit der Anlage umgesetzt werden soll. Nebenbei stehen für diese Jahresproduktion nur eine bestimmte Anzahl an Arbeitstage und Schichten zur Verfügung, da trotz hohem Automatisierungsgrad manuelle Tätigkeiten für das Bereitstellen von Produktionsmaterialien oder Bauteilen sowie der Abtransport von Fertigteilen und die Überwachung der Produktion notwendig sind.

Auslegungsfaktor	Wert	Beschreibung
Jahresproduktion	4 Mio Stk	Pro Jahr soll die Anlage diese Stückzahl als Gutmenge liefern.
Schichtdauer	7,5 h	Die Schichtdauer ergibt sich aus der täglichen Arbeitszeit eines Mitarbeiters bezogen auf seine Wochenarbeitszeit und dem gewählten Schichtmodell. Davon abgezogen werden entsprechende gesetzliche Ruhepausen und persönlich Pausen.
Schichtanzahl	2	Mehrere Schichten pro Tag erhöhen die Betriebszeit einer Anlage.
Bedieneranzahl	1	Die notwendige Bedieneranzahl für die Überwachung der Anlage, Bereitstellung der Produktionsmittel und manuelle Tätigkeiten.
Produktionstage	240 d	Anzahl der Tage pro Jahr abzüglich möglicher Wochenend- und Feiertagsstillstände sowie geplante Stillstandstage für Wartung und Service.
Autonomiezeit	0,75 h	Eine bestimmte Autonomiezeit wird gefordert, um den Bediener nicht dauerhaft bei Anlagen mit manueller Materialbereitstellung bzw. Produktabtransport damit zu beschäftigen.
Rüstzeit	15 min/w	Sind aufgrund von Typenwechsel Rüsttätigkeiten oder ähnliches erforderlich, dürfen diese die entsprechende Rüstzeit pro Woche nicht überschreiten.
Losgröße	30000 Stk	Bei unterschiedlichen Produkten auf einer Anlage mit Rüstzeiten beim Typenwechsel wird eine durchschnittliche Losgröße pro Produkt definiert, um nicht dauerhaft rüsten zu müssen.

Tabelle 11: Anforderungen einer Anlage, Quelle: Eigene Darstellung.

Auf Grundlage der Produktionskennzahlen in Tabelle 11 aus dem Lastenheft des Kunden erfolgt die Auslegung der Anlage. Zusätzlich werden auch oftmals bestimmte Kennzahlen der Anlagenproduktivität vom Kunden vorgegeben, siehe Tabelle 12 und damit eine bestimmte Anlagenverfügbarkeit gefordert. Nur durch eine hohe Anlagenproduktivität sowie hohe Anlagenverfügbarkeit kann eine bedarfsorientierte Produktion besser bekannt unter dem Schlagwort Just-in-Time-Produktion gewährleistet werden.

Anforderungen Anlagenproduktivität und Leistungsfaktoren	
Maschinenverfügbarkeit	mindestens 94 %
Overall Equipment Effectiveness	mindestens 92 %

Tabelle 12: Kundenvorgaben für Anlagenverfügbarkeit und OEE, Quelle: Eigene Darstellung.

## 7.2 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Die Gesamtanlageneffektivität (OEE), besser bekannt als Overall Equipment Effectiveness, ist eine Kennzahl zur Bewertung der Effizienz einer Anlage. Die Kennzahl wird im Groben aus drei weiteren Kennzahlen errechnet und ermöglicht einen Vergleich in Relation zu anderen Anlagen bzw. dem gewünschten Sollzustand der Anlageneffizienz, siehe Abb. 36. Ansatzpunkte zur Verbesserung können durch die Berechnung und Betrachtung der einzelnen Faktoren bzw. der OEE gezielt an den richtigen Stellen gefunden werden. Die OEE stellt damit auch eine Schlüsselkennzahl für die Verbesserungen an der Anlage, der Organisation und der Instandhaltung dar.<sup>120</sup>

---

<sup>120</sup> Vgl. Focke/Steinbeck (2018), S. 7 ff.



Abb. 36: Overall Equipment Effectiveness (Gesamtanlageneffektivität), Quelle: Embedded Data GmbH (2020) Onlinequelle [16.05.2021].

Die Gesamtanlageneffizienz wird aus der Kombination der Verfügbarkeit, der Leistung und der Qualität errechnet. Zur Steigerung der Gesamteffizienz muss mindestens eine dieser Kennzahlen eine Steigerung erfahren. Eine Erhöhung der OEE ist mit einem entsprechenden Aufwand verbunden, jedoch kann durch eine geeignete Auswahl zur Verbesserung der richtigen Kenngröße meist durch einfache Maßnahmen ein positives Resultat erzielen. Bei Verbesserungsmaßnahmen weist sich die Betrachtung der niedrigsten Teilkennzahl häufig als Schlüssel zum Erfolg. Der Weg zu einer hohen Gesamtanlageneffektivität beginnt dabei schon bei der Planung der Sondermaschine durch den Hersteller.

Kennzahl	Symbol	Beschreibung
Verfügbarkeitsfaktor (Availability)	A in %	Der Verfügbarkeitsfaktor wird aus dem Verhältnis von Betriebszeit zur geplanten Produktionszeit ermittelt. Alternativ kann auch das Verhältnis zwischen der mittleren Ausfallszeit und dem mittleren Ausfallsabstand errechnet werden.
Betriebszeit	$t_B$ in h	Tatsächliche Betriebszeit der Anlage in Stunden.
geplante Produktionszeit	t in h	geplante Produktionszeit errechnet aus der verfügbaren Zeit ohne Pausen und geplante Stillstände.
Mean Time Between Failour	MTBF in h	Der Mittelwert der Zeiten zwischen zwei Anlagenausfällen, in der die Anlage zur Produktion zur Verfügung steht.
Mean Down Time	MDT in h	Der Mittelwert der jeweiligen Ausfallszeiten.
Technische Verfügbarkeit	$A_T$ in %	Zeit in der die Anlage technisch verfügbar wäre.
Mean Time to Repair	MTTR in h	Der Mittelwert der Zeiten für die Reparatur.
Leistungsfaktor (Performance)	P in %	Der Leistungsfaktor angegeben in Prozent berechnet sich aus der idealen Zykluszeit, der Stückzahl und der Betriebszeit.
ideale Zykluszeit	$t_z$ in h	Die ideale Zykluszeit ist die kürzeste Zeit für die Produktion von einem Stück.
Stückzahl	N	Die Anzahl der produzierten Stücke in Stück.
Qualitätsfaktor	Q in %	Der Qualitätsfaktor gibt das Verhältnis zwischen den IO-Teilen (Gutteile) und den NIO-Teilen (Schlechtteile) in Prozent an.
Gutteile	$N_{gut}$	Die Anzahl der Gutteile in Stück.

Tabelle 13: Kennzahlen für die OEE Berechnung, Quelle: Eigene Darstellung.

**Verfügbarkeitsverluste:** Diese Verluste ergeben sich durch unvorhergesehene Stillstände der Produktion aufgrund von Ausfällen von Anlagenkomponenten, Störungen, materieller Knappheit von Produktionsressourcen wie Material, Bedienpersonal, Umstellung und Umrüstung. Rüstzeiten gelten als besondere Form von Ausfallszeit, welche nur schwer vermieden, aber leicht reduziert werden können. Nach Abzug der Zeitverluste von der geplanten Produktionszeit ergibt das die Betriebszeit.<sup>121</sup>

**Leistungsverluste:** Anlagen laufen mit einer bestimmten Taktzeit, welche in Relation zur produzierten Stückzahl bzw. Menge steht. Diese Taktzeit setzt eine bestimmte Anlagengeschwindigkeit voraus. Muss diese prozessbedingt verringert werden – aufgrund von fehlender Maschinenleistung,

<sup>121</sup> Vgl. Focke/Steinbeck (2018), S. 9, 12 ff.

technologisch bedingten Wartezeiten, unzugänglichen Rohmaterialien oder inkorrekt abgestimmter Taktzeiten bei verketteten Anlagen – entsteht ein Leistungsverlust. Dieser wird in der Literatur auch oftmals als Effizienzverlust beschrieben und ergibt nach Abzug von der geplanten Menge den tatsächlich produzierten Ausstoß.<sup>122</sup>

**Qualitätsverluste:** Produzierte Produkte müssen einem definierten Qualitätsstandard entsprechen. Durch Anlagenausfälle, instabile Prozessfähigkeiten, Anfahrverluste und weitere Gründe können Produkte entstehen, die nicht dem Qualitätsstandard entsprechen. Fehlerhafte Produkte verursachen einen erheblichen Mehraufwand, da diese durch Nacharbeiten oder Ersatzherstellung mit dem Verlust des Rohmaterials bzw. der Entsorgungskosten weitere Defizite verantworten. Die Nettobetriebszeit wird durch Zeitverluste aufgrund von Nacharbeits- oder Ersatzherstellungszeiten reduziert und ergibt damit die produktive Betriebszeit.<sup>123</sup>

### 7.3 Weitere Kennzahlen

**Technische Verfügbarkeit:** Die technische Verfügbarkeit spiegelt eine Kennzahl für die Verwendbarkeit einer Anlage wider. Dafür wird das Verhältnis zwischen der mittleren Betriebszeit zwischen zwei Ausfällen MTBF (Mean Time Between Failure) und ihr selbst addiert mit der mittleren Zeit für die Reparatur oder Fehlerbehebung MTTR (Mean Time To Repair) gebildet. Diese Kennzahl ergibt den Prozentsatz, in dem die Anlage technisch zur Produktion zur Verfügung stehen würde. Die technische Verfügbarkeit ist meist höher als die Verfügbarkeit nach OEE, da hierbei der Bezug auf die reine Verfügbarkeitszeit der Technik bezogen wird und alle anderen umgebenden Einflüsse nicht berücksichtigt werden. Diese Kennzahl ist vor allem für den Hersteller einer Anlage sowie für die Instandhaltung einer Anlage aussagekräftig.<sup>124</sup>

**Nutzungsgrad:** Der Nutzungsgrad bildet das Verhältnis zwischen geplanter Produktionszeit und der theoretisch maximal möglichen Produktionszeit. Ein Engpass in der Produktion trotz hohem Nutzungsgrad der Anlagen kann nur durch die Erhöhung der maximal möglichen Produktionszeit durch Hinzufügen einer weiteren Arbeitsschicht behoben werden. Der Nutzungsgrad sollte parallel zur OEE betrachtet werden, um entsprechende Handlungsansätze zu treffen.<sup>125</sup>

**Total Effective Equipment Performance (TEEP):** Über diese Kennzahl kann die Kapazitätsauslastung einer Anlage ermittelt werden. Dazu wird die OEE mit dem Nutzungsgrad multipliziert. Die TEEP-Betrachtung kann im Bedarfsfall kurzfristige mögliche Leistungsreserven aufzeigen, da die ungenutzten Kapazitäten aufgrund nicht eingeplanter Schichtzeiten transparent werden.<sup>126</sup>

---

<sup>122</sup> Vgl. Focke/Steinbeck (2018), S. 9f, 15 ff.

<sup>123</sup> Vgl. Focke/Steinbeck (2018), S. 10, 18 f.

<sup>124</sup> Vgl. Schenk (Hrsg.) (2010), S. 207.

<sup>125</sup> Vgl. Focke/Steinbeck (2018), S. 20.

<sup>126</sup> Vgl. Focke/Steinbeck (2018), S. 20.

## 7.4 Berechnung der Anlagenkennzahlen

Aus den Angaben des Kundenlastenhefts siehe Tabelle 11 resultierten bei der Berechnung der Anlagenauslegung folgende Ergebnisse in Abb. 37:

Anlagentaktzeit	3	Sekunden		Minuten pro Woche	Typen- Rüsten	1	Anzahl pro Woche
Arbeitszeit pro Schicht (Std)	7,5	Stunden		450	Rüstzeit pro Rüsten	5	Minuten pro Rüsten
Anzahl der Schichten pro Tag	2	Schichten		900	Wochenproduktion	84300	Stk / Woche
Anzahl der Arbeitstage pro Woche	5	Tage		4500	Verfügbarkeitsdauer	4500	Minuten pro Woche
Geplante Stillstandszeit pro Schicht	5	Minuten	gesamt:	50	Laufzeit	4450	Minuten pro Woche
Rüstzeit und Wartungszeit pro Schicht	15,5	Minuten	gesamt:	155	Betriebszeit	4295	Minuten pro Woche
ungeplant Stillstandszeit pro Schicht	5	Minuten	gesamt:	50	Nettobetriebszeit	4245	Minuten pro Woche
Verlustzeit allgemein pro Schicht	3	Minuten	gesamt:	30	Nutzbare Betriebszeit	4215	Minuten pro Woche
Verlust durch Nachbearbeitung und Schrott pro	1	Minuten	gesamt:	10	Nettoproduktivzeit	4205	Minuten pro Woche
Wartung pro Woche	2,5	Stunden	150 Minuten		Ausschusszeit Schrott	4	Minuten pro Woche
Rüstzeit pro Woche	0,083	Stunden	5 Minuten		Ausschusszeit Nacharbeit	4	Minuten pro Woche
Ausschussteile Schrott	0,1	%			Ausschussteile	20	Teile Schicht
Ausschussteile Nacharbeit	0,1	%			Teile-Produktion	8430	Teile Schicht
Tage pro Jahr	240	Tage			Jahres Produktion	4.046.400	Teile

Abb. 37: Berechnete Anlagenauslegung mit der Vorlage von BK-Maschinenbau, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Angaben für die Berechnung entstammen einer Anfrage eines Kunden an BK-Maschinenbau, welche in späterer Folge auch für den besagten Kunden umgesetzt wurde. Die konkreten Angaben beziehen sich auf eine reine Prüfstation für Akkuzellen mehrerer unterschiedlicher Typen. Bei dieser Prüfung erfolgt neben eine Messung der Zellenspannung sowie des Stromes bei einem definierten Verbraucher auch eine optische Kontrolle durch ein Kamerasystem.

Für die Auslegung einer Anlage des Sondermaschinenbaus hat sich die Einbindung eines Sicherheitsfaktors im Bereich von 10-20% bewährt. Geplante Abläufe und damit kalkulierte Taktzeitanalysen für verschiedene Bewegungen und Prozesse einer Anlage unterscheiden sich meist ein wenig von der Realität. Erweist sich eine Anlage nach der Inbetriebnahme als zu langsam aufgrund der Nichteinhaltung der Taktzeit, zieht das meist kostenintensive Optimierungen mit sich. Je später eine Änderung bei der Produktion einer Anlage durchgeführt wird, desto teurer erweist sich dieser Änderungsaufwand.

## 7.5 Anlagenproduktivitäts- und Leistungsberechnung

Mit den berechneten Anlagenkennzahlen erfolgt im Anschluss die Berechnung weiterer Kennzahlen zur Ermittlung der Anlagenverfügbarkeit sowie der Gesamtanlageneffektivität (OEE). Diese berechneten Werte in der Planungsphase einer Anlage bzw. Sondermaschine beruhen auch auf angenommenen Werten, die aufgrund der Erfahrung im Bereich des Anlagenbaus nahe an der Realität liegen werden. Verluste von Bauteilen pro Schicht bzw. Wartungsaufwand pro Woche oder Rüsttätigkeiten müssen für diese Berechnung in ihrer Höhe angenommen werden.

Als Referenz im Hintergrund stehen tatsächliche Werte anhand von Anlagen gebaut durch BK-Maschinenbau, welche bereits über längere Zeit bei den Kunden gute Arbeit leisten. Diese Daten werden teilweise von den Kunden erhoben und stehen teilweise auch als ein Bewertungskriterium für die Auswahl des Anlagenlieferanten. Bei wiederkehrenden Kundenbesuchen wird deshalb auch für interne Zwecke eine Erhebung der Anlagenkennzahlen bei den Kunden vorgenommen, um möglichst reale Annahmen bei der Berechnung neuer Anlagen treffen zu können.

<b>Nutzungsgrad</b>	$= \frac{(\text{gesamte Verfügbarkeit (min)} - \text{geplante Stillstandszeit (min)}) \times 100}{\text{gesamte Verfügbarkeit (min)}} =$	<b>98,89%</b>
<b>geplante Verfügbarkeit</b>	$= \frac{(\text{Laufzeit (min)} - \text{Rüstzeit (min)}) \times 100}{\text{Laufzeit (min)}} =$	<b>96,52%</b>
<b>Verfügbarkeit</b>	$= \frac{\text{geplante Verfügbarkeit (min)}}{\text{Produktionsbereitschaft (min)}} =$	<b>95,39%</b>
<b>Produktionsbereitschaft</b>	$= \frac{(\text{Betriebszeit (min)} - \text{Stillstandszeit (min)}) \times 100}{\text{Betriebszeit (min)}} =$	<b>98,84%</b>
<b>Leistungseffizienz</b>	$= \frac{(\text{Nettobetriebszeit (min)} - \text{Zeitverlust (min)}) \times 100}{\text{Nettobetriebszeit (min)}} =$	<b>99,76%</b>
<b>Qualitätsrate</b>	$= \frac{(\text{Nutzbare Betriebszeit (min)} - \text{Zeitverlust durch Defekte (min)}) \times 100}{\text{nutzbare Betriebszeit (min)}} =$	<b>99,76%</b>

Abb. 38: Berechnete Anlagenkennzahlen, Quelle: Eigene Darstellung.

Aus den Zwischenergebnissen von Abb. 38 Abb. 37 können anhand dieser Kennzahlen nachfolgend die Anlagenverfügbarkeit, die Anlagenproduktivität sowie OEE Kennzahl siehe Abb. 39 ermittelt werden.

<b>Anlagenverfügbarkeit</b>	<b>95,39%</b>		
<b>Anlagenverfügbarkeit</b>			
Anlagenverfügbarkeit = geplante Verfügbarkeit x Produktionsbereitschaft		=	<b>95,39%</b>
<b>TEEP</b>	<b>= 93,89%</b>		
<b>Totale effektive Anlagenproduktivität</b>			
TEEP = Nutzungsgrad x Verfügbarkeit x Leistungseffizienz x Qualitätsrate		=	<b>93,89%</b>
<b>OEE</b>	<b>= 94,94%</b>		
<b>Brutto Anlageneffektivität</b>			
OEE = Verfügbarkeit x Leistungseffizienz x Qualitätsrate		=	<b>94,94%</b>
<b>NEE</b>	<b>= 98,37%</b>		
<b>Netto Anlageneffektivität</b>			
NEE = Produktionsbereitschaft x Leistungseffizienz x Qualitätsrate		=	<b>98,37%</b>

Abb. 39: Berechnung Anlagenverfügbarkeit und OEE, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Einhaltung dieser berechneten Leistungskennzahlen betrifft in erster Linie den Hersteller der Anlage durch eine entsprechende Auslegung, Planung und Ausführung der Maschine. In weiterer Linie ist aber auch der Betreiber für seine Anlage selbst verantwortlich und kann durch geeignete Produktionsplanung,

Wartung und Instandhaltung diese Werte auch verbessern. Bei fehlender Wartung und schlechter Koordination können die Herstellerwerte nicht eingehalten werden und sinken kontinuierlich ab.

Aus diesem Grund ist uns auch die oben genannte Erhebung der Anlagendaten in der Produktion ein großes Bedürfnis, um den Kunden bei der Ursachenforschung aber auch mit Verbesserungsvorschlägen zur Seite zu stehen. Einige Kennzahlen lassen natürlich auf eine versäumte Wartung bzw. auf eine bevorstehende Instandhaltungsmaßnahme schließen, die auch mit der Herstellerunterstützung durchgeführt werden kann. Die Förderung der Kundenzufriedenheit ist der Firma BK ein großes Anliegen und wirkt sich auf eine lange Partnerschaft zwischen Kunden und Hersteller aus.

### **7.6 Aussagekraft der Anlagenkennzahlen**

Anlagenkennzahlen treffen eine bestimmte Aussagekraft über den Zustand und die Nutzung einer Anlage, müssen dazu aber kontinuierlich erfasst und bei Änderungen im Detail interpretiert werden. Um Veränderungen bestimmter Beeinflussungsfaktoren zu registrieren, bedarf es einer tiefgreifenden Analyse nahezu aller Kennzahlen. Die Gesamtanlageneffektivität OEE ist nur ein Marker, um auf Veränderungen oder Probleme hinzuweisen. Für eine detaillierte Interpretation und Erforschung der Problemursache ist es unerlässlich nahezu alle zugrundeliegenden Kennzahlen auf dem Weg zur Berechnung der Anlagenverfügbarkeit, der OEE oder TEEP zu analysieren. Als Referenz bedient man sich meist dem Verlauf der Kennzahländerung sowie dem Grundwert beim Neuzustand der Anlage.

Um entsprechende Grundwerte für den Neuzustand der Anlage zu fixieren, dürfen diese nicht im Anschluss der Inbetriebnahme bzw. der Betriebsübergabe an den Produktionsbetrieb durch den Hersteller erfasst werden. Anlagen, Bediener sowie die Produktionsplanung benötigen eine entsprechende Einarbeitungsphase. Anlagen in einem Produktionsbetrieb sind für die Produktionsplanung immer im Verbund zu sehen, da kann ein Neuankömmling die Prozessplanung und Organisation stark beeinflussen. Darüber hinaus brauchen auch die Bediener der Anlage eine bestimmte Zeit, um sich einzuarbeiten und die neuen Abläufe zu optimieren. Neben den Menschen benötigen auch Maschinen eine bestimmte Einlaufphase während dieser Anlagenbewegungen z.B. durch das Einlaufen von Führungen leichtgängiger und schneller werden. In dieser Phase werden sich die Kennwerte positiv verändern und einen bestimmten Höchstwert erreichen. In diesem Zeitpunkt sollten spätestens die geplanten Kennzahlen des Herstellers bzw. die geforderten des Kunden erreicht werden. Dazu können nur jene mit Abhängigkeit des Herstellers diesem zur Last gelegt werden, da die übrigen meist im Einflussbereich der Produktionsplanung liegen.

## 7.7 Beeinflussungsfaktoren der Anlagenkennzahlen

Analog zur Berechnung der einzelnen Anlagenkennzahlen ergeben sich die entsprechenden Einflussfaktoren, welche die eigentlichen Berechnungswerte verändern. Die folgende Tabelle soll einen kleinen Auszug an möglichen Ursachen für die Veränderung der Kennzahlen liefern.

Kennzahl	Negative Einflüsse und mögliche Ursachen
<b>Verfügbarkeitsfaktor</b>	wird durch Ausfallszeiten in der keine Produktion stattfindet negativ beeinflusst <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausfall von Komponenten der Anlage <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fehlende Wartung oder Instandhaltung</li> <li>○ Sanierung oder Revision der Anlage</li> </ul> </li> <li>• Störungen an der Anlage <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Mögliche Verschleißerscheinungen an Bauteilen und Komponenten</li> </ul> </li> <li>• Verlängerte Rüstzeiten <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Beschädigte oder abgenutzte Rüstteile bzw. Adapter</li> </ul> </li> </ul>
<b>Leistungsfaktor</b>	wird durch geringere Produktionszahlen negativ beeinflusst <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taktzeit wird höher <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Bewegungen an der Anlage werden durch fehlende Schmierung oder Verschleißerscheinungen langsamer</li> <li>○ Regelmäßige Wartung und Austausch verschlissener Komponenten</li> </ul> </li> </ul>
<b>Qualitätsfaktor</b>	wird durch Ausschuss- und Nacharbeitsteile negativ beeinflusst <ul style="list-style-type: none"> <li>• Höhere Anzahl an Ausschussteilen <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Mängel am Rohmaterial oder Produktionshalbzeug</li> <li>○ Verschleißerscheinungen an werkstückberührenden Teilen</li> <li>○ Zunahme der Anlagenausfälle und dadurch bedingte Ausschussteile</li> </ul> </li> </ul>

Tabelle 14: Einflussfaktoren auf Anlagenkennzahlen, Quelle: Eigene Darstellung.

Die kontinuierliche Betrachtung von Anlagenkennzahlen ist heute bereits Standard in jedem Produktionsbetrieb. Stillstandszeiten und Produktionsdaten werden dabei bereits direkt von den Anlagen automatisiert an ein Leitsystem mit geeigneten Auswertungstools übertragen. Diese Tools unterstützen die Produktionsplanung in ihren täglichen Aufgaben und können etwaige Probleme aufzeigen. Auch die Instandhaltungsabteilungen haben meist einen Zugang zu diesen Daten und sind dadurch in der Lage entsprechende Anomalien auszuwerten. Unterschiedliche Instandhaltungsstrategien garantieren mit mehr oder weniger Kostenaufwand einen bestimmten Grad an Anlagenverfügbarkeit und Leistung. Durch den Zugang zu einer Vielzahl an zusätzlichen Anlagen- oder sogar Komponentendaten könnten sich positive Effekte in der Instandhaltung zeigen. Eine geeignete Auswertung von Zusatzdaten zusammen mit der richtigen Strategie in der Instandhaltung könnte die Möglichkeit bieten, unvorhergesehene Anlagenausfälle gänzlich zu verhindern.

## 8 INSTANDHALTUNG

Das Thema der Instandhaltung von Maschinen und Anlagen hat in den letzten Jahren einen völligen Wandel aufgrund der Anforderungen der Just in Time Produktion vollzogen. Die Anlagen müssen dann sicher verfügbar sein, wenn sie aufgrund von Produktionsbeordnungen durch den Kunden produzieren müssen. Lagerkapazitäten für Produktionspufferung wurden sukzessive minimiert und können Anlagenausfälle meist nicht kompensieren.

Das Thema der Instandhaltung betrifft dabei schon lange nicht mehr nur die Aufgaben Wartung, Inspektion und Instandsetzung, sondern geht durch neue Strategien immer mehr in die Richtung Verbesserungsmaßnahmen und Überwachung, um damit Störungen und Anlagenausfälle zu verhindern. Systeme zur Überwachung von Anlagen werden für die Umsetzung neuer Instandhaltungsstrategien immer wichtiger, um Veränderungen an der Anlage bereits frühzeitig sichtbar zu machen. Problemstellen sollen dabei so früh erkannt werden, dass ein Stillstand der Anlage in die Produktionsplanung integriert werden kann. Damit verbundene Auswirkungen aufgrund von Reparaturen oder Instandsetzungsmaßnahmen sollen somit für die Produktion ohne Auswirkung bleiben.

### 8.1 Instandhaltungsstrategien

Zur Umsetzung einer dauerhaften Produktionssicherheit bzw. zur Verlängerung von Anlagenlebensdauern gibt es unterschiedliche Strategien um dieses Ziel zu erreichen. Die einzelnen Strategien haben dabei unterschiedliche Vor- und Nachteile und erfordern zur Umsetzung unterschiedlich hohe Anforderungen an das Knowhow der Instandhalter.

**Reaktive Instandhaltung:** Diese Instandhaltungsstrategie wird auch Feuerwehrstrategie genannt. Instandhaltungsmaßnahmen werden störungsbedingt durchgeführt und sind die Reaktion auf einen Ausfall einer Komponente oder Anlage aufgrund der Erreichung der Schadensgrenze, Lebensdauer oder Abnutzungsgrad. Nicht unerheblich ist dabei oftmals der Schaden an weiteren Komponenten, welche durch den Ausfall in Mitleidenschaft gezogen wurden. Abgesehen davon erfolgt der Ausfall nahezu immer in der Produktionszeit und verursacht erhebliche Produktionsausfallkosten. Auf Wartung und Inspektion wird bei dieser Strategie kein Wert gelegt.<sup>127</sup>

**Präventive periodisch vorbeugende Instandhaltung:** Dieses Konzept setzt periodische Instandhaltungsarbeiten voraus. Der Austausch von Komponenten erfolgt nach einem periodischen Zeitplan unabhängig vom Komponentenzustand allein aufgrund des Nutzungsintervalls. Durch den frühzeitigen Austausch sinkt das Ausfallsrisiko, bedeutend dafür ist aber eine genaue Kenntnis der Komponentenlebensdauer. Instandhaltungsmaßnahmen können in die Produktionsplanung einfließen und an produktionsleeren Zeiten durchgeführt werden. Die Anwendung dieser Strategie ist bei hohen Umwelt- und Sicherheitsanforderungen der Anlagen oder Maschinen von Bedeutung, hat aber den Nachteil der Verschwendung der Ressource des Abnutzungsvorrats.

---

<sup>127</sup> Vgl. Schenk (Hrsg.) (2010), S. 27 f.

**Präventive zustandsabhängige Instandhaltung:** Diese Strategie setzt hohe Anforderungen an die Inspektion und Überwachung der Anlagen voraus, um zustandsbedingte präventive Instandhaltungsmaßnahmen vor dem Ausfall durchzuführen. Technische Systeme neben der visuellen Inspektion sind dafür von großer Bedeutung, um bereits kleinste Abweichungen vom normalen Betriebsverhalten festzustellen. Condition Monitoring Systeme sind eines dieser technischen Hilfsmittel und messen mit Sensoren an kritischen Stellen Messgrößen wie Schwingungen und Vibrationen, Temperatur, Luftfeuchtigkeit und weitere aussagekräftige Zustandsgrößen. Der Vorteil dieses Konzepts ist die geringe unvorhergesehene Ausfallszeit bei gleichzeitiger hoher Nutzung der Ressource des Abnutzungsvorrats. Die Zeitpunkte für die Instandhaltungsmaßnahme variieren, da unterschiedliche Komponenten eine unterschiedliche Lebensdauer haben. Diese finden aber immer eingeplant und deshalb außerhalb der Produktionszeit statt.<sup>128</sup>

**Präventive vorausschauende Instandhaltung:** Diese Strategie ist besser bekannt unter der internationalen Bezeichnung Predictive Maintenance und ist eine konsequente Weiterentwicklung der präventiven zustandsabhängigen Instandhaltung. Die Kernphilosophie dabei ist die kontinuierliche Überwachung und Diagnose mittels Echtzeitdaten der Systemkomponenten, Prozesse und Produktionsketten. Das primäre Ziel dabei ist es Maßnahmen durchzuführen noch bevor es zum Maschinenausfall kommt. Durch die Analyse der Echtzeitdaten sollen bereits kleinste Abweichungen vom Normalbetrieb erste Anzeichen für untypisches Systemverhalten und damit verbundene Maßnahmen liefern, damit noch genügend Zeit für die Einplanung und Durchführung bleibt. Der Kerngedanke ist die automatisierte Überwachung der Produktionssysteme. Für diese Prognosen sind Modellsysteme notwendig, die die überwachende Anlage virtuell abbilden und Prognoseberechnungen realisieren. Mit dieser automatisierten Überwachung und den virtuellen Modellen soll der Gedanke von Industrie 4.0 fortgeführt werden und Prognosen nicht nur bezüglich eines möglichen Störfalles sondern auch Vorhersagen bezüglich der Leistung der Anlage und der Qualität des Produktes mit hoher Trefferwahrscheinlichkeit liefern.<sup>129</sup>

**Total Productive Maintenance (TPM):** Diese Strategie setzt auf die Verteilung der Instandhaltungstätigkeiten zwischen den Produktionsmitarbeitern und den Instandhaltern. Dabei werden einfache Tätigkeiten betreffend der Aufgaben der Instandhaltung einer Anlage an das Bedienpersonal der Anlage abgegeben. Der Vorteil dieser Strategie ist die Mitverantwortung der Bediener am Nutzungsgrad der Anlage, da diese Routineaufgaben der Instandhaltungstätigkeiten übernehmen und sich mit der Funktion vertraut machen. Die Instandhaltung hat dadurch mehr Ressourcen für komplexere Tätigkeiten wie Ursachenforschung, Zustandsüberwachung und Verbesserungsmaßnahmen.<sup>130</sup> Total Productive Maintenance führt nur in Kombination mit einer anderen Instandhaltungsstrategie zum Erfolg. Der Einsatz wird zurzeit meist in Kombination mit einer externen dienstleistungsorientierten Instandhaltung kombiniert.

---

<sup>128</sup> Vgl. Schenk (Hrsg.) (2010), S. 30 f.

<sup>129</sup> Vgl. Lughofer/Sayed-Mouchaweh (Hrsg.) (2019), S. 1 ff.

<sup>130</sup> Vgl. Schenk (Hrsg.) (2010), S. 34.

## 8.2 Instandhaltung mit IO-Link

Durch den gezielten Einsatz von IO-Link Komponenten in Form von Sensoren, Aktoren oder Hybridgeräten können neue Maßstäbe in der Instandhaltung realisiert werden. Durch die zusätzlich verfügbaren Daten werden für bestimmte Instandhaltungsstrategien Vorteile generiert. Die IO-Link Geräte können aufgrund der durchgehenden Kommunikation in die unterste Ebene der Automatisierung ihre Daten über Zustand, Diagnosen und selbst Umgebungsdaten liefern. Neben den derzeitigen Auswahlkriterien bei der Wahl eines nicht kommunikativen Sensors oder Aktors wird in Zukunft bei der Auswahl des IO-Link fähigen Devices für dieselbe Anwendung auch die generierten Zusatzdaten über Zustand und Umgebungsbedingungen sowie die Parametriermöglichkeiten eine entscheidende Rolle spielen. Wenn schon IO-Link, dann muss auch ein entsprechender Mehrwert gegeben sein. Die Entwicklungen von IO-Link fähigen Sensoren, Aktoren und Hybridgeräten schreitet immer weiter voran und bietet bereits ein immenses Portfolio an. Die Vorteile von IO-Link Geräten bezüglich Wartung und Instandhaltung können anhand einiger Beispielanwendungen symbolisch dargestellt werden.

Wird ein einfacher schaltender Sensor durch ein Gerät mit IO-Link ersetzt, werden neben dem Schaltsignal in den Prozessdaten auch mögliche Fehler- bzw. Diagnosezustände über die Kommunikationsschnittstelle übertragen. Abhängig vom Messprinzip wird auch die Signalqualität über eine azyklische Anfrage gesendet. Eine Abnahme der Signalqualität kann auf eine mögliche Verschmutzung des Sensors oder auf eine Alterserscheinung zurückzuführen sein. Mit einer geeigneten Auswertung diese Zustandsdaten im Hintergrund der Anwendung kann eine bevorstehende Wartungsmaßnahme erkannt werden. Beim Tausch des Sensors gleicher oder kompatibler Version erfolgt die Reparametrierung einfach durch den Master. Mechanische Einstellung bzw. Teachfunktionen entfallen durch die intelligente Parametrierung.

Messwerte von analogen Sensoren werden meist über ein entsprechend standardisiertes analoges Signal von 0-10 V oder 0/4-20 mA übertragen und in der SPS oder Feldbusmodul digitalisiert. Ein analoges Signal ist sehr anfällig gegenüber Störungen auf der Übertragungsstrecke, deshalb werden auch spezielle Kabel mit Schirmung zur Minimierung von Störeinflüssen verwendet. Durch die Intelligenz beim Wechsel zu einem IO-Link Sensor auf Basis des gleichen Messprinzips ermöglicht eine Digitalisierung und Skalierung des Messwerts bereits im Sensor. Übertragen wird der Messwert über ein Bitsignal entsprechend IO-Link Kommunikation zusammen mit bereits erwähnten Diagnosedaten über den Zustand des Sensors, dargestellt durch Abb. 40. Bewegte Kabel für Analogsignale haben durch den komplexen Kabelaufbau eine meist kürzere Lebensdauer. Kabelbrüche, Störeinflüsse und Leitungswiderstände beeinflussen den Betrieb der Anlagen sowie die Genauigkeit von Analogsignalen und fordern gleichzeitig einen höheren Instandhaltungsaufwand.

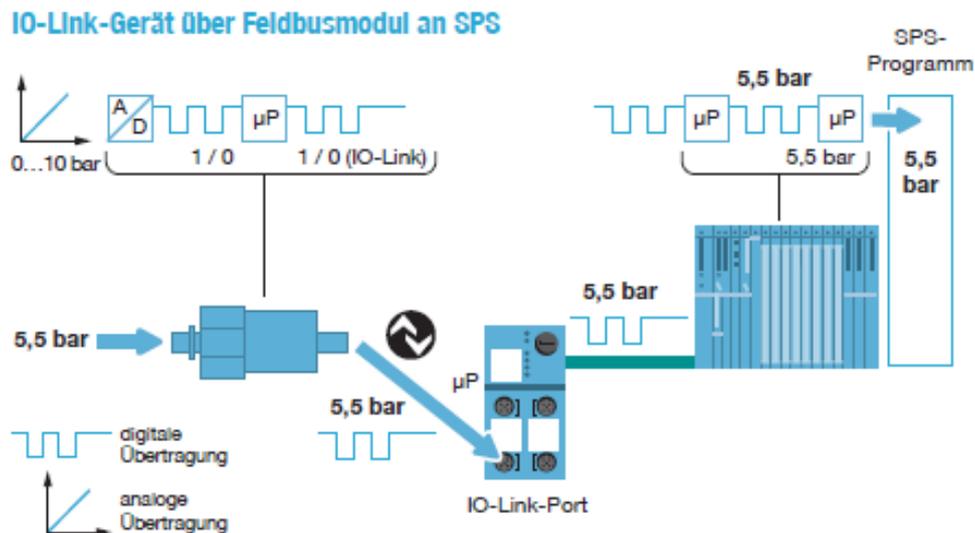


Abb. 40: Prinzip Analogwertverarbeitung mit IO-Link, Quelle: Uffelman/Wienzek/Jahn (2020a), S. 170.

Ein weiterer Trend geht dahin, Sensoren explizit mit Funktionen zur Erfassung der Umgebungsbedingungen, Betriebsstunden oder Schaltspiele auszustatten, beispielhaft dafür Abb. 41. Dabei können z.B. kapazitive Sensoren etwaige Luftfeuchtigkeit oder Umgebungstemperaturen erfassen oder optische Sensoren zeichnen Beschleunigungen bzw. Vibrationen auf. Diese Daten können über azyklische Übertragung oder zyklisch durch bestimmte Sensorprofile angefordert werden, um auf mögliche Umwelteinflüsse auf Sensorsignale zu schließen. Fehlerhafte Signale optischer Sensoren könnten vielleicht aufgrund von Vibrationen entstehen, verursacht durch eine Anlagenbewegung mit einem defekten Stoßdämpfer als Endlage.



Abb. 41: Lichttaster mit Hintergrundausblendung und Condition Monitoring Funktion BOS0285, Quelle: Balluff GmbH (2022), Onlinequelle [20.02.2022].

Bei den intelligenten Aktoren schreitet die Entwicklung im Hinblick auf Parametriermöglichkeiten und Selbstüberwachung voran. Die Bewegung der Aktoren wird dabei intern überwacht und Werte wie Strombedarf oder Geschwindigkeit bei der Bewegung ausgewertet. Eine kontinuierliche Überwachungsfunktion kann bei geeigneter Geräteauswahl bereits intern oder über eine kontinuierliche Auswertung der Zustandsdaten in Instandhaltungssystemen erfolgen. Eine Veränderung der Bewegungswerte (erhöhter Strombedarf, geringere Geschwindigkeit) kann auf fehlende Schmierung oder Verschleiß zurückzuführen sein. Eine Wartung oder Instandsetzung kann damit vor dem endgültigen Ausfall registriert und eingeplant werden.

Bei der Verwendung eines Aktors zum Klemmen oder Greifen von Bauteilen oder ähnlicher Anwendung kann durch die interne Positionsüberwachung eine Endlagenabweichung ermittelt werden. Wird die Abweichung kontinuierlich größer, lässt das womöglich auf einen Verschleiß der Greiferbacken oder

Anschläge schließen. Ein erfasster zu Ende gehender Abnutzungsvorrat ermöglicht das Einplanen eines Instandhaltungseinsatzes beim nächstgelegenen Stillstand. Alternativ lässt diese Abweichung beim Greifen von Bauteilen auch auf mögliche Bauteiltoleranzen schließen.

Durch die Auswahl geeigneter IO-Link Geräte für die entsprechende Applikation mit einer gewissen Fähigkeit zur Selbstdiagnose kann so manche Störungsursache einer Anlage frühzeitig erkennen lassen und somit zu einer höheren Anlagenverfügbarkeit und geringeren Instandhaltungskosten beitragen. Wie immer im Leben hat man die Qual der Wahl sich für das richtige IO-Link Device zu entscheiden. Der Nutzen durch die zusätzlich generierten Daten der Geräte kann in bestimmten Situationen den entsprechenden Mehrwert liefern, setzt aber kostentechnisch voraus, diese Daten zu nutzen und kontinuierlich auszuwerten. Unterschiedliche Hersteller verfolgen verschiedene Strategien bei den Funktionen ihrer IO-Link Geräte. Das Spektrum bewegt sich von Diagnose über zusätzliche Parametriermöglichkeiten über Umgebungsbedingungen bei jeweils unterschiedlichem Fokus. Ein Vergleich mit entsprechenden Auswahlkriterien liefert eine gute Grundlage für die richtige Entscheidung.

## 9 ANALYSE VON IO-LINK SENSOREN UND AKTOREN

Von den zahlreichen Herstellern der IO-Link Geräte gibt es bereits ein umfangreiches Portfolio am Markt. Herstellerbezogen werden unterschiedliche Strategien bei der Entwicklung dieser Geräte verfolgt, meist angedrängt durch das Kundenklientel aufgrund von Anforderungen aus ihren Tätigkeitsfeldern.

### 9.1 Sensorvarianten

Eine Marktbetrachtung einiger Hersteller soll einen Überblick über die einzelnen Sensorkategorien geben und dabei die Zusatzfunktionen und Diagnoseeinrichtungen der am Markt befindlichen Sensoren aufzeigen. In den nachfolgenden Kapiteln wurden auszugsweise einige Hersteller als Referenz gewählt und dabei der Blick bei der Auswahl speziell auf neue Entwicklungen im Bereich der Sensorik bezüglich ihrer Zusatzfunktionen gerichtet.

#### 9.1.1 Induktive Sensoren

Induktive Sensoren bilden die größte Gruppe von Sensoren, welche im Bereich des Sondermaschinenbaus eingesetzt werden. Sie finden als Abfragen von Anlagenbewegungen oder Bauteilen sowie teilweise auch zum Vermessen von Abständen Verwendung.

#### Induktiver Sensor BI6U-M12WD-IOL6X2-H1141 mit IO-Link Schnittstelle der Firma Turck GmbH

Sensormerkmale <sup>131</sup>		Prozessdaten	Zusatzfunktionen
<b>bündiger Einbau</b>		Zwei Schaltpunkte	Betriebsstundenzähler
<b>Schaltabstand 6 mm</b>		Schaltsignalqualität	Schaltspielzähler
<b>Faktor 1-Sensor</b>		Temperaturwarnung	Temperaturüberwachung
<b>Gewinderohr M12x1</b>		Inspektionsindikator	Schaltpunkt- und Hystereseparametrierung

Tabelle 15: Merkmale Induktiver Sensor BI6U-M12WD-IOL6X2-H1141, Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>131</sup> Vgl. Hans Turck GmbH & Co KG (2022), Onlinequelle [10.02.2022].

**Induktiver Sensor BES05WY mit IO-Link Schnittstelle der Firma Balluff GmbH**

Sensormerkmale <sup>132</sup>		Prozessdaten	Zusatzfunktionen
<b>bündiger Einbau</b>		Konfigurierbare Schaltpunkte	Betriebsstundenzähler
<b>Schaltabstand 8mm</b>		Schaltsignalqualität	Schaltspielzähler
<b>Condition Monitoring</b>		Teachfunktion	Temperaturüberwachung
<b>Gewinderohr M18x1</b>		Condition Monitoring	Feuchtigkeitsmessung
<b>Einige Sensorprofile</b>		Schaltprofile	Vibrationsmessung

Tabelle 16: Merkmale Induktiver Sensor BES05WY, Quelle: Eigene Darstellung.

**9.1.2 Optische Sensoren**

Der Bedarf von optischen Sensoren im Sondermaschinenbau bildet nach den induktiven Sensoren bezogen auf die verbaute Anzahl den zweiten Rang. Sie sind für unterschiedliche Anforderungen einsetzbar und unterscheiden sich in Einweglichtschranken, Reflexlichtschranken und Lichttaster und werden zur Detektion sowie zum Abstandsmessung verwendet.

**Optischer Multifunktionssensor BOS026R mit IO-Link Schnittstelle von Balluff GmbH**

Sensormerkmale <sup>133</sup>		Prozessdaten	Zusatzfunktionen
<b>Multifunktion</b>		Teachbarer Schaltpunkt	Zählereinstellungen
<b>Reichweite bis 10 m funktionsabhängig</b>		Zählerstand	Frequenzparametrierung
<b>LED Rotlicht</b>		Teachfunktion	Einweglichtschranke
		Frequenzwächterfunktion	Reflexlichtschranke
			Lichttaster

Tabelle 17: Merkmale Optischer Multifunktionssensor BOS026R, Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>132</sup> Vgl. Balluff GmbH (2022), Onlinequelle [10.02.2022].

<sup>133</sup> Vgl. Balluff GmbH (2022), Onlinequelle [11.02.2022].

**Reflexionslichtschranke BOS0286 mit IO-Link Schnittstelle von Balluff GmbH**

Sensormerkmale <sup>134</sup>		Prozessdaten	Zusatzfunktionen
	<b>Reflexionslichtschranke</b>	Konfigurierbare Schaltepunkte	Betriebsstundenzähler
		Schaltsignalqualität	Schaltspielzähler
	<b>Reichweite 8 m</b>	Schaltgeschwindigkeit	Temperaturüberwachung
	<b>LED Rotlicht</b>	Condition Monitoring	Feuchtigkeitsdetektion
		Prozessdatenprofile	Vibrationsdetektion

Tabelle 18: Merkmale Reflexionslichtschranke BOS0286, Quelle: Eigene Darstellung.

**9.1.3 Drucksensoren**

Drucksensoren werden hauptsächlich in der Prozesstechnik verwendet, finden aber auch im Sondermaschinenbau ihre Anwendung.

**Drucksensor PY2794 mit IO-Link Schnittstelle von IFM Electronic GmbH**

Sensormerkmale <sup>135</sup>		Prozessdaten	Zusatzfunktionen
	<b>Anschlussgew. 1/4"</b>	Druckwert	Analog Ausgang Pin 2
	<b>Messbereich -1 bis 10 bar</b>	Konfigurierbare Schaltepunkte	Diagnose und Fehlerparameter
	<b>Dual Channel</b>	Skalierungsfaktor	Temperaturüberwachung
	<b>Flüssige und gasförmige Medien</b>	Gerätestatus	Messwertfilterung
		Einstellbare Alarmfunktion	Anzeigeinstellungen

Tabelle 19: Merkmale Drucksensor PY2794, Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>134</sup> Vgl. Balluff GmbH (2022), Onlinequelle [12.02.2022].

<sup>135</sup> Vgl. IFM Electronic GmbH (2022), Onlinequelle [10.02.2022].

### 9.1.4 Ultraschallsensoren

Der Einsatz von Ultraschallsensoren im Sondermaschinenbau dient meistens zur Abstandsmessung bzw. Detektion über größere Entfernungen sowie zum Messen von Füllständen.

#### Ultraschallsensor UR18.DA0.2-IAMJ.9SF mit IO-Link Schnittstelle von Firma Baumer Group

Sensormerkmale <sup>136</sup>		Prozessdaten	Zusatzfunktionen
<b>bündiger Einbau</b>		Konfigurierbare Schaltpunkte	Analog Kennlinienfunktion
<b>Schaltabstand 20 – 1000 mm</b>		Schaltsignalqualität und Skalierungsfaktor	Schaltzyklen- und Betriebsstundenzähler
<b>Dual Channel 4-20mA</b>		Zähler	Temperaturüberwachung
<b>Gewinderohr M18x1</b>		Messwert	Messwertfilterung
<b>3 Schallkeulenbreiten</b>		Einstellbare Alarmfunktion	Histogrammfunktion

Tabelle 20: Merkmale Ultraschallsensor UR18.DA0.2-IAMJ.9SF, Quelle: Eigene Darstellung.

### 9.1.5 Drehgeber

Der Einsatz von Drehgebern mit IO-Link im Bereich des Anlagenbaus vereinfacht die Einbindung von Signalen zur Drehlagenabfrage sowie Geschwindigkeit und Position von Achsen und Bewegungen aufgrund der einfachen Integration in das Steuerungskonzept. Eigene Schnittstellenkarten für die Einbindung von Drehgebersignale können damit entfallen.

#### Multiturn Drehgeber RMA300 mit IO-Link Schnittstelle von IFM Electronic GmbH

Sensormerkmale <sup>137</sup>		Prozessdaten	Zusatzfunktionen
<b>Hohlwelle Ø12</b>		Drehzahlwert	SSC Ausgang auf Pin 2
<b>Auflösung 31 Bit</b>		SSC1.1, SSC1.2, SSC1.3 und AUX Signalzustand	Einschalt- und Betriebsstundenzähler
<b>32768 Umdrehungen</b>		Zählerwert	Temperaturüberwachung
<b>Absolutwertgeber</b>		Messwert	Diagnosefunktionen
<b>Multiturn</b>		Gerätstatus	Berechnungsfunktionen

Tabelle 21: Merkmale Multiturn Drehgeber RMA300, Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>136</sup> Vgl. Baumer Electric AG (2022), Onlinequelle [10.02.2022].

<sup>137</sup> Vgl. IFM Electronic GmbH (2022), Onlinequelle [11.02.2022].

### 9.1.6 Condition Monitoring Sensoren

Condition Monitoring Sensoren sind spezielle Beschleunigungssensoren welche intern Beschleunigungen und dadurch Vibrationen in mehreren Richtungen aufzeichnen können. Mögliche Erweiterungen durch einen inkludierten Temperatursensor oder einen Luftfeuchtigkeitssensor runden meist den Funktionsumfang ab. Diese Sensoren werden verwendet um Umgebungsbedingungen einer Anlage Aufzuzeichnen um bei entsprechenden Abweichungen Fehlzustände zu erkennen.

#### Condition Monitoring Sensor BCM0002 mit IO-Link Schnittstelle von Balluff GmbH

Sensormerkmale <sup>138</sup>		Prozessdaten	Zusatzfunktionen
<b>X- Y- und Z-Achse</b>		Vibrationsgeschwindigkeit	Betriebsstundenzähler
<b>2 bis 3200 HZ</b>		Messwert jeweils für X- Y- und Z-Achse	Prozessdatenprofile mit Prozessdatenkonfiguration
<b>0 bis 16 g (Beschl.)</b>			
<b>0 bis 220 mm/s</b>		Vibrationsbeschleunigung	Sensorüberwachung
<b>0 bis 70 °C</b>		Spitzenwerte	Luftfeuchtigkeitsmessung
<b>5 bis 95 %rF</b>		Temperaturmessung	Umgebungsdruckmessung
<b>300 bis 1100 hPa</b>		Vibration Schweregradzonen	Berechnungsfunktionen

Tabelle 22: Merkmale Condition Monitoring Sensor BCM0002, Quelle: Eigene Darstellung.

Bei der detaillierten Betrachtung einer Auswahl, von am Markt verfügbaren Sensoren in unterschiedlichen Kategorien, konnte ein großes Spektrum an Zusatzfunktionen und Diagnosedaten vorgefunden werden. Neben der Parametrierung verschiedener Prozessdatenprofile können auch Funktionsweisen der Sensoren durch bestimmte Parameter geändert werden. Diese Parametrierung kann sowohl bei der Inbetriebnahme durch die Konfiguration sowie durch das gezielte Verändern der Parameter über die azyklische Kommunikation vorgenommen werden. Bei den Zusatzfunktionen der Sensoren geht der Trend in Richtung Überwachung des Gerätestatus sowie der Umgebungsbedingungen. Gerätetemperatur sowie Schaltsignalqualität sind Parameter, die bei nahezu allen neuen IO-Link Devices über azyklische Datenkommunikation auslesbar sind. Zählfunktionen von Schaltwechsel oder die Betriebsstundenzähler sind auch Funktionen für Indikatoren der Lebensdauer.

<sup>138</sup> Vgl. Balluff GmbH (2022), Onlinequelle [13.02.2022].

## 9.2 Aktorvarianten

Analog zu den Sensoren wurde auch das Spektrum an IO-Link-fähigen Aktoren am Markt untersucht. Nachfolgend werden einige Beispiele für etwaige Anwendungen mit IO-Link Kommunikation einen näheren Einblick in die derzeitige Marktsituation geben. Die Aktorhersteller bieten dabei unterschiedliche Zusatzfunktionen und Daten zur Übertragung an, dabei sind ebenfalls Konfigurations- und Parametrierfunktionen über azyklische Daten möglich.

### 9.2.1 Linearachsen

Achsensysteme bilden neben pneumatischen Antrieben und Zylindern die größte Anzahl an Aktoren für lineare Bewegungstechnik im Sondermaschinenbau.

#### Schrittmotorachse LEYG25MDB-200-R36P1 mit einem IO-Link Controller JXCL17-BC von SMC

Aktormerkmale <sup>139</sup>		Prozessdaten	Zusatzfunktionen
Schwenkachse		Position	Bewegungsprofile
Drehzahl 150 U/min		Geschwindigkeit	Zwischenpositionen
Drehmoment 2,7 Nm		Kraft	Diagnosefunktion
Schrittmotorantrieb		Beschleunigung	Referenzierfunktion
Singleturnencoder		Gerätestatus	

Tabelle 23: Schrittmotorachse LEYG25MDB-200-R36P1, Quelle: Eigene Darstellung.

### 9.2.2 Schwenkachsen

Dreh- oder Schwenkachsen werden für rotatorische Positionierbewegungen als Antriebssystem genutzt. Hier ist neben der Genauigkeit auch die Geschwindigkeit und Kraft ein primäres Auswahlkriterium. Erst danach definieren das Ansteuerungskonzept sowie die Bewegungsprofile und die Einbindung in das System eine Entscheidung für ein IO-Link System in der Auswahl der möglichen Systeme.

<sup>139</sup> Vgl. SMC Corporation (2022), Onlinequelle [10.02.2022].

**Schwenkachse ERMS-25-180-ST-M-H1-PLK-AA mit IO-Link Schnittstelle von Festo**

Aktormerkmale <sup>140</sup>		Prozessdaten	Zusatzfunktionen
<b>Schwenkachse</b>		Position	Bewegungsprofile
<b>Drehzahl 150 U/min</b>		Geschwindigkeit	Pressenfunktion
<b>Drehmoment 2,7 Nm</b>		Drehmoment	Zwischenpositionen
<b>Schrittmotorantrieb</b>		Gerätestatus	Diagnosefunktion
<b>Singleturnencoder</b>			Referenzierfunktion

Tabelle 24: Merkmale Schwenkachse ERMS-25-180-ST-M-H1-PLK-AA, Quelle: Eigene Darstellung.

**9.2.3 Greifersysteme**

Greifsysteme spielen eine große Rolle im Sondermaschinenbau, ob zum Greifen von Bauteilen für den Transport über ein Handlingsystem oder Roboter aber auch zum Spannen von Bauteilen um sie für Produktionsprozesse definiert in entsprechender Position festzuhalten.

**Parallelgreifer EGP-40-N-N-IOL mit IO-Link Schnittstelle von Schunk GmbH & Co. KG**

Aktormerkmale <sup>141</sup>		Prozessdaten	Zusatzfunktionen
<b>Parallelgreifer</b>		Greifkraft	Bewegungsprofile
<b>Hub pro Backe 6 mm</b>		Werkstücknummer	Werkstückfunktion für 8 Greiferbackenpositionen
<b>Schließzeit 0,21 s</b>		Greiferbackenposition	Kalibrierfunktion
<b>Greifkraft 35 bis 140N</b>		Endanschlag	Hubmessung
		Gerätestatus	Referenzierfunktion

Tabelle 25: Merkmale Parallelgreifer EGP-40-N-N-IOL, Quelle: Eigene Darstellung.

<sup>140</sup> Vgl. Festo Gesellschaft m.b.H. (2022), Onlinequelle [10.02.2022].

<sup>141</sup> Vgl. Schunk GmbH & Co. KG (2022), Onlinequelle [10.02.2022].

## 9.2.4 Ventilinseln

Ventilinseln gibt es in unterschiedlichen Ausführungen bereits seit Jahrzehnten mit Feldbusanbindungen zur Steuerung und Kommunikation. IO-Link Ventilinseln können ihren Vorteil durch die Unabhängigkeit von Feldbuslizenzen in punkto Preis ausspielen. Zusätzlich dazu verfügen sie über denselben Funktionsumfang der durch die Schnittstellenentwicklung von IO-Link eher zur Entwicklung neuer Funktionen vorangetrieben wird.

### IO-Link Ventilinsel VTUG von Festo GmbH

Aktormerkmale <sup>142</sup>		Prozessdaten	Zusatzfunktionen
<b>Ventilinsel mit 24 Ventilplätzen</b>		Ventilfunktionen	Gerätefehler
		Gerätediagnose	Gerätewarnung
<b>Steuerhilfsluft intern oder extern</b>		Ventilversorgung aktivieren	Externe Abschaltung der Ventilversorgung

Tabelle 26: Merkmale IO-Link Ventilinsel VTUG, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Anwendungsgebiete und Variationen von Aktoren unterscheiden sich noch stärker als jene der Sensoren. Durch die große Anzahl an unterschiedlichen spezifischen Geräten in dieser Kategorie ist auch die Entwicklung von IO-Link Aktoren noch nicht so weit vorangeschritten im Vergleich zum Spektrum von IO-Link Sensoren am Markt. Diese Betrachtung im Detail beschränkt sich auf eine kleine Auswahl an Aktoren von einigen Herstellern. Diese Auswahl der Geräte und Hersteller wurde rein objektiv getroffen und soll keine Bevorzugung bestimmter Lieferanten darstellen. Vielmehr waren diese Geräte auch für die Testzwecke von den Herstellern relativ einfach verfügbar und haben damit einen Beitrag zu dieser Masterarbeit geleistet.

## 9.3 Sonstige IO-Link Teilnehmer

Einige IO-Link Geräte können nicht der Standarddefinition Sensor oder Aktor zugeordnet werden, finden aber durchaus Anwendung im Sondermaschinen- und Anlagenbau.

### 9.3.1 RFID Reader

Die Rückverfolgbarkeit von Bauteilen durch den Produktionsprozess steht immer mehr im Vordergrund. Die Applikation von RFID-Chips auf Bauteilen und Produkten zur eindeutigen Bestimmung ist durch die geringe Chipgröße sowie deren geringer Kostenanteil am Gesamtprodukt kein Hindernis. Damit können alle Daten der Produktionsschritte und der Prozesse mitprotokolliert werden und in späterer Folge dem Produkt zugeordnet werden. Alternativ kann die Chipapplikation auch auf Rüstteilen sowie Werkstückträgern bzw. Bauteilnestern in der Anlage durchgeführt werden. Über geeignete Schreib-/Lesegeräte ist es zu jedem Zeitpunkt möglich die Daten am Chip auszulesen bzw. zu speichern.

<sup>142</sup> Vgl. Festo Gesellschaft m.b.H. (2022), Onlinequelle [11.02.2022].

### RFID Schreib-/Lesestation IQT1-F61-IO-V1 von Pepperl+Fuchs GmbH

Merkmale <sup>143</sup>		Prozessdaten	Zusatzfunktionen
<b>Frequenz 13,56 MHz</b>		Steuerbit R/W	Datenträgertyp
<b>Übertragungsrate 26 kBit/s</b>		28 Byte Nutzdaten	Easy / Expert Modus
<b>Leseabstand bis 55mm</b>		Statusbit R/W u. Fehler	Fehlerdiagnose
<b>Datenträgererkennung</b>		Datenlänge	

Tabelle 27: Merkmale RFID Schreib-/Lesestation IQT1-F61-IO-V1, Quelle: Eigene Darstellung.

### 9.3.2 Sensor-/Aktorhub

Diese Module dienen zur Verkabelung einfacher digitaler Sensoren zur Einbindung von bis zu 16 digitalen Schaltsignalen über einen IO-Link Teilnehmer. Der BNI007Z bietet auch die Möglichkeit zur Erweiterung durch ein zweites Modul auf 30 Schaltsignale über lediglich einen IO-Link Masterport. Neben den Sensor-/Aktorhubs für digitale Signale sind auch Module für mehrere analoge Signale erhältlich.

#### IO-Link Sensor-/Aktorhub BNI007Z von Balluff GmbH

Merkmale <sup>144</sup>		Prozessdaten	Zusatzfunktionen
<b>16 Ein-/Ausgänge</b>		2 Byte Prozesseingangsdaten	Ein-/ Ausgangskonfiguration
<b>8 Ports M12</b>			Kurzschlussüberwachung
<b>getrennte Ausgangsversorgung</b>		2 Byte Prozessausgangsdaten	Sichere Ausgangszustände
<b>Erweiterbar</b>		4 Byte bei Erweiterung	Diagnosedaten

Tabelle 28: Merkmale IO-Link Sensor-/Aktorhub BNI007Z, Quelle: Eigene Darstellung.

Neben den IO-Link Sensoren und Aktoren gibt es noch eine Vielzahl an IO-Link Devices. RFID Systeme sind aufgrund der geforderten Nachverfolgbarkeit bei der Produktion von Produkten sehr gefragt. Bevor erste IO-Link Sensoren oder Aktoren in Anlagen integriert wurden, haben bereits viele Anlagenbauer das IO-Link Verdrahtungssystem mit den IO-Link Sensor-/Aktorhub in ihren Anlagen verbaut. Auch hier wurde mit der Einführung dieser Technologie nicht nur der Verdrahtungsaufwand eingespart, sondern auch bestimmte Diagnosefunktionen gewonnen.

<sup>143</sup> Vgl. Pepper+Fuchs Gesellschaft m.b.H. (2022), Onlinequelle [10.02.2022].

<sup>144</sup> Vgl. Balluff GmbH (2022), Onlinequelle [13.02.2022].

Die Vorteile durch die Zusatzfunktionen bezogen auf die meist vernachlässigbaren Zusatzkosten werden in Zukunft sicher für einen erhöhten Absatz von IO-Link Sensoren sorgen. Erfolgsversprechend sind vor allem die Funktionen betreffend der Erfassung von Umgebungsbedingungen sowie der Parametriermöglichkeiten innerhalb des vom Hersteller zur Verfügung gestellten Funktionsumfangs für unterschiedliche spezifische Anwendungen.

## **9.4 Ergebnis der Zusatzfunktionen, Zusatzdaten und dessen Nutzung**

Die Wahl des IO-Link Geräts, unabhängig ob Sensor, Aktor oder Hybridgerät, wird immer anhand der Bedürfnisse der Applikation in einer Anlage gewählt. Die Geräte müssen in erster Linie die Grundaufgaben in der Anlage erfüllen. Mögliche Zusatzfunktionen stellen dabei einen speziellen Mehrwert dar. Vor allem im Bereich des Sondermaschinenbaus steht man immer wieder vor neuen Herausforderungen und wird nicht selten vom Planungsrisiko der Anlage bei der Inbetriebnahme eingeholt. Zusatzfunktionen von Sensoren oder Aktoren sind dabei vielleicht der Schlüssel zur einfachen Problemlösung durch Möglichkeiten der Parametrierung und Funktionsänderung. Dieses Offenhalten von Optionen kann durch die nähere Betrachtung der Zusatzfunktionen bei der Gerätewahl gefördert werden.

Die nächste Stufe der Entscheidungskriterien bilden die Zusatzdaten dieser intelligenten Geräte, die meist mit den Zusatzfunktionen einhergehen. Einen großen Mehrwert dabei liefern die Diagnosefunktionen, da sie bereits vorzeitig durch ihre Diagnosedaten Fehlverhalten oder Störeinflüsse durch Warnungen signalisieren können. Im Störfall kann durch eine entsprechende Diagnosemitteilung des Geräts die Fehlersuche erleichtert und die Behebung beschleunigt werden.

Ein bestimmter Umfang an Diagnosedaten wird nahezu von allen IO-Link Geräten geliefert. Abhängig von der bestimmungsgemäßen Verwendung der Geräte wird dieser Umfang von den einzelnen Geräteherstellern spezifisch erweitert. Die ebenfalls bereitgestellten Zusatzdaten haben für das einzelne Device keine Diagnosefunktion, können aber in der Gesamtbetrachtung der Anlage bei entsprechender Auswertung zusätzliche Diagnoseparameter liefern.

## 9.5 Kostenberechnung

Um eine betriebswirtschaftliche Aussage bezüglich des Einsatzes von IO-Link Komponenten treffen zu können, werden in der Tabelle 30 unterschiedliche Varianten der Einbindung von Sensoren und Aktoren in eine Steuerung näher betrachtet. Die unterschiedlichen Varianten unterscheiden sich durch das Steuerungssystem, den eingesetzten Feldbus-IO-Link Mastern und der Topologie. Weiters wurde auch eine kombinierte Variante mit der Integration von IO-Link Sensor-/Aktorhubs betrachtet. Als Referenz für die Kostenberechnung wurde eine mittlere Montageanlage mit einem Transfer für den Transport der Werkstückträger zwischen drei Montagestationen herangezogen. Tabelle 29 zeigt eine Aufstellung der einzubindenden Systemkomponenten der Anlage in das Steuerungssystem. Dabei werden die Ein- und Ausgänge, sowie spezielle Signale in dieser Tabelle zusammengefasst und für die Auslegung des Systems herangezogen.

Nr	AB	Beschreibung	DE	DA	SDE	SDA	Son	Vent	Ve	MS	Arbeitsposition	Grundposition	DE	Betriebsmittel		
			53	29	2	2	0	i-	i-	MS	16	13	6			
00		Unterbau														
		Wartungseinheit											1	MSB6 Festo		
		Transfer	2	3	2	2							1	Smart Motor Lenze		
		Stausensoren	3										1	BN005N Balluff		
010		Station 1														
		Stopperzylinder	2	1				3/2	1	4	1	Reedschalter	1	Reedschalter	1	DFST-32-20-L-Y4-A-S-G2 Festo
		Werkstückträgerabfrage	1							5			1	BOS01TT Balluff		
		Zustellung X-Achse	2	2				5/2	2	6	1	Reedschalter	1	Reedschalter	1	DSNU-32-150-PPV-A Festo
		Zustellung Z-Achse (Fügen)	3	1				5/3	2	7	2	Reedschalter	1	Reedschalter	1	DSBC-32-250-PPV-A Festo
		Greifer Bolzen	3	2				5/2	2	8	2	Positionsabfrage	1	Positionsabfrage	1	MGP+40 Schunk
		Bauteilabfrage Bolzen	1							9			1	BES003P Balluff		
		Wegmesssystem	1							10			1	1	Wegmesssystem Balluff	
		Kraftmessung	1							11			1	1	Kraftmessdose mit Auswertung Burster	
		Bauteil in Entnahmeposition	1							12			1	1	BES005N Balluff	
		Bauteilmagazin Bestücken	1							13			1	1	BES005N Balluff	
		Leuchttaster Magazin Bestückt	1	1						14			1	1	Leuchttaster Schneider	
		Einpresstiefe messen	1							15			1	1	BOD000P Balluff	
020		Station 2														
		Stopperzylinder	2	1				3/2	1	16	1	Reedschalter	1	Reedschalter	1	DFST-32-20-L-Y4-A-S-G2 Festo
		Werkstückträgerabfrage	1							17			1	BOS01TT Balluff		
		Zustellung X-Achse	2	2				5/2	2	18	1	Reedschalter	1	Reedschalter	1	DSNU-32-150-PPV-A Festo
		Zustellung Y-Achse	2	2				5/2	2	19	1	Reedschalter	1	Reedschalter	1	DSNU-32-250-PPV-A Festo
		Greifer Bolzen	3	2				5/2	2	20	2	Positionsabfrage	1	Positionsabfrage	1	MGP+40 Schunk
		Bauteilabfrage Bolzen	1							21			1	1	BES003P Balluff	
		Wegmesssystem	1							22			1	1	Wegmesssystem Balluff	
		Kraftmessung	1							23			1	1	Kraftmessdose mit Auswertung Burster	
		Zutellung Z-Achse (Fügen)	2	2				5/3	2	24	1	Reedschalter	1	Reedschalter	1	DSBC-63-50-PPV-A Festo
		Bauteil in Entnahmeposition	1							25			1	1	BES005N Balluff	
		Bauteilmagazin Bestücken	1							26			1	1	BES005N Balluff	
		Leuchttaster Magazin Bestückt	1	1						27			1	1	Leuchttaster Schneider	
030		Station 3														
		Stopperzylinder	2	1				3/2	1	28	1	Reedschalter	1	Reedschalter	1	DFST-32-20-L-Y4-A-S-G2 Festo
		Werkstückträgerabfrage	1							29			1	BOS01TT Balluff		
		Zustellung X-Achse	2	2				5/2	2	30	1	Reedschalter	1	Reedschalter	1	DSNU-32-150-PPV-A Festo
		Zustellung Y-Achse	2	2				5/2	2	31	1	Reedschalter	1	Reedschalter	1	DSNU-25-100-PPV-A Festo
		Zutellung Z-Achse (Fügen)	2	2				5/3	2	32	1	BES003P	1	BES003P	1	DSBC-32-50-PPV-A Festo
		Handling am Bauteil	1							33			1	1	BCS00P0 Balluff	
		Bauteilabfrage	1							34			1	1	BES005N Balluff	
		Bauteil in Entnahmeposition	1							35			1	1	Lichttaster Balluff	
		Bauteilmagazin Bestücken	1							36			1	1	BES005N Balluff	
		Leuchttaster Magazin Bestückt	1	1						37			1	1	Leuchttaster Schneider	
		Einpresstiefe Messen	1							38			1	1	BOD000P Balluff	
030		Station 4														
		Werkstückträgerabfrage	1							39			1	BOS01TT Balluff		
		Leuchttaster Bauteil entnommen	1	1						40			1	1	Leuchttaster Schneider	
		Stausensor	1							41			1	BES005N Balluff		

Tabelle 29: IO-Liste Montageanlage ohne IO-Link Komponenten, Quelle: Eigene Darstellung.

Das Ergebnis der Kalkulation der unterschiedlichen Varianten zeigt, dass für den betrachteten Anwendungsfall in der Form dieser Montageanlage der Kostenunterschied der Hardware im Vergleich zu rein digitalen- bzw. analogen Komponenten und IO-Link Komponenten im Gesamtsystem ca. 25-45% betrifft. Dabei wurden die Steuerungskomponenten, Feldkomponenten sowie die eigentlichen Sensoren und Aktoren sowie dessen Verkabelung betrachtet. Komponenten welche in allen Varianten dieselben kostentechnischen Auswirkungen zeigten wurden von der Bewertung ausgeschlossen.

Varianten	Kosten	Beschreibung
<b>Variante 1:</b> B&R SPS mit DI/DO und AI SPS-Modulen	€ 10.510,-	Bei dieser Variante wurde ein B&R X20 Steuerungssystem mit digitalen Ein-/Ausgangskarten verwendet und alle Signale in den Schaltschrank verkabelt. Ebenso wurde für die Analogsignale auch eine Analogeingangskarte gewählt.
<b>Variante 2:</b> Siemens SPS mit DI/DO und AI SPS-Modulen	€ 10.479,-	Diese Variante wurde ähnlich aufgebaut wie die Variante 1, jedoch mit dem Unterschied, dass Siemens Komponenten verwendet wurden.
<b>Variante 3:</b> B&R SPS mit IO-Link Mastermodul	€ 13.594,-	Für diese Variante wird die gesamte Anlage soweit möglich und verfügbar mit IO-Link Komponenten realisiert. Die IO-Link Signale werden dabei direkt auf die SPS IO-Link Module im Schaltschrank verkabelt.
<b>Variante 4:</b> Siemens SPS mit Profinet IO-Modulen von Balluff	€ 14.150,-	Hier wird die gesamte Anlage mit einem Profinet-Feldbus realisiert. Die dezentralen Feldbusmodule dienen als Ein-/Ausgangsport für die digitalen Signale. Die Anlage wird wie in Variante 1 mit einfachen digitalen Komponenten realisiert.
<b>Variante 5:</b> B&R SPS mit IFM Powerlink-IO-Link Master	€ 12.880,-	In dieser Variante wurde die gesamte Anlage mit IO-Link ausgerüstet. Die IO-Link-Kommunikation zum Steuerungssystem erfolgt über Powerlink-IO-Link Master von IFM im dezentralen Feld.
<b>Variante 6:</b> Siemens SPS mit Balluff Profinet-IO-Link Master	€ 14.950,-	Variante 6 ist analog zur Variante 5 mit Komponenten von Siemens und Balluff mit einem Profinet-Feldbus in der Steuerungstopologie.
<b>Variante 7:</b> B&R SPS mit IFM Powerlink-IO-Link Master und Sensor/Aktor-Hubs	€ 12.700,-	Für diese Variante wird IO-Link als Verkabelungsvariante für digitale Ein-/Ausgänge verwendet. Bei der Anlage werden die komplexeren Komponenten mit IO-Link Schnittstelle gewählt. Es wird die Vorteile der digitalen/analogen Welt mit IO-Link zu kombinieren.
<b>Variante 6:</b> Siemens SPS mit Balluff Profinet-IO-Link Master und Sensor/Aktor-Hubs	€ 13.520,-	In dieser Variante wird bezüglich der Komponenten der Anlage dieselben wie in der Variante 7 gewählt. Die Unterschiede liegen in der Wahl des SPS Systems von Siemens und der Profinet-Module von Balluff. Als Komponenten für das Verkabelungssystem wurden IO-Link Sensor/Aktor-Hubs BNI007Z von Balluff einkalkuliert.

Tabelle 30: Kostenaufstellung von Systemvarianten zur Einbindung von Anlagenkomponenten, Quelle: Eigene Darstellung.

Bemerkenswert war dabei, dass sich bei einigen Sensoren kaum Preisunterschiede zwischen der analogen oder digitalen und der IO-Link Variante aufgetan haben. Dies betrifft vor allem Sensoren mit komplexerem Funktionsumfang wie Lichttaster oder Längenmesssysteme.

Zusätzlich konnten teilweise Sensoren bei der IO-Link Variante eingespart werden, explizit waren das Zylindersensoren für die Endlagendetektion. Die IO-Link Variante verfügt über einen großen Erfassungsbereich mit der Funktion mehrere Schaltpunkte zu Parametrieren. Dadurch können bei kurzen Hübten beide Endlagen oder bei mehreren Arbeitspositionen der Zylinder die Kolbenstellungen mit einem Sensor abgefragt werden.

Ein großes Einsparungspotenzial der Kosten zeigte sich beim Einsatz einer IO-Link Ventilinsel. Dabei konnte im konkreten Fall festgestellt werden, dass der Einsatz die Hardwarekosten senkt und auch den Verkabelungsaufwand auf einen Bruchteil minimiert. Alternativ gibt es auch Ventilinseln mit Feldbusanbindung. Diese sind aufgrund der höheren Kosten für den Feldbusknoten etwas teurer und amortisieren sich erst bei höherer Ventilanzahl.

Objektiv betrachtet hat die Variante 6 bzw. 7 der Kombination von einfachen Sensoren und Aktoren mit IO-Link Geräten die Vorteile beider Welten vereint und die Hardwarekosten nur geringfügig um ca. 20% erhöht. Bei kritischen oder komplexen Applikationen kann man sich durch einen geringen Mehreinsatz mögliche Zusatzfunktionen oder Parametriermöglichkeiten offen halten. Im Gegensatz dazu spart der Einsatz einfacher Sensoren für einfache Applikationen in der Anlage Kosten ein.

Einen großen Vorteil zeigte auch der Einsatz von IO-Link als Verdrahtungssystem für die digitalen Ein-/Ausgänge im Feld, diesbezüglich würde sich auch der Einsatz eines IO-Link Analogmoduls bei mehreren Analogsignalen bezahlt machen.

Ein möglicher Mehraufwand durch die Konfiguration und Parametrierung der IO-Link Komponenten wurde in der Kostenrechnung nicht bewertet. Ein neues System bringt in der Anwendung immer neue Herausforderungen mit sich, die sich meist negativ auf die benötigte Programmier- und Inbetriebnahmezeit auswirkt. Es ist schwierig, ein neues System gegenüber einem Etablierten zu bewerten, da sich auch beim vermehrten Einsatz neuer Komponenten eine gewisse Routine feststellen lässt. Durch die umfangreichen Funktionen und Parameter bedarf es für jede IO-Link-Komponente beim ersten Einsatz das Handbuch zu zücken und etwas mehr Zeit für das Studium der Dokumentation einzuplanen.

Aufgrund der Nutzung der beiden Steuerungssysteme von B&R Automation und Siemens im Testaufbau lag es nahe, auch einen Vergleich der Kosten aufzustellen. Dabei wurden nur geringe Unterschiede festgestellt, die hinsichtlich einer Empfehlung keine Aussage treffen.

Die Zusatzdaten der intelligenten IO-Link-Devices können ihre Vorteile nur ausspielen, wenn ein kontinuierliches Monitoring und eine entsprechende Auswertung der Daten stattfindet. Die Verantwortung darüber liegt in erster Linie beim Anlagenhersteller, der nicht nur eine entsprechende Geräteauswahl treffen muss, sondern auch diese Daten bereitstellt. Darüber hinaus obliegt es den Betreibern der Anlagen, den Mehrwert dieser Technologie zu erkennen und gegenüber dem Hersteller zu honorieren. Die Daten müssen vom Anwender, Bediener, Anlagenbetreiber und Hersteller gleichermaßen genutzt werden. Nur dadurch kann mit den Zusatzdaten auch ein Zusatznutzen einhergehen und im Hinblick auf Anlagenverfügbarkeit und Instandhaltung neue Maßstäbe gesetzt werden.

Die Mehrkosten dieser Technologie werden sich durch die intensivere Nutzung relativieren. Die größere Nachfrage am Markt fördert neue Entwicklungen und den weiteren Ausbau der Technologie. Durch höhere Stückzahlen der Gerätehersteller können die Einzelproduktionskosten gesenkt werden, was den Einsatz in punkto Kosten relativiert.

## 10 TESTAUFBAU

Ein Testaufbau ist notwendig um eine entsprechend detaillierte Aussage zur Integration von IO-Link Komponenten treffen zu können. Im Fokus steht dabei neben den Prozessdaten auch das Abrufen der azyklischen Daten sowie die Änderung von Parametern während der Laufzeit, um die Funktion des Geräts an mögliche Applikationsänderungen anzupassen. An erster Stelle ist dabei die Konfiguration und Parametrierung der Geräte zur Inbetriebnahme. Für einen Vergleich wurden sowohl die Inbetriebnahme als auch das Abrufen und Ändern von Parametern mittels mehrerer Systeme durchgeführt.

### 10.1 Testaufbau B&R SPS X20

Der erste Testaufbau erfolgte mit einem Steuerungssystem von B&R jeweils mit einem IO-Link Master als Steuerungsmodul, einem Profinet Master und einem Powerlink Master mit unterschiedlichen IO-Link Devices ersichtlich in Abb. 42.

#### 10.1.1 Komponenten für den Testaufbau:

- B&R X20 Steuerungssystem X20CP1382 mit integrierter Powerlink Schnittstelle
- X20 Profinet Master X20IF10E1-1
- X20 IO-Link Master X20DS438A mit 4 IO-Link Ports
- IFM Powerlink-IO-Link Master AL1372
- Balluff Profinet-IO-Link Master BNI007M
- SMC Schrittmotorachse LEYG25MDB-200-R36P1 mit einem IO-Link Controller JXCL17-BC
- Balluff Laser Distanzsensor BOD0026
- Balluff Sensor-/Aktorhub BNI007Z
- IFM Drucksensor PN7004
- Turck Induktiver Sensor BI6U-M12WD-IOL6X2-H1141
- Balluff Optischer Multifunktionssensor BOS026R

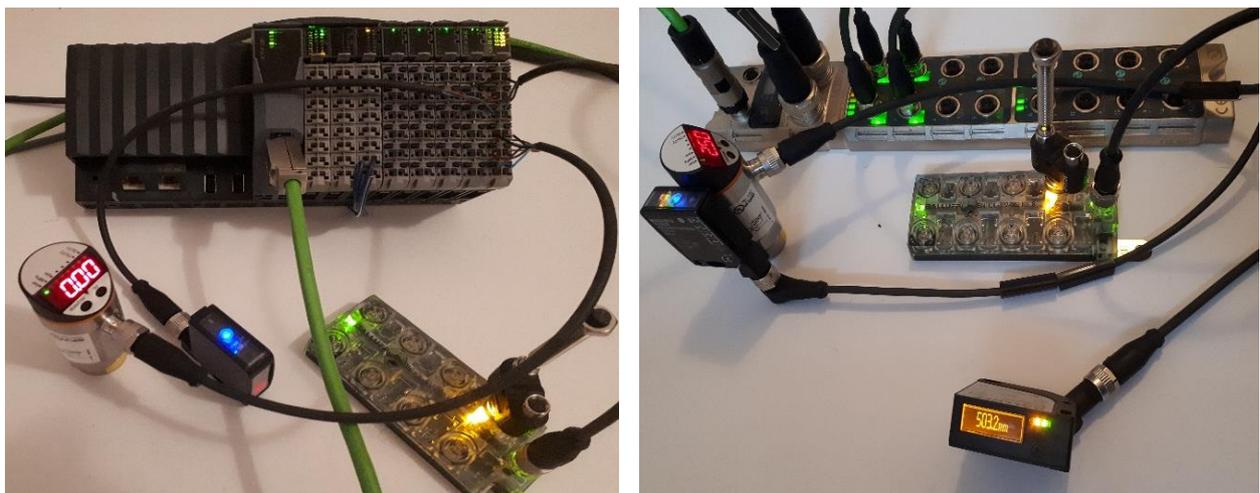


Abb. 42: Testaufbau mit B&R System, Quelle: Eigene Darstellung.

Im ersten Schritt erfolgte die Verkabelung des gesamten Systems, dabei wurden zuvor die einzelnen Gerätedokumentationen studiert. Vor dem Anschließen der IO-Link Devices wurde die Parametrierung der Master durchgeführt und entsprechend am System upgedatet. Bei der Parametrierung der einzelnen Devices wurden dann die ersten Unterschiede aufgrund der Topologie sichtbar.

## 10.1.2 Gerätekonfiguration

Zur Integration in das Steuerungssystem von B&R gibt es abhängig von der Topologie einige Unterschiede bei der Konfiguration von IO-Link Komponenten. Verantwortlich dafür ist meist das übergeordnete System, im Folgenden werden diese näher betrachtet.

### 10.1.2.1 Gerätekonfiguration B&R Automation Studio

Die Gerätekonfiguration im B&R Automation Studio beginnt damit, das Hardwaresystem im System Designer nachzubilden, Abb. 43 zeigt den virtuellen Testaufbau. Nach der Zusammenstellung der B&R Komponenten folgt die Integration der Fremdkomponenten. Dazu wurden die Gerätebeschreibungsdateien der Feldbus-IO-Link-Master importiert – GSDML-Dateien bei Profinetkomponenten und XDD-Dateien bei Powerlinkkomponenten – und die IO-Link Dateien in den DTM Katalog integriert.

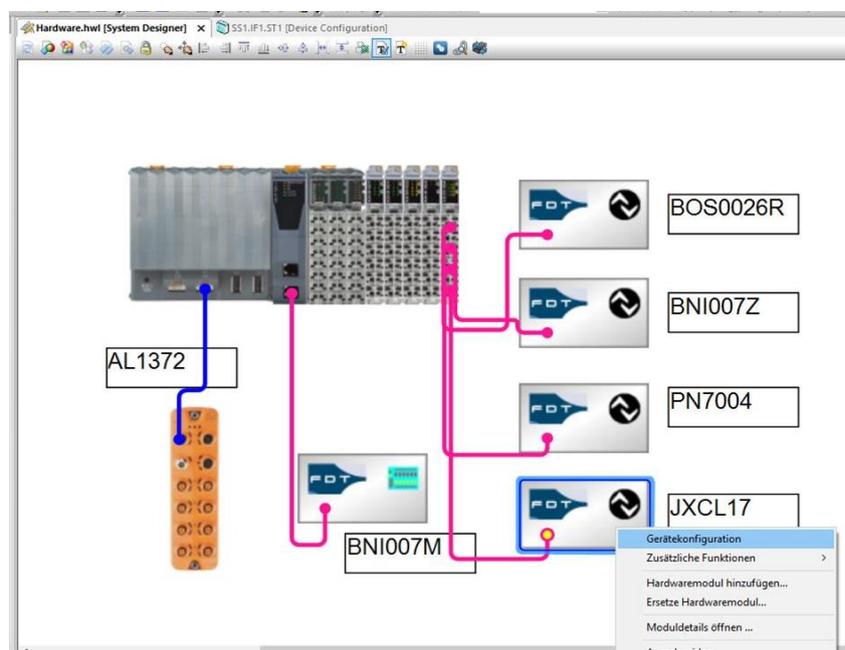


Abb. 43: Hardware des Testaufbaus im System Designer von B&R Automation Studio. Quelle: Eigene Darstellung.

Beim Verknüpfen der Komponenten im System Designer anhand der realen Topologie zeigten sich die ersten topologiebedingten Differenzen bei der Gerätekonfiguration. Der direkte Zugriff auf die Konfiguration ist dabei nur in die nächste untere Topologieebene möglich und verhindert damit das Verknüpfen von IO-Link Devices und deren Parametrierung an den Feldbus-IO-Link Mastern. Aus diesem Grund können nur die IO-Link Devices am B&R IO-Link Master anhand der IO-Link über das FDT-PlugIn (Field Device Tool) der Gerätekonfiguration sowie die Feldbusmaster mit Fremdbussystem selbst konfiguriert werden. Alternativ steht für diese Module auch die Möglichkeit des Ladens der Parametrierung aus dem Modul selbst zur Verfügung.

Die Konfiguration von direkt angeschlossenen IO-Link Devices an eine IO-Link-Master Schnittstellenkarte des X20 Steuerungssystems erfolgt nach dem Import der IO-Link-Datei des Devices über eine grafische Oberfläche mit Eingabe- und Drop-Down-Feldern. Abb. 44 zeigt die Interpretation der IO-Link-Datei als grafische Oberfläche zur Konfiguration eines optischen Multifunktionssensor BOS026R. Diese Parametrieroberfläche ist für die Inbetriebnahme gedacht, die Einstellungen werden in die

Hardwarekonfiguration übernommen. Veränderungen während des Betriebs müssen über Funktionsblöcke im Programm erfolgen. Die Konfiguration desselben Sensors an einem IO-Link-Feldbusmaster, welcher zwischen Steuerung und IO-Link Device hängt, kann über das Automation Studio nicht vorgenommen werden. Durch das zwischengeschaltete Feldbussystem muss die Konfiguration, wie ab Kapitel 10.1.2.2 beschrieben, durchgeführt werden.

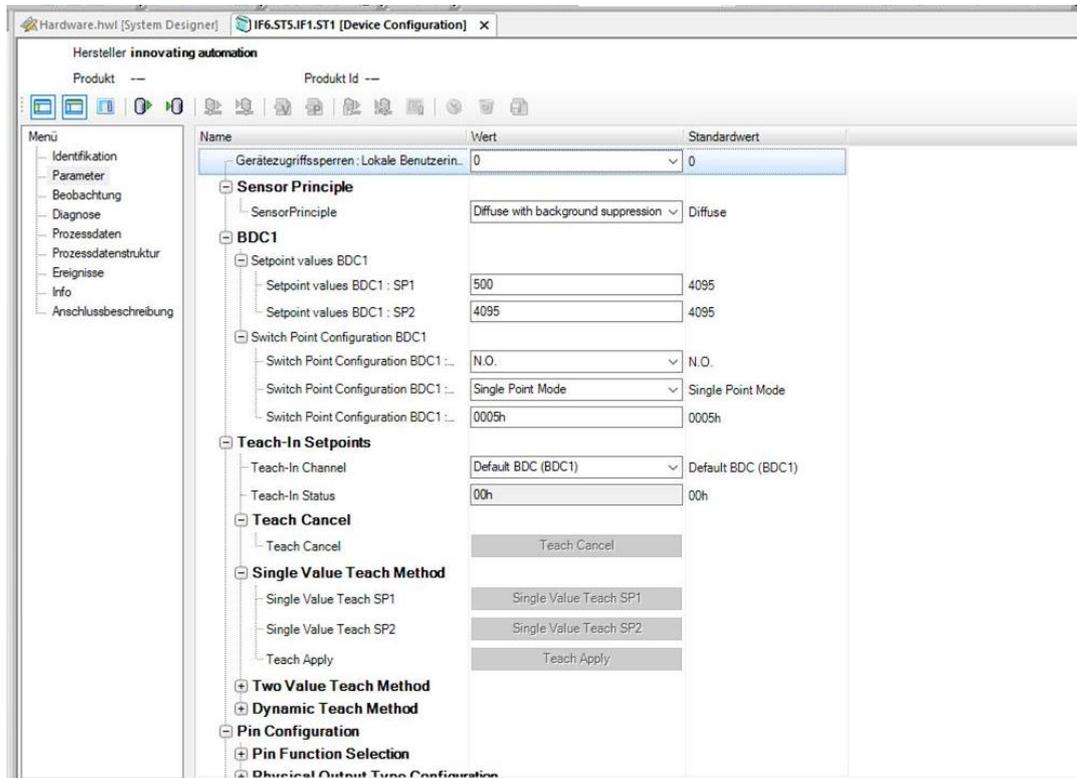


Abb. 44: IO-Link Gerätekonfiguration anhand BOS026R, Quelle: Eigene Darstellung.

Teilweise bieten die Feldbusmaster eine kleine Anzahl an ausgewählten IO-Link Devices zur Konfiguration über das FDT-PlugIn der Gerätekonfiguration an, da diese die IODD Daten dieser IO-Link Geräte bereits in der Gerätebeschreibungsdatei des Masters inkludiert haben. In der Abb. 45 ist die Konfigurationsoberfläche für den IO-Link Master BNI007M im Automation Studio dargestellt. Die möglichen Einstellungsparameter werden dabei aus den Informationen der GSDML generiert.

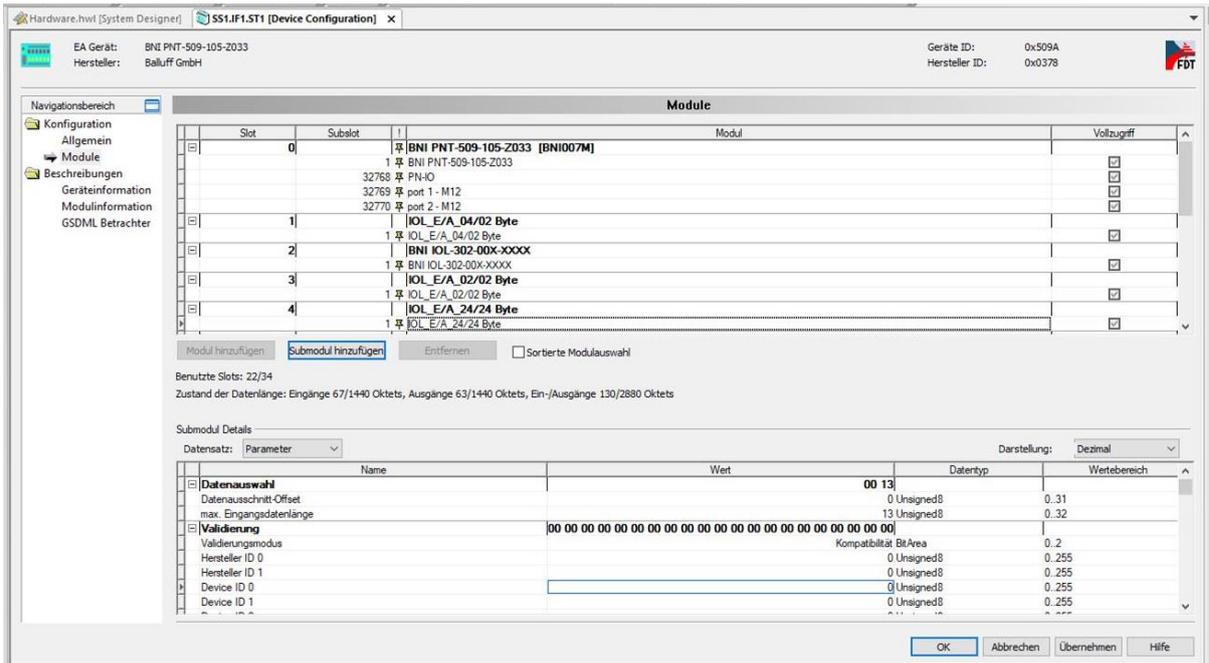


Abb. 45: Gerätekonfiguration des Profinet-IO-Link Masters für die vier Devices des Testaufbaus, Quelle: Eigene Darstellung.

Da der Powerlink IO-Link Master von IFM auf der OnBoard Powerlink Schnittstelle hängt, erfolgt die Konfiguration des Masters nicht über das FDT-PlugIn für Gerätekonfiguration, sondern in der Hardwarekonfiguration des Moduls ähnlich den B&R Komponenten, siehe Abb. 46. Die Konfiguration betrifft nur den Master und die Ports mit den Prozessdaten, jedoch nicht bis in die Ebene der IO-Link Devices. Für die Konfiguration müssen die Werte entsprechend dem Handbuch und der gewünschten Funktion in die einzelnen Kanäle für das IO-Mapping sowie die Gerätespezifischen-Parameter eingetragen werden.

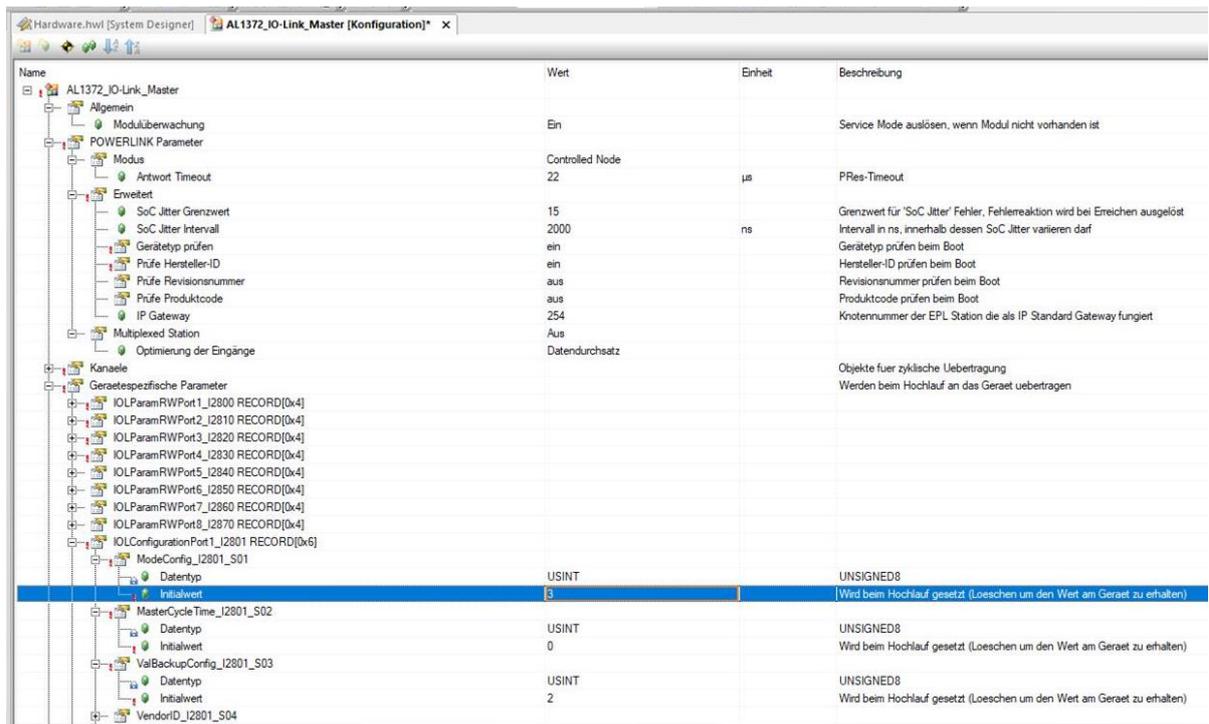


Abb. 46: Hardwarekonfiguration des Powerlink-IO-Link Masters AL1372 anhand des Testaufbaus, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Konfiguration der IO-Link Devices an den Feldbus IO-Link Master funktioniert nur über die Konfigurationssoftware der Feldbus-IO-Link Master Hersteller oder über die teilweise auf den Mastern laufenden Webserveranwendungen.

### 10.1.2.2 Webserver Balluff Master / Balluff Engineering Tool

#### Webserver

Beinahe alle Balluff IO-Link Master mit Industrial Ethernet Anbindung verfügen über eine lauffähige Webserveranwendung am Master. Für den Zugriff auf die Webserveranwendung braucht man einen betriebsfähigen Master und eine Netzwerkverbindung auf den Industrial Ethernet Port mit dem Laptop. Der Aufruf der Webserveranwendung erfolgt über den Browser durch Eingabe der IP-Adresse des Masters.

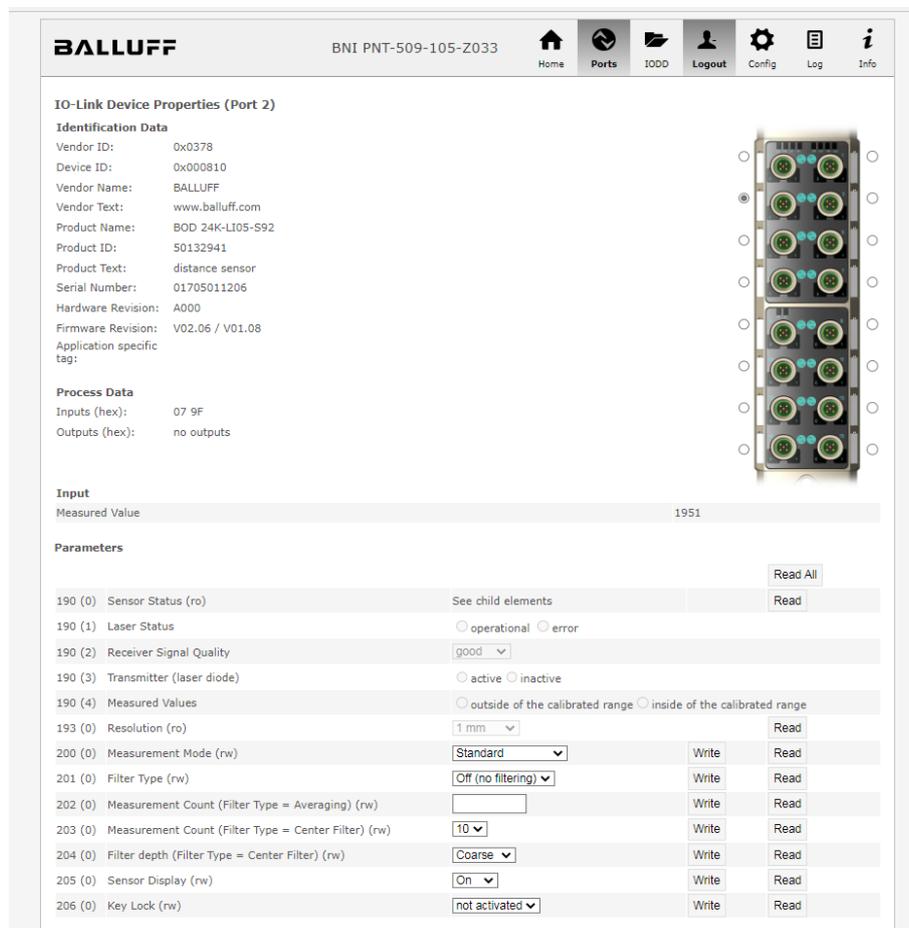


Abb. 47: Balluff Webserver mit BOD0026 Konfiguration an Port 2 und anhand Testaufbau, Quelle: Eigene Darstellung.

Über den Browser kann die Funktionsweise des Masters und der einzelnen Ports über Steuerfelder parametrierbar und die IODD-Dateien der angeschlossenen Devices auf den Master geladen werden, siehe Abb. 47. Durch den IODD-Interpreter können alle angeschlossenen Devices herstellerübergreifend über entsprechende Steuerelemente parametrierbar werden. Beim Hochladen ist die richtige Benennung der IODD-Datei zu beachten, damit diese mit dem angeschlossenen Device in Verbindung gebracht werden kann. Die Webserveranwendung hat jedoch kein direktes PlugIn für den IODD-Finder, deshalb müssen die IODD manuell heruntergeladen und umbenannt werden. Neben der Parametrierung stehen auch die aktuellen zyklischen und azyklischen Prozessdaten, Diagnosedaten und Events zur Verfügung.

## Balluff Engineering Tool

Das Balluff Engineering Tool ist eine Software zur Konfiguration und Parametrierung von Feldbusteilnehmern sowie der daran angeschlossenen IO-Link Devices. Alle Funktionen dieser Software sind bereits in der kostenlosen Version verfügbar, die einzige Ausnahme beschränkt die Nutzung auf jeweils einen einzelnen Feldbusknoten in der Topologie. Für die Abbildung mehrere Master muss eine Lizenz erworben werden.

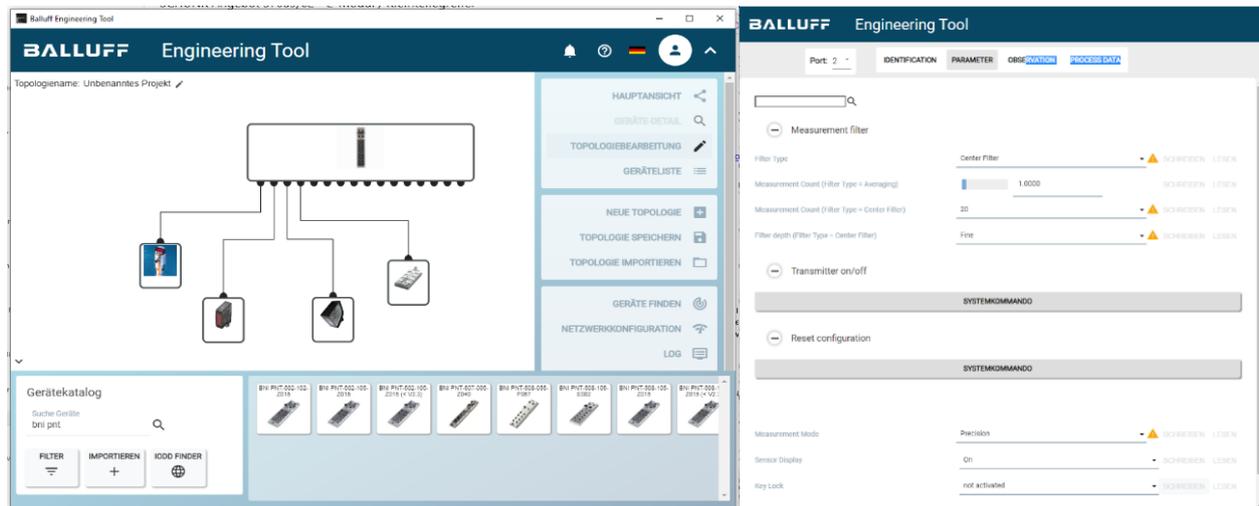


Abb. 48: Konfiguration BOD0026 am Port 2 im Balluff Engineering Tool, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Software ermöglicht die Konfiguration aller Balluff IO-Link Master inklusiver aller IO-Link Devices auch herstellerübergreifend. Eine Schnittstelle zum offiziellen IODD-Finder ist ebenfalls inkludiert. Der IODD-Interpreter ermöglicht die Konfiguration und Parametrierung aller Einstellungen, die anhand der IODD ermöglicht werden über ein grafisches Interface mit entsprechenden Steuerelementen. Abb. 48 dient als beispielhafte Darstellung für die Konfiguration des Masters sowie der Parametrierung des IO-Link Devices. Die Verbindung zwischen Laptop und IO-Link Master erfolgt über ein Netzwerkkabel auf den Industrial Ethernet Port am Master. Die Einstellungen werden über den Master in das Device geladen, ebenfalls können die aktuellen Prozessdaten über den Onlinemodus betrachtet bzw. Prozessausgangsdaten geschrieben werden. Ein Scan-Modus erkennt alle angeschlossenen Devices und bildet eine Hilfestellung beim Erstellen der Topologie.

### 10.1.2.3 LR Device / Moneo Configure

IFM bietet für die Konfiguration ihrer IO-Link Master mit Industrial Ethernet Schnittstelle und der daran angeschlossenen IO-Link Devices die Software LR Device an. Damit können, ähnlich wie im Balluff Engineering Tool, der Master selbst sowie herstellerübergreifend alle IO-Link Geräte konfiguriert und in Betrieb genommen werden. Auch in der Vollversion wird es jedoch auf einen Master beschränkt. Die LR Device Software verfügt über einen direkten Importmechanismus von IODD Dateien von IODD-Finder der IO-Link Community. Die Verbindung zum Master wird über eine Netzwerkleitung auf den Industrial Ethernet Port aufgebaut und ermöglicht neben der Parametrierung auch die Betrachtung der zyklischen und azyklischen Prozess- sowie die Diagnosedaten. LR-Device ist grundsätzlich lizenzpflichtig, eine funktionale eingeschränkte Version kann kostenlos heruntergeladen werden. Die Oberfläche der Software ist in Abb. 49 dargestellt.

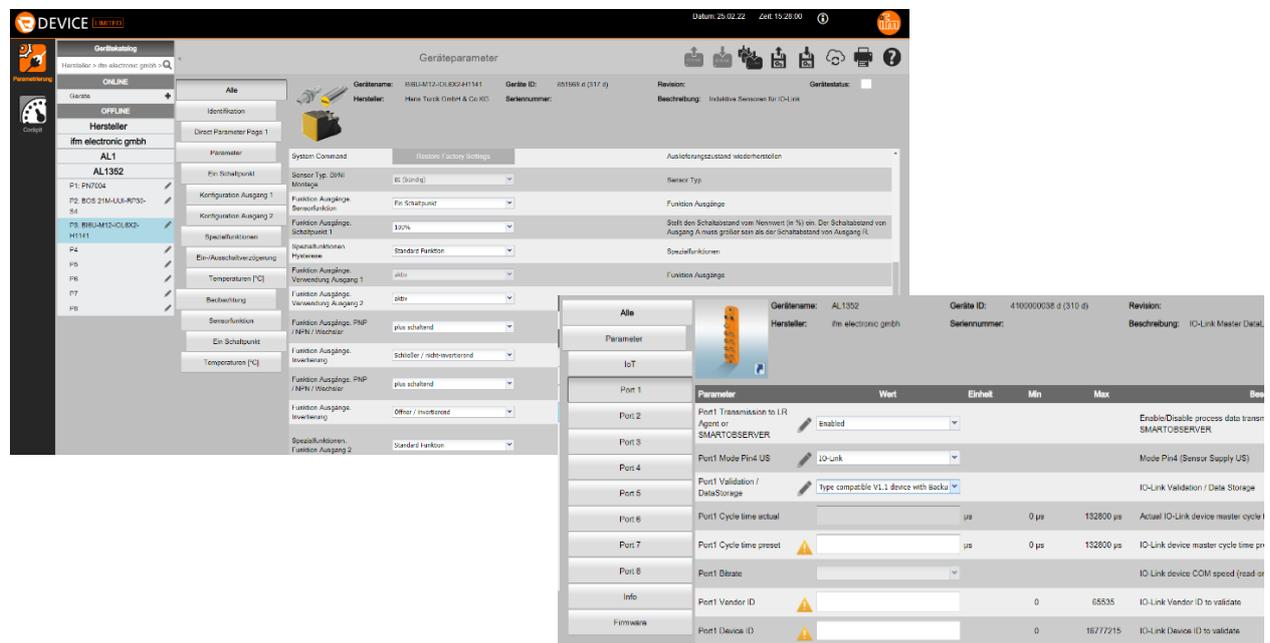


Abb. 49: Konfiguration Induktiver Sensor BI6U-M12WD-IOL6X2-H1141 an Port 1 des IFM Masters mit LR Device, Quelle: Eigene Darstellung.

Moneo Configure ist Teil des IIoT Softwarepakets Moneo von IFM und dient der Konfiguration von IFM IO-Link Master und Devices aller Hersteller. Es stellt die Weiterentwicklung von LR Device dar und deckt den Bereich der Komponentenkonfiguration von IFM Moneo ab. Im Gegensatz zu LR Device ist es grafisch intuitiver aufgebaut und bietet einige neue Möglichkeiten, darunter die Funktion mehrere Master gleichzeitig zu konfigurieren, um das gesamte Netzwerk in einem Zug in Betrieb zu nehmen.

### 10.1.3 Azyklische Daten und Parameteränderung

Das Lesen und Schreiben von azyklischen Daten über die IO-Link Kommunikation erfolgt durch direkten Zugriff auf den entsprechenden Parametersatz am IO-Link Device durch Angabe des Parameterindex und des Subindex. Jedes IO-Link Gerät verfügt über bestimmte Standardparameter sowie optionale Parameter aufgrund der individuellen Funktion, die Herstellerdokumentation gibt dazu Auskunft.

### 10.1.3.1 Funktionsbausteine AsIOLink Bibliothek

Die Bibliothek AsIOLink von B&R stellt die notwendigen Funktionsbausteine für die Interaktion mit dem IO-Link Device für den Lese- und Schreibzugriff auf nichtzyklische Datenpunkte zur Verfügung. Über diese Funktionsbausteine können alle IO-Link Devices angesprochen werden, welche über einen der beiden B&R IO-Link Master X20DS438A oder X67DS438A mit dem Steuerungssystem verbunden sind. Die Kommunikation findet dabei während der Laufzeit über den azyklischen Datenkanal der IO-Link Kommunikation statt und es kann azyklisch auf Parameter, Diagnosedaten sowie andere azyklische Daten der Devices zugegriffen werden. Abb. 50 stellt die verfügbaren Funktionsblöcke der Bibliothek vor.

#### AsIOLink - Funktionen und Funktionsblöcke

Die Bibliothek AsIOLink stellt folgende Funktionen und Funktionsblöcke zur Verfügung:

Funktionsblock	Beschreibung
<a href="#">ioLinkWrite()</a>	Mit diesem FUB kann auf ein Objekt in einem IO-Link Gerät ein Schreibzugriff durchgeführt werden.
<a href="#">ioLinkRead()</a>	Mit diesem FUB kann auf ein Objekt in einem IO-Link Gerät ein Lesezugriff durchgeführt werden.
<a href="#">ioLinkGetEvent()</a>	Mit diesem FUB kann ein Event aus der Event Queue ausgelesen werden.
<a href="#">ioLinkSetMode()</a>	Mit diesem FUB kann der IO-Link Betriebsmodus während des Betriebs verändert werden.
<a href="#">ioLinkParameterDownload()</a>	Mit diesem FUB kann der Offlinekonfigurationsdownload getriggert werden.

Abb. 50: Funktionen und Funktionsblöcke AsIOLink, Quelle: B&R Automation Studio Help Explorer.

Über die Beschreibung der Funktionsblockparameter mit den entsprechenden Werten kann bei Aktivierung der gewünschte Zugriff erfolgen. Durch den Rückgabewert des Parameters „status“ wird die korrekte Durchführung angezeigt, im Fehlerfall muss über den Parameter „errorCode“ die detaillierte Fehlerursache ausgelesen werden. Im Beispiel wurde der Funktionsbaustein „ioLinkWrite()“ verwendet um die Funktionsweise des optischen Multifunktionssensors von der Funktion der Reflexlichtschranke auf die Funktion eines Lichttasters zu parametrieren. Auf diese Weise kann während des Betriebs die Funktion geändert werden um etwaige Rüstprozesse bei Bauteilwechsel zu minimieren. Abb. 51 zeigt den Ausschnitt des Programmcodes für die Verwendung des Funktionsblocks ioLinkWrite().

```
strcpy(IOLinkDevice, "IF6.ST5.IF1");
IOLWrite.enable=writeenable;
IOLWrite.pDeviceName=&IOLinkDevice;
IOLWrite.index=index;
IOLWrite.subIndex=subindex;
IOLWrite.datatype=datentyp;
IOLWrite.pData=&data;
IOLWrite.dataLen=sizeof(data);

writeStatus=IOLWrite.status;
ioLinkWrite (&IOLWrite);
```

Abb. 51: Funktionsblock ioLinkWrite() in Verwendung, Quelle: Eigene Darstellung.

### 10.1.3.2 Funktionsbausteine AsNxPnM

Die Funktionsbausteine der Bibliothek AsNxPnM ermöglichen den Zugriff auf Parameter, Diagnosedaten und Alarmer der Profinet-Slaves – im Konkreten den Balluff Profinet IO-Link Master – und der angeschlossenen Submodule in Form der IO-Link Devices über den Profinet Master X20IF10E1-1. Dieser

fungiert als Gateway zwischen dem Profinet Netzwerk und der X20 Steuerung. Die Datenkommunikation läuft dabei mittels der Funktionsbausteine asynchron ab. Eine Übersicht der verfügbaren Funktionsblöcke dieser Bibliothek wird durch die Abb. 52 dargestellt.

### AsNxPnM - FBKs

Die Bibliothek AsNxPnM stellt folgende Funktionen und Funktionsblöcke zur Verfügung:

Funktionsblock	Beschreibung
<a href="#">nxpnmGetHandle()</a>	Handle des PROFINET Devices ermitteln.
<a href="#">nxpnmSubscribe()</a>	Anwendung anmelden.
<a href="#">nxpnmUnsubscribe()</a>	Anwendung abmelden.
<a href="#">nxpnmAcyclicRead()</a>	Azyklisch Daten lesen.
<a href="#">nxpnmAcyclicWrite()</a>	Azyklisch Daten schreiben.
<a href="#">nxpnmDeviceDiagnosis()</a>	Device Diagnose auslesen.
<a href="#">nxpnmAlarmInd()</a>	Alarm empfangen.
<a href="#">nxpnmAlarmAck()</a>	Alarm bestätigen.
<a href="#">nxpnmDiffBlock()</a>	Differenzdaten auslesen.

Abb. 52: Funktionsblöcke AsNxPnM, Quelle: B&R Automation Studio Help Explorer.

Die Grundfunktion für die Benutzung aller weiteren Funktionsbausteine der Bibliothek bildet der Funktionsbaustein „nxpnmGetHandle()“, der einen Device-Handle des Profinet-Devices als Rückgabewert ermittelt. Dieser Handle wird über den Namen der Profinet Controller Schnittstelle und über den Profinetnamen erzeugt – im konkreten Fall der Profinetname des Profinet IO-Link Masters.

```
strcpy(ProfinetName, "bnipnt509105z033");
strcpy(ProfinetMasterAddress, "SS1.IF1");
PntGetHandle.enable=enableHandle;
PntGetHandle.pDevice=&ProfinetMasterAddress;
PntGetHandle.pName=&ProfinetName;
nxpnmGetHandle (&PntGetHandle);

if (PntGetHandle.status == ERR_OK)
{
    handlePNT=PntGetHandle.handle;
}
```

Abb. 53: Funktionsblock nxpnmGetHandle() in Verwendung, Quelle: Eigene Darstellung.

Erst über einen funktionsfähigen Handle (Abb. 53) können die weiteren Funktionsblöcke betrieben werden. Interessant sind dabei der nxpnmAcyclicRead() zum Lesen von azyklischen Daten, der Devices, nxpnmAcyclicWrite() zum Schreiben von azyklischen Daten sowie Alarmer und Diagnosen der Profinet Slaves. Die IO-Link Devices am Masterport werden über die Slots des IO-Link Masters angesprochen. Die Zuweisung der Slots und Subslots ist in der Gerätekonfiguration der Profinet-Slaves in Abb. 45 ersichtlich. Über den Index wird dann der entsprechende Parameter vom IO-Link Device angegeben. Zu beachten ist die Größe des Buffers für die Daten der IO-Link Parameter, da bei diesen Funktionsbausteinen kein Subindex angegeben werden kann. Deshalb wird immer der gesamte Parameter mit allen Subindex ausgelesen. Die Bufferlänge muss damit dem Additionsergebnis der einzelnen Subindex-Parametergrößen entsprechen.

### 10.1.3.3 Funktionsbausteine AsEPL

Die Bibliothek AsEPL stellt Funktionsbausteine für die Interaktion mit Stationen im Powerlink-Netzwerk bereit. Durch die Funktionsbausteine EplSDOWrite() und EplSDORead() können über einen indirekten Zugriff über den Powerlink-IO-Link Master einzelne Parameter der IO-Link Geräte gelesen oder verändert werden. Eine Übersicht der verfügbaren Funktionsblöcke ist in Abb. 54 ersichtlich.

#### AsEPL - Funktionen

Die AsEPL-Bibliothek stellt folgenden Funktionen zur Verfügung:

Aufruf	Beschreibung
<a href="#">EplGetLocalNodeID()</a>	Abfrage der lokalen Knotenadresse der SPS
<a href="#">EplSDORead()</a>	Lesen von Objekteinträgen
<a href="#">EplSDOWrite()</a>	Schreiben von Objekteinträgen

Abb. 54 Funktionen AsEPL, Quelle: B&R Automation Studio Help Explorer.

Die Adressierung bis zum gewünschten Parameter erfolgt über den Namen der Powerlink-Schnittstelle, der Knotennummer des IO-Link Masters, einer speziellen Indexangabe für den Masterport und dem Subindex. Die Definition des Parameterindex und des Subindex sowie die Datenlänge des zu schreibenden Parameters am IO-Link Device wird zusammen mit den eigentlichen Daten in ein Array verpackt und über einen Pointer auf die Adresse des Arrays an den Funktionsblock übergeben. Das Verpacken von Index, Subindex und Daten muss nach einem bestimmten Schema durchgeführt werden. Dazu gibt es eine Hilfestellung im „Getting Started“ Dokument von IFM für den Powerlink-IO-Link Master. Wichtig dabei ist die Angabe der entsprechend richtigen Datenlänge, Abb. 55 zeigt den Programmcode für die Verwendung des Funktionsblocks EplSDOWrite().

```
strcpy(deviceNameEPL, "IF3");

EPLwriteParam.enable= enableWriteePL;
EPLwriteParam.pDevice= &deviceNameEPL;
EPLwriteParam.node= nodeEPL;
EPLwriteParam.index= indexPortEPL;
EPLwriteParam.subindex=subindexEPL;
EPLwriteParam.pData=&writeDataEPL;
EPLwriteParam.dataLen=dataLength;

EplSDOWrite (&EPLwriteParam);
```

Abb. 55: Funktion EplSDOWrite() in Verwendung, Quelle: Eigene Darstellung.

## 10.2 Testaufbau Siemens SPS ET200SP 1500

Im zweiten Testaufbau wurde für die Integration von IO-Link-Komponenten ein Steuerungssystem von Siemens herangezogen, um analog zum vorherigen Testaufbau die Unterschiede zu erkennen. Da Profinet bei Siemens der OnBoard Feldbus ist, wurde die Integration mit Feldbusmaster auf den Profinet Master von Balluff beschränkt. Abb. 56 zeigt die Hardwarekonfiguration im TIA-Portal.

### 10.2.1 Komponenten für Testaufbau:

- Siemens ET200 SP Steuerungssystem 1500 mit CPU 1512SP F-1 PN mit integrierter Profinet-Schnittstelle
- Siemens IO-Link Master 6ES7137-6BD00-0BA0
- Balluff Profinet-IO-Link Master BNI007M
- Festo Linearachse mit Schrittmotor und IO-Link Interface ELGS-BS-KF-45
- IFM Drucksensor PY2794
- Balluff Condition Monitoring Sensor BCM0002

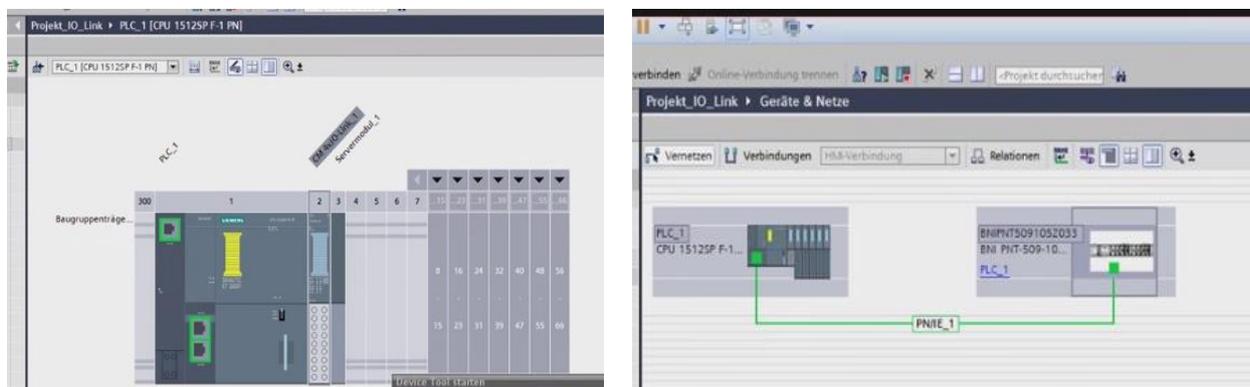


Abb. 56: Hardware im TIA-Portal, Quelle: Eigene Darstellung.

### 10.2.2 Gerätekonfiguration

Die Unterschiede in der Topologie der IO-Link Komponenten zeigt auch in Abweichungen bei der Konfiguration und Parametrierung der IO-Link Devices. Ein Feldbus-Netzwerk zwischen Steuerungssystem und IO-Link Gerät setzt die Verwendung eines zusätzlichen Tools zur Parametrierung voraus.

#### 10.2.2.1 Gerätekonfiguration Tia Portal

Die Hardwarekonfiguration über die Geräteübersicht ermöglicht die Zusammenstellung des Steuerungssystems anhand des realen Aufbaus. Bei der Verwendung eines Siemens IO-Link Masters als SPS-Modul kann in der Geräteübersicht herstellerübergreifend jedes IO-Link Device an einen freien Masterport konfiguriert werden. Die Auswahl des Geräts setzt den Import der entsprechenden IODD voraus. Über den IODD Interpreter des TiaPortals, das PCT-Tool, werden die Devices über eine grafische Oberfläche mit entsprechenden Steuerelementen anhand der IODD konfiguriert. Die Parametrierungsoberfläche für eine Festo Linearachse ELGS wird in der Abb. 57 dargestellt.

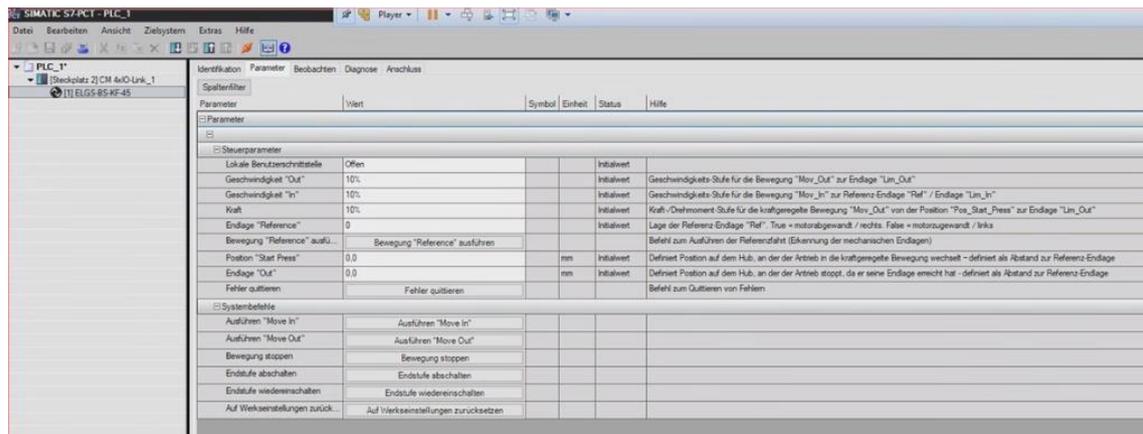


Abb. 57: Simatic S7 PCT-Tool bei der Konfiguration der Festo Linearachse ELGS-BS-KF-45, Quelle: Eigene Darstellung.

Bei der Verwendung eines Feldbus- IO-Link Master, wie z.B. der Balluff BNI007M, wird dieser IO-Link Master in das Profinet Netzwerk eingefügt. Über die Gerätekonfiguration lassen sich nur der Master und die Einstellung der einzelnen Ports konfigurieren. Die Parametrierung von IO-Link Devices beschränkt sich auf jene ausgewählten Geräte, die mit ihren Parametern bereits Bestandteil der importierten Gerätebeschreibungsdatei des IO-Link Masters mit Profinetanbindung sind.

### Balluff Device Tool

Balluff hat für dessen Industrial Ethernet Master ein Plugin für das Siemens TIA Portal entwickelt und stellt dieses ihren Kunden zur Verfügung. Das Balluff IO-Link Device Tool kann über das TiaPortal geöffnet werden und ermöglicht die Konfiguration und Parametrierung aller herstellerübergreifender IO-Link Devices, welche am Master in Betrieb gehen. Im Device Tool können wiederum die IODD-Dateien importiert und die Parametrierung über die entsprechenden Steuerelemente anhand des IODD-Interpreters, wie in Abb. 58 ersichtlich, durchgeführt werden.

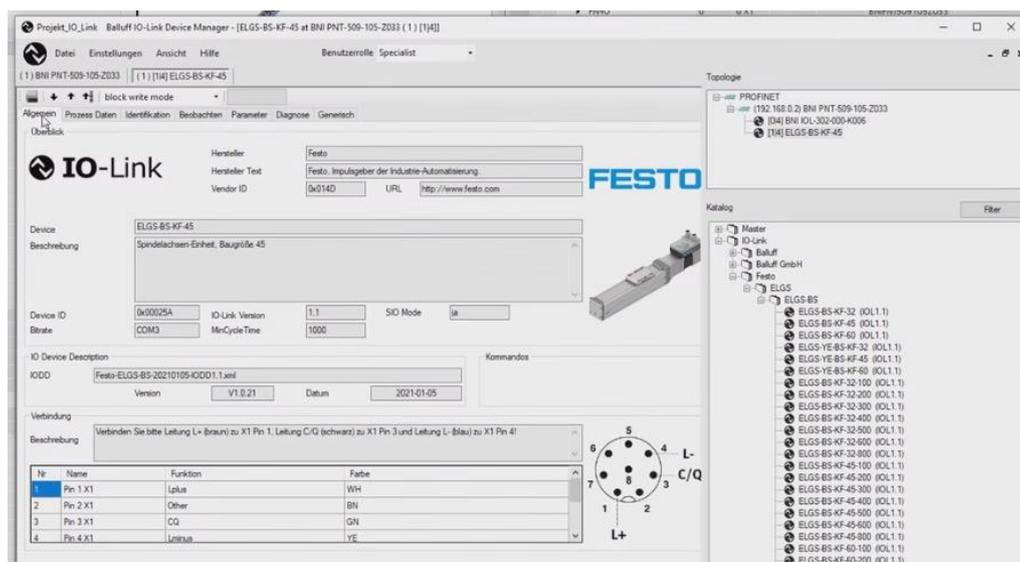


Abb. 58: Konfiguration der Festo Linearachse ELGS-BS-KF-45 im Balluff Device-Tool für TIA-Portal, Quelle: Eigene Darstellung.

Zusätzlich stehen für Master anderer Hersteller die entsprechenden externen Konfigurationstool wie z.B. LR Device oder Mono Configure für IFM zur Verfügung. Natürlich kann auch das Balluff Engineering Tool

oder der Webserver zur Konfiguration von IO-Link Devices an einem Balluff IO-Link-Master verwendet und die Konfiguration vom Zielsystem hochgeladen werden.

### 10.2.3 Funktionsblock IO-Link Device

Mit dem Basisbaustein der Bibliothek für IO-Link von Siemens kann über das TIA-Portal eine azyklische Datenkommunikation mit allen direkt und indirekt angeschlossenen IO-Link Devices aufgebaut werden. Für den Aufbau der azyklischen Kommunikation muss der Funktionsbaustein mit den entsprechenden Parameterwerten aufgerufen werden. Die Adressierung zum Parameter des IO-Link Devices erfolgt über die Hardware ID des Masters, mit dem Zugangspunkt, die Portnummer und den Index bzw. Subindex des Parameters vom IO-Link Device. Die Hardwareadresse ist abhängig vom benutzten Slot in der Geräteübersicht und kann in den Eigenschaften des Geräts unter Hardwareerkennung ermittelt werden. Der Zugangspunkt oder „Cap“-Parameter ist abhängig von der Hardware des Masters, für Balluff ist dabei immer 255 (0xFF) als Standardwert zu verwenden. Der IO-Link Master von Siemens benötigt 0xB400 als Zugangspunkt. Abb. 59 zeigt den Funktionsblock im Programmcode des Steuerungssystems.

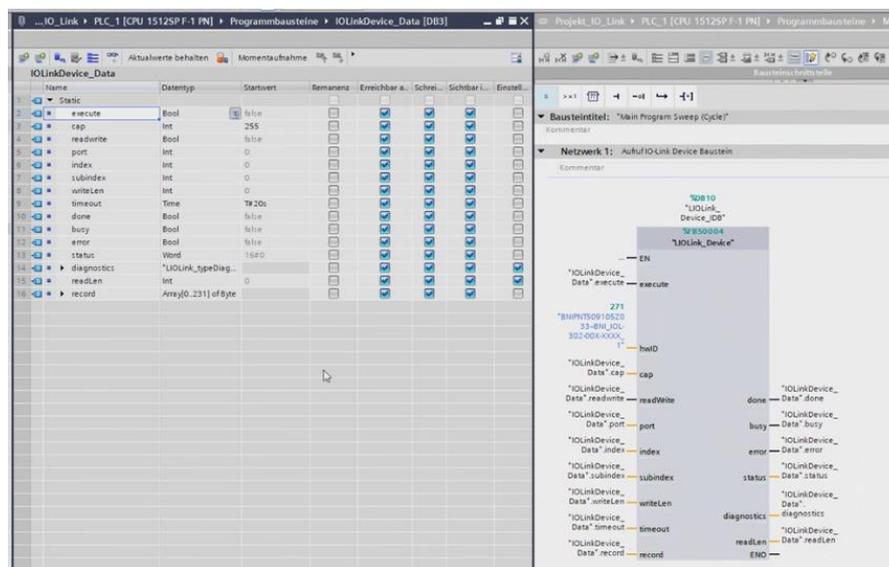


Abb. 59: IO-Link Device Funktionsblock mit dem Zugriff auf die azyklischen Daten eines Device am Balluff Master Port 1, Quelle: Eigene Darstellung.

Über diesen Funktionsblock können während der Laufzeit der Anlage azyklisch Parameter gelesen und geschrieben werden. Damit können neben der Abfrage zusätzlicher Diagnosedaten auch azyklische Daten von den Devices ermittelt werden. Die Anpassung der Funktion von IO-Link Geräten ist damit im Betrieb über entsprechende Parameter am Gerät möglich. Dies erspart unter Umständen notwendige manuelle Rüstprozesse durch Rezepturumschaltungen anhand von Einzelparametern.

## 10.3 RaspberryPI mit Balluff Master

Ein Alternativkonzept zu den angebotenen Cloud- und Softwaresystemen für das Sammeln der Daten von IO-Link Devices ist die Abfrage der Daten über die JSON/Rest API Schnittstelle der Feldbus IO-Link Master von Balluff. Die Daten werden über ein RaspberryPI als Edge-Gerät gesammelt. Die Anforderung der Daten wird über NodeRed Funktion-Nodes durchgeführt, als Auswertungstool mit grafischer Oberfläche dient ein Grafana Dashboard.

### 10.3.1 Hardware

- RaspberryPI 4 Model B 4GB RAM
- Balluff Profinet-IO-Link Master BNI007M
- Balluff Sensor-/Aktorhub BNI007Z
- IFM Drucksensor PY2794
- Balluff Condition Monitoring Sensor BOS0002
- Festo IO-Link Vakuumsaugdüse OVEM-20-H-C-QO-CE-N-LK

Im Testaufbau wurde das RaspberryPI über einen Switch mit dem Profinet Board des IO-Link-Masters verbunden. Nach der Konfiguration der entsprechenden IP-Adressen wurde über den Webserver die IODDs der Geräte hochgeladen und diese parametrisiert. Nach dem Aufsetzen des RaspberryPI und Update von NodeRed waren die Vorbereitungen für den Start der Programmierung abgeschlossen.

### 10.3.2 NodeRed

In NodeRed können über die Verwendung von Nodes die Daten vom IoT-Interface des IO-Link Masters angefordert werden. Die Anforderung bedarf bestimmter Nodes und Funktionen zum Selektieren und Umrechnen der Daten. Die allgemeine Node „inject“ triggert manuell oder automatisch – je nach Einstellung – die Ausführung des Datenflusses. Über eine Funktionsnode können unterschiedliche Funktionen und Anweisungen programmiert werden – ähnlich einem Editor. Die http-Request-Node führt die gewünschte Methode (GET, POST, PUT, DELETE) an der eingegebenen URL aus. Alternativ kann auch eine über die Funktionsnode zusammengestellte Message ausgesendet werden. Als Rückgabe wird vom IO-Link Master ein JSON Objekt zurückgeliefert. Über die Funktion der Change-Node wurde der gewünschte Inhalt des JSON-Objekts extrahiert. Die weiteren Funktionen wandeln dann den extrahierten Teil in den entsprechenden Wert für die Anzeige um. Die Debug-Node zeigt über das Debug-Fenster die Daten im angelieferten Format an.

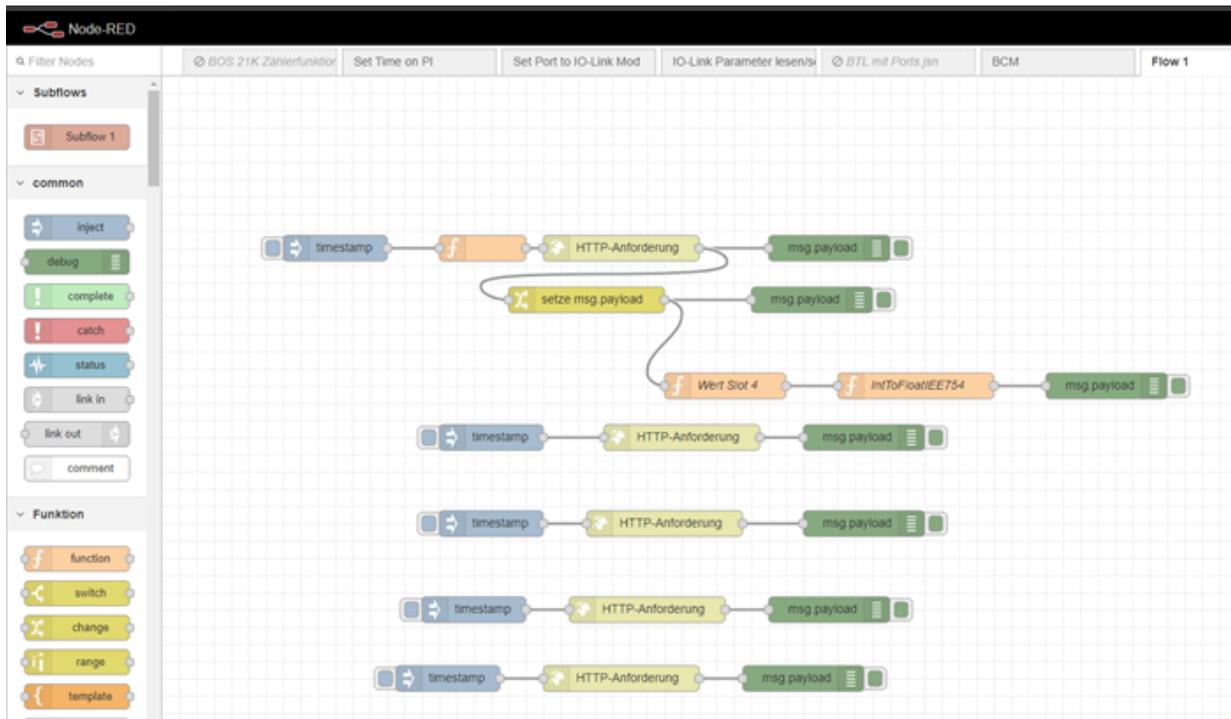


Abb. 60: NodeRed Programm für das Auslesen des Temperaturwertes beim Condition Monitoring Sensor, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Abb. 60 zeigt im obersten Datenfluss für die Auswertung der aktuellen Temperatur anhand des Condition Monitoring Sensors BCM0002. Die Temperatur wird zusammen mit dem Time-Stamp an das Grafana Dashboard übergeben. Der Sourcecode für die Interpretation des JSON-Frames sowie der http-Methoden wurde mit Hilfe des veröffentlichten Dokuments „JSON-Integration for IO-Link“<sup>145</sup> der IO-Link Community sowie der Herstellerdokumentation der IO-Link Master erstellt und getestet.

### 10.3.3 Grafana

Für die Anzeige von Daten aus NodeRed besteht grundsätzlich die Möglichkeit, diese im NodeRed Dashboard über ausgewählte Elemente anzuzeigen. Eine visuell ansprechendere Art der Darstellung bietet allerdings Grafana. Zusätzlich ermöglicht es auch eine Auswertung der Daten, das Setzen von Alarmen und die Konfiguration von Benachrichtigungen. Für die Übergabe der Daten im Hintergrund können über ein entsprechendes Plug-In neben einfachen JSON-Frames auch Datenquellen wie SimpleJson oder InfluxDB verwendet werden. Abhängig von der gewünschten Übergabe, müssen in NodeRed die dazugehörigen Daten über geeignete Nodes versendet werden.

<sup>145</sup> IO-Link Community (2020), Onlinequelle [17.02.2022]



Abb. 61: Aufzeichnung der Umgebungstemperatur BCM0002 mit Grafana Dashboard, Quelle: Eigene Darstellung.

Das Anzeigeelement der Grafana Dashboards wird dann über die passende Datenquelle mit den Ausgabedaten von NodeRed verknüpft. Bei verwendeten JSON-Frames wird als Quelladresse: <http://localhost:8080> verwendet und die gewünschte Datenquelle gewählt.

In der Abb. 61 sind die Messwerte der aktuellen Temperatur des Condition Monitoring Sensors, welche über NodeRed ausgewertet wurden, sichtbar. Der Verlauf der Temperaturwerte wurde für die Aufzeichnung am Sensor künstlich herbeigeführt, um ein entsprechendes Diagramm zu bekommen.

## 11 ERGEBNIS UND AUSBLICK

Die Thematik der IO-Link Kommunikation zeigte sich vielseitiger als anfangs vermutet. Durch die umfangreichen Möglichkeiten der IO-Link Kommunikation neben den Variationen der eigentlichen Funktionen der Geräte fielen auch andere Themen, wie Datenverarbeitung und Instandhaltung, in den Fokus der Arbeit. Die detaillierte Betrachtung der einzelnen Themen im Verbund schaffte die Grundlage für eine fundierte Aussage bezüglich der Ergebnisse dieser Arbeit inklusive der Auswertung der im praktischen Teil umgesetzten Tests.

### 11.1 Rüsten durch IO-Link Parametrierung

Die Marktanalyse der bereits getätigten Entwicklung von IO-Link-Geräten unterschiedlicher Hersteller zeigte das bereits vorhandene Potenzial dieser Geräte durch den Funktionsumfang der Devices selbst. Die Hersteller gehen mit ihren Entwicklungen einen gemeinsamen Weg, setzen aber bedingt durch den jeweiligen Kundenbereich auf unterschiedliche Prioritäten bei der Entwicklung der Funktionsoptionen, Zusatzfunktionen und Diagnosedaten. Die Integration von IO-Link im Bereich der Sensorik stellt sich dabei sehr umfangreich dar, wohingegen es im Segment der Aktorik etwas geringer ausfällt und der Entwicklungshöhepunkt noch bevorsteht.

Die Parametriermöglichkeiten zur Nutzung der eigentlichen Gerätefunktionen sowie deren Anpassungsmöglichkeiten durch Parameteränderung bieten unter bestimmten Umständen die Fähigkeit Rüstprozesse zu optimieren oder einzusparen. Dieses Potenzial kann aber nur mit der richtigen Geräteauswahl ausgeschöpft werden, wenn bereits in der Planungsphase einer Anlage mögliche Rüstanforderungen aufgrund von Bauteilwechsel oder Bauteiladaptionen berücksichtigt werden.

### 11.2 Verarbeitung von IO-Link Daten

Die Verarbeitung der Daten von IO-Link Systemen kann über viele verschiedene Systeme erfolgen. Nahezu jedes Steuerungssystem ermöglicht die Integration von IO-Link Komponenten. Die IO-Link Community hat es geschafft, mit IO-Link ein weltweit einheitliches System für die Kommunikation in der untersten Ebene von Automatisierungssystemen zu entwickeln. Jedoch ist man an einen übergeordneten IO-Link Master mit der Gatewayfunktion zu unterschiedlichen Steuerungs- und Feldbussystemen gebunden, wodurch sich die Integration bereits bei der Konfiguration der Devices zwischen den Systemherstellern unterscheidet. Ebenso unterscheidet sich auch der Aufbau des azyklischen Datentransports und wird mit jeder Zwischenebene in der Topologie anspruchsvoller. Abhilfe schaffen dabei nur geeignete Herstellerdokumentationen mit detaillierten Informationen. Diese ermöglichen die Nutzung der azyklischen Daten trotz zwischengeschaltetem Feldbus, das wurde anhand der Testaufbauten klar ersichtlich.

Der Datentransport vorbei am eigentlichen Steuerungssystem über den „Y-Way to the Cloud“ wird durch unterschiedliche IIoT-Schnittstellen der Feldbusmaster ermöglicht. Durch die Spezifikation hat die IO-Link Community die IIoT-Schnittstellen auf OPC UA, JSON/RestAPI und MQTT begrenzt.

Die angebotenen Datenverarbeitungssysteme und Clouddienste der Hersteller von IO-Link Mastern benutzen dabei jeweils eine der genannten IIoT-Schnittstellen für die Anbindung entsprechend ihrer

eigenen Produkte. Aus diesem Grund wird die Anbindung von Fremdprodukten erschwert. Eine entwickelte Variante über eine RaspberryPI als Edge-Gerät ermöglicht die Sammlung der Daten von den IO-Link Devices. Im Test wurde für die Datengewinnung die JSON-Schnittstelle genutzt und positive Ergebnisse erzielt. Die Datenauswertung und Visualisierung findet über ein ansprechendes Dashboard mittels Grafana statt. Dieses System der Datenverarbeitung erweist sich zwar in der Entwicklung und Integration etwas aufwendiger, schafft aber die Unabhängigkeit gegenüber spezifischen Herstellerprodukten. NodeRed ermöglicht neben der Datenerfassung über die JSON-Schnittstelle durch geeignete Nodes aus den Bibliotheken auch die Anbindung über OPC UA oder MQTT und kann damit herstellerübergreifend für nahezu alle Systeme verwendet werden. Das Resultat über die Nutzung dieser Schnittstellen werden die nächsten Tests liefern. Der derzeitige Fokus der Entwicklung liegt auf dem Langzeiteinsatz der bestehenden Version.

### **11.3 Instandhaltungsmöglichkeiten mit IO-Link**

Die Fähigkeit der Bereitstellung von Diagnosedaten durch die IO-Link Geräte kann die Instandhaltung, Wartung und Störungsbehebung aufgrund der geräteabhängigen Selbstdiagnose revolutionieren. Eine kontinuierliche Datenerfassung – mit geeigneter Auswertung der Diagnosedaten und den Daten der Zusatzfunktionen der Devices – kann neben der Prozessdatenbetrachtung Rückschlüsse auf den Komponentenzustand ziehen lassen. Damit kann bei kontinuierlichem Monitoring auch der Zustand der Gesamtanlage bestimmt werden. Dies vereinfacht die Umsetzung bestimmter Instandhaltungsstrategien. Im Gegenzug zu den höheren Komponenten- und Integrationskosten bewirkt das eine Einsparung in der Instandhaltung, sowie eine Reduktion von möglichen Anlagenausfällen bei korrekter Nutzung.

## LITERATURVERZEICHNIS

### Gedruckte Werke

Gerke, Wolfgang (2012): Elektrische Maschinen und Aktoren: Eine Anwendungsorientierte Einführung, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München

Hering, Eckbert; Martin, Rolf; Gutekunst, Jürgen; Kempkes, Joachim (2018): Elektrotechnik und Elektronik für Maschinenbauer, 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin

Hering, Eckbert; Bressler, Klaus; Gutekunst, Jürgen (Hrsg.) (2017): Elektronik für Ingenieure und Naturwissenschaftler, 7. Auflage, Springer Verlag, Berlin

Busch, Rolf (2011): Elektrotechnik und Elektronik für Maschinenbauer und Verfahrenstechniker, 6. Auflage, Vieweg+Teubner, Wiesbaden

Adam, Wolfgang; Busch, Manfred; Nickolay, Bertram (1997): Sensoren für die Produktionstechnik, 1. Auflage, Springer Verlag, Berlin

Hesse, Stefan; Schnell, Gerhard (2018): Sensoren für die Prozess- und Fabrikautomation, Funktion – Ausführung – Anwendung, 7. Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden

Schreiner, Rüdiger (2014): Computernetzwerke: Von den Grundlagen zur Funktion und Anwendung, 4. Auflage, Hanser, München

Uffelmann, Joachim; Wienzek, Peter; Jahn, Myriam (2020a): IO-Link: Schlüsseltechnologie für Industrie 4.0: Band 1: Anwendungen , 3.Auflage, Vulkan Verlag, Essen

Uffelmann, Joachim; Wienzek, Peter; Jahn, Myriam (2020b): IO-Link: Basiswissen, Wireless und Safety für das Industrial Internet of Things: Band : Technologie , 3.Auflage, Vulkan Verlag, Essen

Gringauz, Dmitry; Moritz, Frank; Lindenthal, Hartmut; Witte, Franz-Otto (2020): Concept study Extension of IO-Link for Single Pair Ethernet transmission, IO-Link Community, Karlsruhe

Schnell, Gerhard; Wiedemann, Bernhard (Hrsg.) (2006): Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozessindustrie, 6.Auflage, Vieweg Verlag, Wiesbaden

Schenk, Michael (Hrsg.) (2010): Instandhaltung technischer Systeme: Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebs, Springer Verlag, Berlin

Focke, Markus; Steinbeck, Jörn (2018): Steigerung der Anlagenproduktivität durch OEE-Management: Definitionen, Vorgehen und Methoden – von manuell bis Industrie 4.0, Springer Fachmedien Verlag, Wiesbaden

Lughofer, Edwin; Sayed-Mouchaweh, Moamar (Hrsg.) (2019): Predictive Maintenance in Dynamic Systems, Springer Nature Verlag

Roth, Armin (Hrsg.) (2016): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0, Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis, Springer Gabler Verlag, Berlin

Salituro, Eric (2020): Learn Grafana 7.0, Packt Publishing, Birmingham

Hagino, Taiji (2021): Practical Node-RED Programming, Packt Publishing, Birmingham

### Online-Quellen

- BK Maschinenbau GmbH (2020): Firmenlogo, <http://www.bk-maschinenbau.at> [20.01.2021]
- Schewe, Franz (Dat. ohne Angabe): Industrie 4.0: Aus der Praxis, Phoenix Contact, <https://www.netzwerk-gmbh.de/media/download/industrie-4-0-aus-der-praxis-phoenix-contact.pdf> [30.04.2021]
- Mindlands Solutions UG (Dat. ohne Angabe): OSI-Schichtenmodell, Netzwerke.com, <https://www.netzwerke.com/OSI-Schichten-Modell.htm> [07.05.2021]
- HMS Industrial Networks GmbH (2019): Marktanteile industrieller Netzwerke 2019 aus Sicht von HMS, <https://www.hms-networks.com/de/news/pressemitteilungen-von-hms/2019/05/07/marktanteile-industrieller-netzwerke-2019-aus-sicht-von-hms> [04.5.2021]
- Kunbus GmbH (Dat. ohne Angabe): Modbus, <https://www.kunbus.de/modbus.html> [07.05.2021]
- Kunbus GmbH (Dat. ohne Angabe): Modbus, <https://www.kunbus.de/modbus-tcp-ethernet.html> [06.05.2021]
- Kunbus GmbH (Dat. ohne Angabe): Ethernet Powerlink, <https://www.kunbus.de/ethernet-powerlink.html> [08.05.2021]
- Kunbus GmbH (Dat. ohne Angabe): LIN Historie und Eigenschaften, <https://www.kunbus.de/lin-historie-und-eigenschaften.html> [09.05.2021]
- SPE Industrial Partner Network e.V. (Dat. ohne Angabe): Technologie, <https://www.single-pair-ethernet.com/technologie> [08.05.2021]
- HMS Industrial Networks GmbH (Dat. ohne Angabe):Ethercat, <https://www.feldbusse.de/EtherCAT/ethercat.shtml> [08.05.2021]
- Wachendorf Prozesstechnik GmbH & Co. KG (2014): Modbus Grundlagen, [https://www.wachendorff-prozesstechnik.de/fileadmin/wp/fileservers/technical\\_notes/TN\\_0302\\_Grundlagen\\_Modbus.pdf](https://www.wachendorff-prozesstechnik.de/fileadmin/wp/fileservers/technical_notes/TN_0302_Grundlagen_Modbus.pdf) [07.05.2021]
- PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. (Dat. ohne Angabe): Community Regeln, <https://io-link.com/de/WirUeberUns/Konsortialregeln.php> [10.05.2021]
- IO-Link Community c/o PROFIBUS Nutzerorganisation (Juni 2019): IO-Link Interface and System: Specification Version 1.1.3, [https://io-link.com/share/Downloads/Package-2020/IOL-Interface-Spec\\_10002\\_V113\\_Jun19.pdf](https://io-link.com/share/Downloads/Package-2020/IOL-Interface-Spec_10002_V113_Jun19.pdf) [30.04.2021]
- IO-Link Community c/o PROFIBUS Nutzerorganisation (März 2018): IO-Link Safety Systembeschreibung - Technologie und Anwendung, [https://io-link.com/share/Downloads/At-a-glance/IO-Link\\_Safety\\_Systembeschreibung\\_dt\\_2018.pdf](https://io-link.com/share/Downloads/At-a-glance/IO-Link_Safety_Systembeschreibung_dt_2018.pdf)
- Professional Control Corporation (2020): Was ist IO-Link?, <https://www.pccweb.com/2020/02/12/what-is-io-link/> [10.05.2021]

PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. (Dat. ohne Angabe): Wussten Sie schon...?, [https://io-link.com/work/de/Technologie/WusstenSieSchon/WusstenSieSchon\\_Stoerungssicher.php](https://io-link.com/work/de/Technologie/WusstenSieSchon/WusstenSieSchon_Stoerungssicher.php) [15.05.2021]

IO-Link Community; OPC Foundation (2018): OPC Unified Architecture for IO-Link Companion Specification, Release 1.0, [https://io-link.com/share/Downloads/OPC\\_UA/OPC-UA\\_for\\_IO-Link\\_10212\\_V10\\_Dec18.pdf](https://io-link.com/share/Downloads/OPC_UA/OPC-UA_for_IO-Link_10212_V10_Dec18.pdf) [10.01.2022]

IO-Link Community c/o Profibus Nutzerorganisation e. V. (2020): JSON Integration for IO-Link, <https://io-link.com/de/Download/Download.php?thisID=8> [17.02.2022]

Embedded Data GmbH (2020): Gesamtanlageneffektivität (OEE) besser nutzen dank Datenvisualisierung, <https://blog.embedded-data.de/blog/oe-besser-nutzen-dank-datenvisualisierung> [16.05.2021]

IFM Electronic GmbH (2021): Moneo Produkte, <https://www.ifm.com/de/de/shared/moneo-iiot-plattform/produkte/produkte> [14.05.2021]

Balluff GmbH (2022): BES05WY-Induktive Standardsensoren mit Vorzugstypen, <https://www.balluff.com/de-at/products/BES05WY>, [10.02.2022]

Balluff GmbH (2022): BOS028R Lichttaster und Lichtschranke, <https://www.balluff.com/de-at/products/BOS026R> [11.02.2022]

Balluff GmbH (2022): BOS0286 Reflexionslichtschranke, <https://www.balluff.com/de-at/products/BOS0286> [12.02.2022]

Balluff GmbH (2022): BCM0002 Condition Monitoring Sensor mit Multifunktion, <https://www.balluff.com/de-at/products/BCM0002> [13.02.2022]

Balluff GmbH (2022): BNI007Z IO-Link Sensor-/Aktorhubs, <https://www.balluff.com/de-at/products/BNI007Z> [13.02.2022]

Balluff GmbH (2022): Y-Verteiler BCC0HC5, <https://www.balluff.com/de-at/products/BCC0HC5> [20.02.2022]

Balluff GmbH (2022): Lichttaster mit Hintergrundausbildung BOS0285, <https://www.balluff.com/de-at/products/BOS0285> [21.02.2022]

Balluff GmbH (2022): IO-Link Netzwerkmodul für Profinet BNI00AZ, <https://www.balluff.com/de-at/products/BNI00AZ> [23.02.2022]

Baumer Electric AG (2022): Ultraschall Distanz messende Sensoren UR18.DA0.2-IAMJ.9SF, <https://www.baumer.com/de/de/produktubersicht/objekterkennung/ultraschallsensoren/robuste-ultraschallsensoren-mit-flexibler-parametrierung/zyindrische-sensoren/ur18-da0-2-iamj-9sf/p/38850> [10.02.2022]

Baumer Electric AG (2022): IO-Link Master PROFINET, 8-Port, IP67, <https://www.baumer.com/ch/de/produktubersicht/kabel-connectivity/io-link-master/io-link-master-profinet/io-link-master-profinet-8-port-ip67/p/42518> [23.02.2022]

IFM Electronic GmbH (2022): Drucksensor mit Display PY2794,  
<https://www.ifm.com/de/de/product/PY2794> [10.02.2022]

IFM Electronic GmbH (2022): Absoluter Multiturn-Drehgeber mit Hohlwelle RMA300,  
<https://www.ifm.com/de/de/product/RMA300> [11.02.2022]

IFM Electronic GmbH (2022): IO-Link Master mit EtherNet/IP-Schnittstelle AL1420,  
<https://www.ifm.com/at/de/product/AL1420> [23.02.2022]

Schunk GmbH & Co. KG (2022): Kleinteilegreifer EGP 40-N-N-IOL,  
<https://schunk.com/shop/de/de/Greifsysteme/SCHUNK-Greifer/Parallelgreifer/EGP/EGP-40-N-N-IOL/p/000000000001372735> [10.02.2022]

Festo Gesellschaft m.b.H. (2022): Drehantriebseinheit ERMS-25-180-ST-M-H1-PLK-AA,  
<https://www.festo.com/at/de/a/8087820/?q=~:sortByFacetValues-asc> [10.02.2022]

Festo Gesellschaft m.b.H. (2022): Ventilinsel VTUG,  
<https://www.festo.com/at/de/a/573606/?q=vtug~:festoSortOrderScored> [11.02.2022]

SMC Corporation (2022): Elektrischer Zylinder mit Führungstangen, Schrittmotor – LEYG,  
<https://www.smc.eu/de-at/produkte/elektrischer-zyylinder-mit-fuehrungstangen-schrittmotor-leyg~133959~cfg?partNumber=LEYG25MDB> [10.02.2022]

Hans Turck GmbH & Co KG (2022): Induktiver IO-Link Sensor BI6U-M12-IOL6X2-H1141,  
<https://www.turck.at/de/product/00000003000089dc0007003a>, [10.02.2022]

Pepperl+Fuchs Gesellschaft m.b.H. (2022): Schreib-/Lesestation IQT1-F61-IO-V1, [https://www.pepperl-fuchs.com/austria/at/classid\\_7478.htm?view=productdetails&prodid=83637](https://www.pepperl-fuchs.com/austria/at/classid_7478.htm?view=productdetails&prodid=83637) [10.02.2022]

Rockwell Automation, Inc. (2022): Smart Devices with IO-Link Technology,  
<https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/hardware/allen-bradley/network-security-and-infrastructure/io-link-technology.html> [08.06.2022]

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

Abb. 1: Firmenlogo, Quelle: BK-Maschinenbau GmbH (2020), Onlinequelle [20.01.2021].....	1
Abb. 2: Einteilung der Aktoren, Quelle: Gerke (2012), S. 6. ....	3
Abb. 3: Prinzip eines Sensors, Quelle: Hering (2017), S. 382. ....	4
Abb. 4: Einteilung der Sensoren, Quelle: Hering (2017), S. 383.....	8
Abb. 5: Aufbau Intelligenter Sensor, Quelle: Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020a), S. 15. ....	10
Abb. 6: Automatisierungspyramide, Quelle: Schewe (Dat. ohne Angabe) Onlinequelle [30.04.2021]. ....	11
Abb. 7: OSI-Schichtenmodell, Quelle: Mindlands Solutions UG (Dat. ohne Angabe) Onlinequelle [07.05.2021].....	13
Abb. 8: Marktanteile für Feldbusse: Quelle: HMS Industrial Networks GmbH (2019), Onlinequelle [04.05.2021].....	15
Abb. 9: IO-Link Symbol und Schriftzug, Quelle: Rockwell Automation, Inc.(2022), Onlinequelle [08.06.2022].....	22
Abb. 10: Topologievarianten IO-Link, Quelle: Professional Control Corporation (2020), Onlinequelle [10.05.2021].....	24
Abb. 11: Adapter BCC0HC5 für externe Spannungsversorgung bei Class A Port mit Class B Device, Quelle: Balluff GmbH (2022), Onlinequelle [20.02.2022]. ....	30
Abb. 12: IO-Link Interface im Überblick: Quelle: Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 279. ....	31
Abb. 13: Datenqualitäten in IO-Link: Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 5. ....	34
Abb. 14: IO-Link WakeUp-Puls, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 286. ....	36
Abb. 15: Message Sequenz mit Prozessdaten und OnRequest-Daten, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 299. ....	38
Abb. 16: Message-Sequenz Typen, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 294. ....	40
Abb. 17: Standard-UART-Frame verwendet bei IO-Link, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 294. .....	41
Abb. 18: Write Request ISDU-Beispiele, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 302. ....	43
Abb. 19: Respond ISDU-Beispiele, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 302. ....	43
Abb. 20: IO-Link Safety Back Channel Prinzip, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 312. ....	44
Abb. 21: IO-Link Master mit 8 Class A Ports von Baumer, Baumer Electric AG (2022), Onlinequelle [23.02.2022].....	47
Abb. 22: IO-Link Master mit 4 Class B Ports von IFM, Quelle: IFM Electronic GmbH (2022), Onlinequelle [23.02.2022].....	48

Abb. 23: IO-Link Master mit 4 Class A Ports und 4 Class B Ports von Balluff, Quelle: Balluff GmbH (2022), Onlinequelle [23.02.2022].	48
Abb. 24: Aufbau der Direct-Parameter-Page 1 u. 2, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 36. ...	56
Abb. 25: Erweiterte IO-Link Parameter, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 45.	58
Abb. 26: IO-Link Ordner Inhalt Festo Positionstransmitter, Quelle: Eigene Darstellung.	61
Abb. 27: Parametrierung eines Condition Monitoring Sensors am Port 1 eines IO-Link Masters, Quelle: Eigene Darstellung.	64
Abb. 28: IFM Moneo von IFM Electronic GmbH, Quelle: Eigene Darstellung.	65
Abb. 29: DTM Gerätekonfiguration für IO-Link Devices des B&R Automation Studios, Quelle: Eigene Darstellung.	66
Abb. 30: IO-Link Device Funktionsblock Siemens TIA Portal, Quelle: Eigene Darstellung.	66
Abb. 31: B&R Automation Studio, Quelle: Eigene Darstellung.	71
Abb. 32: Siemens TIA Portal Hardwareansicht, Quelle: Eigene Darstellung.	72
Abb. 33: IFM Moneo Messwertaufzeichnung, Quelle: Eigene Darstellung.	75
Abb. 34: Turck Cloud im Test, Quelle: Eigene Darstellung.	76
Abb. 35: NodeRed Programmierumgebung, Quelle: Eigene Darstellung.	78
Abb. 36: Overall Equipment Effectiveness (Gesamtanlageneffektivität), Quelle: Embedded Data GmbH (2020) Onlinequelle [16.05.2021].	82
Abb. 37: Berechnete Anlagenauslegung mit der Vorlage von BK-Maschinenbau, Quelle: Eigene Darstellung.	85
Abb. 38: Berechnete Anlagenkennzahlen, Quelle: Eigene Darstellung.	86
Abb. 39: Berechnung Anlagenverfügbarkeit und OEE, Quelle: Eigene Darstellung.	86
Abb. 40: Prinzip Analogwertverarbeitung mit IO-Link, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020a), S. 170.	92
Abb. 41: Lichttaster mit Hintergrundausblendung und Condition Monitoring Funktion BOS0285, Quelle: Balluff GmbH (2022), Onlinequelle [20.02.2022].	92
Abb. 42: Testaufbau mit B&R System, Quelle: Eigene Darstellung.	108
Abb. 43: Hardware des Testaufbaus im System Designer von B&R Automation Studio. Quelle: Eigene Darstellung.	109
Abb. 44: IO-Link Gerätekonfiguration anhand BOS026R, Quelle: Eigene Darstellung.	110
Abb. 45: Gerätekonfiguration des Profinet-IO-Link Masters für die vier Devices des Testaufbaus, Quelle: Eigene Darstellung.	111
Abb. 46: Hardwarekonfiguration des Powerlink-IO-Link Masters AL1372 anhand des Testaufbaus, Quelle: Eigene Darstellung.	111

Abb. 47: Balluff Webserver mit BOD0026 Konfiguration an Port 2 und anhand Testaufbau, Quelle: Eigene Darstellung. ....	112
Abb. 48: Konfiguration BOD0026 am Port 2 im Balluff Engineering Tool, Quelle: Eigene Darstellung. ...	113
Abb. 49: Konfiguration Induktiver Sensor BI6U-M12WD-IOL6X2-H1141 an Port 1 des IFM Masters mit LR Device, Quelle: Eigene Darstellung. ....	114
Abb. 50: Funktionen und Funktionsblöcke AsIOLink, Quelle: B&R Automation Studio Help Explorer. ....	115
Abb. 51: Funktionsblock ioLinkWrite() in Verwendung, Quelle: Eigene Darstellung. ....	115
Abb. 52: Funktionsblöcke AsNxPnM, Quelle: B&R Automation Studio Help Explorer. ....	116
Abb. 53: Funktionsblock nxpnmGetHandle() in Verwendung, Quelle: Eigene Darstellung. ....	116
Abb. 54 Funktionen AsEPL, Quelle: B&R Automation Studio Help Explorer. ....	117
Abb. 55: Funktion EpISDOWrite() in Verwendung, Quelle: Eigene Darstellung. ....	117
Abb. 56: Hardware im TIA-Portal, Quelle: Eigene Darstellung. ....	118
Abb. 57: Simatic S7 PCT-Tool bei der Konfiguration der Festo Linearachse ELGS-BS-KF-45, Quelle: Eigene Darstellung. ....	119
Abb. 58: Konfiguration der Festo Linearachse ELGS-BS-KF-45 im Balluff Device-Tool für TIA-Portal, Quelle: Eigene Darstellung. ....	119
Abb. 59: IO-Link Device Funktionsblock mit dem Zugriff auf die azyklischen Daten eines Device am Balluff Master Port 1, Quelle: Eigene Darstellung. ....	120
Abb. 60: NodeRed Programm für das Auslesen des Temperaturwertes beim Condition Monitoring Sensor, Quelle: Eigene Darstellung. ....	122
Abb. 61: Aufzeichnung der Umgebungstemperatur BCM0002 mit Grafana Dashboard, Quelle: Eigene Darstellung. ....	123

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: IO-Link Datenübertragungsraten: Quelle: Uffelmann/Wienzek,/Jahn (2020b), S. 10 (berichtigt). .....	31
Tabelle 2: Masterportbetriebszustände, Quelle: Eigene Darstellung. ....	50
Tabelle 3: Masterport Validierungsmodus von IO-Link Devices, Quelle: Eigene Darstellung. ....	51
Tabelle 4: Portzyklus Betriebsarten des IO-Link Masterports, Quelle: Eigene Darstellung. ....	52
Tabelle 5: IO-Link Master Prozessdatenzuordnung, Quelle: Eigene Darstellung. ....	53
Tabelle 6: IO-Link Datenhaltungsoptionen, Quelle: Eigene Darstellung. ....	54
Tabelle 7: Direct-Parameter-Page 1, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 37. ....	57
Tabelle 8: System-Parameter IO-Link Device, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 46. ....	59
Tabelle 9: Identifikations-Parameter IO-Link Devices, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 47. ....	59
Tabelle 10: Diagnose Parameter IO-Link Device, Quelle: Uffelmann/Wienzek/Jahn (2020b), S. 48. ....	60
Tabelle 11: Anforderungen einer Anlage, Quelle: Eigene Darstellung. ....	81
Tabelle 12: Kundenvorgaben für Anlagenverfügbarkeit und OEE, Quelle: Eigene Darstellung. ....	81
Tabelle 13: Kennzahlen für die OEE Berechnung, Quelle: Eigene Darstellung. ....	83
Tabelle 14: Einflussfaktoren auf Anlagenkennzahlen, Quelle: Eigene Darstellung. ....	88
Tabelle 15: Merkmale Induktiver Sensor BI6U-M12WD-IOL6X2-H1141, Quelle: Eigene Darstellung. ....	94
Tabelle 16: Merkmale Induktiver Sensor BES05WY, Quelle: Eigene Darstellung. ....	95
Tabelle 17: Merkmale Optischer Multifunktionssensor BOS026R, Quelle: Eigene Darstellung. ....	95
Tabelle 18: Merkmale Reflexionslichtschranke BOS0286, Quelle: Eigene Darstellung. ....	96
Tabelle 19: Merkmale Drucksensor PY2794, Quelle: Eigene Darstellung. ....	96
Tabelle 20: Merkmale Ultraschallsensor UR18.DA0.2-IAMJ.9SF, Quelle: Eigene Darstellung. ....	97
Tabelle 21: Merkmale Multiturn Drehgeber RMA300, Quelle: Eigene Darstellung. ....	97
Tabelle 22: Merkmale Condition Monitoring Sensor BCM0002, Quelle: Eigene Darstellung. ....	98
Tabelle 23: Schrittmotorachse LEYG25MDB-200-R36P1, Quelle: Eigene Darstellung. ....	99
Tabelle 24: Merkmale Schwenkachse ERMS-25-180-ST-M-H1-PLK-AA, Quelle: Eigene Darstellung. ....	100
Tabelle 25: Merkmale Parallelgreifer EGP-40-N-N-IOL, Quelle: Eigene Darstellung. ....	100
Tabelle 26: Merkmale IO-Link Ventilinsel VTUG, Quelle: Eigene Darstellung. ....	101
Tabelle 27: Merkmale RFID Schreib-/Lesestation IQT1-F61-IO-V1, Quelle: Eigene Darstellung. ....	102
Tabelle 28: Merkmale IO-Link Sensor-/Aktorhub BNI007Z, Quelle: Eigene Darstellung. ....	102
Tabelle 29: IO-Liste Montageanlage ohne IO-Link Komponenten, Quelle: Eigene Darstellung. ....	104

Tabelle 30: Kostenaufstellung von Systemvarianten zur Einbindung von Anlagenkomponenten, Quelle:  
Eigene Darstellung. .... 105

## **ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

A/D-Wandler	Analog / Digital Wandler
ASi-Bus	Aktor-Sensor Interface-Bus
ASIC	Application-Specific Integrated Circuit
CAN-Bus	Controller Area Network-Bus
CC-Link	Control and Communications Link
CSMA/CA	Carrier sense multiple access/collision avoidance
DIN	Deutsche Institut für Normung
DTM	Device-Tool-Manager
EDS	Electronic Data Sheet
ERP	Enterprise Resource Planning
Ethernet/IP	EtherNet Industrial Protocol
FDT	Field Device Tool
GSDML	Generic Station Description Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	HyperText Transfer Protocol Secure
HMI	Human Machine Interface
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IIoT	Industrial Internet of Things
IODD	IO-Link Device Description
IO-Link SCL	IO-Link Safety Communication Layer
IP-Address	Internet Protocol Address
IPC	Industrie PC
ISDU	Indexed Service Data Unit
ISO	International Organization for Standardization
JSON	JavaScript Object Notation
LAN-Netzwerk	Local Area Network
Lin-Bus	Local Interconnect Network Bussystem
LLC-Protocol	Logical Link Control Protocol
LSB	Least significant bit

M-Sequenz	Message Sequenz
MAC-Address	International Organization for Standardization
MES	Manufacturing Execution System
MDT	Mean Down Time
Modbus RTU	Modbus Remote Terminal Unit
ModbusTCP	Modbus Transmission Control Protocol
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport Interface
MSB	Most significant bit
MTBF	Mean Time Between Failour
MTTR	Mean Time to Repair
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OSI	Open Systems Interconnection
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture
PT	Platin
PL	Performance Level
PLC	Programmable logic controller
REST-API	Representational State Transfer - Application Programming Interface
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SDCI	Single-drop digital communication interface
SIO	Standard Input Output
SIL	Safety Integrity Level / Sicherheitsanforderungsstufe
SPE	Single Pair Ethernet
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TEEP	Total Effective Equipment Performance
TIA-Portal	Totally Integrated Automation Portal
TPM	Total Productive Maintenance
UART	Universal Asynchronous Receiver / Transmitter
UDP	User Datagram Protocol
USB	Universal Serial Bus
XML	Extensible Markup Language