

Laborübung Sensor/Aktor-Systeme
Targetsysteme

Wolfgang Kastner

13. April 2007

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Übersicht	3
3 Detailbeschreibungen	5
3.1 Zusammenstellung aller Signale	5
3.2 Motorcontroller	7
3.3 Schlitteneinheit	8
3.4 Spannvorrichtung	9
3.5 Sensor-Bank	11
3.6 Bedienelemente	13
3.7 AS-i-Module	14
3.8 Profibus-DP Netzwerk	14
4 Funktionsprinzipien Sensoren und Aktoren	15
4.1 Digitale Sensoren	15
4.2 Analoge Sensoren	17
4.3 Digitale und analoge Aktoren	18

Abbildungsverzeichnis

1 Verbindungshierarchie Targetsystem	3
2 Komponenten und Photo Targetsystem	4
3 Photo Schlitteneinheit	8
4 Photo Spannvorrichtung	10
5 Photo Sensor-Bank	11
6 Photo Bedienelemente	13
7 Positionsmessprinzip optisch	17
8 Multiturnprinzip	17
9 Prinzip der optischen Triangulation	18

Tabellenverzeichnis

1 Signale Sensoren und Aktoren	7
2 ASi-Bits Induktiver Näherungsschalter	12
3 ASi-Bits Sonar-Näherungsschalter	13
4 AS-i-Module	14
5 DP-Daten	14

Wir danken den Firmen

SIEMENS

◇

FESTO

für ihre großzügige Unterstützung.

1 Zielsetzung

Die vorliegende Beschreibung¹ enthält die für die Lösung der Beispiele wesentlichen Informationen über Aufbau und Funktionsweise unserer Targetsysteme. Zusätzliche Details, insbesondere die Programmierung der analogen AS-i-Module, sind den online verfügbaren Manuals und Datenblättern zu entnehmen.

2 Übersicht

Unsere Targetsysteme bestehen aus

- Siemens SPS [S7-214] mit AS-i + Profibus-DP Kommunikationsprozessor [CP242-8],
- AS-i-I/O-Modulen,
- Sensoren und Aktoren,
- Absolutwert-Drehwinkelgeber als komplexer, Profibus-DP-fähiger Sensor,

die elektrisch und pneumatisch (= mittels Druckluft) miteinander verbunden sind. Abbildung 1 zeigt die Verbindungshierarchie, inklusive des Entwicklungs-PCs, welcher die Programmierung der SPS mit der Step7/Microwin IEC-1131-3-Entwicklungsumgebung über die RS-232-Verbindung und die Programmierung eines DP-Masters mit der Microsoft Visual Studio 6.0 C++-Entwicklungsumgebung über die CP-5613 DP-Master PC-Karte ermöglicht.

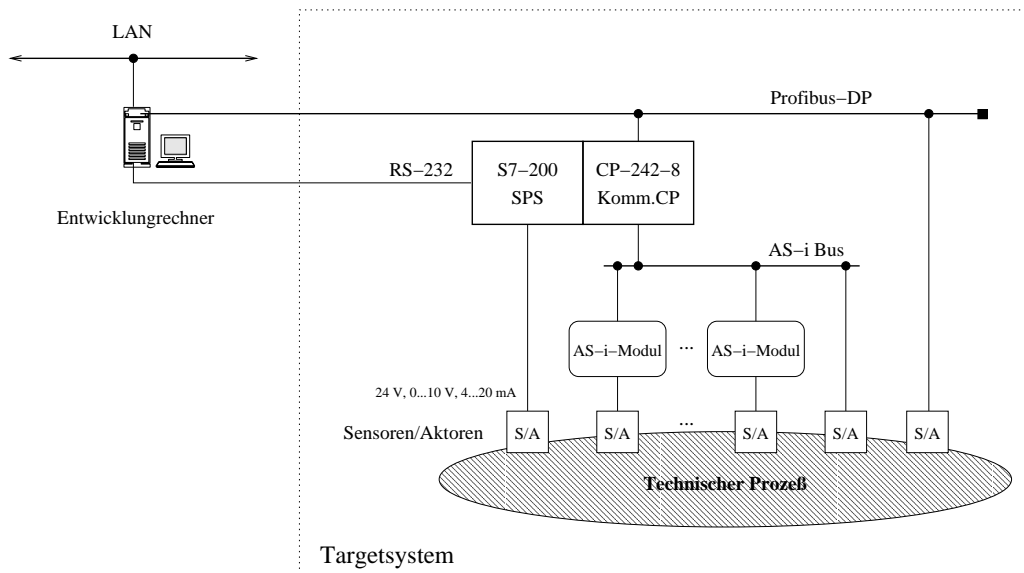


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Verbindungshierarchie eines Targetsystems

Abbildung 2 zeigt eine schematische Darstellung aller Komponenten und ein Photo eines Targetsystems.

¹Diese Beschreibung ist eine korrigierte und gekürzte Version der Targetsystembeschreibung, die im Rahmen der Lehrveranstaltungen *Prozessautomatisierung LU* und *Einführung in die Automation LU* von Ulrich Schmid, Friedrich Kastner-Masilko und Wolfgang Kastner erstellt wurde.

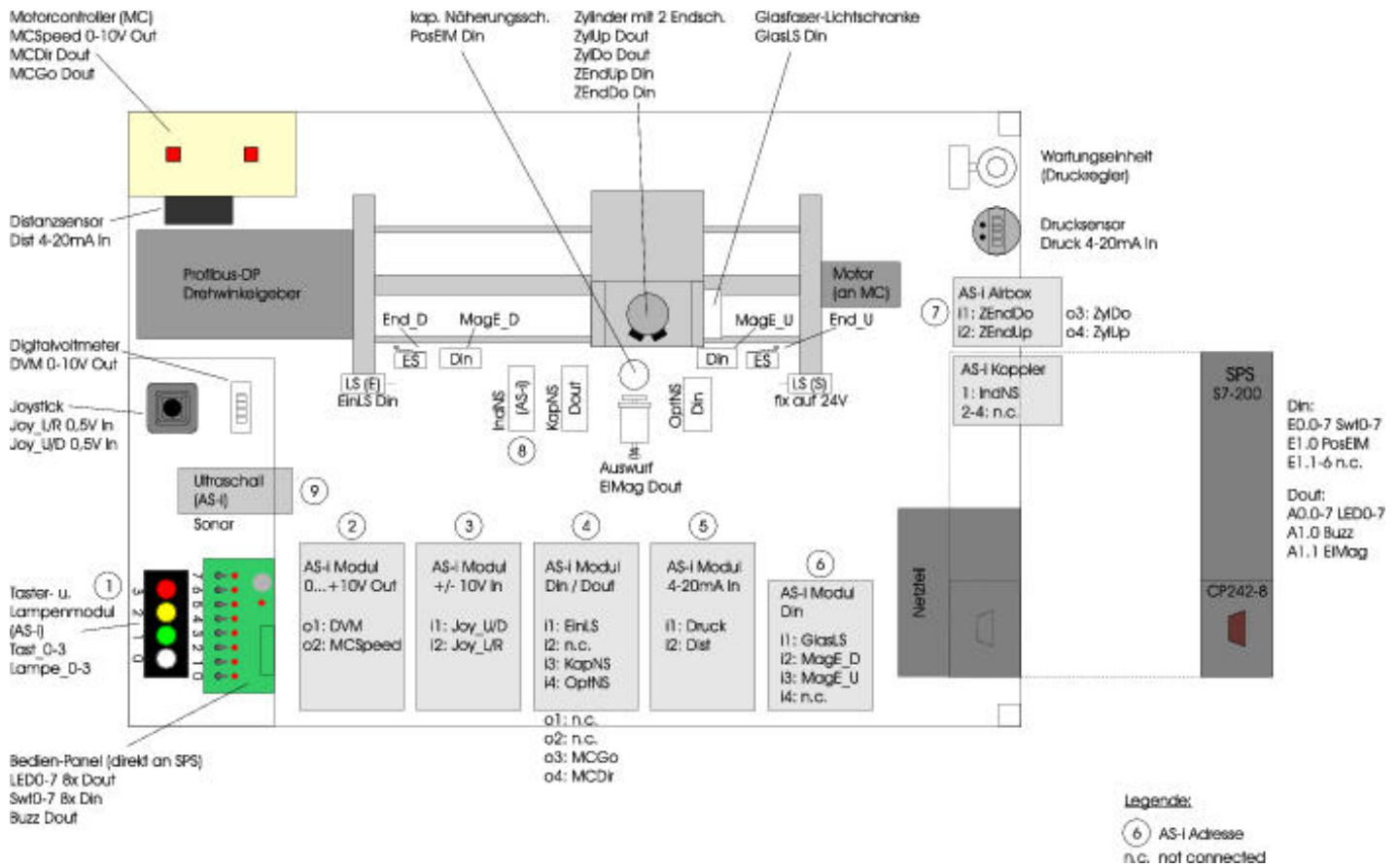


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Komponenten und Photo eines Targetsystems

Die Komponenten eines Targetsystems können zu folgenden Einheiten zusammengefaßt werden:

- *Motorcontroller* (Abschnitt 3.2)

Der Motorcontroller enthält die Leistungselektronik zur Ansteuerung des Schlittenmotors, einige Sicherheitseinrichtungen und eine einfache Handsteuerung.

- *Schlitteneinheit* (Abschnitt 3.3)

Mit Hilfe der Schlitteneinheit kann die darauf montierte pneumatische Spannvorrichtung längs einer Bank von Sensoren/Aktoren bewegt werden.

- *Spannvorrichtung* (Abschnitt 3.4)

Die Spannvorrichtung erlaubt es, ein auf dem Schlitten liegendes Werkstück mit Hilfe eines pneumatischen Zylinders zu fixieren.

- *Sensor-Bank* (Abschnitt 3.5)

Längs des Schlittens sind eine Reihe von Sensoren angebracht, mit deren Hilfe etwa das Material des Werkstücks bestimmt werden kann.

- *Bedienelemente* (Abschnitt 3.6)

Für die Benutzer-Ein/Ausgabe stehen Joystick, Digitalvoltmeter, Bedientaster und Bedienpanel zur Verfügung.

- *AS-i-Module* (Abschnitt 3.7)

Ein Großteil der vorhandenen Sensoren und Aktoren ist an AS-i-I/O-Module angeschlossen, die von der S7-214 SPS über den CP-242-8 angesprochen werden können.

- *Profibus-DP-fähiger Absolutwert-Drehwinkelgeber* (Abschnitt 3.8)

Der Absolutwert-Drehwinkelgeber (im folgenden auch ENCODER genannt) ist mit der Spindel – über die der Schlittenmotor die Schlitteneinheit bewegt – über eine flexible Kupplung aus Korkmaterial verbunden. Er ermöglicht eine exakte Bestimmung der Position der Schlitteneinheit.

3 Detailbeschreibungen

Dieser Abschnitt enthält genauere Informationen über Aufbau und Funktionsweise der Komponenten unseres Targetsystems.

3.1 Zusammenstellung aller Signale

Tabelle 1 enthält die zur Programmierung der Beispiele wesentlichen Informationen über die von den Sensoren kommenden bzw. zu den Aktoren gehenden Signale. Folgende Konventionen für “Ortskoordinaten” am Targetsystem werden benutzt:

- *Up* ... Richtung SPS (= Rückwand des Targetsystems)
- *Down* ... Richtung Motorcontroller (= Vorderseite des Targetsystems)
- *Left, Right* ... vom Betrachter an der Vorderseite des Targetsystems aus gesehen

In der Spalte *Modul(#)* wird das **AS-i**-Modul bzw. der DP-Slave (und dessen Slave-Nummer) angegeben, an welchem das betreffende Signal angeschlossen ist. Die Spalte *Bit/Ch* gibt im Falle von digitalen Ein/Ausgängen das jeweilige **AS-i**-Bit, bei analogen Ein/Ausgängen aber die jeweilige Kanalnummer an. Beachten Sie, da die Nummern digitaler Inputs/Outputs (I1, I2, ...) bei 1 beginnen, die der korrespondierenden **AS-i**-Bits (D0, D1, ...) aber bei 0.

Signale / Sensoren / Aktoren				
Name	Typ	Modul(#)	Bit/Ch	Bedeutung
BUZZ	Dig.Out	SPS direkt	A1.0	Summer (0 ... aus)
DIST	An.In	ASiIN(5)	2	[Distanzsensor Schlittenposition] (4–20 mA ... Up–Down)
DRUCK	An.In	ASiIN(5)	1	Drucksensor (4–20 mA ... 0–10 bar)
DVM	An.Out	ASiUou(2)	1	Anzeige Digitalvoltmeter (0–10V)
EINLS	Dig.In	ASiDio(4)	D0	[Sicherungslichtschranke] (0 ... nicht unterbrochen)
ELMAG	Dig.Out	SPS direkt	A1.1	Elektromagnet Auswurf (0 ... nicht aktiv)
END_D	Dig.In	–	–	Motorcontroller [mech. Endschalter] Down
END_U	Dig.In	–	–	Motorcontroller [mech. Endschalter] Up
GLASLS	Dig.In	ASiDin(6)	D0	[Glasfaser-Lichtschranke] (0 ... nicht unterbrochen)
INDNS	Dig.In	ASi dir.(8)	D2–D0	Induktiver Näherungsschalter (s. Tab. 2)
JOY_L/R	An.In	ASiUin(3)	2	Joystick Left/Right (-0.5 – +0.5 V ... Left–Right)
JOY_U/D	An.In	ASiUin(3)	1	Joystick Up/Down (-0.5 – +0.5 V ... Down–Up)
KAPNS	Dig.In	ASiDio(4)	D2	[Kapazitiver Näherungsschalter] (0 ... Werkstück weg)
LAMPE_0	Dig.Out	ASi dir.(1)	D0	Lampe Bedientaster rot (0 ... aus)
LAMPE_1	Dig.Out	ASi dir.(1)	D1	Lampe Bedientaster weiß (0 ... aus)
LAMPE_2	Dig.Out	ASi dir.(1)	D2	Lampe Bedientaster grün (0 ... aus)
LAMPE_3	Dig.Out	ASi dir.(1)	D3	Lampe Bedientaster gelb (0 ... aus)
LED0–7	Dig.Out	SPS direkt	A0.0–7	LEDs Bedienpanel (0 ... aus)
MAGE_D	Dig.In	ASiDin(6)	D1	[Magnetischer Endschalter] Down (0 ... Schlitten weg)
MAGE_U	Dig.In	ASiDin(6)	D2	[Magnetischer Endschalter] Up (0 ... Schlitten weg)
MCDIR	Dig.Out	ASiDio(4)	D3	Schlittenmotor Fahrtrichtung (0 ... Richtung Up)
MCGo	Dig.Out	ASiDio(4)	D2	Schlittenmotor Go/Stop (0 ... Stop)
MCSPEED	An.Out	ASiUou(2)	2	Geschwindigkeit Schlittenmotor (0–10 V ... 0–8 mm/s)
OPTNS	Dig.In	ASiDio(4)	D3	[Optischer Näherungsschalter] (0 ... Werkstück weg)
POSELM	Dig.In	SPS direkt	E1.0	[Kap. Näherungsschalter] ELMAG (0 ... Werkstück da)
SONAR	Dig.In	ASi dir.(9)	D2–D0	[Ultraschall Mehrbereichs-Näherungsschalter] (s. Tab. 3)
SWT0–7	Dig.In	SPS direkt	E0.0–7	Schalter Bedienpanel (0 ... Schalter Up)
TAST_0	Dig.In	ASi dir.(1)	D0	Bedientaster rot (0 ... nicht gedrückt)
TAST_1	Dig.In	ASi dir.(1)	D1	Bedientaster weiß (0 ... nicht gedrückt)
TAST_2	Dig.In	ASi dir.(1)	D2	Bedientaster grün (0 ... nicht gedrückt)
TAST_3	Dig.In	ASi dir.(1)	D3	Bedientaster gelb (0 ... nicht gedrückt)
ZENDDo	Dig.In	ASiAIR(7)	D0	[Zylinder-Endschalter] unten (0 ... nicht unten)
ZENDUP	Dig.In	ASiAIR(7)	D1	[Zylinder-Endschalter] oben (0 ... nicht oben)
ZYLDo	Pn.Out	ASiAIR(7)	D2	Zylinder absenken (0 ... nicht absenken)
ZYLUP	Pn.Out	ASiAIR(7)	D3	Zylinder anheben (0 ... nicht anheben)

Name	Typ	Modul(#)	Bit/Ch	Bedeutung
SPSIn	DP.In	DP-SLV(01)	–	[CP242-8]-Profibus-DP-Eingangsdaten
SPSOut	DP.Out	DP-SLV(01)	–	[CP242-8]-Profibus-DP-Ausgangsdaten
ENCOPos	DP.In	DP-SLV(55)	–	[Encoder] Positionswert (0–ca.260000 μ m ... Down–Up)
ENCOCAL	DP.Out	DP-SLV(55)	–	[Encoder] Kalibrierwert (0–300000 μ m)

Tabelle 1: Übersicht über die Signale der Sensoren und Aktoren eines Targetsystems

3.2 Motorcontroller

Der Motorcontroller enthält hauptsächlich die *Leistungselektronik* zur Ansteuerung des *Schlittenantriebsmotors Festo D.AS-DC-G-24-2 (MOTOR)*. Hierbei handelt es sich um einen 24 V (0.3 A Stromaufnahme) *Gleichstrommotor* mit einem Planetengetriebe, der den Schlitten mittels einer Spindel bewegen kann. Die Drehzahl ist ungefähr proportional zur angelegten Motorspannung und kehrt sich bei Anlegen einer negativen Spannung um. Die *Maximaldrehzahl* ist etwa 3 U/s, wodurch sich der Schlitten etwa mit 9 mm/s bewegt.

Von der SPS kann der Schlittenantrieb durch eine *Steuerspannung* im Bereich 0 ... 10 V (*MCSPEED*) und zwei digitale Signale (*MCDIR*, *MCGO*) kontrolliert werden. Konkret gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten:

- *Digitaler Betrieb*: Wird *MCGO* aktiviert, so fährt der Schlitten mit Maximalgeschwindigkeit in die durch *MCDIR* angegebene Richtung.
- *Analoger Betrieb*: Wird eine genügend große² Steuerspannung angelegt, so fährt der Schlitten mit der entsprechenden Geschwindigkeit in die durch *MCDIR* angegebene Richtung. Der *Leistungsverstärker* des Motorcontrollers hat die Aufgabe, die Steuerspannung auf die korrespondierende Motorspannung $\pm 0 \dots 24$ V mit der erforderlichen Leistung zu bringen.

Darüberhinaus stellt der Motorcontroller einige *Sicherheitseinrichtungen* sowie eine primitive *Handsteuerung* für die Schlittenbewegung zur Verfügung; diese sind nicht per SPS-Programm beeinflussbar:

- *Handsteuerungs-Taster (HANDDO, HANDUP)*. Mit Hilfe dieser Taster ist es möglich, den Schlitten mit Maximalgeschwindigkeit per Hand in Richtung Down oder Up zu fahren. Beachten Sie, daß die Handsteuer-Kommandos Priorität vor einer eventuellen SPS-Steuerung haben.
- *[Mechanische Endschalter] (END_D, END_U)*. Diese Endschalter werden dazu verwendet, ein Anschlagen des Schlittens an den Rändern zu verhindern: Wenn einer dieser Endschalter anspricht, wird der Schlittenmotor gestoppt.

Hinweis: Wenn der Schlitten so weit gefahren wurde, daß einer der beiden Endschalter *END_D* bzw. *END_U* angesprochen hat, so ist es **nicht mehr** möglich, den Schlitten weiter in diese Richtung zu bewegen und der entsprechende Handsteuerungstaster leuchtet auf. Der Schlitten kann dann aber entweder mit dem nicht leuchtenden Taster oder per SPS in die andere Richtung gefahren werden.

²Beachten Sie, daß sich *MOTOR* erst ab einer Steuerspannung von ca. 1.8 V zu drehen beginnt!

- *Einweg-Lichtschranke* [*IDEC SA1C-TD3*] (*EINLS*). Dieser digitale Sensor schaltet seinen *open-collector* PNP-Ausgang durch, wenn die zwischen Sender- und Empfängereinheit bestehende Lichtschranke (bis zu 10 m Entfernung wären möglich) unterbrochen wird (*Dunkel-Schaltung*). Eine an der Empfängereinheit angebrachte grüne LED zeigt die Betriebsbereitschaft (Stabilität) an, mit Hilfe einer zusätzlichen roten LED kann der jeweilige Zustand des Ausganges festgestellt werden. Die Ansprechempfindlichkeit ist mit Hilfe eines Potentiometers einstellbar.

Wir verwenden *EINLS*, um zu verhindern, daß ein eventuell zu weit herausstehendes Werkstück die vor dem Schlitten angebrachten Sensoren beschädigt: Der Motorcontroller stoppt den Schlittenmotor sofort, wenn die zwischen Schlitten und Sensoren angebrachte *EINLS* unterbrochen wird.

3.3 Schlitteneinheit

Mit Hilfe der Schlitteneinheit kann die darauf montierte pneumatische *Spannvorrichtung* längs der *Sensor-Bank* bewegt werden. Die Abbildung 3 zeigt ein Photo der gesamten Einheit.

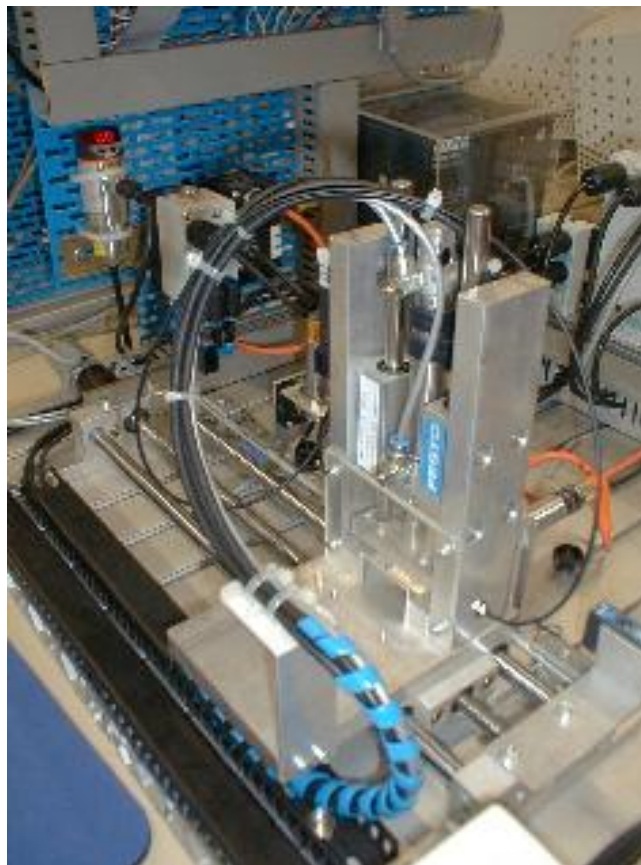


Abbildung 3: *Photo der Schlitteneinheit*

Folgende Sensoren und Aktoren werden in der Schlitteneinheit verwendet:

- *Magn. Näherungsschalter* [*Festo SMT0-1-NS-K=LED-24*] (*MAGE_D*, *MAGE_U*). Dieser digitale Sensor schaltet seinen *open-collector* NPN-Ausgang durch, wenn der in den

Schlitten seitlich eingelassene Dauermagnet nahe genug an seine (sensitive) Oberfläche herangeführt wird; in diesem Falle leuchtet auch die Kontroll-LED des Sensors auf.

Mit Hilfe von `MAGE_D` bzw. `MAGE_U` kann von der SPS das Erreichen der Schlittenendposition (knapp vor den mechanischen Endschaltern `END_D` bzw. `END_U`) abgefragt werden.

- *Distanzsensor [IDEC SA1D-LK4] (DIST)*. Hierbei handelt es sich um einen analogen optischen Infrarot-LED-Distanzsensor auf *Triangulationsbasis*, der an seinem Ausgang einen dem gemessenen Abstand (50...20 cm) entsprechenden Strom (4...20 mA) liefert. Allerdings ist der Zusammenhang zwischen Entfernung und Spannung mit einem beträchtlichen *Linearitätsfehler* behaftet, der —ohne Software-Kompensationsmaßnahmen— nur Messungen mit einer Genauigkeit im Millimeterbereich zuläßt. Eine LED-Balkenanzeige am Sensor erlaubt die optische Kontrolle der gemessenen Entfernung. Der Arbeitsbereich (Maximal- und Minimalentfernung) kann mit Hilfe eines Potentiometers eingestellt werden.

Mit Hilfe von `DIST` kann somit sowohl die Absolutposition des Schlittens ermittelt als auch eine Distanzmessung zwischen zwei Schlittenpositionen durchgeführt werden.

- *Absolutwert-Drehwinkelgeber [SIMODRIVE sensor - Class 2 Multiturn] (ENCODER)*. Dieser komplexe Sensor detektiert optisch den Drehwinkel bzw. die Position der Meßwelle über das *Codescheibenprinzip*, wobei der besondere Vorteil des Absolutwert-Drehwinkelgebers darin besteht, daß der Wert ohne Referenzierung oder Nullung (Justage, bei der der aktuelle Positionswert als neue 0-Position im Drehgeber gespeichert wird) sofort ab Start-Up zur Verfügung steht. Selbst nach einem Spannungsausfall geht der momentane Positionswert nicht verloren. Dieser Wert wird von einem Mikroprozessor ausgewertet und über *Profibus-DP* weitergegeben, wodurch Ungenauigkeiten einer analogen Übertragung ausgeschlossen werden.

Mit Hilfe des `ENCODER` kann im Gegensatz zu `DIST` die Absolutposition des Schlittens ohne Linearitätsfehler in der Einheit [μm] ermittelt werden.

3.4 Spannvorrichtung

Die Spannvorrichtung erlaubt es, ein auf dem Schlitten liegendes Werkstück mit Hilfe eines pneumatischen Zylinders zu fixieren. Abbildung 4 zeigt die gesamte Einheit.

Folgende Sensoren und Aktoren werden in der Spannvorrichtung verwendet:

- *Doppeltwirkender Zylinder [Festo DSNU-16-50-PPV-A] (ZYL)*. Bei diesem Aktor handelt es sich um einen pneumatischen Zylinder mit 16 mm Durchmesser und max. 50 mm Hub, dessen Schubstange mittels zweier Druckluftanschlüsse nach oben und nach unten bewegt werden kann. Die Druckluft wird von zwei in der *Airbox ASI AIR(7)* enthaltenen Magnetventilen geliefert, die von der SPS über zwei digitale Signale `ZYLUP` bzw. `ZYLDO` aktiviert werden können. Um also `ZYL` abzusenken, muß `ZYLDO` aktiviert und `ZYLUP` deaktiviert werden; um `ZYL` anzuheben, muß `ZYLUP` aktiviert und `ZYLDO` deaktiviert werden.

Mit Hilfe von `ZYL` kann ein auf den Schlitten gelegtes Werkstück (Stangenmaterial, Abmessungen 20 mm x 20 mm x 140 mm) fixiert werden.



Abbildung 4: Photo der auf der Schlitteneinheit montierten Spannvorrichtung

ACHTUNG: Pneumatische Zylinder, selbst so kleine wie der unsere, haben eine beträchtliche Kraft, insbesondere bei hohem Betriebsdruck. Wir haben bei der mechanischen Konstruktion versucht, die Verletzungsgefahr selbst bei fahrlässigem Spielen so gering wie möglich zu halten. Greifen Sie aber bitte dennoch NIEMALS in den Ausschnitt der Acryl-Schutzabdeckung vor dem Zylinder hinein!

- *Magn. Näherungsschalter* [*Festo SMT0-4U-PS-S-LED-24*] (*ZENDUP,ZENDDO*). Dieser digitale Sensor schaltet seinen *open-collector* PNP-Ausgang durch, wenn der magnetische Kolben des Zylinders nahe genug an seine (sensitive) Oberfläche herangeführt wird; in diesem Falle leuchtet auch die Kontroll-LED des Sensors auf.

Mit Hilfe von *ZENDUP* bzw. *ZENDDO* kann von der SPS das Erreichen der oberen bzw. unteren Endposition des Zylinders abgefragt werden. Damit ist es z.B. möglich, festzustellen, wann *ZYL* nach dem Aktivieren von *ZYLDO* tatsächlich das Werkstück fixiert hat – immerhin dauert die Bewegung des Zylinders ja (für eine SPS) ziemlich lange.

- *Glasfaser-Lichtschranke* [*IDEC SA1C-FD3FC*] (*GLASLS*). Bei diesem digitalen Sensor handelt es sich um eine Lichtschranke mit zwei *Glasfaser-Lichtleitern*, die ihren *open-collector* NPN-Ausgang durchschaltet, wenn die Lichtschranke zwischen Sender- und Empfänger-Glasfaser nicht unterbrochen ist (*Hell-Schaltung*). Eine am Sensor angebrachte grüne LED zeigt die Betriebsbereitschaft (Stabilität), eine zusätzliche rote LED den Zustand des Ausganges an. Die Ansprechempfindlichkeit kann mit Hilfe eines am Sensor vorhandenen Potentiometers eingestellt werden; darüberhinaus kann auch die “Ansprech-

geschwindigkeit” gewählt werden.

GLASLS kann dazu verwendet werden, um von der SPS aus zu überprüfen, ob ein Werkstück am Schlitten liegt — allerdings muß dazu der Zylinder **ZYL** oben sein!

- *Druck-Sensor IFM PN3024 (DRUCK)*. Dieser analoge Sensor erlaubt die Erfassung des Luftdrucks in der Pneumatik-Versorgung des Zylinders für **ZYLDO** und somit des Spanndrucks. Beachten Sie, daß dieser Druck nur dann von 0 verschieden ist, wenn **ZYLDO** aktiviert wurde. **DRUCK** liefert einen dem momentanen Druck im Bereich 0 ... 10 bar proportionalen Ausgangsstrom im Bereich 4 ... 20 mA, der auch (in bar) auf einer 3-stelligen Siebensegmentanzeige am Sensor dargestellt wird. Die ebenfalls zur Verfügung stehende programmierbare Überwachungsfunktion wird bei uns nicht verwendet.

3.5 Sensor-Bank

Längs des Schlittens ist eine “Bank” von Sensoren angebracht, mit deren Hilfe primär das Material des Werkstücks bestimmt werden kann. Abbildung 5 zeigt diese Einheit.



Abbildung 5: *Photo der neben dem Schlitten angeordneten Sensor-Bank*

Die Sensor-Bank besteht aus folgenden Sensoren und Aktoren:

- *Induktiver Näherungsschalter Siemens BERO 3RG4613-3WS00 (INDNS)*. Dieser digitale Sensor hat ein integriertes **AS-i**-Interface und kann somit ohne den Umweg über ein **AS-i**-Modul an den **AS-i**-Bus angeschlossen werden. Er erkennt, wenn ein elektrisch leitfähiger (z.B. metallischer) Gegenstand in die Nähe (0–5 mm) seiner sensitiven Stirnfläche kommt.

Der Sensor stellt seine Information über D0–D2 am **AS-i** wie in Tabelle 2 gezeigt bereit.

ASi-Bit	Bedeutung
D0	Schaltsignal (0 ... Gegenstand weg)
D1	Schaltsignal valid (0 ... invalid/unsicher)
D2	Betriebszustand (0 ... Fehlerfall)

Tabelle 2: *Format der von INDNS gelieferten AS-i-Bits*

- **Kapazitiver Näherungsschalter** [*Siemens BERO 3RG16 13-0AB00*] (**KAPNS**). Dieser digitale Sensor schaltet seinen **open-collector** PNP-Ausgang durch, wenn sich ein (beliebiger) Gegenstand in genügender Nähe (0–5 mm) seiner sensitiven Stirnfläche befindet; in diesem Falle leuchtet auch die Kontroll-LED am Sensor auf.
- **Optischer Sensor** [*Matsushita MQ-VD2AR-DC 12-24 V*] (**OPTNS**). Es handelt sich bei diesem digitalen Sensor um einen *Markierungsleser*, also um eine *Reflexions-Lichtschranke*, die auf unterschiedlich reflektierende Materialien auch sehr kleiner Ausdehnung (0.5 mm) anspricht. Der **open-collector** NPN-Ausgang des Sensors wird durchgeschaltet, wenn der Lichteinfall unterbrochen ist, d.h., wenn sich ein nichtreflektierendes (schwarzes — oder auch gar kein) Material im Erkennungsbereich (20 mm vor Stirnfläche) befindet (*Dunkel-Schaltung*). Zwei am Sensor befindliche LEDs (OPE und ADJUST) zeigen genügend starken Lichteinfall an. Die Erkennungsempfindlichkeit des Sensors kann mit Hilfe eines Potentiometers eingestellt werden.
- **Auswurf-Elektromagnet** *Binder 43-11603* (**ELMAG**). Hierbei handelt es sich um einen Elektromagneten, der mit 24 V Gleichstrom (Stromaufnahme ca. 0.4 A) betrieben wird; bei Anlegen dieser Spannung wird ein Metallkern (Anker) in das Innere der Spule gezogen und somit die Schubstange ausgefahren.

ELMAG kann dazu verwendet werden, ein auf dem Schlitten liegendes Werkstück auszuwerfen — allerdings muß dazu der Zylinder **ZYL** oben sein! Beachten Sie, daß wir mittels eines eigenen kapazitiven Näherungsschalters **POSELM** per Hardware sichergestellt haben, daß **ELMAG** nur in der richtigen Position ausgelöst werden kann. Die hierfür notwendige Serienschaltung des NPN-Ausgangstransistors von **POSELM** mit dem Hubmagneten bringt es allerdings mit sich, daß Sie **ELMAG** erst einschalten sollten, wenn **POSELM** aktiv (= 0) ist. Andernfalls spricht die interne Schutzschaltung an, sodaß der Hubmagnet bei einem späteren Ansprechen von **POSELM** im Endeffekt nicht betätigt wird.

- **Kapazitiver Näherungsschalter** [*Rechner KAS-70-A13-S*] (**POSELM**). Dieser digitale Sensor schaltet seinen **open-collector** NPN-Ausgang durch, wenn sich ein (beliebiger) Gegenstand in genügender Nähe (0–8 mm) seiner sensitiven Stirnfläche befindet; in diesem Falle leuchtet auch die Kontroll-LED an der Rückseite des Sensors auf. Die Ansprechempfindlichkeit kann mit Hilfe eines am Sensor befindlichen Potentiometers eingestellt werden.

POSELM meldet, wenn sich der Schlitten mit einem daraufliegenden Werkstück in jener Position befindet, in der **ELMAG** betätigt werden darf. Da **POSELM** mit **ELMAG** in Serie geschaltet ist, kann letzterer nur ausgelöst werden, wenn **POSELM** angesprochen hat (siehe **ELMAG**).

- *Sonar-Näherungsschalter* [*Siemens SONAR-BERO 3RG61 12-3WS00*] (**SONAR**). Dieser digitale Sensor hat ein integriertes **AS-i**-Interface und kann somit ohne den Umweg über ein **AS-i**-Modul an den **AS-i**-Bus angeschlossen werden. Er erkennt, wenn ein ausreichend großer, schallreflektierender Gegenstand in die über seine Stirnfläche austretende Ultraschallkeule (Öffnungswinkel ca. 5°) gelangt. Er kann dabei 3 verschiedene Distanzbereiche unterscheiden, die über eingebaute Kontroll-LEDs und die Bits D0–D2 am **AS-i** wie in Tabelle 3 gezeigt geliefert werden. Beachten Sie, daß Gegenstände außerhalb der erlaubten Distanzbereiche undefinierte Werte in D0–D2 liefern.

ASi-Bit	Bedeutung
D0	Gegenstand im Bereich ca. 55–125 mm vor Stirnfläche
D1	Gegenstand im Bereich ca. 125–220 mm vor Stirnfläche
D2	Gegenstand im Bereich ca. 220–300 mm vor Stirnfläche

Tabelle 3: *Format der von SONAR gelieferten AS-i-Bits*

Mit Hilfe von **SONAR** kann z.B. festgestellt werden, ob jemand die Position der Sensoren **INDNS**, **KAPNS** und **OPTNS** verändert (also die Rändelschrauben angreift).

3.6 Bedienelemente

Für die Benutzer-Ein/Ausgabe stehen eine Reihe von Komponenten zur Verfügung, die in Abbildung 6 gezeigt werden.

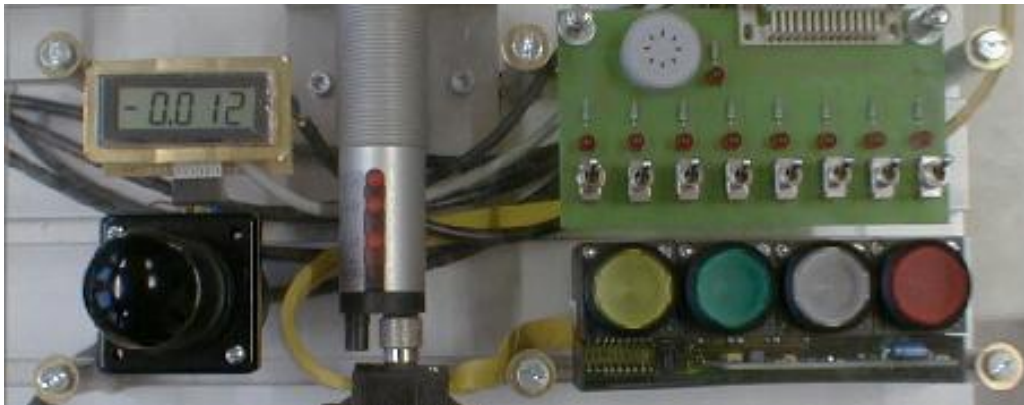


Abbildung 6: *Photo der für die Ein/Ausgabe zur Verfügung stehenden Bedienelemente*

Neben Schaltern (**SWT0–7**), LEDs (**LED0–7**) und einem Summer (**BUZZ**) sowie Tastern (**TAST_0–TAST_3**) und Lampen (**LAMPE_0–LAMPE_3**) stehen folgende analoge Ein/Ausgabemöglichkeiten zur Verfügung:

- *Joystick* (**JOY**). Dieses Bedienelement liefert an zwei Ausgängen **JOY_L/R** und **JOY_U/D** eine der jeweiligen Auslenkung in x - und y -Richtung proportionale Spannung im Bereich von $\pm 0 \dots 0.5$ V, wobei der Ausschlag Left bzw. Down eine negative Spannung bewirkt.
- *Digitalvoltmeter* (**DVM**). Mit dem Digitalvoltmeter können analoge Werte ($0 \dots 10$ V) an den Benutzer gemeldet werden.

3.7 AS-i-Module

Ein Großteil der Sensoren und Aktoren unserer Targetsysteme wird nicht direkt über Inputs/Outputs der SPS, sondern über [AS-i-Module](#) angesprochen. Darüberhinaus gibt es auch Sensoren mit integriertem [AS-i-Interface](#). Die Tabelle 4 listet die verwendeten Module (siehe auch Abbildung 2):

AS-i-Module			
Bez.	Typ	Slave#	Beschreibung
LAMPETAST.0-3	Spez.Dig.I+O	1	4 Lampen + 4 Taster
ASiDIN(6)	Dig.In	6	4-bit Digital Input
ASiDIO(4)	Dig.I+O	4	4-bit Digital Input+Output
ASiIN(5)	An.In (20mA)	5	2-Kanal [Analog Input] 4...20 mA
ASiUIN(3)	An.In (10V)	3	2-Kanal [Analog Input] ± 10 V
ASiUOU(2)	An.Out (10V)	2	2-Kanal [Analog Output] 0...10 V
ASiAIR(7)	AirBox	7	AirBox mit Endschalter-Inputs
INDNS	ASi dir.	8	Induktiver Näherungsschalter
SONAR	ASi dir.	9	Sonar-Näherungsschalter

Tabelle 4: Übersicht über die AS-i-Module eines Targetsystems

Die Details der Programmierung der Analog-Module sind der [[Online-Dokumentation](#)] und den diversen Demo-Programmen zu entnehmen.

3.8 Profibus-DP Netzwerk

Das [Profibus-DP](#)-Netzwerk besteht aus 3 Teilnehmern (siehe auch Abbildung 1):

- CP-5613 PCI-Karte (Teilnehmeradresse 2) – [Profibus-DP](#)-Master
- [CP-242-8](#) (Teilnehmeradresse 1) – Ankopplung der [S7-214 SPS](#)
- [ENCODER](#) (Teilnehmeradresse 55) – Absolutwert-Drehwinkelgeber zur Positionserfassung

Die Tabelle 5 listet die verwendeten Daten im Netz:

Profibus-DP-Netzwerk Daten					
Bez.	Slave#	Start Byte#	Größe [Byte]	Richtung	Beschreibung
SPSiN	01	0	64	VON Master	Eingangsblock der S7-214 SPS
SPSoUT	01	0	64	AN Master	Ausgangsblock der S7-214 SPS
ENCOPos	55	0	4	AN Master	Positionswert des ENCODER

Tabelle 5: Übersicht über die Daten im [Profibus-DP](#)-Netzwerk des Targetsystems

Die Daten dieser Teilnehmer können entweder byte- oder blockkonsistent übertragen werden, wobei bei der bytekonsistenten Übertragung nicht gewährleistet werden kann, daß Datenwerte, die größer als 1 Byte sind (also z.B.: ein 32-Bit Positionswert) in einem [Profibus-DP](#)-Zyklus

zusammenhängend transferiert werden. Aus diesem Grund wurde das [Profibus-DP](#)-Netzwerk für blockkonsistenten Datentransport konfiguriert.

Die [ENCOPOS](#)-Zählrichtung verläuft aufsteigend von [END_D](#) zu [END_U](#) (im Uhrzeigersinn auf die Welle gesehen). Wichtige Details zur Programmierung des blockkonsistenten Datentransfers sind der [\[Online-Dokumentation\]](#) des [CP-242-8](#) zu entnehmen. Eine Beschreibung der CP5613-Library findet man in [\[Online-Dokumentation\]](#).

4 Funktionsprinzipien Sensoren und Aktoren

Die gewissermaßen an der “vordersten Front” befindlichen Sensoren und Aktoren sind für die Umsetzung physikalischer in elektrische Größen (und umgekehrt) zuständig. Es gibt hier einen sehr großen und technologisch hochentwickelten Markt, auf dem eine ungeheure Vielfalt der verschiedensten Systeme angeboten wird. In diesem ergänzenden Abschnitt finden Sie einige grundlegende Informationen über deren Funktionsweise.

4.1 Digitale Sensoren

Digitale (meist binäre) *Sensoren* können lediglich diskrete Information bereitstellen.

- **Magnetische Näherungsschalter** ([MAGE_D](#), [MAGE_U](#), [ZENDUP](#), [ZENDDO](#))

Magnetische Näherungsschalter nutzen üblicherweise den Einfluß aus, den ein Magnetfeld auf leitfähige Materialien ausübt (z.B. Spannungserzeugung durch den *Hall-Effekt*), um die Annäherung eines magnetischen Materials zu erkennen. Sobald die dadurch hervorgerufene Änderung einen bestimmten Schwellwert überschreitet, wird der Ausgang des Sensors aktiv geschaltet. Bei relativ starken Magnetfeldern können alternativ auch wesentlich billigere *Reed-Schalter* eingesetzt werden, bei denen —wie in einem Relais— ein Schließkontakt direkt durch die magnetische Kraft betätigt wird.

- **Induktive Näherungsschalter** ([INDNS](#))

Induktive Näherungsschalter basieren auf einem Oszillator zur Erzeugung einer hochfrequenten Wechselspannung, dessen Induktivität im frequenzbestimmenden Schwingkreis ein (sehr schwaches) Magnetfeld erzeugt, das durch die Stirnfläche des Sensors (1 ... 20 mm)³ nach außen dringt. Tritt ein elektrisch leitender Gegenstand (z.B. aus Metall oder Kohlenstoff) in dieses Magnetfeld ein, so entstehen in ihm Wirbelstromverluste. Diese ziehen eine Dämpfung der Schwingungsamplitude des Oszillators nach sich, die erkannt und zur Aktivierung des Ausgangs herangezogen werden kann.

Wie bei den meisten anderen Sensoren auch wird durch eine geeignete *Hysterese* H sichergestellt, daß der Ausgang im Übergangsbereich nicht ständig hin- und herschaltet:

- Wenn der Ausgang bei Erreichen einer bestimmten Schwingungsamplitude S_{ein} aktiviert wurde, so wird er erst dann wieder deaktiviert, wenn die Schwingungsamplitude unter $S_{aus} = S_{ein} - H$ sinkt.
- Wenn der Ausgang bei Erreichen von S_{aus} deaktiviert wurde, so wird er erst wieder aktiviert, wenn die Schwingungsamplitude über $S_{ein} = S_{aus} + H$ steigt.

³Derartige Angaben sind lediglich Richtwerte, die ein Gefühl für die erreichbaren Größenordnungen vermitteln sollen.

- **Kapazitive Näherungsschalter** ([KAPNS](#), [POSELM](#))

Kapazitive Näherungsschalter basieren auf einem hochfrequenten Oszillator, dessen Kondensator im frequenzbestimmenden Schwingkreis ein elektrisches Feld erzeugt, das über die Stirnfläche des Sensors (1 ... 20 mm) nach außen dringt. Tritt ein für das elektrische Feld nicht-neutraler⁴ Gegenstand in das Feld ein, so ergibt sich eine (minimale) Veränderung der Kapazität des Kondensators und somit der Frequenz des Oszillators. Diese kann erfaßt und zur Aktivierung des digitalen Ausgangs herangezogen werden.

- **Einweg-Lichtschranken** ([EINLS](#), [GLASLS](#))

Diese Art von Lichtschranken bestehen aus einem Sender, der einen Lichtstrahl (üblicherweise Infrarot) aussendet, und einem am anderen Ende der Lichtschranke (0.1 ... 10 m) angebrachten Empfänger. Um Störungen durch den Einfall von Umgebungslicht (*Fremdlichteinfluß*) möglichst auszuschalten, ist das ausgesendete Licht üblicherweise (intensitäts)moduliert. Je nach der Stärke des einfallenden modulierten Lichts —relativ zu einem bestimmten Schwellwert— schaltet der Empfänger seinen Ausgang aktiv oder inaktiv. Falls der Ausgang bei Lichteinfall aktiv geschaltet wird, spricht man von einer *Hell-Schaltung*, wird er hingegen bei Unterbrechung aktiv, von einer *Dunkel-Schaltung*.

- **Reflexions-Lichtschranken** ([OPTNS](#))

Reflexions-Lichtschranken bestehen aus einem im selben Gehäuse untergebrachten Sender- und Empfängerteil. Über die Projektionslinse des Senders wird ein —zur Verringerung des Fremdlichteinflusses— (intensitäts)modulierter Lichtstrahl zu dem (1 ... 100 cm, je nach Reflexionsvermögen, entfernten) Objekt geschickt, der dort einen Lichtpunkt produziert. Das (diffus) reflektierte Licht wird von einer eigenen Empfängerlinse gesammelt und dem photosensitiven Element des Empfängers zugeführt; abhängig vom Lichteinfall relativ zu einem bestimmten Schwellwert wird der Ausgang aktiv oder inaktiv geschaltet. Wie bei Einweg-Lichtschranken spricht man von einer *Hell-Schaltung*, wenn der Ausgang bei Lichteinfall aktiv geschaltet wird, und von einer *Dunkel-Schaltung*, wenn er bei fehlendem Lichteinfall aktiv wird.

Zur Erfassung von sehr kleinen und schwer zugänglichen Objekten werden oft *Glasfaser-Lichtleiter* ([GLASLS](#)) eingesetzt, die im Falle einer Reflexions-Lichtschranke zweiadrig sind: Die beiden Adern sind an einem Ende an Sender bzw. Empfänger der Lichtschranke angeschlossen, am anderen Ende offen. Befindet sich ein (reflektierender) Gegenstand nahe genug am offenen Ende des Lichtleiters, so bewirkt das reflektierte, von der zum Empfänger führenden Ader gesammelte Licht eine Überschreitung des Schwellwertes im Empfänger.

- **Absolutwert-Drehwinkelgeber auf Codescheibenbasis** ([ENCODER](#))

Das Prinzip der absoluten Positionsmessung basiert auf dem optischen Scannen einer transparenten, meist gray-codierten Scheibe, die mit der Meßwelle verbunden ist (siehe Abbildung 7). Der Gray-Code wird zur Vermeidung von Ablesefehlern bei einem gleichzeitigen Hell-Dunkel-Übergang in mehreren Spuren verwendet, da beim Übergang von x auf $x + 1$ oder $x - 1$ nur ein Bit des Codes wechselt. Der [ENCODER](#) des Targetsystems verwendet einen Code mit einer Auflösung von 4096 Schritten pro Umdrehung, was 12 Bit und somit 12 Spuren auf der Haupt-Codescheibe entspricht.

⁴Ein Gegenstand mit einer *Dielelektrizitätskonstante* hinreichend verschieden von jener von Luft, was auch auf nichtleitende Materialien wie Kunststoff zutrifft.

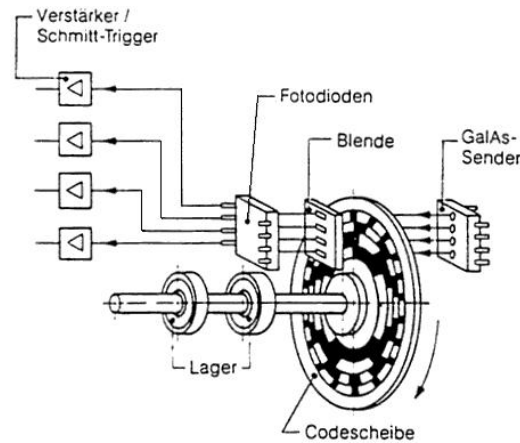


Abbildung 7: Prinzip der optischen Positionsmessung

Desweiteren ist der **ENCODER** eine Multiturn-Ausführung. Durch Planetengetriebe im Verhältnis 16:1 untersetzt sind weitere Codescheiben mit der Messwelle verbunden, die die Anzahl der Umdrehungen codieren (siehe Abb. 8). Damit lassen sich 4096 Umdrehungen der Hauptwelle absolut codieren, da die letzte Scheibe im Verhältnis $16 * 16 * 16 = 4096:1$ zur Hauptwelle untersetzt ist.

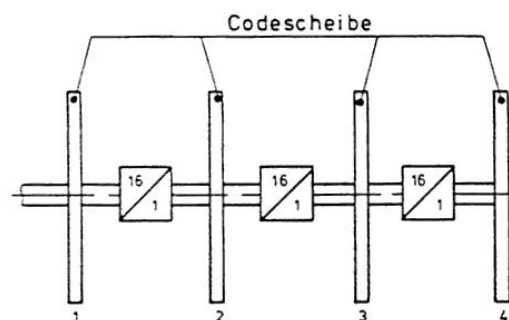


Abbildung 8: Prinzip eines Multiturn-Absolutwertgebers

4.2 Analoge Sensoren

Analoge Sensoren sind zur Erfassung kontinuierlicher Größen geeignet.

- **Distanzsensoren auf Triangulationsbasis (DIST)**

Derartige Sensoren basieren auf dem in der Abbildung 9 skizzierten Prinzip der *Triangulation*: Der —aus Gründen der geringeren Fremdlichtbeeinflussung— modulierte Lichtstrahl einer LED oder Laserdiode wird durch eine Projektorlinse zum (1 cm ... 100 cm entfernten) Objekt projiziert. Das diffus reflektierte Licht wird von einer Empfangslinse aufgenommen und von einem senkrecht zur optischen Achse angeordneten (Lichtpunkt-) *Positionselement* (PSD, z.B. einem CCD-Chip) registriert.

Vergrößert man nun die Entfernung zwischen Objekt und Sensor, wandert der Lichtpunkt auf dem PSD um eine Strecke Δb nach oben, deren Länge proportional zur Differenz der Objektentfernung $\Delta B = \overline{AB}$ ist. Diese Änderung wird vom PSD erfaßt und

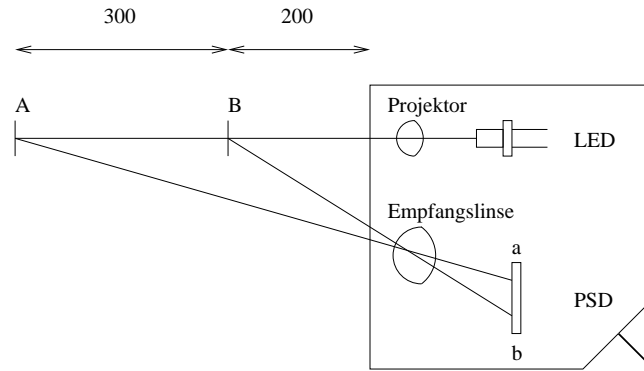


Abbildung 9: Prinzip der optischen Triangulation

nach entsprechender Signalaufbereitung an den Ausgang geliefert. Mit Laser-basierenden Triangulationssensoren sind Auflösungen im μm -Bereich realisierbar.

- **Distanzsensoren auf Sonarbasis (SONAR)**

Derartige Sensoren basieren auf dem Prinzip der Echo-Laufzeitmessung: Zum Zeitpunkt t_0 wird ein geeignet modulierte/gepulstes (Ultra-)Schallsignal ausgesandt und gemessen, zu welcher Zeit t_1 das von einem im Abstand x befindlichen Objekt reflektierte Signal wieder empfangen wird. Mit Kenntnis der Schallgeschwindigkeit $v \approx 330 \text{ m/sec}$ ergibt sich dann $x \approx (t_1 - t_0)v$. Diese Distanzinformation wird geeignet aufbereitet und als analoges (oder, wie bei unserem SONAR, digitales) Signal an den Ausgang geliefert.

Praktisch alle modernen Analog-Sensoren benötigen *Meßumformer (transducer)*, die die schwachen Signale der Sensoren auf $4 \dots 20 \text{ mA}$ (*single-ended* oder *differential*) umsetzen bzw. ein in digitaler Form vorliegendes Signal direkt über einen Buskoppler weitersenden. Diese Meßumformer werden heutzutage in der Regel bereits mit dem Sensor in einem gemeinsamen Gehäuse integriert.

Sofern die Umsetzung nicht vollständig digital stattfindet, ist der Zusammenhang zwischen erfaßter physikalischer Größe und Ausgangsspannung/Strom analoger Sensoren übrigens fast nie vollständig linear, sondern vielmehr mit einem gewissen *Linearitätsfehler* behaftet, der bei der Weiterverarbeitung zu berücksichtigen ist.

4.3 Digitale und analoge Aktoren

Auch bei *Aktoren* ist die bereits bei den Sensoren getroffene Unterscheidung in digitale und analoge sinnvoll:

- **Ein digitaler (binärer) Aktor** ist für diskrete Stellgrößen geeignet.

- **Elektromagnete (ELMAG)**

Hierbei handelt es sich um *Elektromagnete*, die meist mit Gleichstrom betrieben werden; bei Anlegen einer Spannung wird ein Metallkern (*Anker*) in das Innere der Spule gezogen.

- **Pneumatik-Zylinder (ZYL)**

Ein pneumatischer Zylinder besteht aus einem an beiden Enden verschlossenen Rohr, in dem sich ein *Kolben* bewegen kann. Der Kolben schließt, wie bei einer Fahrradpumpe, luftdicht gegen das Rohr ab und ist mit einer *Schubstange* versehen, die

durch einen luftdichten Auslaß in den Verschlüssen des Rohrs nach außen geführt ist. Wird über einen Druckluftanschluß an einem der beiden Verschlüsse des Rohrs komprimierte Luft zugeführt, so bewegt sich der Kolben und damit die Schubstange an das entgegengesetzte Ende.

Pneumatische Zylinder sind, ihrer Robustheit wegen, in der Automatisierungstechnik fast überall anzutreffen. Es gibt sie in den unterschiedlichsten Ausführungen und Größen, wobei die Kraft eines Zylinders klarerweise mit steigendem Durchmesser zunimmt. Für stärkste Kraftausübung wird die Druckluft übrigens durch Hydraulik-Öl ersetzt, man spricht dann von *hydraulischen Zylindern*.

Um einen Pneumatik-Zylinder von einer SPS aus ansprechen zu können, werden *Magnetventile* benötigt. Diese Ventile werden durch einen *Elektromagneten* betätigt und können daher mittels digitaler Ausgänge angesteuert werden.

- **Analoge Aktoren** sind für kontinuierliche Stellgrößen geeignet; ein Beispiel dafür ist ein *Gleichstrom-Motor* wie unser *Schlittenantriebsmotor*, dessen Drehzahl ungefähr proportional zur angelegten Spannung ist.

Die meisten Aktoren setzen steuernde elektrische Signale mit relativ hoher Leistung voraus; es werden daher sehr häufig *Leistungsverstärker* notwendig, welche die relativ schwachen 24 V oder 4 . . . 20 mA Signale der Prozeß-Interfaces auf die benötigten Strom- und Spannungspegel umsetzen.