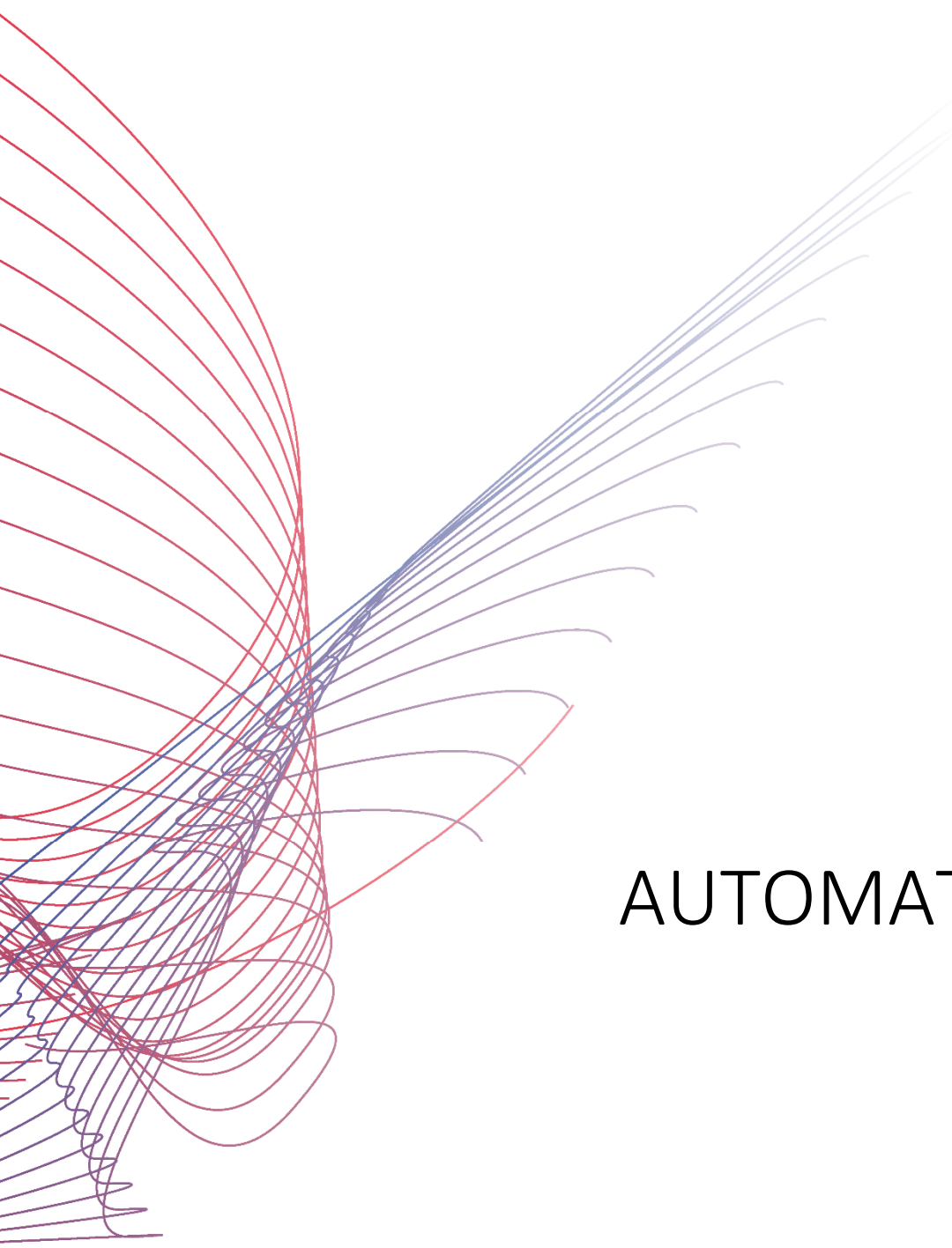




# TECH pedia



## AUTOMATISIERUNG

OTO SLÁDEK

**Titel der Arbeit:** Automatisierung  
**Author:** Oto Sládek  
**Übersetzt (von):** Alena Dvořáková  
**Veröffentlicht (von):** České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
**Kontaktadresse:** Technická 2, Prague 6, Czech Republic  
**Tel.:** +420 224352084  
**Drucken:** (nur elektronisch)  
**Anzahl der Seiten:** 39  
**Ausgabe:** 1. Ausgabe, 2017  
**ISBN** 978-80-01-06218-0

**TechPedia**

European Virtual Learning Platform for  
Electrical and Information Engineering

<http://www.techpedia.eu>



Dieses Projekt wurde mit Unterstützung der Europäischen Kommission finanziert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung (Mitteilung) trägt allein der Verfasser; die Kommission haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

## ERLÄUTERUNG



Definition(en)



Interessantheit (Interessantes)



Bemerkung



Beispiel



Zusammenfassung



Vorteile



Nachteile

---

## ZUSAMMENFASSUNG

Dieses Modul bietet eine Einführung in die Industrieautomation und die Automatisierung im Allgemeinen. Es beschreibt die Theorie der logischen Systeme, der Sensoren und der Aktoren, die Typen der Steuersysteme, wie PLC und PAC, die grundlegenden Prinzipien der Steuerung und SCADA-Systeme.

## ZIELE

Theorie der logischen Systeme und der Steuerung

Sensoren – Messung der Temperatur, des Durchflusses, des Drucks, der Höhe und der Position

Aktoren - pneumatische, hydraulische und elektrische Motoren, Antriebe

Systeme PLC, PAC, PCS, industrielle Steuerung - Beschreibung und Unterschiede

Regelung - Theorie und Beschreibung von PID

SCADA-Systeme - Zweck und Beschreibung

## LITERATUR

- [1] Buch-Vishniac, J.: Electromechanicalsensors and actuators: Birkhäuser, 1998. 341 p. ISBN 978-03-879-8495-7.
- [2] De Silva, C., Control, Sensors and Actuators: New Jersey: PrenticeHall 1989
- [3] Harmut, J.: Actuators: basics and applications: Springer, 2004. 343 p. ISBN 978-35-406-1564-4.
- [4] J. W. Webb, R. A. Reis: Programmablelogiccontrollers: principles and applications, PrenticeHall, 2003, 460 p., ISBN: 9780130416728.
- [5] K. Clement-Jewery, W. Jeffcoat: The PLC workbook: programmablelogiccontrollers made easy, PrenticeHall, 1996, 197 p., ISBN: 9780134898407.
- [6] Levine, s., W. et al, TheControl Handbook: Salem: CRC Press, Inc. 1996.
- [7] M. Rabiee: ProgrammableLogicControllers: Hardware and Programming, Goodheart-WillcoxPub, 2009, 300 p., ISBN: 9781605250069.

- [8] Martinásková, M. Šmejkal, L.: PLC a automatizace 1. Základní pojmy, úvod do programování, BEN – technická literatura, Praha, 2002, 224 s.
- [9] Massood, T: Microactuators: electrical, magnetic, thermal, optical, mechanical, chemical&smartstructures: Springer, 1998. 287 p. ISBN 978-07-923-8089-4.
- [10] Novák, P.: Průmyslové řídicí systémy.(skriptum), Ostrava: VŠB-TU, 2000, s. 104, ISBN 80-7078-733-3.
- [11] Pansini A.: Basics of electricmotors: includingpolyphaseinduction and synchronoumotors: PennWellBooks, 1996. 218 p. ISBN 978-08-781-4673-4.
- [12] Kalman. On thegeneraltheory of controlsystems. In Proc. IFAC World Congress, 1960.
- [13] Satori M. A., Passino KM., Antsaklis P. J.: A MultilayerPerceptronSolution to theMatchPhaseProblem in Rule-BasedArtificialIntelligence Systems. IEEE Trans. On Knowledge and Data Engineering, Vol. 4 (1992), No. 3 (June), 290-297.
- [14] Spiridonov V.:  
SelbststrukturiendesneuronalesNetzmittelsgeometrischenLernalgorithmus ais  
WissenserwerbskomponentefuerExpertensysteme. Proceedings 3 9.  
InternationaiesWissenschaftlichsKolloquium, TechnischesUniversitaetIlmenau, 27-29.  
září 1994, 372-377.
- [15] Šmejkal, L.: PLC a automatizace 2. Sekvenční logické systémy a základy fuzzy logiky, BEN-technická literatura, Praha, 2005, 208 s.
- [16] Tauchman, M.: Vizualizace technologických procesů – novinky od firmy Wonderware. Automatizace, 46, č. 3, 2003, s. 174–176.
- [17] Tzou H., Fukuda T.: Precisionsensors, actuators, and systems: Springer, 1992. 470 p. ISBN 978-07-923-2015-9.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b> .....	<b>7</b>
1.1	Implementierung der grundlegenden logischen Funktionen verschiedener Technologien .....	9
<b>2</b>	<b>Sensoren</b> .....	<b>14</b>
2.1	Sensoren für die Temperaturmessung .....	15
2.2	Sensoren für die Druckmessung .....	17
2.3	Sensoren für die Durchflussmessung .....	19
2.4	Sensoren für die Messung des Wärmeflusses .....	23
2.5	Sensoren für die Messung der Höhe und Position .....	24
<b>3</b>	<b>Aktoren</b> .....	<b>26</b>
3.1	Hydraulische Aktoren.....	28
<b>4</b>	<b>PLC, PAC, PCS</b> .....	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>Sonstige Steuersysteme</b> .....	<b>32</b>
5.1	DCS .....	34
<b>6</b>	<b>Regelung</b> .....	<b>35</b>
6.1	Regelung der Steuerung .....	35
<b>7</b>	<b>SCADA-Systeme</b> .....	<b>38</b>

# 1 Theoretische Grundlagen

Steuersysteme können in drei Gruppen eingeteilt werden:

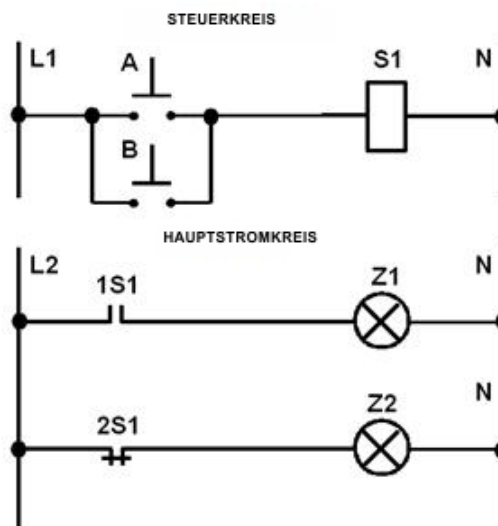
- logische Systeme
- numerische Systeme
- hybride Systeme

## Logische Systeme

Logische Systeme sind Systeme, die mit der Umgebung mittels binärer Signale (ja – nein oder 1, 0 u. ä.) kommunizieren. Die Informationen aus diesen binären Systemen werden aufgrund von Regeln der booleschen Algebra generiert und werden deshalb als „boolesche“ bezeichnet. Ein binäres System kann mittels eines kontaktbehafteten oder kontaktlosen Schaltens realisiert werden.

Binäre Systeme können in verschiedenen Technologien implementiert werden, z. B. in Steuerkreisen mit Transistoren und durch Einkapselung: eine feste Logik, FPGA, uC, DSP, PC u. a.

Schaltpläne der elektrischen Steuerkreise sind Zeichnungen, in denen Bedienung und Versorgungskreise dargestellt sind. Elemente des Hauptkreises werden von Umschaltern, Relais, Schaltern und Kontakten gesteuert. Ein Steuerkreis besteht aus Bedienelementen, wie Tasten, Schaltern, Zeitschaltern und Endlageschaltern, Spulen, Relais oder Schützen. Alle Elemente können mit Schwachstrom- und Starkstromelektronik gesteuert werden.



Beispiel eines Steuersystems

Auf dem Bild wird ein Schaltplan mit Steuer- und Hauptstromkreisen für eine einfache Funktion gezeigt. Mit Betätigen der Taste A wird die Steuerspannung an der Spule des Schützes gebracht und S1 wird geschlossen. Üblicherweise handelt es sich um einen offenen Kontakt des Anschlusses 1S1 an der Versorgung des Verbrauchers (Glühlampe) Z1, wobei bei 2S1 der Verbraucher Z2 abgeschaltet ist. Die Funktion des Kreises besteht darin, dass mit Betätigen der Taste A die Glühlampe Z1 zu leuchten anfängt und die Glühlampe Z2 zu leuchten aufhört. Wenn die Taste gelöst wird, wird das Ergebnis umgekehrt sein.

## Numerische Systeme

---



$E=m \cdot c^2$

Numerische Systeme sind Systeme, die mit arithmetischen Operationen arbeiten und nach algebraischen Regeln funktionieren. Es handelt sich vor allem um die grundlegenden algebraischen Operationen Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division, es können aber auch komplexere Operationen und Funktionen verwendet werden. Numerische Systeme werden mittels eines Mikroprozessors realisiert.

---

## Hybride Systeme

---



$E=m \cdot c^2$

Hybride Systeme stellen eine Kombination der logischen und numerischen Systeme dar und sind durch ein spezifisches Verhalten gekennzeichnet. Hybride Systeme werden auch mittels eines Mikroprozessors realisiert.

---

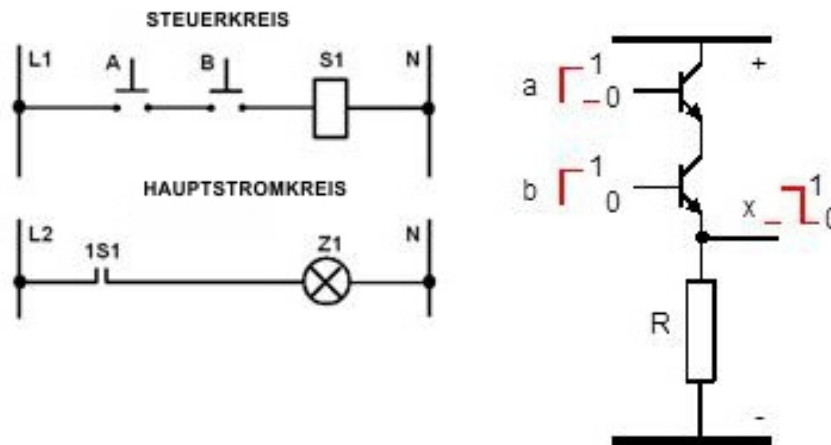


# 1.1 Implementierung der grundlegenden logischen Funktionen verschiedener Technologien

## Logische Konjunktion (Multiplikation) – AND



In den folgenden Beispielen kann die technische Implementierung der Konjunktion von zwei unabhängigen Variablen beobachtet werden. Die abhängige Variable ist wahr nur dann, wenn beide unabhängige Variablen auch wahr sind. Der Steuerkreis wird durch Reihenschaltung der Tasten gelöst. Analog erfolgt die Implementierung der Transistoren mittels Reihenschaltung der Transistoren.

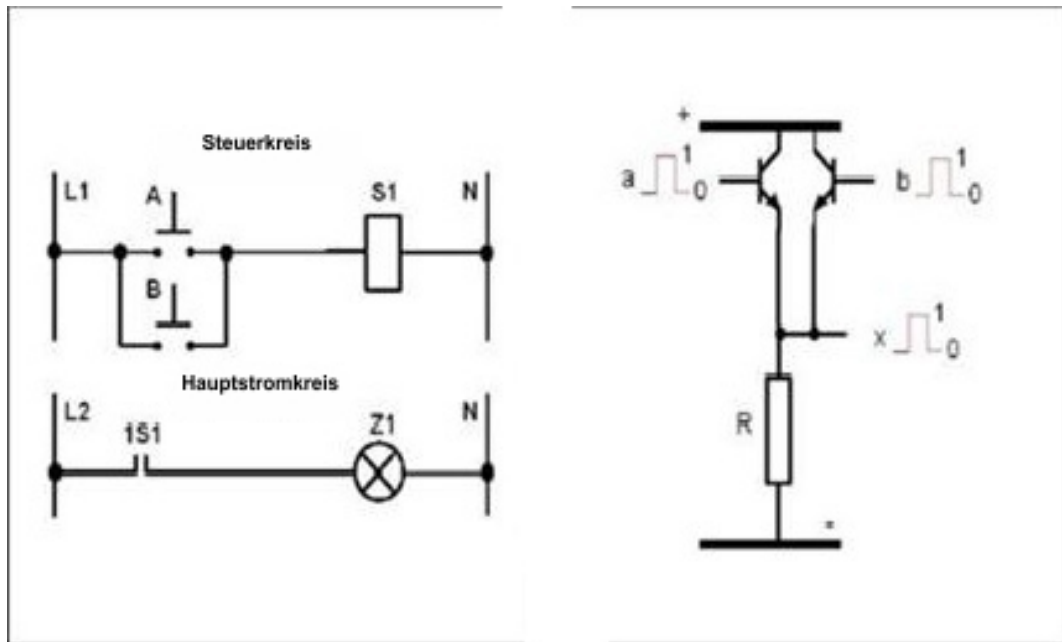


Funktion der logischen Konjunktion – AND

## Logische Disjunktion (Addition) – OR



In den folgenden Beispielen kann die technische Implementierung der Disjunktion von zwei unabhängigen Variablen beobachtet werden. Die abhängige Variable ist wahr, wenn mindestens eine unabhängige Variable auch wahr ist. Der Steuerkreis wird durch Parallelschaltung realisiert. Die Implementierung mittels Transistoren erfolgt auch durch ihre Parallelschaltung.

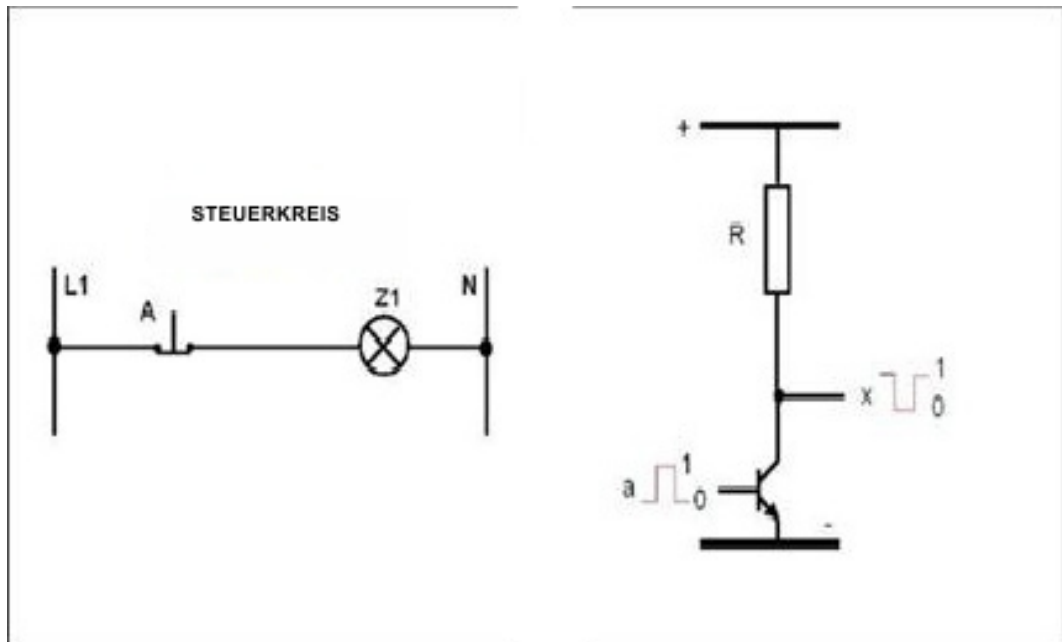


Funktion der logischen Disjunktion - OR

## Logische Negation – NOT



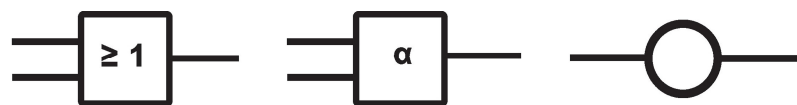
In den folgenden Beispielen kann die technische Implementierung der Negation einer unabhängigen Variable beobachtet werden. Die abhängige Variable ist wahr, wenn die unabhängige Variable falsch ist. Der Steuerkreis wird in diesem Fall durch eine Taste bedient, die den Kreis schließt/öffnet. Die Implementierung erfolgt mittels eines Kurzschlusses der Spannung des Transistors.



Funktion der logischen Negation – NOT

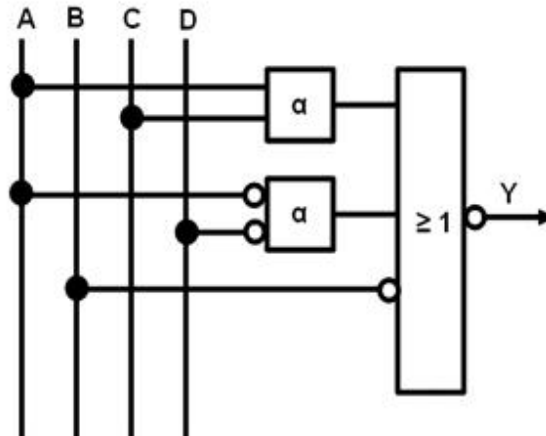
## Schematische Symbole für logische Kreise

Weil logische Operationen mittels verschiedener Technologien realisiert werden können, werden für ihre Darstellung logische Diagramme verwendet. In diesen Diagrammen logischer Kreise werden Symbole eingesetzt. Das erste Bild als Symbol eines Schaltkreises repräsentiert eine logische Summe, die zwei Eingänge (links) und einen Ausgang (rechts) hat. Das zweite Bild ist ein schematisches Symbol der logischen Multiplikation, die zwei Eingänge und einen Ausgang hat. Der Ring im dritten Bild stellt die Negation dar. Die Diagramme werden nicht allein, jedoch immer einschließlich des Ein- oder Ausgangspunktes für das gegebene Produkt oder Summe gezeichnet.



Piktogramme für logische Operationen

Bemerkung: In einigen, insbesondere älteren Diagrammen können auch Symbole einer anderen Form als Quadrat oder Rechteck auftreten. Die Kennzeichnung für Negation bleibt unverändert.



Schaltplan eines Kreises

Der logische Schaltplan auf dem Bild kann mit der folgenden Beziehung ausgedrückt werden:  $Y = A \times C + \overline{A} \times \overline{D} + B$

## Vereinfachung logischer Ausdrücke

Es ist offensichtlich, dass jede logische Operation mit einem Block im logischen Diagramm repräsentiert wird, der die entsprechende Technologie vertritt. Je mehr logische Blöcke verwendet werden, desto mehr Elemente müssen eingesetzt werden und desto höher wird die Wahrscheinlichkeit eines Versagens des Steuersystems. Die Anzahl der verwendeten logischen Blöcke kann mittels der Vereinfachung der logischen Funktionen reduziert werden. Die Vereinfachung wird nach logischen Regeln der booleschen Algebra durchgeführt. Übersichtlichkeitshalber nehmen wir ein Beispiel.

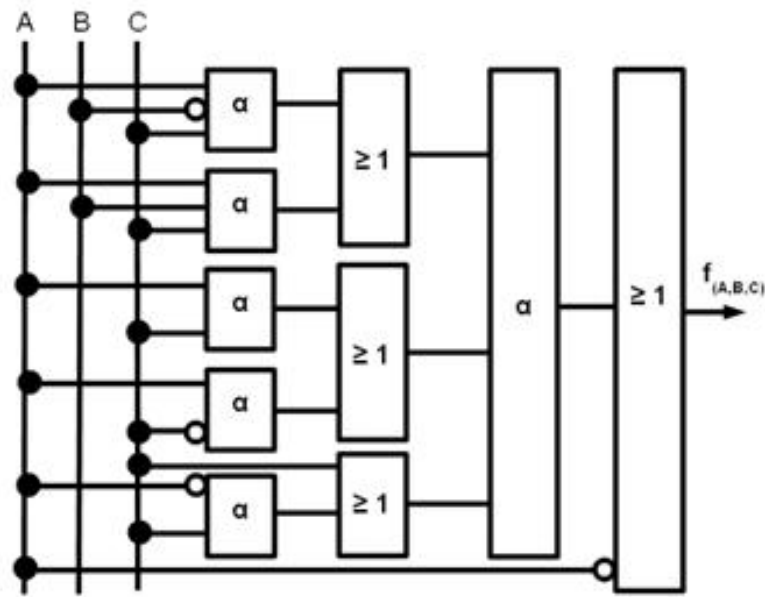


Beispiel:

Die Funktion  $f(A, B, C)$  mit drei logischen Variablen wird durch die folgende Beziehung definiert:

$$f_{(A,B,C)} = (A \times \overline{B} \times C + A \times B \times C) \times (A \times C + A \times \overline{C}) \times (\overline{C} + C \times \overline{A}) + \overline{A}$$

Um sie zu implementieren, sind 14 logische Blöcke erforderlich. Das entsprechende logische Diagramm wird auf dem folgenden Bild gezeigt.



Logisches Diagramm

Nach der Vereinfachung mittels mathematischer logischer Funktionen erwirbt man das folgende Ergebnis:

$$f_{(A,B,C)} = A \times C \times (\bar{B} + B) \times A \times (C + \bar{C}) \times (\bar{C} + \bar{A}) + \bar{A} = A \times C \times (\bar{C} + \bar{A}) + \bar{A} = \bar{A}$$

Dies bedeutet, dass das Ergebnis von den Werten der logischen Variablen B und C gar nicht abhängt. Das Ergebnis ist einfach die Negation von A. Die Implementierung im logischen Diagramm wird auf dem folgenden Bild gezeigt:



Negation



Wenn man diese zwei Systeme vergleicht, ist es klar, dass durch Vereinfachung die logischen Blöcke markant reduziert werden können, wodurch auch die Wahrscheinlichkeit eines Versagens des Steuersystems vermindert wird.

## 2 Sensoren

Es handelt sich um technische Elemente, die eine Umwandlung der physikalischen Größen in gut verarbeitbare Signale sicherstellen (z. B. Druck in elektrischen Strom). Die Sensoren arbeiten nach verschiedenen physikalischen Prinzipien und ihre Ausgangssignale können dann in Steuersystemen verarbeitet werden. Heutzutage werden häufig intelligente oder smarte Sensoren verwendet, die alle Funktionen einer Messkette in ein Element mit einem digitalen Ausgang integrieren, z. B. mittels einer Datenschnittstelle (RS-232C, RS-485, EIB usw.). Sensoren bestehen typischerweise aus den folgenden Teilen:

- Sensor - Wandler
- Messkreis und Verstärker
- Signal verarbeitende Kreise
- Analog-Digital-Wandler
- Kommunikationskreis



---

Sensoren können nach den folgenden Kriterien aufgeteilt werden:

- Signaltransformation – aktive, passive
  - Messgrößen – Druck-, Durchfluss-, Temperatursensoren u. ä.
  - Fertigungstechnologie – mechanische, elektrochemische u. ä.
  - physikalische Prinzipien – Widerstandssensoren, Leitfähigkeitssensoren, thermoelektrische Sensoren u. ä.
  - Interaktion mit der Messumgebung – kontaktbehaftete und kontaktlose
-

## 2.1 Sensoren für die Temperaturmessung

Die Temperatur ist einer der häufigsten Eingänge für die automatische Verarbeitung des Signals. Allgemein gehört sie auch zu den wichtigsten Größen, welche die Bedingungen und Prozesse in der Natur beschreiben.

### Widerstandstemperatursensoren



Metall-Widerstandstemperatursensoren stellen das meistverwendete praktische Messverfahren dar. Das Prinzip hinter den Metall-Widerstandstemperatursensoren ist die Abhängigkeit des klaren Metalls von der Temperatur, wobei der Widerstand des Metalls fast proportional zur absoluten Temperatur steigt.

Material des Sensors	Messbereich [°C]	Temperaturkoeffizient des Widerstandes [ $10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ]
Pt	-200 bis +850	3,85 bis 3,93
Ni	-60 bis +180	6,17 bis 6,70
Cu	-200 bis +200	4,26 bis 4,33

### Polykristalline Halbleitersensoren (NTC)

Polykristalline Halbleitersensoren werden aus amorphen polykristallinen Halbleitern hergestellt und werden auch als Thermistoren (thermisch empfindliche Widerstände) bezeichnet. In diesem Fall wird die Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes des Materials von der Temperatur genutzt. Das Prinzip der Halbleiterleitfähigkeit unterscheidet sich und hängt vom Verhalten und von Eigenschaften dieser Sensoren ab. Der Widerstand des Halbleitermaterials sinkt mit der steigenden Temperatur.

Thermistoren **NTC** (*Negative Temperature Coefficient* - negativer Temperaturkoeffizient) messen das negative Verhältnis zwischen dem Widerstand und der Temperatur. Diese Thermistoren werden dort verwendet, wo die Messgeschwindigkeit wichtig ist, weil ihre niedrige thermische Kapazität die konstante Dauer der Messung auf Sekunden reduziert. Ihre üblichen Temperaturbereiche liegen zwischen -50 bis 150 °C, aber es werden auch spezielle keramische Thermistoren für extreme Temperaturen (z. B. ab -269,15 bis 1 000 °C) hergestellt.

### Monokristalline Halbleitersensoren

Monokristalline Halbleitersensoren werden aus Silizium, Germanium und Indium hergestellt. Ihr Vorteil besteht in der großen Zeitstabilität und in der Möglichkeit der Konstruktion in einer dünnen Schicht.

## Thermoelektrische Thermometer

Diese Sensoren verwenden für die Temperaturmessung ein Thermoelement, das aus zwei Leitern mit verschiedenen Metallen A und B besteht, die auf beiden Enden leitend verbunden werden. Gemäß dem Unterschied der Temperaturen  $t_m$  und  $t_s$  auf der zweiten Verbindung wird die thermoelektrische Spannung und der thermoelektrische Strom generiert.

## Kontaktlose Temperaturmessung

Kontaktlose Temperaturmessung arbeitet nach dem folgenden physikalischen Effekt: Wegen einer thermischen Bewegung des grundlegenden Teils wird Energie in der Form der elektromagnetischen Strahlung sowohl in dem infraroten Teil des Spektrums als auch im sichtbaren Teil des Lichtspektrums ausgestrahlt.

## Kontaktlose Temperaturmessung – Bolometer

Das Prinzip eines Bolometers besteht darin, dass ihr elektrischer Widerstand sich in Abhängigkeit von seiner Umgebungstemperatur ändert, die von der Stärke der infraroten Strahlung abhängt. Die Änderung des Widerstandes des Bolometers wird daher durch die Menge der einfallenden infraroten Strahlung charakterisiert. Daher ist die thermische Isolation des Sensors von seiner Umgebung entscheidend. Ein Mikrobolometer integriert mehr Widerstandselemente auf einer Seite, was die Herstellung von thermischen 2D-Bildern erlaubt, welche die ausstrahlenden Objekte vor dem Detektor darstellen. Zurzeit stehen solche Einrichtungen in vielen Kategorien zur Verfügung, von einfachen manuellen infraroten Einpunkthermometern bis zu Thermokameras mit den oben angeführten Attributen und einer hochentwickelten digitalen Steuerung.

Ihr Hauptvorteil ist die Kontaktlosigkeit der Messung. Weitere Vorteile sind die Möglichkeit der Messung sich bewegender Objekte oder der 2D-Anzeige, d. h. Thermographie.



## 2.2 Sensoren für die Druckmessung

Die Druckmessung ist auch eine häufig durchgeführte Messung. Es werden verschiedene physikalische Prinzipien verwendet, die üblicherweise die Abhängigkeit des Drucks in ein Ausgangssignal des Sensors umwandeln. Druckmesser in der industriellen Praxis können nach ihrem Prinzip in hydrostatische Druckmesser, Verformungs-Druckmesser, Kolben-Druckmesser und elektrische Druckmesser aufgeteilt werden.

### Druckmesser

Die Geräte für die Messung des Drucks und Unterdrucks werden üblicherweise als Manometer bezeichnet:

- Vakuummeter - Unterdruckmessgeräte
- Differenzdruckmesser - Geräte zur Messung der Druckunterschiede
- Barometer - Geräte zur Messung des Luftdrucks
- Druckmesser des absoluten Drucks

Diese Geräte werden auch als Drucksensoren bezeichnet - es handelt sich um Druckmesser, die als Elemente in der Automatisierung eingesetzt werden können. Ein Druckwandler hat eine sehr ähnliche Bedeutung wie ein Drucksensor - es handelt sich um eine elektronische Einrichtung zur Druckmessung, welche die Daten über den gemessenen Druck mittels elektrischer Signale an andere Einrichtungen umleiten kann. Wird die Funktion der Druckwandler oder -sensoren vom Mikroprozessor gesteuert, werden sie als intelligent bezeichnet.

Sensoren für die Druckmessung	Typ des Sensors für die Druckmessung	Mögliche Anwendung
Hydrostatische Druckmesser	U-Rohr	In Labors, meteorologischen Labors, genauen Barometern
	Im Behälter	
	Mikromanometer mit einem Klapparm	
	Kompressions-Vakuummeter	
Sensoren der Andruckkraft	Glocken-, Kolbendruckmesser	Standardmäßige Druckmesser (Manometer zur Messung des Aufblasens der Reifen)
Verformungs-Druckmesser	Bourdonrohr, Membranmanometer, gewellte Druckmesser	Die üblichsten, Ergebnisse gleich anzeigenden praktischen Druckmesser
	Kastenförmige Druckmesser	Aneroid für Messung des Luftdrucks
Druckmesser mit einem elektrischen Ausgang (elektromechanische Druckmesser)	Potentiometer, induktive und optische Druckmesser	Als Ergänzung der Verformungs-Druckmesser
	Kapazitive, Dehnmessstreifen-Druckmesser	Die meistverwendeten Sensoren in modernen Druckwandlern, praktische Geräte, Laboreinrichtungen
	Resonanz-Druckmesser	Sie gehören zu den genauesten Druckmessern, praktische Geräte, Laboreinrichtungen
	Piezoelektrische Druckmesser	Messung der schnellen Überdruckprozesse und -pulsationen
Elektrische Druckmesser für extreme Druckwerte	Widerstandsdruckmesser	Messung eines hohen Überdrucks
	Thermisch leitfähige Druckmesser	Messung eines hohen Unterdrucks
	Ionisierende Druckmesser	Messung eines extremen Unterdrucks

## 2.3 Sensoren für die Durchflussmessung

Es gibt viele Einrichtungen für die Durchflussmessung und der durchgeflossenen Menge des Fluids (Flüssigkeiten und Gase). Die Messgeräte verwenden eine fortgeschrittene Verarbeitung der Messdaten und die Ausgangsdaten geben die Größe des Durchflusses an. Der Durchfluss kann auch durch die lokale oder mittlere Geschwindigkeit des Mediums ausgewertet werden, das durch einen Querschnitt durchfließt, üblicherweise bei definierten Betriebsbedingungen ( $p$ ,  $T$ ). Das Ergebnis der Durchflussmessung kann entweder ein Massenstrom  $QM$  (z. B.  $kg \cdot s^{-1}$ ) oder ein Volumenstrom  $QV$  (z. B.  $m^3 \cdot s^{-1}$ ) sein, wobei  $M$  dem Gewicht und  $V$  den Volumen des gemessenen Mediums entsprechen. Moderne Einrichtungen werden mit einem elektronischen Kreis für automatische Temperatur- und Druckkorrektur während der Messung ausgestattet. Der aktuelle Trend der Durchflussmesser konzentriert sich auf die direkte Messung des Massenstroms, d. h. die von der Temperatur, Druck und Viskosität der gemessenen Fluids unabhängige Messung.

### Volumendurchflussmesser

---


$$E=m \cdot c^2$$

Volumendurchflussmesser verwenden ein sog. absolutes Verfahren - sie dienen der genauen Messung und der Überprüfung anderer Typen der Durchflussmesser. Die Messung an sich basiert auf dem Prinzip der Messung des Volumens eines Fluids in definierten Messpunkten.

---

### Membran-Durchflussmesser

---


$$E=m \cdot c^2$$

Sie werden zur Messung des Gasvolumens verwendet und mit zwei Kammern ausgestattet, die durch Membranen getrennt werden. Dies wird beispielsweise zur Messung der Menge von Brenngasen genutzt.

---

### Trommel-Durchflussmesser

---


$$E=m \cdot c^2$$

In Trommel-Durchflussmessern sind horizontale zylindrische Behälter, die mit einer Flüssigkeit teilweise gefüllt werden. Eine Messtrommel mit einer Drehachse hat Öffnungen für den Ein- und Ausgang des Gases und wird in vier Messteile mittels radialer Trennwänden getrennt. Sie werden für eine genaue Labor- und Überprüfungs-messungen eingesetzt.

---

### Kolbendurchflussmesser

---


$$E=m \cdot c^2$$

Kolbendurchflussmesser gehören zu den genauesten Durchflussmessern. Ihre Messung erfolgt nach dem Prinzip der von dem Kolben und dem Messgerätkörper definierten Räume, die mit einem spezifischen Fluid abwechselnd gefüllt und

entleert werden. Kolbenmessgeräte sind für die Messung auch von sehr viskosen Fluids geeignet.

---

## Geschwindigkeitsdurchflussmesser

---


$$E = m \cdot c^2$$

Bei diesen Durchflussmessern wird der Fluss aufgrund von Messwerten der lokalen oder durchschnittlichen Geschwindigkeit und der Kenntnis des Durchflussquerschnitts und der freien Fläche festgestellt.

---

## Geschwindigkeitssensoren

---


$$E = m \cdot c^2$$

Geschwindigkeitssensoren nutzen die Abhängigkeit des dynamischen Drucks des strömenden Mediums von der Strömungsgeschwindigkeit.

---

## Pitotrohre

---


$$E = m \cdot c^2$$

Diese Rohre sind zur Ebene rechtwinkelig gekrümmt und haben eine Öffnung, die senkrecht zur Strömungsrichtung angeordnet ist. Auf der Stelle der Krümmung sinkt die Strömungsgeschwindigkeit praktisch auf null und die gesamte kinetische Energie wird in potentielle Energie umgewandelt. Der Sensor misst den gesamten Druck  $p_c$ , der eine Summe des statischen Drucks  $p_s$  und des dynamischen Drucks  $p_d$  darstellt.

---

## Statische Pitotrohre

---


$$E = m \cdot c^2$$

Dieser Typ der Pitotrohre misst  $p_c$  und  $p_s$  auf einer Stelle. Diese Rohre werden für kurzfristige Messungen und Messungen der Geschwindigkeitsprofile bestimmt. Die untere Grenze für die Geschwindigkeitsmessung der Gase beträgt ungefähr  $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  und für die Geschwindigkeitsmessung der Flüssigkeiten  $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

---

## Querschnitt-Durchflussmesser

---


$$E = m \cdot c^2$$

In einer Rohrleitung befindet sich ein Drosselorgan, den Durchflussquerschnitt verengt. Der Unterschied der statischen Drücke im Fluid sowohl vor als auch nach der Verengung, die mittels eines Messgerätes des Differenzdrucks gescannt werden, hängt vom Durchfluss ab. Die meistverwendeten Drosselorgane sind runde Blenden, Düsen und Venturi-Rohre. Unter speziellen Drosselorganen gehören auch quadrat- und rechteckförmige Blenden und quadratförmige Venturi-Rohre, die bei einem quadrat- und rechteckförmigen Querschnitt der Rohrleitung verwendet werden.

---

## Rotameter

---

$E=m \cdot c^2$

Rotameter gehören zur Gruppe von sog. Durchflussmessern mit einem veränderlichen Querschnitt, deren Durchflussteile den Fluss auf ein ungefähr konstantes Druckgefälle in einem verengerten Querschnitt ändern. Die wichtigsten funktionalen Teile sind vertikal angeordnete Rohre mit einem konischen Boden, die sich nach oben erstrecken (Öffnungswinkel des Kegels beträgt weniger als  $2^\circ$ ).

---

## Turbinen- und Flügelrad-Durchflussmesser

---

$E=m \cdot c^2$

Bei diesen Durchflussmessern ist die Geschwindigkeit der Drehung eines Rotors, eines Flügelrads oder einer Schraube direkt proportional zur mittleren Strömungsgeschwindigkeit.

Der Durchfluss wird hier als Drehzahl des Rotors ausgedrückt, die von der Menge des durchfließenden Fluids abhängt. Nach der Strömungsrichtung unterscheidet man axiale und radiale Durchflussmesser.

Ein Turbinen-Durchflussmesser ist ein Repräsentant der axialen Durchflussmesser - sein Rotor hat Flügelräder, die am Mittelteil im Lager befestigt sind. Solche Durchflussmesser werden in einer breiten Skala der Messbereiche von bis zu einigen hundert  $m^3/h$  angeboten. Turbinen-Durchflussmesser sind sowohl für Flüssigkeiten als auch Gase geeignet. Für die Pulsmessung der Drehgeschwindigkeit werden verschiedene Sensoren von den mechanischen bis zu den kontaktlosen eingesetzt. Die Pulse werden weiter verstärkt und geformt.

---



Die Drehfrequenz einer Turbine ist direkt proportional zum aktuellen Durchfluss. Kontaktlose Sensoren sind auch wegen der Verarbeitung des digitalen Signals vorteilhaft. Für die Bestimmung des aktuellen Flusses wird eine konstante Zeitdauer zu den Pulsen ergänzt und es ist kein A/D-Wandler erforderlich. Ein relativer Messfehler kann  $<0,5\%$  sein, der Druck bis zu 30 MPa betragen und der Temperatur zwischen  $-200\text{ }^\circ\text{C}$  und  $200\text{ }^\circ\text{C}$  liegen.

---

## Induktive Durchflussmesser

---

$E=m \cdot c^2$

Induktive Durchflussmesser basieren auf dem Gebrauch des Faradayschen Gesetzes der elektromagnetischen Induktion während der Bewegung eines Leiters im magnetischen Feld. Die Bewegung des Leiters, der durch die Strömungsgeschwindigkeit hervorgerufen wird, generiert im magnetischen Feld eine elektrische Spannung. Das magnetische Feld in der Rohrleitung und dem Fluid entsteht mittels eines permanenten Magnets oder Elektromagnets.

Der Rohrleitungsabschnitt zwischen den Magnetpolen darf nicht aus einem ferromagnetischen oder leitfähigen Material hergestellt werden. Im Innendurchmesser des Messrohrs eines Durchflussmessers sind zwei Elektroden für die Messung der induzierten Spannung, die vertikal zur Richtung der magnetischen

Kraftlinien ausgerichtet sind. Ein induktiver Durchflussmesser besteht daher aus einem nichtmagnetischen zylindrischen Rohr und zwei geeignet angeordneten Scannern der Elektroden.

---

## Ultraschall-Durchflussmesser

---

$E = m \cdot c^2$

Diese Durchflussmesser können in zwei grundlegende Gruppen eingeteilt werden, entweder sie nutzen den Doppler-Effekt oder sie messen die Dauer der Übertragung des Ultraschallsignals.

---

### *Ultraschall-Durchflussmesser, die den Doppler-Effekt gebrauchen*

---

$E = m \cdot c^2$

Das Prinzip der Ultraschall-Durchflussmesser, welche die Dauer der Übertragung des Ultraschallsignals messen, kann verwendet werden, falls das strömende Medium reflektierende Schallteilchen umfasst, beispielsweise feste Teilchen oder Gasblasen. Ein Durchflussmesser besteht aus einem Ultraschallsender und einem Empfänger, die auf einer Seite der Rohrleitung installiert werden. Ein Ultraschallsignal einer bekannten Frequenz von ungefähr 1,2 MHz wird in die strömende Flüssigkeit übertragen, wo es von den sich bewegenden Teilchen oder Blasen reflektiert wird. Wenn der Empfänger das reflektierte Signal wahrnimmt, wird die Frequenz des empfangenen Signals ausgewertet. Der Unterschied zwischen diesen zwei Frequenzen ist proportional zur Geschwindigkeit des durchfließenden Mediums.

---

Ultraschallverfahren können für die Messung sowohl von kleinen als auch großen Flüssen reiner, verschmutzter oder aggressiver Flüssigkeiten, die Messung pulsierender Flüsse und die Messung der Schlamme und des Durchflusses beim Tauen bei hohen Temperaturen verwendet werden.

## 2.4 Sensoren für die Messung des Wärmeflusses

---


$$E=m \cdot c^2$$

Ihr Prinzip besteht in der Verarbeitung der Energiebilanz beim Teilen der Wärme aus elektrisch erwärmten Heizelementen eines strömenden Fluids, wobei sich die Temperaturverteilung ändert. Die Temperaturänderungen sind proportional zur Menge der strömenden Flüssigkeit.

---

### Thermische Anemometer

---


$$E=m \cdot c^2$$

Es handelt sich um Sensoren der Menge des Wärmeflusses, dessen Temperatursensoren in das strömende Fluid direkt eingreifen - die Kühlwirkung der erzwungenen Strömung auf den erwärmten Sensor wird ausgewertet. In der Rohrleitung werden üblicherweise zwei Widerstandsthermometer angeordnet.

---

## 2.5 Sensoren für die Messung der Höhe und Position

---

$E=m \cdot c^2$

Es handelt sich um typische automatisierte Messaufgaben, die spezifisch für konkrete Messobjekte sind, beispielsweise Flüssigkeitspegel und Schüttmaterialien. Die Höhenmessung wird üblicherweise mit der Berechnung der Menge verbunden. Man kann die Menge mit Hilfe der bei der Höhenmessung aufgezeichneten Daten, die selbstverständlich von der Form des Behälters abhängig sind, zum Beispiel Wasserspeicher, in dem der Pegel gemessen wird. Wird die Messung in Behältern mit einem konstanten Querschnitt und einer konstanten Höhe durchgeführt, ist die Auswertung sehr einfach.

---

### Ultraschall-Höhenmessung

---

$E=m \cdot c^2$

Höhenmesser (üblicherweise in der Form der Füllstandsensoren), die das Prinzip des Ultraschalls nutzen, verwenden zwei Verfahren. In dem ersten Fall wird die Dauer des Durchgangs einer Ultraschallwelle von dem Sender durch Reflexion von der Fläche zurück zum Empfänger gemessen und die Entfernung wird von der gemessenen Zeit und Geschwindigkeit des Ultraschalls in der bekannten Umgebung berechnet. Dieses Verfahren wird für eine kontinuierliche Pegelmessung eingesetzt. Das zweite Verfahren wertet die Dämpfung der Ultraschallwellen in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Umgebung aus, durch die der Ultraschall durchgeht. Es ist für kontinuierliche kontaktlose Messung des Pegels sowohl in offenen als auch geschlossenen Behältern mit einem Fluid oder Schüttmaterialien geeignet. Es kann auf einen verschmutzten Schnee, klebrige Materialien und unter gewissen Umständen zur Erkennung eines Schaumpegels verwendet werden. Die Vorteile umfassen die Absenz beweglicher Teile, eine kontaktlose kontinuierliche Messung, die Möglichkeit der Installation am Außenbehälter ohne Verletzung seiner Dichtung, eine kompakte Konstruktion der Sensoren, Auflösung von bis zu 1 mm und hohe Genauigkeit der Messung. Zu den Nachteilen gehören die Beeinflussung des Signals von der Anwesenheit von Rauch, Staub, Schaum und störende Wirkungen eines turbulenten Pegels.

---

### Radar- und Lasermessung der Höhe und Entfernung

---

$E=m \cdot c^2$

Radarsensoren für die Pegelmessung arbeiten wie Ultraschall-Füllstandsensoren, jedoch mittels elektromagnetischer Wellen, die sich über das Medium mit der Lichtgeschwindigkeit verbreiten. Die Mikrowellenstrahlung wird als die Frequenz der Wellen über ungefähr 2 GHz definiert. Radar-Füllstandsensoren verwenden zwei Messverfahren: das Zeitverfahren (Pulsverfahren) und das Frequenzverfahren (mit modulierten Signalen).

---

Die Radar-Füllstandsensoren arbeiten ohne bewegliche mechanische Teile und sind durch eine hohe Genauigkeit ( $\pm 1$  mm) und Zuverlässigkeit auch bei sehr anspruchsvollen Betriebsbedingungen (hohe Temperatur, Druck, aggressive



Umgebung) gekennzeichnet. Lasersensoren für die Entfernungsmessung senden Millionen kurzer Pulse des Laserlichtes pro Sekunde und zeichnen die Zeit auf, welche die Pulse für Weg zum Ziel und zurück zum Sensor brauchen. Allgemein gilt, dass ein großer Bereich des Sensors die Messung kleiner Elemente oder Objekte erlaubt, auch wenn der Sensor weit von dem gefährlichen Gebiet des Herstellungsprozesses eingebaut ist. Ein klares und gut sichtbares Licht, das von dem Laserstrahl ausgestrahlt wird, beschleunigt die Aktivierung des Sensors.

## 3 Aktoren

Aktoren oder auch Aktuatoren sind technische Elemente, die direkt auf Ausgänge des Steuersystems reagieren. Nachfolgend wird eine kleine Gruppe der meistverwendeten Aktoren beschrieben.

### Elektrische Aktoren

---

$E=m \cdot c^2$

Einer der am häufigsten eingesetzten Aktoren in der (vor allem gesteuerten) Automatisierung ist ein elektrischer Motor - Antrieb. Antriebe können in lineare Motoren und Rotationsmotoren aufgeteilt werden. Heutzutage sind diese Einrichtungen durch die Möglichkeit eines höheren Typs der Kommunikation gekennzeichnet - z. B. haben sie einen analogen Ausgang oder serielle Leitungen (RS-232C, RS-485), die für die Steuerung der Drehgeschwindigkeit, der Position usw. eingesetzt werden können.

---

### Gleichstrommotoren

---

$E=m \cdot c^2$

Diese Motoren bestehen aus einem Stator (feststehender Teil) mit Hauptpolen mit einer Erregungsspule und einer Hilfsspule, die zwischen den Hauptpolen zur Verbesserung der Kommutationseigenschaften angeordnet ist. Der bewegliche Teil - Rotor dreht sich in einem magnetischen Feld und wird aus Metallplatten hergestellt.

---

$E=m \cdot c^2$

Der größte Strom fließt in die Rotorspulen in Ruhe - der Motor erzeugt so einen hohen Anlaufdrehmoment. Andererseits wird bei einer schnellen Motordrehung eine Spannung gebracht, die den in die Rotorspule fließenden Strom senkt, und das Drehmoment sinkt mit der steigenden Drehzahl. Ein Motor mit diesen Drehmomentcharakteristiken bewältigt leicht verschiedene Belastungen.

---

### Synchrone Motoren

---

$E=m \cdot c^2$

Das charakteristische Merkmal dieser Motoren ist die Übereinstimmung der Drehzahl des Rotors und des magnetischen Statorfeldes. Der Wechselstrom in der Statorwicklung (1 oder 3 Phasen) generiert ein drehendes magnetisches Feld. Der Rotor kann aus einem permanenten Magnet mit alternativ bestimmten Polen hergestellt sein oder seine Wicklung wird von einer Gleichstromquelle (Erreger) versorgt und so wird ein Elektromagnet erzeugt. Ein erregter synchroner Motor nach dem direkten Anschluss an Wechselstrom dreht sich an sich nicht. Der dreiphasige Wechselstrom im Stator generiert ein rotierendes magnetisches Feld, das sich mit der Geschwindigkeit dreht, die von der Frequenz der Energiequelle und der Anzahl der Pole im Motor bestimmt wird. Der Rotor, der sich nicht mehr bewegt, wird von dem Gleichstrom versorgt, was das stationäre magnetische Feld erregt. Die Aktionskraft des Motors wird jedenfalls von der Interaktion zwischen

dem Rotor- und Statorfeld generiert. Die Richtung dieser Kraft ändert sich mit der Drehgeschwindigkeit des Stators.

---

Wegen der Ausbreitung der digitalen Steuersysteme und der Arbeit mit digitalen Informationen werden auch Anwendungen der Schrittmotoren verbreitet, bei denen der Lenkwinkel der Welle von der Anzahl der Pulse in der Kontrollwicklung bestimmt wird. Charakteristisch für Schrittmotoren ist die un stetige Wellenbewegung, die von der Änderung der Position in einem gewissen Winkel hervorgerufen wird: die Schritte entstehen als eine Reaktion auf einen Steuerimpuls.

## Asynchrone Motoren

---



$E=m \cdot c^2$

Die Funktion der asynchronen Motoren basiert auf einer gegenseitigen elektromagnetischen Wirkung des rotierenden magnetischen Feldes der Rotoren und Statoren und der Ströme, die in der Rotorwicklung von diesem Feld generiert werden.

---

Asynchrone Motoren beruhen auf Induktionsspannung und -strom im Rotor und werden deshalb auch als Induktionsmotoren bezeichnet. Das rotierende magnetische Feld wird im asynchronen Motor in der Wicklung des Stators generiert, die als dreiphasig hergestellt wird und um  $120^\circ$  im Raum gedreht wird. Asynchrone Motoren arbeiten in einem begrenzten Drehzahlbereich, beziehungsweise kann die Drehzahl von einem angeschlossenen Frequenzumrichter gesteuert werden.


Die meistverwendeten Typen sind drei- und einphasige asynchrone Motoren.

## Pneumatische Antriebe/Aktoren

---

Nach Konstruktion werden pneumatische Antriebe in Kolben- und Membranantriebe klassifiziert. Die Membranantriebe werden meist zur kontinuierliche Ventilregelung verwendet. Die Rotationsantriebe werden für die Regelung der Drehung der Armaturen oder Klappen bestimmt.

---



Die Verstellkraft der pneumatischen Antriebe beträgt von 0,5 kN bis 90 kN. Diese Antriebe sind nur einfachwirkend - ihr Kraft wirkt gegen eine Feder, welche die Rückkehr sicherstellt. Dank der beschriebenen Konstruktion können diese Aktoren auch als Notantriebe eingesetzt werden. Tritt ein Verlust des Drucks des gesteuerten Mediums auf, können sie den Verschluss in die erforderliche Lage verstellen. Nach der Konstruktion der Feder werden sie wie folgt eingeteilt:

- mit einer direkten Funktion (NO – normal open) – Typ des Antriebes ohne Druck zum Öffnen
  - mit einer indirekten Funktion (NC – normal closed) – Typ des Antriebes ohne Druck zum Schließen
-

## 3.1 Hydraulische Aktoren

Hydraulische Aktoren sind insbesondere für Anwendungen mit einer hohen Verstellkraft geeignet. Die generierte Kraft ist 25-mal höher als bei den pneumatischen Zylindern der gleichen Größe. Ihr Verhältnis zwischen der Leistung und dem Gewicht ist auch hoch, und zwar um 1 bis 2 PS/lb höher im Vergleich zu pneumatischen Motoren. Eine ihrer wichtigen Eigenschaften ist, dass sie die Kraft und das Drehmoment ohne laufende Pumpe konstant aufrechterhalten können, die einen höheren hydraulischen Druck wegen der Inkompressibilität der Flüssigkeiten liefern kann. Diese Antriebe können seine Druckquellen (Pumpen und Motoren) in einer großen Entfernung mit einem minimalen Leistungsverlust haben. Sie haben jedoch auch Nachteile, wie Lecken der Flüssigkeit. Wie bei den pneumatischen Aktoren führt ein Verlust der Flüssigkeit zur Senkung der Wirksamkeit. Hydraulische Aktoren brauchen viele zusätzliche Teile einschließlich Akkumulatoren des Fluids, Motoren, Pumpen, Ventile, Wärmetauscher und Einrichtungen zur Lärminderung.

### Frequenzumrichter

Frequenzumrichter werden für eine kontinuierliche Bedienung asynchroner Motoren mit einem Kurzschlussläufer verwendet - spezifisch für die Steuerung der Drehgeschwindigkeit, des Drehmomentes, des Starts und der Prozesse nach dem Anlauf. Die Steuerung erfolgt durch eine geänderte Frequenz der Versorgungsquelle in der Kombination mit der Steuerung der Spannung von einem Halbleiter-Frequenzumrichter, der einen indirekten Frequenzumrichter der Spannung (Gleichrichter, Gleichstromversorgung, Transistorwandler) umfasst. Eine Gleichstromquelle wird meist nicht gesteuert, es handelt sich um eine Diode. In einer Gleichstromquelle gibt es einen Siebkondensator zur Filterung der gleichgerichteten Gleichstromspannung und einen Dämpfer zur Unterdrückung der Stromstöße, wenn ein ungeladener Kondensator angeschlossen ist, und zur Verbesserung des Stromnetzes (zur Begrenzung der Harmonie und Steigung der Wirksamkeit).

Aus der Gleichstromquelle wird ein Transistorumrichter versorgt, der durch eine Pulsweitenmodulation die Wechselspannung emuliert. Die Steuerung der Drehgeschwindigkeit wird durch die Änderung der Frequenz gelöst. Der Frequenzbereich erstreckt sich von 0 bis Nennfrequenz. Der Verlauf der Frequenz kann gesteuert werden, und zwar einschließlich Anlaufs und Bremse des Motors. Der Bremsvorgang kann dabei sowohl in einen Widerstand als auch als regenerative Bremse realisiert werden.

### Softstarter

Es handelt sich um Einrichtungen für einen sanften Start asynchroner Motoren - einen Start mit Grenzen, die den Strom und Momentstöße begrenzen. Dies wird durch Steuerung der Spannung an Klemmen des Motors bei der Aufrechterhaltung einer konstanten Netzfrequenz des Halbleiter-Wechselstromumrichters erzielt. Sie sind für Motoren mit der Leistung in der Größenordnung von einigen Kilowatt bis

zu einigen Megawatt bestimmt. Softstarter sind auch für einphasige Motoren vorgesehen. Ein Softstarter für dreiphasige Motoren besteht aus drei Phasenthyristorpaaren zur Phasenregelung und in einer antiparallelen Schaltung. Für Motoren in Sternschaltung kann ein Softstarter in Dreieck angeschlossen werden, so dass der Softstarter nur den Strom in der Wicklung regelt und gegenüber der Steuerung des Phasenstroms einfacher dimensioniert werden kann. Man kann einen Bypass verwenden, der eine Überbrückung des Stroms nach dem Start ermöglicht, und der Softstarter kann so beim Start weiterer Motoren helfen. Ein Softstarter kann die Motordrehgeschwindigkeit nicht steuern, was durch eine einfache Steuerung und einen niedrigen Preis kompensiert wird. Softstarter werden daher vor allem für den Start von Lüftern, Pumpen, Kompressoren und dort verwendet, wo es eine hohe Trägheit der startenden Masse gibt, z. B. bei Fördereinrichtungen und Zentrifugen. Sie sind nicht für Antriebe mit einem hohen Anfangsdrehmoment geeignet.

## 4 PLC, PAC, PCS

Diese Steuersysteme werden vielleicht am häufigsten eingesetzt. Oft wird auch der Begriff *speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)* verwendet. Das wichtigste Merkmal der **SPS** stellt vor allem die Tatsache dar, dass sie von Benutzern programmiert werden und zugleich anwenderfreundlich sind. Die Programmierung in graphischen Sprachen ähnelt dem Zeichnen von Diagrammen (Kontaktschaltpläne, logische Schaltpläne, Blockschaltbilder, Zustandsdiagramme). Sie ist leicht zu beherrschen und daher kann sie von Elektrikern, Projektanten automatisierter Systeme oder Programmierern bei der Programmierung grundlegender Aufgaben einfach eingesetzt werden. Die Programmiersprachen für **PLC** wurden von der internationalen Norm IEC/EN 61131-3 in vier Typen standardisiert. Die Sprache Anweisungsliste (**AWL**, engl. *Instruction List*, **IL**) ist eine ähnliche Textsprache wie die Sprache Assembler, wo die entsprechenden Befehle ihre mnemotechnischen Abkürzungen sind. Ein Programm in der AWL-Sprache ist lang und nicht transparent. Die Sprache Strukturierter Text (engl. *Structured Text*, **ST**) ist eine Sprache eines höheren Niveaus und ähnelt der Sprache Pascal. Sie ist leistungsfähig und algorithmisch. Im Wesentlichen handelt es sich um die fortgeschrittenste Art der Programmierung. Die Sprache Kontaktplan (**KOP**, engl. *Ladder Diagram*, **LD**) stellt eine graphische Sprache dar, die wie ein Diagramm in einer Zeile aussieht, das in der Vergangenheit fürs Anschließen von Verteilern und Relais in Systemen verwendet wurde. Die KOP-Sprache ist für Schreiben einfacher logischer Programme geeignet, die nur grundlegende logische Operationen und ein intuitives Verfahren brauchen. Die graphische Funktionsbausteinsprache (**FBS**, engl. *Function Block Diagram*, **FBD**) ist ähnlich wie ein logischer Schaltplan eines logischen Systems mit integrierten Kreisen oder ein allgemeineres Blockschaltbild. Das Programm in FBS ist sehr transparent, falls es nicht unnötigerweise kompliziert geschrieben wurde. Bei der Verwendung von Bibliotheken spezieller Funktionsbausteine (standardmäßigen Bibliotheken oder Benutzerbibliotheken) kann die FBD-Programmierung sehr effizient sein.

Es gibt einige Typen der PLC, die eine Unterscheidung nach ihrer Größe und mechanischen Anordnung zulassen.

### Mikro-PLC

$E=m \cdot c^2$

---

Sie stellen die niedrigste Klasse der PLC mit einem typischen Bereich von 10i – 20i Ein- und Ausgängen dar.

---

### Kompakte PLC

$E=m \cdot c^2$

---

Es handelt sich um Einrichtungen einer mittleren Klasse mit einem typischen Bereich von 20i – 80i Ein- und Ausgängen, manchmal auch mehr.

---

## Modulare PLC

---



Modulare PLC sind Einrichtungen einer höheren Klasse - mit der Begrenzung ihrer Rechenleistung, Kommunikationsmöglichkeiten und Konfigurationsmöglichkeiten (typischerweise im Bereich von einigen hundert bis einigen tausend Ein- und Ausgängen, verschiedene Arten und Kombinationen, spezialisierte Peripheriemodelle, verschiedene Typen der zentralen Einheiten und Kommunikationsmodule, Industrie-Computermodule).

---

## 5 Sonstige Steuersysteme

SoftPLC-Systeme werden üblicherweise als Software in Industrie-Computern implementiert, die Programmierung laut der Norm IEC/EN 61131-3 verwenden (siehe oben). Zu den Hauptvorteilen gehören ein Betriebssystem, eine einfache Anwendung der standardmäßigen Softwareprodukte, die Anwendung der üblichen, an Computer angeschlossenen Peripherien, die Anwendung der Archiv- und Kommunikationsfunktionen, die Ethernet-Schnittstelle, die Kommunikation über Internet und eine hohe Rechenleistung.

Das Risiko der Instabilität des Betriebssystems wird typischerweise mit Hilfe eines Echtzeit-Betriebssystems und ergänzender Module gelöst, die an einen üblichen Computer angeschlossen werden, der die Funktionen eines PLC durchführt. Es gibt viele Methoden, wie Systeme SoftPLC realisiert werden können. Auch andere Einrichtungen können als PLC programmiert werden, wie im Einklang mit der Norm IEC / EN 61161-3 programmierte Frequenzumrichter. Ähnliche Merkmale sind für einige intelligente IO-Module typisch.

Der Begriff Industrie-Computer betrifft eine breite Skala von Rechnerprodukten. Die häufigste Kategorie stellen eingebettete (engl. *embedded*) Systeme dar - es handelt sich um Systeme, die in einer Maschine, einem Steuersystem oder einer anderen Einrichtung „eingebaut“ sind. Industrie-Computer werden manchmal mit der Abkürzung **IPC** (engl. *Industrial PC*) bezeichnet. Sie wird manchmal im gleichen Sinne wie eingebettete Systeme verwendet, manchmal werden PC-Klassen unterschieden, die speziell für extreme Beständigkeit und nachteilige Bedingungen in der industriellen Umgebung konstruiert werden.

Häufig werden eingebettete Computer mit Operatorpulten, üblicherweise mit einem Touchscreen, bestückt. Ihre Hauptfunktion ist die Implementierung der Operatorschnittstelle (engl. *Human-Machine-Interface*, **HMI**). Eine übliche Computerausstattung, ein Speicher, die Kommunikation und eine gute Farbgraphik ermöglichen eine komfortable Visualisierung, Überwachung und Aufsicht des Zustandes des kontrollierten Objektes. Zugleich bieten sie eine anwenderfreundliche Schnittstelle an. Ähnliche Funktionen können durch einen kompakten eingebetteten Computer ohne Bildschirm realisiert werden – solche Einrichtungen werden vor allem wegen ihrer Rechenfunktionen, Datenarchivierung, Kommunikationsfunktionen und des standardmäßigen Betriebssystems verwendet. Auch dienen sie als ein Tool des Zugriffes auf übliche Peripherien oder Softwareprodukte. Ihre Aufgabe kann auch die Archivierung großer Datendateien (wie Kommunikationsadapter für Ethernet), die Sicherstellung eines Zugriffspunktes auf das Internet oder das Berechnen der numerisch umfangreichen Rechenalgorithmen sein.

Modulare eingebettete Computer werden für anspruchsvolle Anwendungen verwendet. Als PLC sind sie sehr universal und ihre Konfiguration kann in Abhängigkeit von der Anforderung des gesteuerten Objektes erfolgen.

Industrie-Computer nähern sich den PLC an. Eine standardmäßige Ausstattung für PLC der größten Hersteller umfasst Computermodule (d. h. eingebettete Industrie-Computer) oder zentrale Einheiten der PLC werden als Computer realisiert (etwas zwischen PLC und SoftPLC).



Auf den ersten Blick kann man nicht sofort sagen, ob ein Steuersystem als ein modularer Industrie-Computer, eine speicherprogrammierbare Steuerung oder ein SoftPLC-System implementiert wurde. Zu den Hauptkriterien der Klassifizierung gehören die Art der Programmierung und verfügbare Programmiersprachen (für PLC sind sie im Einklang mit der Norm IEC/EN 61131-3).

## 5.1 DCS

---



Verteilte Steuersysteme (engl. *Distributed Control System*, **DCS**) sind umfangreiche Prozessleitsysteme (engl. *Process Control System*, **PCS**) und wurden zuerst in den sechziger Jahren zusammen mit den ersten Steuercomputern eingesetzt, welche die geeignete numerische Lösung der zentralisierten Steuerung großer technologischer Systeme (beispielsweise chemischer Systeme, Kraftwerke) darstellen.

---



Einige DCS sind spezialisiert, einige können in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt werden. Eine Ausnahme sind Steuersysteme, welche extrem hohe Anforderungen an Sicherheit und Zuverlässigkeit haben. Sehr sichere und zuverlässige Systeme sind auch sehr teuer und werden nicht eingesetzt, ohne dass es unbedingt nötig ist. Diese Systeme haben eine strenge hierarchische Struktur mit drei Ebenen der Bedienung, die nach dem Prinzip von oben nach unten arbeitet:

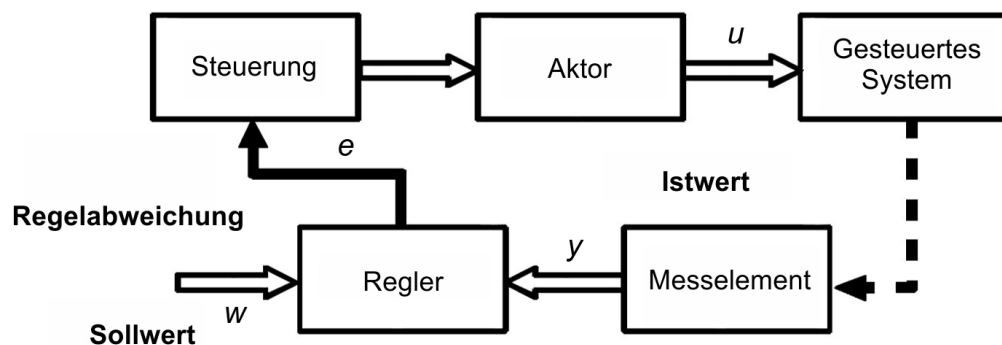
- Füllstandsensoren - Sensoren, Antriebe
  - Ebene der ersten Kontrolle (Steuertechnologien und Regelung)
  - Operatorebene
  - Überwachungsebene
- 

Jedenfalls werden umfangreiche DCS immer noch von dem Steuersystem mit einer hohen Zuverlässigkeit in den Bereichen repräsentiert, wo eine große Menge von Ein- und Ausgängen verschiedener Typen zu behandeln ist und wo die Zuverlässigkeit und die Sicherheit wirklich entscheidend sind. Ihr Vorteil besteht auch in der Kompaktheit des Systems.

## 6 Regelung

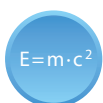
### 6.1 Regelung der Steuerung

Eine höhere Ebene der Regelung stellt eine automatische Steuerung dar. Dann wird ein System so gesteuert, dass eine oder mehr physikalische Größen nach den vorgeschriebenen Anforderungen reguliert werden. Ein Beispiel eines solchen Systems ist ein Gaskessel - das gesteuerte System führt die Vorerwärmung des Materials wegen Oberflächenbehandlung (z. B. Anlassen) durch. Das Material im Ofen muss auf die eingegebene Temperatur erwärmt werden und für eine gewisse Zeit muss diese Temperatur von den Regelkreisen (Steuer- und Regelkreisen) aufrechterhalten werden. Die Temperatur muss gemessen werden und ihr Wert von einem Regelventil (Aktor) der Versorgung des Brenngases gesteuert werden. Dieses System wird nach einem oder mehreren gemessenen Parametern gesteuert. Es kann sich um verschiedene physikalische Größen handeln: Temperatur, Druck, Geschwindigkeit, Leistung, Spannung usw. Die Messeinheit wandelt die Messwerte in ein entsprechendes Signal und übergibt es dem Steuersystem. Weil es sich um eine Übertragung der Informationen zurück vom System handelt, wird es als Rückkopplung bezeichnet. Ein Bestandteil der Eingänge bilden auch Sollwerte (engl. setpoint) für den Regler. Für die Steuerung der Rückkopplung wird der Unterschied zwischen diesen Werten und den gemessenen Signalen, d. h. Regelabweichung, festgestellt. Das Signal der Regelabweichung kommt zum Steuerblock, dessen Größe den entsprechenden Steuereingang für den Antrieb (Stellgröße - Befehl) erzeugt. Seine Größe beeinflusst das gesteuerte System und seine Parameter.



Schema der Regelung der Steuerung

### Steuerung



Die Steuerung ist ein Prozess, der die Rückkopplungen zum Erreichen des erforderlichen Ziels verwendet (rückgekoppelte Steuerung). Das Ziel der Steuerung ist das Erzielen und Aufrechterhalten des Sollwertes (Ausgangs) der gesteuerten Größe (z. B. Raumtemperatur, Behälterpegel) oder ihres erforderlichen Zeitverlaufs (z. B. Verlaufs der Temperatur nach Wochenplan oder Raumtemperatur nach

verschiedenen Spezifikationen). Der Sollwert des gesteuerten (regulierten) Größe muss nicht nur bei Änderungen, sondern auch bei der Wirkung der Störgrößen sichergestellt werden, die das gesteuerte System beeinflussen. Diese Störungen haben üblicherweise eine unvorhersehbare Charakteristik, z. B. Verlust oder Erhöhung der Wärme in einem geheizten Raum, die von einer Änderung der Außentemperatur, die durch Fenster, Luftzug, Wand- oder Raumdämmung, Anwesenheit von Personen oder die Versorgung der elektrischen Einrichtungen verursacht werden.

---

## Rückkopplung

---

$E = m \cdot c^2$

Auf dem Bild „Schema der Regelung der Steuerung“ im Kapitel 6.1 ist ein Prinzipschaltplan eines Regelkreises gezeigt. Der Eingang des ganzen Systems ist der Sollwert ( $w$ ) und der Ausgang ist der Istwert ( $y$ ). Ihr Unterschied ist die Abweichung  $e = w - y$ , die einen Eingang des Reglers darstellt. Das Steuergerät verarbeitet die Abweichungen und sendet Regelgrößen, die mittels Antrieben auf das geregelte System wirken. Zur Annäherung an den Sollwert  $w$  versucht das Steuergerät, die Abweichung des Istwertes  $y$  zu minimieren.

---

## PID-Regler

---

$E = m \cdot c^2$

**PID** ist der meistverwendete Reglertyp. Eine gemeinsame Eigenschaft üblicher **P**-, **PI**- und **PID**-Regler ist die Linearität. Bei einem proportionalen Regler (**P-Regler**) ist die Regelgröße direkt proportional zur Abweichung.

---

Die Regelgröße eines proportional-integrierenden Reglers (**PI-Reglers**) ist die Summe von zwei Komponenten - der proportionalen Komponente, bei der die Regelgröße wie bei einem P-Regler direkt proportional zur Regelabweichung ist, und der integrierenden Komponente, die direkt proportional zum akkumulierten Wert der Regelabweichung, d. h. zu ihrem Integral, ist. Der integrierende Teil kann einen Nullpunkt-Regelabweichung in einigen Fällen erzielen, wenn dies mit einem rein proportionalen Regler nicht möglich ist.

Der Ausgang (die Regelgröße) eines proportional-integrierend-differenzierten Reglers (**PID-Reglers**) hat eine weitere differenzierte Komponente. Sie kann künftige Entwicklungen „vorhersagen“ und bietet eine schnellere Reaktion auf Änderungen des Systems an. Der Nachteil besteht in der Empfindlichkeit gegen das Hochfrequenzrauschen, das bei jeder Messung auftritt und das eine zufällige Reaktion des Systems verursachen kann.

Bis vor kurzem wurden PID-Regler durch analoge Kreise realisiert, üblicherweise als Operationsverstärker. Heutzutage werden sie vor allem in Software implementiert. Diese Software läuft auf einem Mikroprozessor, Signalprozessor oder PLC in industriellen Anwendungen oder sogar auf einem üblichen Computer.

---

Nachfolgend wird ein Aktionseingriff berechnet:

$$u_k = p \cdot e_k + i \cdot \sum e_k + d \cdot \Delta e_k.$$



Das Integral der Regelabweichung wird durch Summe der Regelabweichungen in diskreten Zeiten in jedem Schritt ersetzt ( $\Sigma e_k = \Sigma e_{k-1} + e_k$ ). Die Ableitung wird durch eine Rückdifferenz, d. h. Unterschied zwischen dem aktuellen und dem vorigen Wert der Regelabweichung  $\Delta e_k = e_k - e_{k-1}$  ersetzt.

---

## 7 SCADA-Systeme

Die Bedeutung dieser englischen Abkürzung ist Supervisory Control And Data Acquisition (System der Fernsteuerung und Datenerfassung). Es handelt sich um eine Software, welche die Überwachung, Steuerung und Archivierung von Ereignissen eines technologischen (oder selbstverständlich auch anderen) Prozesses erlaubt. **SCADA**-Systeme werden zurzeit häufig als eine mittlere Stufe in der Automatisierung der Steuerung in großen Firmen eingesetzt, die zum Beispiel mit **SAP**-Systemen oder ähnlichen Systemen dieser Kategorie verbunden werden.

$E=m \cdot c^2$

---

SCADA ist ein Softwaresystem, das mit codierten Signalen mittels Kommunikationskanälen zur Steuerung und Überwachung entfernter Einrichtungen arbeitet. Ein Steuersystem wird üblicherweise mit einem System zur Erfassung von Informationen über den Zustand einer entfernten Einrichtung ergänzt und zeigt diese Informationen an, verarbeitet sie und zeichnet sie auf.

---

$E=m \cdot c^2$

---

Eine Mensch-Maschine-Schnittstelle (engl. *Human Machine Interface*, **HMI**) ist eine Software für die Visualisierung technologischer Prozesse. HMI bietet den Betreibern einer technologischen Einrichtung detaillierte Schaltpläne bis zu den konkreten Sensoren, Informationen über Steuerung der Technologien, Trends und diagnostische Angaben.

---

**SCADA**-Systeme bestehen typischerweise aus den folgenden Teilen:

- **HMI** (*Human Machine Interface*)
- entfernte Terminals, die Signale des Sensors eines Prozesses in digitale Daten umwandeln und einen Anschluss dieser Sensoren an eine Steuerzentrale erlauben
- Skriptsprache zur Steuerung der einzelnen Technologien oder Funktionen
- Möglichkeit der Verbindung mit verschiedenen Netzen – **WAN** (engl. *World Area Network*), **LAN** (engl. *Local Area Network*), Ethernet, Senden von SMS usw.
- Kommunikation mit Computerhardware mittels Schichten (z. B. **HAL**), wodurch werden beispielsweise Graphen und Daten schneller angezeigt. Bei riesigen Datenmengen ist diese Funktion oft sehr wichtig.

Alle **SCADA**-Systeme haben zwei grundlegende Funktionsteile, und zwar Entwicklungs- und Runtime-Module.

—

---

Auf dem Markt sind verschiedene Versionen der **SCADA**-Systeme erhältlich, zum Beispiel:

- Wonderware In Touch der Firma Schneider Electric

- WinCC der Firma Siemens
  - RELIANCE der Firma Geovap
  - CITECT der Firma Schneider Electric
  - ControlWeb der Firma Moravské přístroje
  - RSView Studio der Firma Rockwell Automation
- 

## OPC

Eine der wichtigsten Funktionalitäten ist eine standardisierte Schnittstelle aus PLC/PAC in SCADA-Systemen. Es handelt sich um einen sehr verbreiteten Standard, weil er die Unabhängigkeit der PLC und SCADA erlaubt. Vorher war es ganz normal, dass der Lieferant der PLC auch das SCADA-System lieferte, so dass die Kompatibilität gesichert werden kann.