Bachelorarbeit

Sensoranbindung mit IO-Link

Stefanie Schmidiger

Dozent:  
Thierry Prud‘homme

Hochschule Luzern – Technik & Architektur  
Horw, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Juni 2016

Inhaltsverzeichnis

[1 Einleitung 2](#_Toc450030636)

[2 IO-Link 3](#_Toc450030637)

[2.1 Physikalische IO-Link Schnittstelle 3](#_Toc450030638)

[2.2 Betriebsarten 4](#_Toc450030639)

[2.3 Datenübertragung 6](#_Toc450030640)

[2.4 IO-Link Protokoll Stack 13](#_Toc450030641)

[3 Sensoren 16](#_Toc450030642)

[3.1 I2C Schnittstelle 16](#_Toc450030643)

[3.2 SPI Schnittstelle 17](#_Toc450030644)

[4 Hardware 19](#_Toc450030645)

[4.1 Auswahl des IO-Link Demoboardes 19](#_Toc450030646)

[4.2 Programmer/Debugger 20](#_Toc450030647)

[4.3 Auswahl des IO-Link Stacks 20](#_Toc450030648)

[4.4 IO-Link Master 21](#_Toc450030649)

[4.5 Demoapp 21](#_Toc450030650)

[4.6 Implementierung der Sensordaten in die Demoapp 23](#_Toc450030651)

[Abbildungsverzeichnis 27](#_Toc450030652)

[Tabellenverzeichnis 27](#_Toc450030653)

[Literaturverzeichnis 27](#_Toc450030654)

[Anhang 29](#_Toc450030655)

Abstract

Einleitung / Ausgangslage

Das vorliegende Dokument befasst sich mit der Umsetzung des Lösungskonzepts im Rahmen des Moduls Produktentwicklung PREN 1 von Team 35 zur Aufgabenstellung an der Hochschule Luzern Technik und Architektur. Die Anforderung an das interdisziplinare Team besteht darin, ein Gerät zu entwickeln, welches autonom fünf Tennisbälle in einen Eimer schiessen kann. Die Position des Eimers soll beim Start ermittelt werden.

Problemdarstellung / Vorgehen

Das Lösungskonzept vom PREN 1 wurde in die Realität umgesetzt. Während der Realisierung und Testphase des Konzepts waren kleinere Änderungen am Konzept nötig, um das Ziel erfolgreich zu erreichen.

Beschreibung der Teilsysteme / Umsetzung

Für die Lösung der Aufgabenstellung wird eine Konstruktion, welche die Bälle in den Korb schiesst, entwickelt. Die Erkennung des Eimers erfolgt mit einer Kamera und der berechnete Winkel wird via USB Kabel an einen Mikrocontroller gesendet. Jener steuert dann einen Schrittmotor, der die Konstruktion horizontal um die gewünschte Anzahl Schritte dreht. Sobald die Ausrichtung des Gerätes beendet ist, werden die Bälle mit einem Hubteller zu den zwei drehenden Rollen befördert und so in den Eimer geworfen.

Ergebnisse / Ausblick

Das im PREN 1 erstellte Lösungskonzept wurde mit kleinen Anpassungen erfolgreich in die Realität umgesetzt. Das Ziel, alle Bälle unter einer Minute zu versenken wurde erreicht, denn die benötigte Zeit beträgt nur rund 20 Sekunden. Einzig beim Gewicht ist das Team nicht unter die 4 Kilogrammmarke gekommen, die Konstruktion wiegt 5.9kg.

Nun gilt es, den Roboter im Wettbewerb mit dem der anderen Teams zu messen.

# Einleitung

Die Firma Leister möchte für ihre Laserschweissmaschine die Sensordaten zentral auslesen und verarbeiten. Für einen ersten Demonstrationsaufbau sollen deshalb die Daten eines Leistungssensores und ein Pyrometers ausgelesen, in ein IO-Link Protokoll verpackt und an den IO-Link Master weitergesendet werden. Diese beiden Sensoren haben eine SPI resp. I2C Schnittstelle und es gilt, die Daten mit einem Mikrocontroller auszulesen und in ein IO-Link Protokoll einzufügen. Der Aufbau des Demobordes sollte deshalb über eine SPI und eine I2C Schnittstelle verfügen und die Daten im IO-Link Protokoll mit 24V Spannungspegel weiterleiten können.

# Aufgabenstellung

Eine Laserschweissmaschine der Firma Leister benötigt zahlreiche Sensoren zur Überwachung des Schweissprozesses. Zur Zeit werden diese Sensoren individuell angesteuert und die Daten auch individuell ausgelesen.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit sollen diese Sensoren mit Hilfe von IO-Link zentral angesteuert und ausgelesen werden können. Es soll ein Demonstrator-Setup erstellt werden, anhand welchem der Einsatz von IO-Link evaluiert wird. Für dieses Setup werden Daten von zwei Sensoren ins IO-Link Protokoll verpackt und via der IO-Link Schnittstelle an einen Beckhoff IO-Link Master weitergeleitet.

Für diese Aufgabe gilt es zuerst, ein geeignetes Demoboard zu finden. An dieses werden dann die Sensoren angehängt und auf dem zentralen Mikrocontroller werden die Sensordaten ins IO-Link Protokoll verpackt.

Die Firma Leister möchte die Sensordaten mit mindestens 2kHz einlesen können auf Seite der SPS. Es gilt zu evaluieren, ob dies möglich ist mit IO-Link und mit welcher maximalen Frequenz die Sensordaten eingelesen werden können.

Ausserdem muss evaluiert werden, ob beide Sensoren als einziges Device gelten dürfen oder ob pro Sensor ein IO-Link Anschluss benötigt wird. Berücksichtigt werden soll dabei auch das Einhalten der minimalen geforderten Datenupdaterate von 2kHz.

Weitere Details und Eckdaten dieser Arbeit können der originalen Aufgabenstellung aus Anhang A entnommen werden.

# IO-Link

IO-Link ist ein herstellerunabhängiger Standard um mit Sensoren und Aktoren zu kommunizieren. Ein IO-Link System besteht aus IO-Link Masters und IO-Link Devices. Der IO-Link Master stellt die Verbindung zwischen Devices und System her. Der Master kommuniziert über Feldbusse oder produktspezifische Rückwandbusse. Ein IO-Link Master kann mehrere IO-Link Ports (Anschlüsse) besitzen. An jedem Port ist ein IO-Link Device anschließbar (Punkt-zu-Punkt-Kommunikation). Somit ist IO-Link eine Punkt-zu-Punkt-Kommunikation und kein Feldbus. [1]

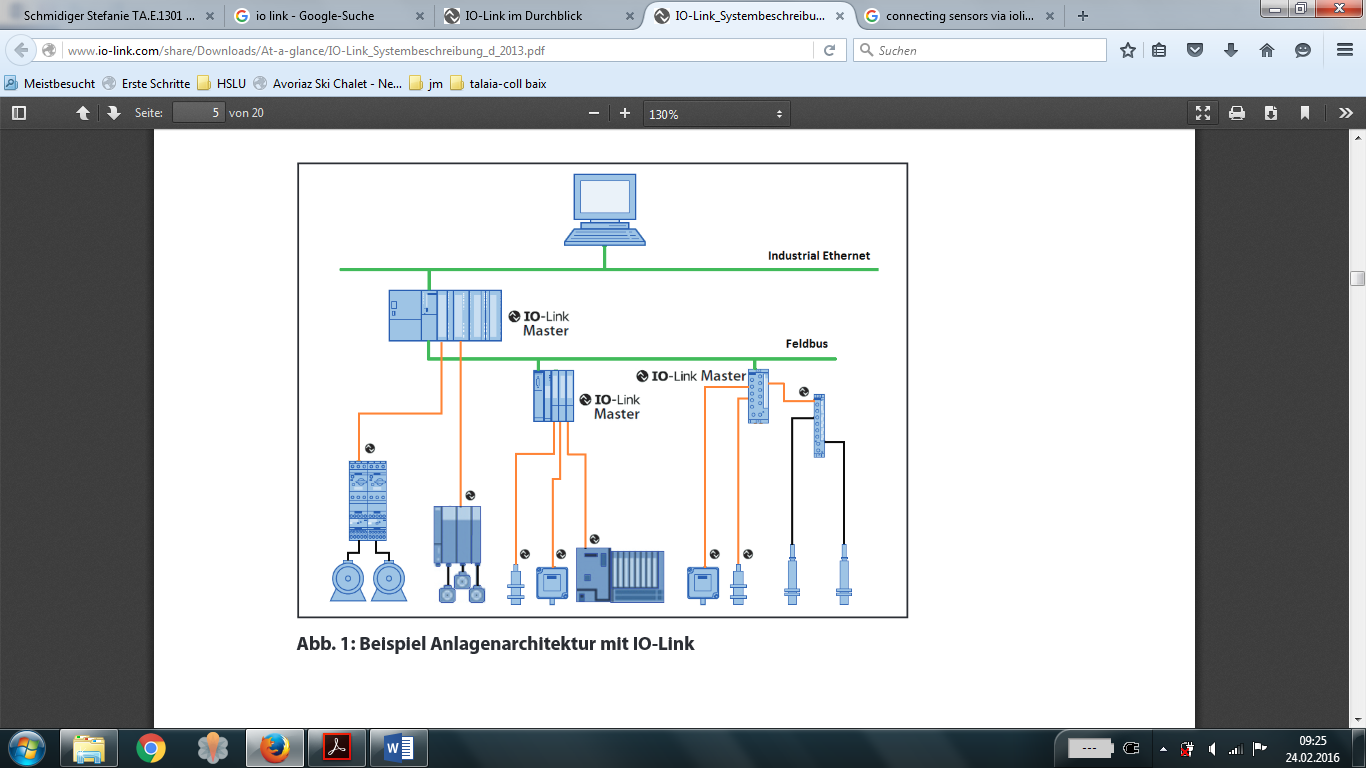


Abbildung 1 - Beispiel Anlagenarchitektur mit IO-Link [1]

## Physikalische IO-Link Schnittstelle

Bei IO-Link handelt es sich um eine serielle und bidirektionale Punkt-zu-Punkt Verbindung. Sensoren haben eine 3-polige Verbindung und Aktoren eine 5-polige Verbindung. Der Master verfügt über eine 5-polige Buchse (M5, M8 oder M12), wobei die Anschlussbelegung nach IEC 60974-5-2 Standard wie folgt definiert ist:

* Pin 1: 24V
* Pin 3: 0V
* Pin 4: Schalt- und Kommunikationsleitung

Die Anschlussbelegung kann aus Abbildung 2 entnommen werden.

Die Energieversorgung ist mit Pin 1 und Pin 3 gewährleistet und liefert maximal 200mA. Die maximale Leiterlänge für die ungeschirmte 3- bzw. 5-polige Verbindung zwischen Device und Master ist 20 m.

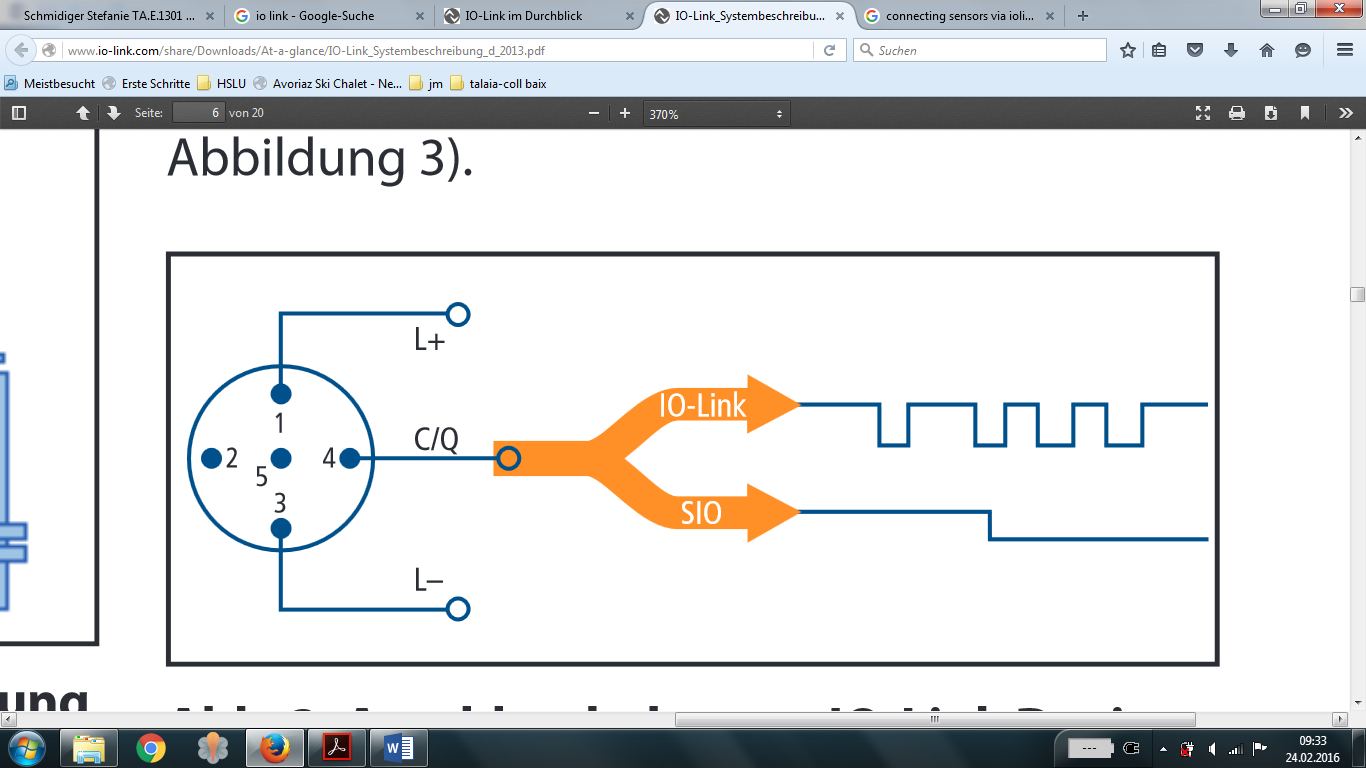


Abbildung 2 - Anschlussbelegung IO-Link Device [1]

Für die IO-Link Schnittstelle gibt es zwei verschiedene Porttypen:

### Port Class A

Die Funktion von Pin 2 und Pin 5 ist nicht vorgegeben und wird vom Hersteller definiert. Typischerweise wird Pin 2 zu einem zusätzlichen Digitalpin. Die Buchsengrösse variiert zwischen M5, M8 und M12.

### Port Class B

Dieser Porttyp ist für energieintensive Devices geeignet da Pin 2 und Pin 5 für eine zusätzliche galvanisch getrennte Versorgerspannung eingesetzt werden. Port Class B Steckverbindungen müssen eindeutig als solche gekennzeichnet werden und sind immer M12 Buchsen.

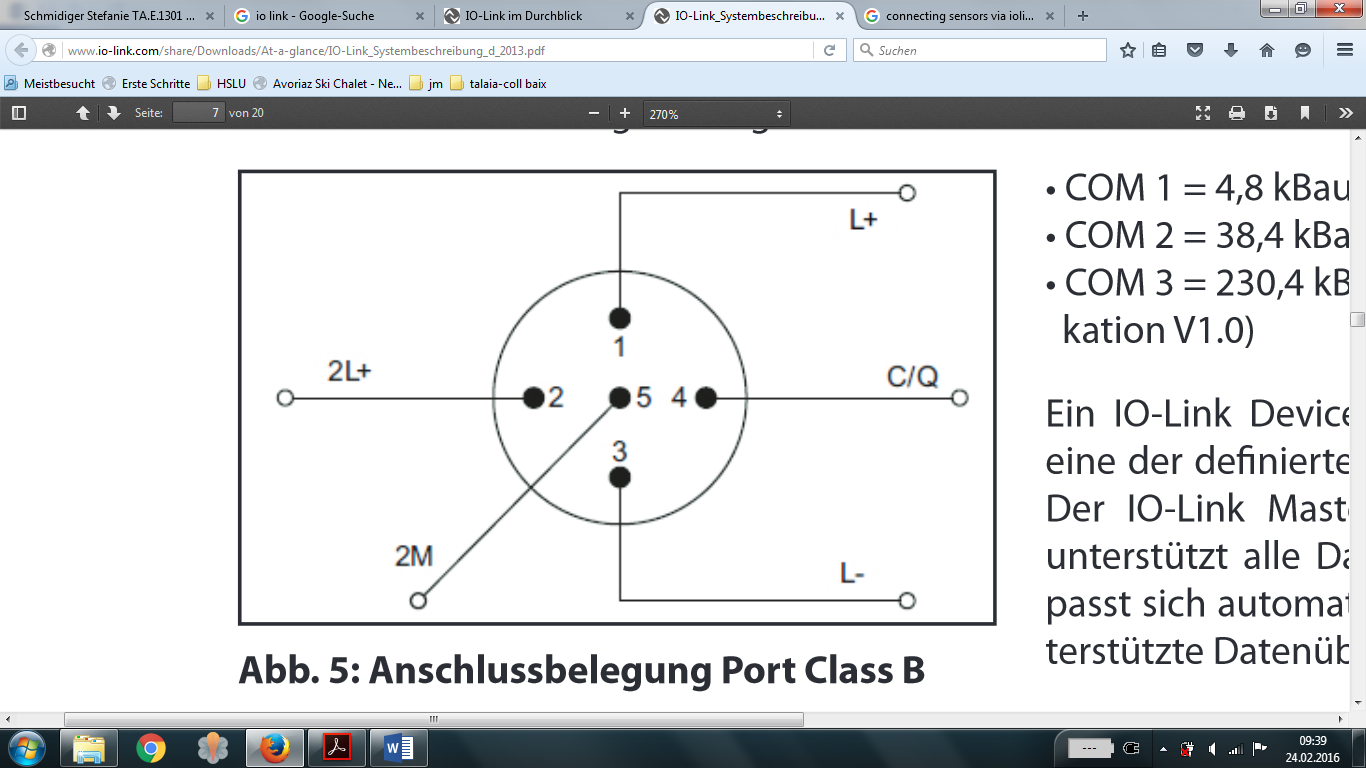


Abbildung 3 - Anschlussbelegung Port Class B

## Betriebsarten

Die IO-Link Ports des Masters lassen sich in drei verschiedenen Betriebsarten betreiben:

* IO-Link Der Port befindet sich in der IO-Kommunikation
* SIO Nach dem Einschalten befindet sich ein Port immer im SIO (Standard Input  
   Output) Modus und verhält sich wie ein digitaler Eingang. Der SIO Modus  
   ist ideal für binäre Devices die am Eingang nur High oder Low erwarten be-  
   ziehungsweise nur High oder Low senden.
* Deaktiviert Diese Betriebsart ist für unbenutzte Ports verwendbar

Im IO-Link Betriebsmodus sind drei Übertragungsgeschwindigkeiten (für die IO-Link V1.1) spezifiziert:

* COM1 4.8 kBaud
* COM2 38.4 kBaud
* COM3 230.4 kBaud

Mit IO-Link V1.0 sind nur die Übertragungsgeschwindigkeiten 4.8 kBaud und 38.4 kBaud möglich. Beim neuen IO-Link V1.1 kann zusätzlich noch mit 230.4 kBaud übertragen werden.

Ein IO-Link Device unterstützt nur eine Übertragungsgeschwindigkeit und der Master passt sich deren automatisch an. Ein Master kann für jeden seiner Ports eine andere Übertragungsgeschwindigkeit setzen.

### Erstverbindung von Device und Master

Ist der Port des Masters auf IO-Link eingestellt, so wird er versuchen, mit dem angeschlossenen Device zu kommunizieren. Dazu sendet der Master zuerst in der höchsten definierten Übertragungsgeschwindigkeit einen Wake Up Impuls und wartet auf die Antwort des Devices. Bei Misserfolg versucht er es in der nächst niedrigen Übertragungsrate erneut.

Sobald der Master eine Antwort empfängt, beginnt die Kommunikation. Zuerst werden Geräteparameter ausgetauscht und allenfalls im System gespeicherte Parameter auf das Device übertragen. Anschliessend folgt die Übertragung der zyklischen Daten.

Das Device geht also der Reihe nach folgende Operationsmodi durch:

* INACTIVE Kein IO-Link Master versucht mit dem Device zu kommunizieren
* STARTUP Device hat Wake Up Impuls erhalten vom Master
* PREOPERATE Master hat Geschwindigkeit vom Device getroffen (COMx), jetzt  
   werden Geräteparameter ausgetauscht
* OPERATE Es findet ein zyklischer Austausch an Prozessdaten statt

### IO-Link Device Description Datei

Die IO-Link Device Description (IODD) Datei ist eine Gerätebeschreibungsdatei und hält für die Systemintegration vielfältige Informationen bereit. Die Mitlieferung einer IODD wird von der IO-Link Community vorgeschrieben, wenn das Device verkauft werden soll. Die IODD wird benötigt, wenn ein Master offline aufgesetzt werden soll, also wenn keine Verbindung zur Steuerung besteht. Dies ermöglicht dem User, ein Port für ein bestimmtes Device offline aufzusetzen, denn die IODD enthält alle Informationen, die für diese Schnittstelle benötigt werden (z.B. Anzahl Bytes die versendet oder empfangen werden, minimale benötigte Zykluszeit vom Device, usw.). So kann auch das Programm für die SPS schon geschrieben werden und Einstellungen schon vorgenommen werden ohne Direktverbindung zu einem laufenden System.  
Der Aufbau der IODD Datei ist immer derselbe und wird von den IO-Link Konfigurationstools immer gleich dargestellt.

### Reaktionszeit und Zykluszeit

In der Gerätebeschreibungsdatei IODD des Devices ist ein Wert für die minimale Zykluszeit angegeben, welcher bestimmt, mit welcher maximaler Frequenz der Master das Device ansprechen darf um zyklische Daten zu erfragen bzw. übertragen. Zusätzlich benötigt der Master noch eine Bearbeitungszeit. Diese beiden Zeiten ergeben die Reaktionszeit des Systems. Jedes Device kann eine andere minimale Zykluszeit haben. Der Master hat aber nur eine Zykluszeit und so passt er sich dem langsamsten angehängten Device an. Beispielsweise kann an Port 1 ein Device mit einer minimalen Zykluszeit von 400 µs hängen, an Port 2 ein Device mit einer minimalen Zykluszeit von 500 µs und an Port 3 ein Device mit einer minimalen Zykluszeit von 5 ms. Der Master wird also jetzt die Zykluszeit von 5 ms wählen und auch die Devices, die eigentlich schneller operieren könnten werden nur alle 5 ms abgefragt.

### IO-Link V1.0 und IO-Link V1.1

An ein IO-Link Master der Version V1.0 können nur IO-Link Devices der Version V1.0 angeschlossen werden. Ein IO-Link Master der Version V1.1 kann jedoch gleichzeitig IO-Link Devices der Versionen V1.0 und V1.1 angeschlossen haben.

Die Datenübertragungsrate von 230.4 kBaud ist nur mit der Version V1.1 möglich. Deshalb wird ein IO-Link Master der Version V1.1 mit angehängtem V1.1 Device benötigt für diese schnelle Übertragung. Ein V1.0 Device an einem V1.1 Master kommuniziert mit maximal 38.4 kBaud.

## Datenübertragung

Bei der Kommunikation zwischen Master und Slave gibt es vier verschiedene Datenarten. Die Datengrösse ist dabei immer in Oktetten angegeben. Ein Oktett entspricht einem Byte.

Prozessdaten  
Die Prozessdaten sind zyklische Daten wie beispielsweise Sensorwerte. Die Datenmenge kann dabei vom Device einmalig beim Einschalten festgelegt werden und liegt zwischen 0 und 32 Oktette.

* Prozess Daten Output zyklische Daten vom Master an den Slave
* Prozess Daten Input zyklische Daten vom Slave an den Master

Wertstatus  
Der Wertestatus kann mit den Prozessdaten zyklisch übertragen werden und zeigt an, ob die Prozessdaten gültig oder ungültig sind.

Gerätedaten  
Ein Device muss vielfach konfiguriert werden könne. Für diesen Zweck gibt es ein Adressbereich, auf den mit einem Index zugegriffen werden kann. Innerhalb dieses Adressbereiches gibt es die Direct Parameter Page 1, welche vorgegebene Daten enthalten muss, die der Master beim Aufsetzen der Kommunikation ausliest (VendorID, DeviceID, Revisionsnummer, Baudrate etc).

Die Direct Parameter Page 2 kann beliebige Informationen enthalten und deren Interpretation und Inhalt werden vom Device Hersteller festgelegt. Bei Bedarf kann jetzt der Master auf einen Ort im Adressbereich zugreifen und die darin enthaltenen Daten (Parameter, Identifikationsdaten oder Diagnoseinformationen) auslesen oder überschreiben und somit azyklisch den Status des Devices verändern oder abfragen.

Ereignisse (Events)  
Wenn ein Ereignis auftritt, signalisiert das Device dies dem Master und der Master liest es daraufhin aus. Ereignisse können Fehlermeldungen und Warnungen oder Wartungsdaten sein. Diese Ereignisse werden zur Steuerung weitergeleitet. Auch der Master kann Ereignisse haben und diese weiterleiten.

### Übertragungsart verschiedener Daten

Eine Übersicht über die Übertragung der oben beschriebenen Daten kann aus Abbildung 4 entnommen werden.

Die Prozessdaten und der Wertestatus bilden zusammen die Kategorie „Operation“ und werden zyklisch übertragen.

Events und Gerätedaten sind On-Request Daten und werden nur auf Anfrage oder bei Bedarf übertragen.

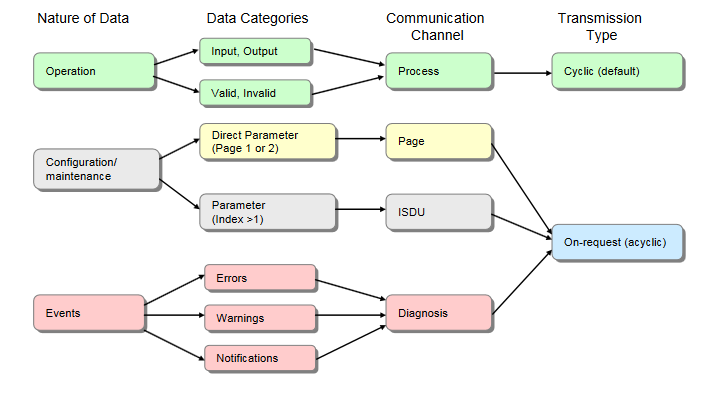


Abbildung 4 - Übertragungsart verschiedener Daten [2]

### Datenspeicherung

Aus der Abbildung 5 kann das Memory Management innerhalb eines Devices entnommen werden. Dabei hat das Device irgendwo einen Puffer für die vom Master empfangenen Prozessdaten und einen Puffer für die zu sendenden Daten. Die Puffergrösse wird dabei bei Kommunikationsbeginn einmalig festgelegt und liegt zwischen 0 und 32 Bytes.

Gerätedaten (Configuration/Maintainance Daten) des IO-Link Devices werden einem festgelegten Adressbereich zugeordnet. Dabei ist der Direct Parameter Page 1 der Adressbereich 0x00 bis 0x0F zugeordnet und der Direct Parameter Page 2 der Adressbereich von 0x10 bis 0x1F.

Auch für Events ist ein Puffer angelegt, dem beim Aufstarten eine Grösse von 0 bis 32 Bytes zugeordnet werden kann.

Der Inhalt jeder Speicherstellen der Direct Parameter Page 1 ist festgelegt. Beispielsweise ist an der Speicherstelle 0x04 die RevisionsID hinterlegt, an der Speicherstelle 0x06 die Anzahl vom Master versendeten Bytes etc. Eine detaillierte Auflistung der Inhalte der Direct Parameter Page 1 kann dem Anhang B entnommen werden.   
Der Inhalt der Speicherstellen der Direct Parameter Page 2 und allen anderen Speicherstellen bis 0xFFFF kann vom Hersteller der IO-Link Devices selber bestimmt werden. Beispielsweise kann ein Devicehersteller an die erste Speicherstelle der Direct Parameter Page 2 (Index 0x10) den Status des Devices implementieren, liest aus dem Index 0x11 Befehle aus usw. Jedem Hersteller ist die Implementierung freigestellt und der User muss das Datenblatt des jeweiligen Devices beiziehen um an diese Informationen zu gelangen.

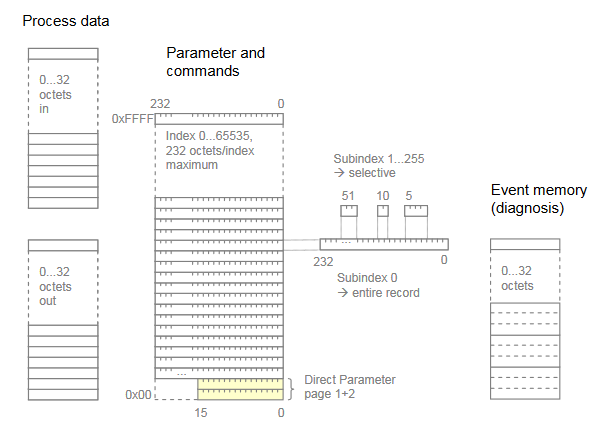


Abbildung 5 - Datenspeicherung bei IO-Link [2]

Die Speicherstellen ausserhalb der Direct Parameter Pages werden ISDU genannt und umfassen die Speicherstellen 0x20 bis 0xFFFF.

### M-Sequenz

Die Übertragung der zyklischen und azyklischen Daten werden mittels einer sogenannten M-Sequenz vorgenommen. Je nach Anzahl zu empfangener und übermittelnder Bytes an Prozessdaten wird ein anderer M-Sequenz Typ für die Einbettung der Daten gewählt. Die Auswahl an M-Sequenz Typen ist aus Abbildung 6 ersichtlich.

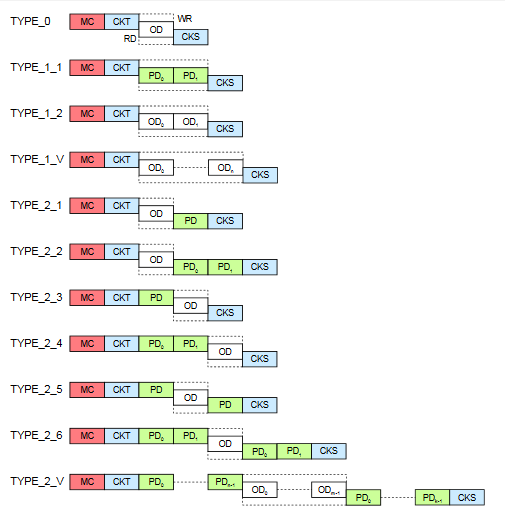


Abbildung 6 - M-Sequenz Typen [2]

In der Abbildung leicht nach oben verschoben sind die Oktette, die vom Master zum Slave gesendet werden. Leicht nach unten verschoben sind die Oktette, mit denen der Slave dem Master antwortet.

Die Kommunikation zwischen IO-Link Master und Device besteht wie oben ersichtlich aus einem Oktett M-Sequenz-Control (MC), gefolgt von einem Oktett Check/Type (CKT) und danach die gewünschte Anzahl Prozessdaten (PD) und On-Request Daten (OD). Das letzte Oktett (CKS) repräsentiert den Wertestatus und enthält eine Checksumme.

Grundsätzlich gilt, dass bis zur M-Sequenz TYPE\_2\_6 der Versand von maximal zwei Oktette an Prozessdaten in die jeweilige Richtung möglich waren. Mit dem TPYE\_2\_V kann die Grösse der Prozessdaten frei gewählt werden (zwischen 0 und 32 Oktetten). Auch ist dabei die Anzahl Oktette an On-Request Daten frei wählbar.

Im folgenden Abschnitt wird auf den Inhalt der einzelnen Oktette eingegangen. Für eine detaillierte Entschlüsselung wird an dieser Stelle jedoch auf das Dokument „IO-Link Interface Spezifikationen V1.1.2“, Anhang A.1 verwiesen [2].

M-Sequenz Control  
Beim ersten vom Master versendeten Oktett handelt es sich um das Control Byte. Dieses beinhaltet die Offset-Adresse für einen ISDU-Zugriff, den Kommunikationskanal (Prozessdaten, Direct Parameter Page Zugriff, Diagnosedaten oder ISDU Zugriff) und die Information ob es sich um einen Lese- oder einen Schreibezugriff handelt. Die Implementierung des Bytes kann aus Abbildung 7 entnommen werden.

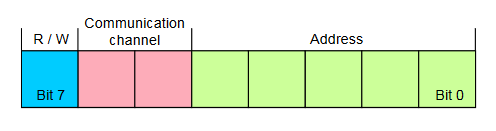


Abbildung 7 - M-Sequenz Control

M-Sequenz Checksumme / Typ  
Dieses Oktett besteht aus der Checksumme und der Information, welcher M-Sequenz Typ für die Daten verwendet wird. Dies ist wichtig, da der Slave wissen muss, wieviele Oktette an zyklischen Prozessdaten er bekommt und senden muss und wieviele Oktette für die On-Request Daten reserviert sind. Die Implementierung des Bytes kann aus Abbildung 8 entnommen werden.

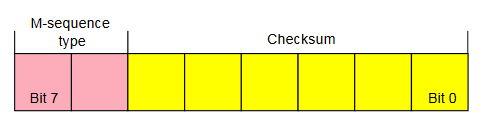


Abbildung 8 - M-Sequenz Checksumme / Typ

Prozessdaten  
Prozessdaten sind z.B. Messwerte von einem Sensor oder Ausgabewerte an einen Aktor.  
Eine bestimmte Menge an Oktetten ist bei jedem Zyklus für die Prozessdaten reserviert. Diese können entweder vom Typ „Prozess Daten Input“ sein, wenn sie an den Master gesendet werden oder vom Typ „Prozess Daten Output“, wenn sie vom Master gesendet werden.

On-Request Daten  
Eine bestimmte Menge an Daten ist in jedem Zyklus für die On-Request Daten reserviert. On-Request Daten sind z.B. Zugriffe auf die Direct Parameter Pages oder Events. Obwohl diese Daten nur auf Anfrage (on request) versendet werden, muss trotzdem eine feste Anzahl Oktette im zyklischen Kommunikationsprotokoll dafür reserviert sein. Das IO-Link Protokoll muss echtzeitfähig sein, muss also deterministisch arbeiten. Das bedeutet, dass die Sensordatenübertragung immer gleichlang braucht, egal ob gleichzeitig noch nach On-Request Daten gefragt wird oder nur Prozessdaten übermittelt werden. Um dies zu gewährleisten, wird eine fixe Anzahl Bytes bei der zyklischen Übertragung immer für die On-Request Daten reserviert. Müssen keine On-Request Daten übertragen werden, so wird dieses Byte einfach leer gelassen (aber dennoch übertragen). Wenn On-Request Daten übertragen werden müssen, so wird es mit den gewünschten Informationen gefüllt.

Aufgrund Performanceoptimierung kann die zyklisch zu übertragende Menge an On-Request Daten minimal gehalten werden (1 Oktett). Dies bedeutet dann jedoch, dass Events oder Eingriffe in die Direct Parameter Pages über mehrere Zyklen übertragen werden müssen, da sie nicht in einem Oktett Platz haben.

In der Abbildung 6 sind die OD-Daten in der Mitte einer Sequenz zu finden, da sie weder immer vom Master gesendet noch immer vom Slave gesendet werden. Ist zum Beispiel 1 Oktett für OD-Daten in einer M-Sequenz reserviert, so wird sie vom Master gefüllt, wenn er einen Leserequest sendet für eine Speicherstelle der Direct Parameter Page. Bei der nächsten zyklischen Übertragung wird dieses Byte an OD-Daten dann aber vom Master leer gelassen werden und vom Slave gefüllt mit dem gewünschten Inhalt der Direct Parameter Page Speicherstelle.

M-Sequenz Wertestatus / Checksumme  
In diesem Oktett sind wiederum 6 Bit für die Checksumme der Antwort des Devices reserviert. Ein Bit wird zusätzlich benötigt für den Wertestatus (Prozessdaten gültig oder ungültig) und ein weiteres Bit um ein Vorhandensein eines Events zu signalisieren. Die Implementierung des Oktetts kann aus Abbildung 9 entnommen werden.

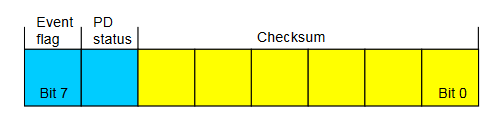


Abbildung 9 - M-Sequenz Wertestatus / Checksumme

### UART Frames

Die physikalische Datenübertragung für das IO-Link Protokoll erfolgt mittels UART Frames. Die UART Schnittstelle wird mit folgender Konfiguration betrieben:

* 1 Bit Start Bit
* 8 Bit Daten
* 1 Bit Parity Bit
* 1 Bit Stop Bit

Für 8 Bit Daten werden also total 11 Bit übertragen.

### Timing

Die minimale Zykluszeit, die vom Device schlimmstenfalls bei Verwendung einer bestimmten M-Sequenz benötigt wird, kann berechnet werden. Sie setzt sich zusammen aus dem Delay zwischen zwei vom Master gesendeten UART Frames, aus der Reaktionszeit des Devices, aus dem Delay zwischen zwei vom Device gesendeten UART Frames und aus der Zeit für die Übertragung von einem UART Frame. Alle Timing Bedingungen hängen von der gewählten Baudrate ab (COM1, COM2 oder COM3):  
 

UART Transmission Delay vom Master  
Das Transmission Delay des Masters ist die Verzögerung zwischen dem Stopbit eines UART Frames und dem Startbit des nächsten UART Frames.  
 

UART Transmission Delay vom Device  
Das Transmission Delay des Devices ist die Verzögerung zwischen dem Stopbit eines UART Frames und dem Startbit des nächsten UART Frames.  
 

Reaktionszeit vom Device  
Die Reaktionszeit ist die Zeit zwischen dem Stopbit des Masters und dem Startbit des ersten UART Frames, das als Antwort übermittelt wird.



Übermitlung eines UART Frames  
Für die ganze Berechnung fliesst natürlich noch die für die Übermittlung eines UART Frames benötigte Zeit ein. Da dieses aus einem Startbit, 8 Datenbits, einem Paritybit und einem Stopbit besteht, werden total 11 Bit übertragen.



Die minimale Zykluszeit, die von einem Device benötigt wird bei Verwendung einer bestimmten M-Sequenz lässt sich also folgendermassen berechnen:

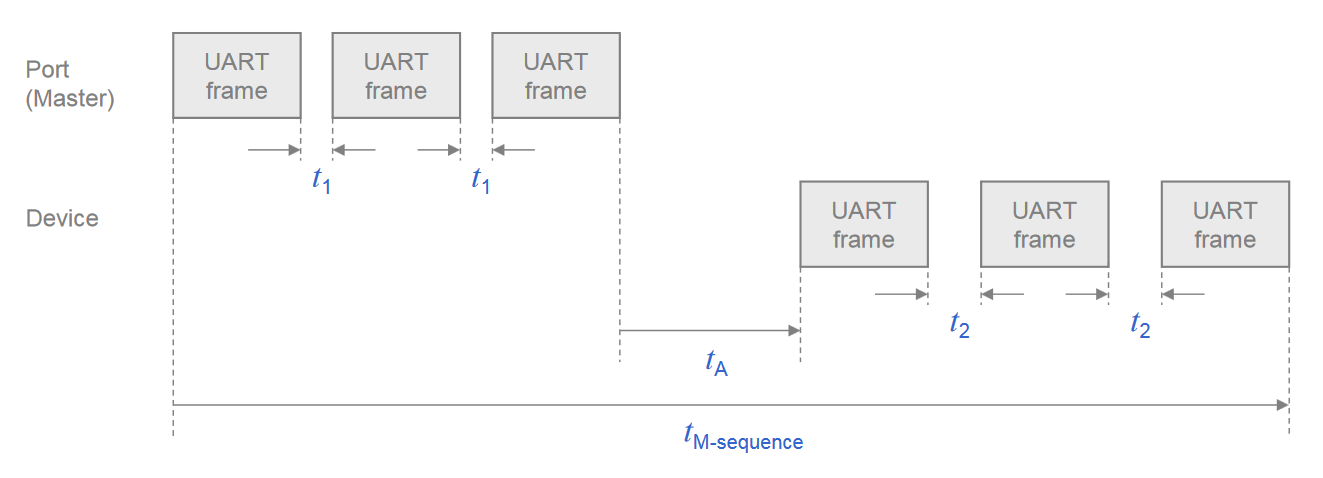


Abbildung 10 - Berechnung der minimalen Zykluszeit [2]

Um die maximal benötigte Zykluszeit eines Devices zu berechnen, wird davon ausgegangen, dass das OD-Byte vom Slave übermittelt wird, da der Slave mehr Zeit zwischen einzelnen UART Frames lassen kann.

Wenn der Master also m UART Frames zu übermitteln hat und der Slave n UART Frames zu übermitteln hat, so berechnet sich die schlimmstenfalls maximale benötigte Zykluszeit folgendermassen:



Das Resultat stellt aber nur die Zeit dar, die zwischen dem Versand des Startbits des ersten UART Frames und dem Stopbits des letzten UART Frames verfliesst. Die Verarbeitungszeit des Masters ist noch nicht miteinberechnet. Daher sollte der oben berechnete Wert noch aufgerundet werden.

Der dann resultierende Wert hinterlegt der Device Hersteller in der Direct Parameter Page 1 beim Index 0x02 (MinCycleTime).

## IO-Link Protokoll Stack

In diesem Kapitel werden der Kommunikationsservice und das IO-Link Protokoll genauer betrachtet.

### ISO/OSI Modell

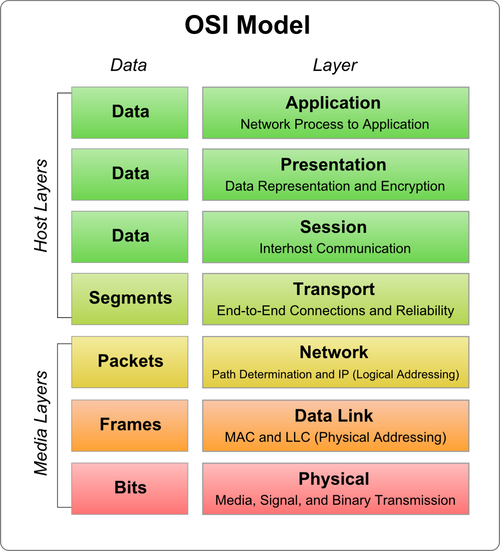
Das IO-Link Protokoll stützt sich ab auf das ISO/OSI Modell. Nach dem ISO/OSI Modell wird der Datenaustausch immer in sieben Layer unterteilt, die jeweils einen Teil der Kommunikation übernehmen.

Abbildung 11 - ISO/OSI Modell [5]

Das IO-Link Protokoll benötigt nicht alle diese Layer, sondern baut nur auf drei davon auf, dem Physical Layer, dem Data Link Layer und dem Application Layer. Im folgenden werden die Funktionen dieser drei Layer erläutert.

Physical Layer  
Der 1. Layer im ISO/OSI Modell ist nur für die Bitübertragung verantwortlich. Die physikalische Layer kümmert sich um den Spannungspegel, den Übertragungskanal (Kabel, wireless etc) und um das physikalische Übertragungsprotokoll (z.B. UART).

Data Link Layer  
Der 2. Layer im ISO/OSI Modell ist für Punkt-Punkt Übertragung verantwortlich. Er schaut, dass die angekommenen Bits stimmen indem er Paritybits oder Prüfsumme anschaut. Der Data Link Layer ist aber nicht nur für die fehlerlose Übertragung verantwortlich, sondern ist auch das Interface zwischen der physikalischen Datenübertragung und der übergeordneten Datenverarbeitung. Der Data Link Layer nimmt Pakete vom übergeordneten Layer an, verkleinert diese in Frames, fügt eine Prüfsumme an und reicht sie an den Physical Layer weiter zur Übertragung.

Application Layer  
Der 7. Und letzte Layer im ISO/OSI Modell verbindet das Protokoll mit der Usersoftware. Der Application Layer ist die Schnittstelle zwischen den Daten und dem Nutzer (bzw. der Applikation).

Abbildung 7 zeigt die Implementierung der Layer im IO-Link Protokoll. Auf die Aufgabe der einzelnen Funktionen wird hier nicht genauer eingegangen. Für detailliertere Informationen kann das Dokument „IO-Link Interface and System Specification V1.1.2“ [2] der IO-Link Community konsultiert werden.

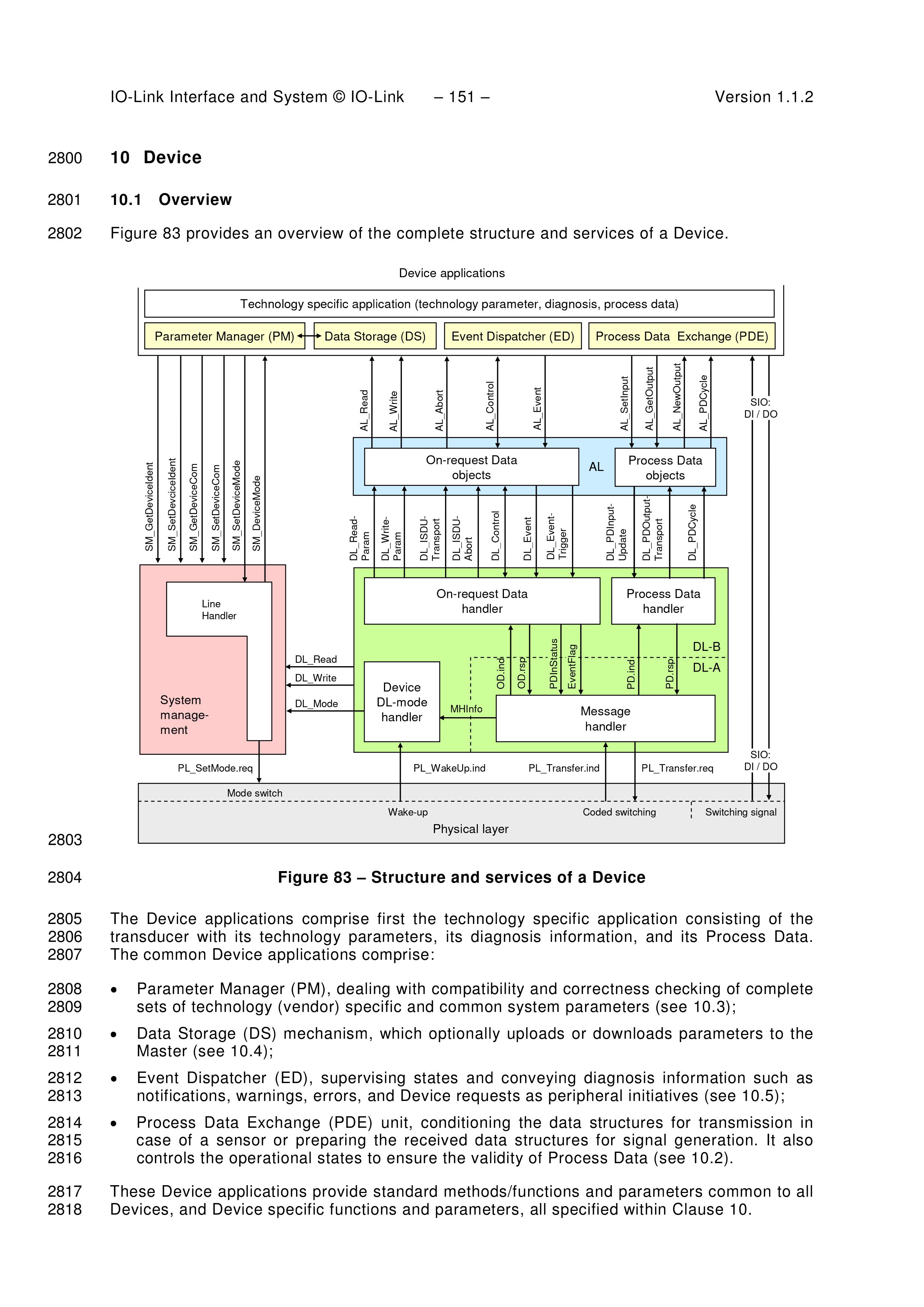


Abbildung 12 - Struktur und Service eines IO-Link Devices [2]

Wie oben ersichtlich, ist das IO-Link Protokoll ist sehr umfänglich und eine korrekte Implementierung aller Vorgaben deshalb zeitaufwändig.

### ISO/OSI Modell im IO-Link Protokoll

Physical Layer  
Bei IO-Link ist der physikalische Layer sehr robust, er arbeitet mit einem 24V Pegel. Die Bits werden mit einer halbduplexen UART Verbindung zwischen Master und Slave übertragen. Das Konzept einer halbduplexen Kommunikation kann aus Abbildung 9 entnommen werden.

Transmitter

Receiver

**IO-Link Master**

Transmitter

Receiver

**IO-Link Slave**

Abbildung 13 - Halbduplexe Kommunikation

Data Link Layer  
Der Data Link Layer unterscheidet zwischen zyklischen und azyklischen Daten. Der Message Handler ist dabei die Schnittstelle für einkommende Protokolle sofern die Kommunikation schon besteht. Zyklische Prozessdaten werden dann dem Process Data Handler weitergereicht und azyklische Daten werden dem On-request Data Handler weitergereicht zur Bearbeitung. Bei einem Wake-Up Impuls übernimmt der Device DL-Mode Händler die Übermittlung der Initialisierungsdaten.

Application Layer  
Der Anwender, welcher das IO-Link Modul steuert, steht der Application Layer und die darauf implementierten Funktionen zur Verfügung um Daten abzufragen oder zu übermitteln.

# Sensoren

Das Ziel der Arbeit ist es, die Prozessdaten zweier Sensoren via IO-Link an die übergeordnete SPS Steuerung weiterzuleiten. Bei den beiden Sensoren handelt es sich um einen Pyrometer und einen Leistungsmesser. Die Sensorwerte werden jeweils seriell übertragen mit SPI respektive I2C. Beide Sensoren arbeiten mit 3.3V.

## I2C Schnittstelle

Die Daten der Leistungsmessung werden mit I2C übertragen. Dabei wird die Leistung mit einer Photodiode gemessen, mit einem 10bit AD-Wandler abgetastet und im selben Baustein in ein I2C Protokoll verpackt. Dabei ist der Sensor als Slave implementiert und benötigt einen Konstantstrom ca. 10mA. Die Implementation der Kommunikation kann aus Tabelle 1 entnommen werden.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Parameter** | **Grösse** | **Wert** |
| I2C Slave Adresse | 7 bit | 0b 1001101 |
| Geschwindigkeit | Fast mode | 300 kbit/s |
| Sensordaten | 10 Bit, verpackt in 2 Bytes | 1. Byte: 0 0 0 0 b9 b8 b7 b6 2. Byte: b5 b4 b3 b2 b1 b0 x x |
| Conversion Mode | Single conversion oder continuous conversion | Single conversion mode |

Tabelle 1 - I2C Protokoll Spezifikationen

Beim Single Conversion Mode wird der Sensorwert einmalig abgefragt und danach wird die Clockleitung vom Master wieder losgelassen. Der Sensor könnte auch im Continuous Mode betrieben werden indem der Slave ausgewählt wird mit der Adresse und danach kontinuierich ein Clock generiert wird. Der AD-Wandler wird dann kontinuierlich wandeln (typische Wandlungszeit: 8.96us, Analog Input Zeit: 1.12us, total 10.08us pro Wandlung) und den Sensorwert mit I2C weiterleiten, ohne dass dabei die Slave Adresse erneut versendet werden muss oder die Kommunikation abgesetzt wird.

Weitere Informationen über die I2C Implementation beim Slave können aus dem Datenblatt der Komponente MCP3021 von Microchip entnommen werden. Der MCP3021 ist ein AD-Wandler, der den digitalisierten Wert über I2C weiterversendet.

In der momentanen Betriebsart wird zuerst eine 7 Bit Adresse gefolgt von einem Readbit versendet und danach kommen zweimal 8 Bit Daten zurück. Jedes Bit wird bestätigt, es werden also insgesamt dreimal 9 Bit versendet, also total 27 Bit pro Sensorabfrage. Bei einer Geschwindigkeit von 300 kbit/s dauert diese Übertragung also 90 us.

## SPI Schnittstelle

Die Daten des Pyrometers werden über eine SPI Schnittstelle versendet. Dabei wird die Spannung über einer Photodiode gemessen und in einem Mikrocontroller verarbeitet. Dieser Mikrocontroller verfügt über eine SPI Schnittstelle, über welche die Daten abgefragt, kalibriert oder auch gesetzt werden können. SPI ist eine Vollduplexe serielle Schnittstelle. Da SPI nicht, anders als das I2C Interface, definierte Logikpegel hat, kann sie verschieden parametriert werden. Die Konfiguration der sensorseitigen SPI Konfiguration kann dem folgenden Abschnitt entnommen werden.  
Der Sensor zieht einen Strom von ca. 20mA.

### SPI Konfiguration

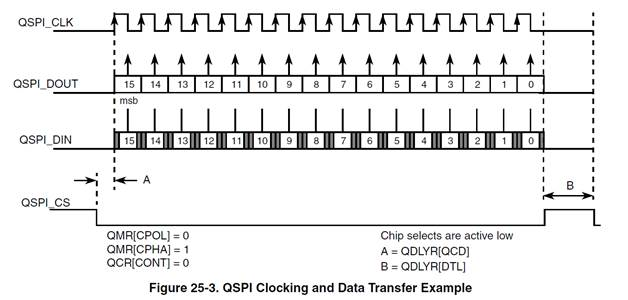
Die Aufsetzung der SPI Schnittstelle kann aus Abbildung 7 entnommen werden.

Abbildung 14 - SPI Konfiguration

Ein Datenpaket entspricht jeweils 16 Bit. Das MSB wird zuerst übermittelt. Die Leitung SlaveSelect ist low-aktiv und muss 3 Systemclockzyklen vor der Datenübertragung auf 0V gezogen werden. Zwischen zwei SlaveSelects müssen mindestens 600 Clockzyklen liegen um eine korrekte Datenverarbeitung im Mikrocontroller zu gewährleisten.



Es ist eine Baudrate von 1 MHz möglich.

Datenleitungen und Clockleitung sind idle-low. Der Pegel der Datenleitung wird bei der steigenden Clock-Flanke gesetzt und bei fallender Clock-Flanke ausgelesen.

### SPI Kommandos

Das Protokoll, das auf Seiten des Sensors im Mikrocontroller implementiert ist, sieht folgendermassen aus:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Kommandoname | Wert | Bedeutung |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

# Hardware

Um einen IO-Link Slave zu implementieren, werden verschiedene Komponenten benötigt. Zum einen braucht es ein Mikrocontroller um die Daten, welche von den beiden Sensoren via SPI resp. I2C weitergeleitet werden, abzufragen und ins IO-Link Protokoll einzubetten. Zum anderen wird ebenfalls ein Baustein benötigt, welcher die Schnittstelle zwischen dem mit 24V arbeitenden IO-Link Master und dem mit 3.3V arbeitenden Mikrocontroller herstellt. Der Aufbau der Hardware kann der Abbildung 15 entnommen werden.

Pyrometer

Leistungs-messung

Mikrocontroller

PHY

IO-Link Master

Demoboard

3.3V

24V

3.3V

3.3V

Abbildung 15 - Hardware Aufbau

Als Baustein zwischen Mikrocontroller und IO-Link Master wird ein sogenanntes PHY eingesetzt. Dieses hat auf der einen Seite einen 24V und einen 0V Eingang und auf der anderen Seite einen 3.3V oder/und 5V Ausgang.

Anstelle eines PHYs kann auch ein einfacher Levelkonverter eingesetzt werden, der den 3.3V Spannungspegel auf 24V bringt. Aber ein PHY übernimmt meist noch zusätzliche Aufgaben wie der Schutz vor elektrischen Störungen im Spannungspegel, der Schutz vor Überstrom und stellt eine Clocksynchronisation mit dem Master her, da die Abweichung der Clockfrequenz zwischen Master und Slave nicht mehr als ±0.1 % (Table 8, Interface Specs) betragen darf.

## Auswahl des IO-Link Demoboardes

Für die Auswahl des Demoboardes waren folgende Kriterien relevant:

* Formfaktor das Demoboard soll möglichst kompakt sein, um später auch in den   
   beschränkten Platz im Laserschweissgerät zu passen
* Headerpins Der I2C Sensor benötigt vier Anschlüsse: SCK, SDL, Vcc und GND  
   Der SPI Sensor benötigt sechs Anschlüsse: MOSI, MISO, nSS, CLK,  
   GND und Vcc. Insgesamt müssen also 6-10 GPIO Pins zur Verfü-  
   gung stehen.
* Schnittstellen Es sollen eine I2C und eine SPI Schnittstelle zur Verfügung stehen
* IO-Link Stack Um die Implementierungsarbeit zu erleichtern, soll ein bestehender  
   IO-Link Stack verwendet werden.
* Lieferfrist Das Demoboard sollte innerhalb von zwei Wochen lieferbar sein
* Kosten Die HSLU stellt CHF 600 zur Verfügung für die Bachelorarbeit

Die Auswahl an IO-Link Demoboards, welche diese Anforderungen erfüllen, ist klein. Hier eine Auflistung:

Auflistung HW Vorschläge

Da die Firma HMT ein Demoboard gratis zur Verfügung stellt und ein IO-Link Stack inkl. Demoprogramm dazuliefert, wird mit ihrem Demoboard gearbeitet.

### PHY

Die Firma HMT hat auf dem Genie Explorer TM96.1 Var B ihr eigenes PHY eingesetzt. Andere Hersteller benutzen zum Teil einen einfachen Levelkonverter für diese Aufgabe, jedoch kann bei Resourcekritischen Anwendungen ein PHY nötig sein.

Das PHY von HMT (HMT7742) übernimmt nämlich nicht nur den Schutz von elektrischen Störungen und Überstrom, sondern kümmert sich auch um die Kommunikation mit dem Master. Master und Slave kommunizieren über das UART Protokoll. Dies ist sehr resourcenintensiv, da bei der Implementierung die Daten immer nach einem Byte entgegengenommen und das UART Empfangsregister ausgelesen werden muss. UART ist konzipiert für ein 8 Bit Datenpaket. SPI hingegen darf mehr als 8 Bit aufs mal übertragen, bevor das Empfangsregister ausgelesen werden muss. Eine SPI Schnittstelle kann für 8 Bit Daten Konfiguriert werden oder für 16 Bit oder noch mehr (sofern es der Mikrocontroller unterstützt).

Indem das PHY HMT7742 also eine SPI Schnittstelle zum Mikrocontroller zulässt, kann Ressourcen gespart werden. Jetzt kann der MultiByteModus gewählt werden auf dem PHY, sodass die Daten vom Master zuerst vollkommen empfangen werden auf dem PHY und dann als Gesamtpaket an den Mikrocontroller übermittelt werden. Der SingleByteModus ist aber trotzdem noch wählbar, wenn der Mikrocontroller jedes Byte empfangen möchte sofort nachdem es beim PHY angekommen ist und nicht warten möchte, bis die ganze Sequenz vom Master beim PHY angekommen ist.

HMT7742 übernimmt ebenfalls die Checksummenberechnung und die Clocksynronisation mit dem Master.

## Programmer/Debugger

Der AtMega Mikrocontroller kann mit einem Programmer von Atmel programmiert werden. Dabei gibt es eine Vielzahl von ICDs, welche die Aufgabe erfüllen können. Für Evaluationszwecke reicht eine einfache und kostengünstige Lösung, die trotzdem SingleWireDebug unterstützt. Auf der Webseite von Atmel kann eine Auflistung an Programmern gefunden werden für den verwendeten Mikrocontroller AtMega328.



Tabelle 2 - Debugger Auswahl

Aus Tabelle 2 können die von Atmel empfohlenen Programmer entnommen werden. Der Atmel-ICE wurde gekauft, da er schnell lieferbar und als Gesamtpaket mit Kabel und Gehäuse verfügbar ist.

## Auswahl des IO-Link Stacks

Da es sich für die Firma Leister noch um eine Evaluation des IO-Link Interfaces handelt, soll noch ein kostenloser IO-Link Stack implementiert werden. Verschiedene Anbieter verkaufen Lizenzen für ihren IO-Link Stack, auf die auch bei einer Evaluation nicht verzichtet wird.

Ein kostenloser IO-Link Stack kann jedoch über folgende Quellen bezogen werden:

HMT Der Physical Layer des Stacks ist schon implementiert für das HMT Demoboar  
IQ2 Application Layer und Physical Layer muss noch implementiert warden

Die meisten Industrieanwendungen haben den IO-Link Stack von TMG implementiert. Dieser kostet jedoch CHF 5000, wobei auf Anfrage die Antwort kam, dass man sicherlich eine günstige Lösung für Demozwecke finden kann.

Da HMT kostenlos ein Development Board zur Verfügung stellt und darauf ein IO-Link Stack implementiert ist inkl. Demoprogramm, wird aber einfachheitshalber der Stack von HMT verwendet.

## IO-Link Master

Die Firma Leister arbeitet mit einer SPS Steuerung von Beckhoff im Laserschweissgerät. Da bietet sich eine Verwendung eines IO-Link Masters von Beckhoff an. Die Klemme EL6224 wurde ausgewählt. Sie lässt sich an die bestehende Steuerung anfügen und kann im TwinCat (dem Programmiertool für Beckhoff SPS Steuerungen) konfiguriert und später auch programmiert werden.

# Softwareimplementierung

In diesem Kapitel wird zuerst die Inbetriebnahme der Demoapp besprochen und danach die Modifikationen, um die Aufgabenstellung zu erfüllen.

## Demoapp

Für Genie Development Board von HMT ist eine Demoapplikation erhältlich. Diese Demoapplikation kann einen von drei Werten mit der IO-Link Schnittstelle übermitteln:

* Potentiometer Der Wert (0..255) des Potentiometers auf dem Board wird  
   übermittelt
* Button Die Stellung (0 oder 1) des Buttons wird übermittelt
* Sägezahn Der Wert eines intern generierten Sägezahns wird übermittelt

Im Kapitel 2.3 wurde auf den Unterschied zwischen zyklischen und azyklischen Daten eingegangen und im Zusammenhang damit auch auf die Direct Parameter Page.  
In der Demoapp wurden auf der Direct Parameter Page 2 drei Einträge implementiert. Wenn an die Adresse 0x10 ein Wert geschrieben wird, so kann derselbe Wert an der Adresse 0x11 wieder ausgelesen werden (MirrorOutput und MirrorInput). Der Wert an der Adresse 0x12 bestimmt, welcher der oben angegebenen drei Werte zyklisch übermittelt wird. Wird an die Adresse 0x12 eine 0 geschrieben, so wird zyklisch der Status des Buttons übertragen. Wird an die Adresse 0x12 eine 1 geschrieben, so wird zyklisch der Status des Potentiometers übertragen und wird eine 2 geschrieben, so übermittelt das IO-Link Device den Sägezahn. Eine Übersicht kann aus der Tabelle 2 entnommen werden.

Beim Schreiben in die Tabelle handelt es sich um einen azyklischen Zugriff. Falls der Wert bei der Adresse 0x12 verändert wird, so ändert auch die Interpretation der zyklisch übertragenen Prozessdaten.

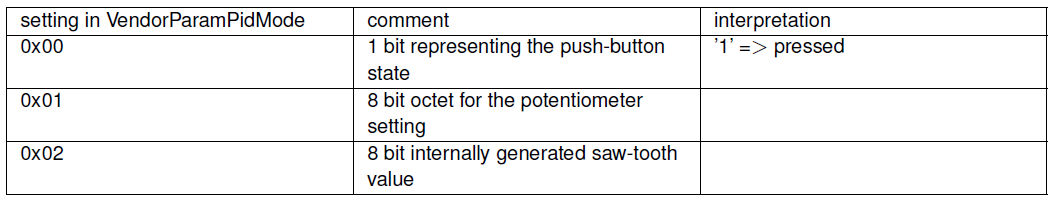
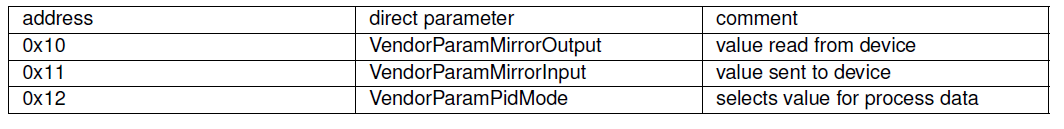


Tabelle 3 - Direct Parameter Page 2 der Demoapp

Die Implementation der Direct Parameter Page 1 ist vorgeschrieben und enthält Informationen zum IO-Link Device, z.B. VendorID, DeviceID, Revisionsnummer, Baudrate etc. Auf diese Daten kann wiederum azyklisch zugegriffen werden, jedoch sind die meisten davon nur lesbar, der Benutzer kann sie nicht überschreiben vom IO-Link Master aus. Welche Zugriffesrechte auf welche Daten möglich sind, kann aus der Tabelle im Anhang B entnommen werden.

Da die azyklischen Daten von einem separaten Handler im Data Link Layer verarbeitet werden, beeinflussen sie die Verarbeitung der zyklischen Prozessdaten (Sensorwerte) nicht. Dies ist ersichtlich in der Abbildung 7, wo es zwei separate Handler gibt für On-Request Daten und zyklische Daten. Auch bei der Übertragung macht das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein von azyklischen Daten keinen Unterschied, da eine fixe Anzahl Bytes sowieso für die On-Request Daten vorgesehen ist und diese dann einfach gefüllt btw. Leergelassen werden kann (siehe Kapitel 2.3.3 zum Thema On-Request Daten).

### Inbetriebnahme der Hardware mit Demoapp

In der Demoapp müssen noch zwei Einstellungen vorgenommen werden, bevor sie auf den Mikrocontroller geladen werden kann.

Stackmode wählen  
Ein Merkmal des PHY Bausteines der Firma HMT ist, dass es einen Teil des IO-Link Protokolls selber übernehmen kann. So kann die Demoapp in drei verschiedenen Modi laufen:

* Single Byte Sobald ein ganzes Oktett beim PHY angekommen ist, wird dieses an   
   den Mikrocontroller weitergeleitet.
* Multi Byte Vom Master empfangene Daten werden erst vom PHY an den Mikro-   
   controller weitergeleitet, wenn alle zu empfangenen Daten ange-   
   kommen sind.
* Transparent Checksumme wird im Mikrocontroller berechnet und nicht im PHY,   
   PHY wird nur als Levelkonverter verwendet.

Um einen Modus auszuwählen, muss die entsprechende Headerdatei eingebunden werden in der Demoapp.

Baudrate  
Die Baudrate kann dann im einzubindenden Header gewählt werden, indem der Wert einer vordefinierten Konstante auf die gewünschte Geschwindigkeit geändert wird.

Jetzt ist das Demoprogramm aufgesetzt und kann auf das Demoboard geladen werden.

## Implementierung der Sensordaten in die Demoapp

Als nächster Schritt gilt es, die Übertragung der Sensordaten in der Demoapp zu implementieren. Einfachheitshalber wird dafür nicht von vorne begonnen sondern die neuen Funktionalitäten werden der Demoapp nur angehängt.

### Prozessdatengrösse

Als erstes gilt es, die implementierte M-Sequenz so abzuändern, dass neu vier Oktette Prozessdaten an den Master übertragen werden innerhalb eines Zyklus und nicht nur ein Oktett. Um die Zykluszeit nicht unnötig zu verlängern, wird die Anzahl der Oktette, die zyklisch vom Master an das Device übermittelt werden (Process Data Output) auf null gesetzt.

PD\_IN\_SIZE Anzahl Oktette, die vom Slave zum Master übertragen werden

PD\_OUT\_SIZE Anzahl Oktette, die vom Master zum Slave übertragen werdenDiese beiden Variablen können im Header des gewählten Stacks (z.B. StackSingleByte.h) verändert werden. Wenn eine von 1 verschiedene Zahl verwendet wird, so muss die M-Sequenz Kompatibilität auch geändert werden. Diese M-Sequenz Kompatibilität ist angegeben in der Direct Parameter Page 1 im Adressfeld 0x03. Eine Übersicht von möglichen M-Sequenz Kompatibilitäten kann aus Tabelle 4 und Tabelle 5 gewonnen werden.

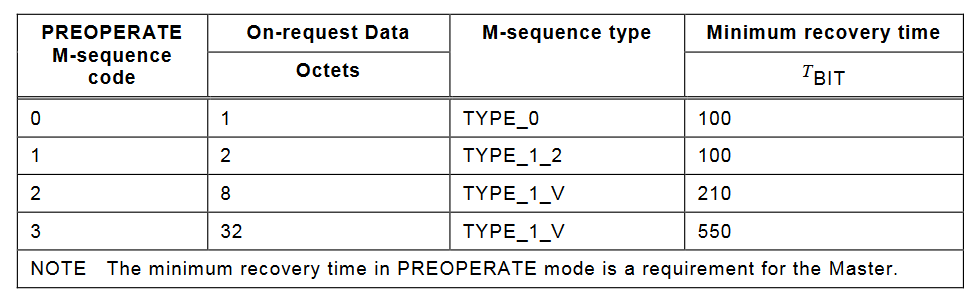
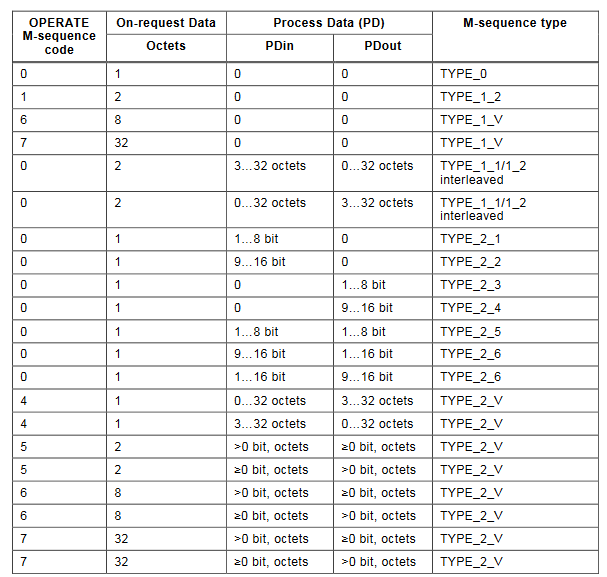


Tabelle 4 - M-Sequenz Preoperate

Tabelle 5 - M-Sequenz Operate



Die Tabelle 4 listet die möglichen M-Sequenzen auf, die im Preoperate Modus (siehe Kapitel 3.2.1 für eine Übersicht der verschiedenen Betriebsmodi) eines Ports zur Verfügung stehen. Da in diesem Modus nur On-Request Daten ausgetauscht werden und noch kein zyklischer Datenaustausch stattfindet, sind nur On-Request Daten implementiert in den verfügbaren M-Sequenzen im Preoperate Modus.

Sobald sich ein Port im Operate Modus befindet, können auch zyklische Prozessdaten ausgetauscht werden. In diesem Falle gibt es viele Möglichkeiten, wie die Prozessdaten gestaltet werden können. Je nach Anzahl Oktette, die übermittelt werden sollen, muss die passende M-Sequenz gewählt werden (eine Übersicht an möglichen M-Sequenzen im Operate Modus kann aus Tabelle 5 entnommen werden).

In der mitgelieferten Demoapp werden ein Oktett an Prozessdaten vom Master an den Slave gesendet und ein Oktett Prozessdaten vom Slave an den Master. Für den Preoperate Modus ist dabei die M-Sequenz TYPE\_0 implementiert und für den Operate Modus die M-Sequenz TYPE\_2\_5.

Um die Übertragung von der Leistungsmessung und dem Pyrometer in einer Sequenz zu gewährleisten, werden aber mehr als ein Oktett zyklische Prozessdaten benötigt. Beide Sensoren liefern je 2 Byte Sensorwerte und so werden vier Oktette Prozessdaten benötigt, um beide Messwerte zusammen zu überliefern. Aus Tabelle 5 kann entnommen werden, dass für vier Oktette PD die M-Sequenz TYPE\_2\_V benötigt wird (alle Typen die mit „interleaved“ gekennzeichnet sind, werden nicht unterstützt von der Demoapp).

### Übertragungsgeschwindigkeit

Die minimal benötigte Sensordatenrate von 2 kHz auf dem Master ist nur erreichbar, wenn die IO-Link Schnittstelle mit der schnellsten Übertragungsgeschwindigkeit arbeitet. Die Applikation wird also für 230.4 kBaud implementiert

### Single Byte Mode

Unter dem Punkt Betriebmodi im Kapitel 5.5.1 wurden die verschiedenen Stack Modi beschrieben: Single Byte Modus, Multi Byte Modus und Transparent Modus. Wenn viele Oktette vom Master an den Slave gesendet werden sollen, so ist es notwendig, den Single Byte Modus zu verwenden. Das Device hat nämlich ein beschränktes Zeitfenster, bis es eine Antwort an den Master zurück senden muss. Wenn jetzt das PHY wartet, bis alle Oktette vom Master angekommen sind und diese erst dann an das Device überträgt (Multi Byte Mode), so hat das Device noch weniger Zeit für die Bearbeitung der Anfrage als wenn jedes Oktett einzeln nach Erhalten an den Mikrocontroller gesendet wird (Single Byte Mode). Beim Single Byte Mode muss das PHY nur noch ein Oktett an den Mikrocontroller übergeben sobald das letzte Oktett vom Master angekommen ist, bevor der Mikrocontroller mit der Verarbeitung beginnen kann. Beim Multi Byte Mode geht nach Erhalten des letzten Oktetts vom Master noch mehr Zeit verloren für die vollständige Übertragung aller Oktetts an den Mikrocontroller.

Schon im Single Byte Mode muss darauf geachtet werden, dass die Verarbeitungszeit im Mikrocontroller kurz gehalten wird und nicht viele rechenintensive Operationen ausgeführt werden müssen. Um das Timing nicht zu gefährden, wird das PHY für diese Aufgabe im Single Byte Mode betrieben.

### Kleinste mögliche Zykluszeit

Im Kapitel 2.2.4 wurde die Berechnung der vom Device benötigten Zykluszeit besprochen. Konkret heisst das für den TYPE\_2\_V folgendes, vorausgesetzt es wird nur ein Oktett an On-request Daten übermittelt und das Device arbeitet mit 230.4 kBaud:



Die beiden vom Master versendeten Oktette bestehen aus dem M-Sequenz-Control (MC) Oktett und dem Oktett Check/Type (CKT).  
Die sechs vom Slave versendeten Oktette sind das On-Request Oktett, vier PD Oktette und ein CKS Oktett.

Dies ist berechnet für den Fall, dass der Slave ein OD Oktett als Antwort sendet.  
Die Firma Leister möchte die Sensordaten mindestens mit einer Frequenz von 2kHz an den Master übermittelt haben. Dies ist theoretisch möglich mit der Applikation. Bei der Berechnung oben handelt es sich aber nur um die verflossene Zeit zwischen Senden des ersten Startbits des Masters und Empfangen des letzten Stopbits des Slaves. Die Bearbeitungszeit des Masters ist noch nicht in die Berechnung eingeflossen.

Wird eine schnellere Sensordatenrate benötigt, so ist dies nur umsetzbar, indem jeder der beiden Sensoren ein eigener Port bekommt, also ein eigenes Device darstellt. Falls dies der Fall ist, so können die Anzahl Oktette, die für die Prozessdaten benötigt werden, von vier auf zwei gekürzt werden. Die minimale Zykluszeit berechnet sich dann folgendermassen:



Die beiden vom Master versendeten Oktette bestehen aus dem M-Sequenz-Control (MC) Oktett und dem Oktett Check/Type (CKT).  
Die vier vom Slave versendeten Oktette sind das On-Request Oktett, zwei PD Oktette und ein CKS Oktett.

Mit dem IO-Link Protokoll und maximaler unterstützter Baudrate ist also eine Zykluszeit von mindestens 312.5 µs nötig. Diese Zeit muss noch etwas aufgerundet werden, da die Verarbeitungszeit des Masters noch nicht in die Berechnung mit einbezogen wurde. Die reine Übertragungszeit vom Senden des ersten Startbits durch den Master bis zum Empfang des letzten Stopbits vom Device wird bei zwei Oktett Sensordaten 312.5 µs benötigt. Die IO-Link Community empfiehlt in ihren IO-Link Spezifikationen eine minimale Zykluszeit von mindestens 400 µs in diesem Fall (zwei Oktette Prozessdaten, ein Oktett On-Request Daten). Die bedeutet, dass der Master innerhalb von 87.5 µs alle Berechnungen ausgeführt hat. Möglich ist dies aber nur, wenn er nur wenige Ports mit Devices besetzt hat und somit nur wenige Daten verarbeiten muss.

### Leistungsmessung mit I2C

Der Genie Explorer TM96.1 Var B ist mit einem AtMega328P bestückt. Dieser Mikrocontroller hat ein I2C Baustein integriert, der vom IO-Link Stack noch nicht verwendet wird. Die I2C Datenleitung SDA ist dabei auf Port C Pin 4 verfügbar und die I2C Clockleitung SCL ist auf Port C Pin 5 verfügbar. Diese beiden Mikrocontrollerpins sind laut Schema des Demoboards auf den Header JP4 herausgeführt. Der Sensor kann also auf einfachste Weise verdrahtet werden.

Speisung  
Die Speisung sollte nicht mit einem GPIO Pin realisiert werden, da dieser nicht genügend Strom liefern kann, ohne dass die Spannung einbricht. Diese Information kann aus den Datenblatt des AtMega328P gewonnen werden, die relevante Grafik sieht folgendermassen aus:

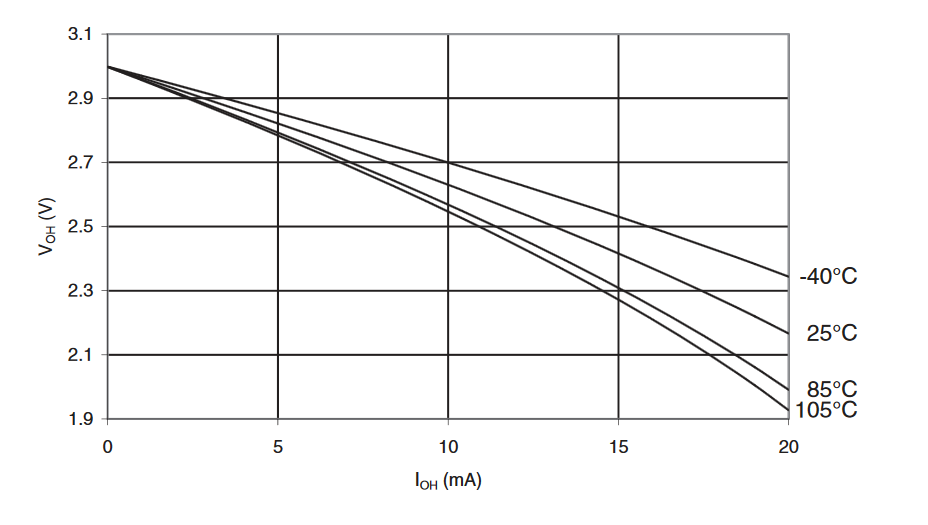


Abbildung 16 - GPIO Source Current AtMega328P

Diese Grafik ist bei einer Versorgungsspannung des Mikrocontrollers von 3.3V. Auf der X-Achse ist dabei der Strom aufgetragen, der von einem GPIO Pin bezogen wird und auf der Y-Achse die Spannung, die dieser Pin dann noch haben wird.

Der Sensor zur Leistungsmessung bezieht 10 mA, was bei einer Speisung mit GPIO Pin dazu führen würde, dass die Speisung dieses Sensors nur noch ca. 2.65 V betragen würde. Die Speisung muss also direkt vom PHY bezogen werden und darf nicht über einen Mikrocontrollerpin laufen.

Interrupt  
Für die I2C Schnittstelle kann ein Interrupt aufgesetzt werden. Dies ist wichtig, da die Abfrage der Daten wie in Kapitel 4.1 gesehen, 90 µs in Anspruch nimmt. Alle Funktionen, die für den Interrupt benötigt werden, können dem Anhang X entnommen werden.

### Pyrometer mit SPI

Der Genie Explorer TM96.1 Var B ist mit einem AtMega328P bestückt. Dieser Mikrocontroller hat ein SPI Baustein integriert, der vom IO-Link Stack aber schon verwendet wird für die Kommunikation mit dem PHY. Mit SPI können zwar mehrere Slaves an einer Leitung hängen, aber trotzdem wird hier nicht der integrierte SPI Baustein verwendet für die Sensordatenabfrage. Da das PHY knappe Zeitangaben hat vom Master, dass es einzuhalten hat, ist eine störungsfreie Kommunikation nur garantiert, wenn kein anderes Device an derselben Kommunikationsleitung hängt. Darum wird die Kommunikation mit dem Pyrometer mit Bitbanging realisiert.

Speisung  
Wie im Kapitel 5.6.5 unter der Überschrift „Speisung“ gesehen, kann ein GPIO Pin nicht genügend Strom liefern, um einen Sensor mit Strom zu versorgen. Da der Pyrometer rund 20mA Strom benötigt für den normalen Gebrauch, wird er wiederum direkt an die 3.3V Spannungsregelung des PHYs gehängt.

Bitbanging  
Das SPI Interface wird mit Delays und Pintoggling implementiert.

# Fazit

blabla

Abbildungsverzeichnis

[Abbildung 1 - Beispiel Anlagenarchitektur mit IO-Link [1] 3](file:///C:\Users\Stefanie\Documents\Studium\6.Semester\BDA\Dokumentation\Dokumentationsvorlage.docx#_Toc449970752)

[Abbildung 2 - Anschlussbelegung IO-Link Device [1] 4](file:///C:\Users\Stefanie\Documents\Studium\6.Semester\BDA\Dokumentation\Dokumentationsvorlage.docx#_Toc449970753)

[Abbildung 3 - Anschlussbelegung Port Class B 4](file:///C:\Users\Stefanie\Documents\Studium\6.Semester\BDA\Dokumentation\Dokumentationsvorlage.docx#_Toc449970754)

[Abbildung 4 - Übertragungsart verschiedener Daten [2] 7](file:///C:\Users\Stefanie\Documents\Studium\6.Semester\BDA\Dokumentation\Dokumentationsvorlage.docx#_Toc449970755)

[Abbildung 5 - Datenspeicherung bei IO-Link [2] 8](file:///C:\Users\Stefanie\Documents\Studium\6.Semester\BDA\Dokumentation\Dokumentationsvorlage.docx#_Toc449970756)

[Abbildung 6 - M-Sequenz Typen [2] 9](file:///C:\Users\Stefanie\Documents\Studium\6.Semester\BDA\Dokumentation\Dokumentationsvorlage.docx#_Toc449970757)

[Abbildung 7 - M-Sequenz Control 10](file:///C:\Users\Stefanie\Documents\Studium\6.Semester\BDA\Dokumentation\Dokumentationsvorlage.docx#_Toc449970758)

[Abbildung 8 - M-Sequenz Checksumme / Typ 10](file:///C:\Users\Stefanie\Documents\Studium\6.Semester\BDA\Dokumentation\Dokumentationsvorlage.docx#_Toc449970759)

[Abbildung 9 - M-Sequenz Wertestatus / Checksumme 11](file:///C:\Users\Stefanie\Documents\Studium\6.Semester\BDA\Dokumentation\Dokumentationsvorlage.docx#_Toc449970760)

[Abbildung 10 - Berechnung der minimalen Zykluszeit [2] 12](file:///C:\Users\Stefanie\Documents\Studium\6.Semester\BDA\Dokumentation\Dokumentationsvorlage.docx#_Toc449970761)

[Abbildung 11 - ISO/OSI Modell [5] 13](file:///C:\Users\Stefanie\Documents\Studium\6.Semester\BDA\Dokumentation\Dokumentationsvorlage.docx#_Toc449970762)

[Abbildung 12 - Struktur und Service eines IO-Link Devices [2] 14](file:///C:\Users\Stefanie\Documents\Studium\6.Semester\BDA\Dokumentation\Dokumentationsvorlage.docx#_Toc449970763)

[Abbildung 13 - Halbduplexe Kommunikation 15](file:///C:\Users\Stefanie\Documents\Studium\6.Semester\BDA\Dokumentation\Dokumentationsvorlage.docx#_Toc449970764)

[Abbildung 14 - SPI Konfiguration 17](file:///C:\Users\Stefanie\Documents\Studium\6.Semester\BDA\Dokumentation\Dokumentationsvorlage.docx#_Toc449970765)

[Abbildung 15 - Hardware Aufbau 19](file:///C:\Users\Stefanie\Documents\Studium\6.Semester\BDA\Dokumentation\Dokumentationsvorlage.docx#_Toc449970766)

Tabellenverzeichnis

[Tabelle 1 - I2C Protokoll Spezifikationen 16](#_Toc449970767)

[Tabelle 2 - Debugger Auswahl 20](file:///C:\Users\Stefanie\Documents\Studium\6.Semester\BDA\Dokumentation\Dokumentationsvorlage.docx#_Toc449970768)

[Tabelle 3 - Direct Parameter Page 2 der Demoapp 22](file:///C:\Users\Stefanie\Documents\Studium\6.Semester\BDA\Dokumentation\Dokumentationsvorlage.docx#_Toc449970769)

[Tabelle 4 - M-Sequenz Preoperate 23](file:///C:\Users\Stefanie\Documents\Studium\6.Semester\BDA\Dokumentation\Dokumentationsvorlage.docx#_Toc449970770)

[Tabelle 5 - M-Sequenz Operate 24](file:///C:\Users\Stefanie\Documents\Studium\6.Semester\BDA\Dokumentation\Dokumentationsvorlage.docx#_Toc449970771)

Literaturverzeichnis

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. (PNO), «IO-Link Systembeschreibung,» IO-Link, Juli 2013. [Online]. Available: http://www.io-link.com/share/Downloads/At-a-glance/IO-Link\_Systembeschreibung\_d\_2013.pdf. [Zugriff am Februar 2016]. |
| [2] | I.-L. Community, „IO-Link,“ Juli 2013. [Online]. Available: http://www.io-link.com/share/Downloads/Spec-Interface/IOL-Interface-Spec\_10002\_V112\_Jul13.pdf. |
| [3] | S. Feuz, HTI Burgdorf, 2007. [Online]. Available: https://prof.hti.bfh.ch/uploads/media/Bericht\_IO-Link.pdf. [Zugriff am April 2016]. |

Anhang

[A Aufgabenstellung 30](#_Toc449977504)

[B Anhang 2 31](#_Toc449977505)

1. Aufgabenstellung

Horw, 22. Februar 2016

Seite 1/3

**Diplomarbeit im Fachbereich Elektrotechnik**

hslu_d

**Aufgabe für Frau Stefanie Schmidiger**

**Sensoranbindung via IO-Link**

**Fachliche Schwerpunkte**

Automation & Embedded Systems

**Einleitung**

Laserschweisssysteme verfügen über eine Vielzahl von externen Sensoren zur Prozessüberwachung. Verwendet werden z.B. Pyrometer oder Kraft- und Wegmesssensoren. Diese Sensoren werden von einer zentralen Steuereinheit angesteuert und deren Daten ausgelesen. Bis heute werden die Sensoren über individuelle Schnittstellen angebunden. Im Rahmen der Arbeit soll ein Demonstrator-Setup er-stellt werden, mit dem die Einsetzbarkeit des IO-Link-Standards für diesen Zweck gezeigt werden soll. Die Evaluation entsprechender Komponenten und deren Einbindung in das bestehende Software-Framework sind hierbei wichtige Aspekte.

**Aufgabenstellung**

In dieser Arbeit wird ein IO-Link Slave entwickelt. Dieser Slave wird die Daten von 2 unterschiedli-chen Sensoren empfangen, bearbeiten und der IO-Link Schnittstelle zur Verfügung stellen. Er wird mit einem IO-Link Demoboard realisiert und programmiert. In einem zweiten Schritt wird dieser IO-Link Slave über einen Beckhoff IO-Link Master eingelesen.

**Projekt- und Terminplan**

Erstellen Sie einen Projekt- und Terminplans mit Meilensteinen. Stellen Sie einen Plan auf, wie Sie die Arbeit aufteilen.

**Pflichtenheft**

Ein detailliertes Pflichtenheft muss in Absprache mit Leister geschrieben werden. Es muss abgeklärt werden, mit welcher Zykluszeit und mit welcher Auflösung die Daten der 2 Sensoren erfasst werden müssen. Müssen die Daten noch lokal bearbeitet werden? Es muss abgeklärt werden, ob nur ein IO-Link Slave für die 2 Sensoren ausreichend ist oder ob es ein IO-Link Slave pro Sensor braucht. Andere Aspekten wie die mechanische Integration im Laserschweisssystem, die Verkabelung, die Kosten, die Speisung, den Arbeitsbereich (Temperatur, Feuchtigkeit, Vibrationen, usw.) müssen auch diskutiert werden. Wie lange müssen die Bauteile der Lösung in die Zukunft noch lieferbar sein?

**Wahl der Elektronik**

In diesem Arbeitspaket müssen die elektronischen Komponenten und die Softwareentwicklungsumge-bung gewählt werden. Idealerweise wird eine Demonstrationsboard gefunden, die die Entwicklung eines IO-Link Slave Prototyps vereinfacht.

**Programmieren**

Der IO-Link Slave muss in der gewählten Softwareentwicklungsumgebung programmiert werden. Die Daten der Sensoren werden über I2C und/oder SPI empfangen, bearbeitet und der IO-Link Schnittstelle zur Verfügung gestellt.

**Test mit einem Beckhoff IO-Link Master**

Der neue IO-Link Slave wird mit einem Beckhoff IO-Link Master verbunden. Dieser Master nimmt die Form einer EtherCAT Klemme, die über eine Beckhoff SPS konfiguriert und angesprochen wird. Es wird ein SPS Programm geschrieben um den neuen Slave zu testen. Es muss geprüft werden, dass der neue Slave die Anforderungen vom Pflichtenheft erfüllt.

**Design, Layout und Realisation der Elektronik**

Wenn genug Zeit vorhanden ist, wird einen ersten Hardware Prototyp für den Slave entworfen. Eine eigene Schaltung wird zu diesem Zweck gezeichnet, produziert, bestückt, programmiert und in Betrieb genommen.

**Termine**

Start der Arbeit: Montag 22.2.2016

Zwischenpräsentation: Zu vereinbaren im Zeitraum 11.4. -13.5.2016

Abgabe Broschüre-Doku: Freitag 27. Mai 2016, per Mail an Betreuer und H. R Andrist

Abgabe Schlussbericht: Freitag 10. Juni 2016, vor 16:00 im Sekretariat

Abgabe Poster-File: Montag 20. Juni 2016 per Mail an Betreuer und H. R. Andrist

Abschlusspräsentation: Zu vereinbaren im Zeitraum 13.6. – 1.7.2016

**Dokumentation**

Der gebundene Schlussbericht ist in 4-facher Ausführung zu erstellen. Er enthält zudem zwingend

- die folgende Selbstständigkeitserklärung auf der Rückseite des Titelblattes:

*„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt und keine ande-ren als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Sämtliche verwendeten Textausschnitte, Zitate oder Inhalte anderer Verfasser wurden ausdrücklich als solche gekennzeichnet.*

*Horw, Datum, eigenhändige Unterschrift"*

- einen englischen Abstract mit maximal 2000 Zeichen.

- Ein Titelblatt mit: Name des Studierenden, Titel der Arbeit, Abgabedatum, Dozent, Experte,  
 Abteilung, Klassifikation (Einsicht/Rücksprache/Sperre)

- Eine CD-Hülle, innen, auf der Rückseite des Berichtes

Alle Exemplare des Schlussberichtes müssen termingerecht abgeben werden. Zusätzlich muss zu jedem Exemplar eine CD mit dem Bericht (inkl. Anhänge), dem Poster und den Präsentationen, Messdaten, Programmen, Auswertungen, usw. unmittelbar nach der Präsentation abgeben werden.

Ein Poster sowie Unterlagen für eine Diplomarbeitsbroschüre sind gemäss den offiziellen Layout-Vorgaben termingerecht einzureichen.

**Fachliteratur/Web-Links/Hilfsmittel**

**Geheimhaltungsstufe:**  Einsicht/Rücksprache/Sperre

**Verantwortlicher Dozent/Betreuungsteam, Industriepartner**

**Dozent**  Prof. Dr. Thierry Prud‘homme thierry.prudhomme@hslu.ch

**Industriepartner** Leister Technologies AG

Laser Plastic Welding

Galileostrasse 10

CH-6056 Kaegiswil

Dr. Jens Rauschenberger

jens.rauschenberger@leister.com Tel. 041 662 7537

**Experte**

Dr. Piotr Myszkorowski

piotr.myszkorowski@sigmatek.ch Tel +41 52 354 50 50

Hochschule Luzern

Technik & Architektur

Prof. Dr. Thierry Prud‘homme

1. Direct Parameter Page 1

Der Inhalt der Direct Parameter Page 1 ist von der IO-Link Community vorgegeben und kann aus Tabelle 6 entnommen werden. Für mehr Informationen zum Inhalt der jeweiligen Speichestelle kann im Dokument „IO-Link Interface Specs“ [2] der Anhang B.1 studiert werden.

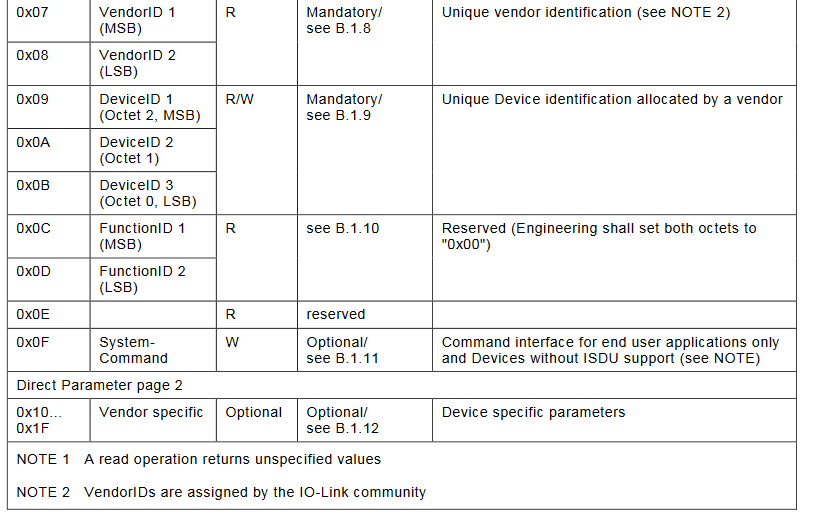
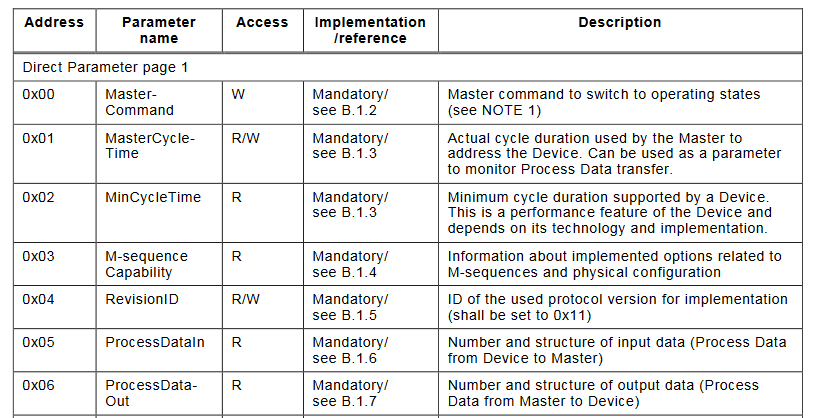


Tabelle 6 - Direct Parameter Page 1 [2]