



Ingenieurwesen II	<b>Automatisierungstechnik (AUT)</b>	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	<b>Grundlagen 1.3</b>	25.02.2024

**Inhaltsverzeichnis:**

1.3	Schwerpunkte und Begriffe der MSR-Technik	2
1.3.1	Historische Entwicklung in der Messtechnik	2
1.3.1.1	Die Pneumatik war das Maß der Dinge	2
1.3.2	Steuern, Regeln, Leiten	11
1.3.1.1	Steuern	11
1.3.1.2	Regeln	14
1.3.1.3	Leiten	17



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.3	25.02.2024

### 1.3 Schwerpunkte und Begriffe der MSR-Technik

#### 1.3.1 Historische Entwicklung in der Messtechnik

Es gibt viele Gründe, warum die deutsche Prozessindustrie international gesehen über ein hohes Ansehen verfügt, einer dieser Gründe ist nicht zuletzt, dass unsere auf einem sehr hohen Sicherheitsniveau betrieben werden.

Über viele Jahrzehnte wurde die Messtechnik bzw. Hilfsgerätetechnik systematisch weiterentwickelt und die Erfahrungen aus den betrieblichen Einsätzen von den Herstellern genutzt, um die Produkte weiter zu verbessern. So wurden zuverlässige Geräte entwickelt, die helfen den wesentlichen Risikofaktor in einer Prozesskette, nämlich den Menschen, weitestgehend zu eliminieren. Menschliches Versagen ist die häufigste Ursache für Störungen oder gar Unfälle.

##### 1.3.1.1 Die Pneumatik war das Maß der Dinge

atp 8.2008

[www.atp-online.de](http://www.atp-online.de)

Dipl.-Ing. Klaus-Peter Heer  
Siemens AG

Vor 50 Jahren war bereits die Rede von „vollautomatischer Regelung chemischer Prozesse“; der Rückblick lohnt, wie sich seither Messgeräte, Stellglieder, Regler, Algorithmen usw. technisch verändert haben: Auch wenn sich wenig bis heute erhalten hat, ohne die gestiegene Mess- und Regelgüte, die vereinfachte, teils globale, gesicherte Kommunikation und ohne die Zunahme an Funktionen und Intelligenz der Geräte wäre das Niveau der heutigen Prozesstechnik nicht denkbar.

Im 50 Jahre zurückliegenden Aufsatz von *K. F. Früh* wird man mit zahlreichen Begriffen konfrontiert, die insbesondere für junge Ingenieure oder Techniker der Mess-, Regel- und Prozesstechnik fremd sind, weil diese heute weitgehend aus den Katalogen, Datenblättern und technischen Handbüchern verschwunden sind.



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	<b>Grundlagen 1.3</b>	25.02.2024

Da ist von pneumatischen Kraftvergleichsgeräten, Metallfaltenbälgen, Kraftwaagen und von genormten Drucksignalen (0,2 bis 1 bar) die Rede. Begriffe, die in der Welt heutiger Prozess- anlagen, welche mit einem modernen Leitsystem und intelligenten Messumformern ausgestattet sind, sich nicht mehr vereinbaren lassen.

Auf den ersten Blick scheinen sich im Vergleich zu heute komplett unterschiedliche Funktionsmechanismen gegenüberzustehen, die sehr wenig miteinander zu tun haben. Aber gerade dieser Artikel ist ein Bei- spiel dafür, wie durch technische Migration und mehrfache kleine (manchmal auch große) Technologiesprünge aus der rein pneumatischen Mess- und Regeltechnik in einem Zeitraum von 50 Jahren eine moderne Leit- und Prozesstechnik entstehen konnte, die mittlerweile von modernen Feldbussystemen ebenso beherrscht wird wie von diagnosefähigen Feldgeräten.

*K. F. Früh* beschreibt, wie fall- weise pneumatisch Kraft erzeugende Komponenten, nämlich die Faltenbälge, durch solche ersetzt werden können, die die Kraft proportional elektrisch er- zeugen, insbesondere durch die magnetischen Tauchspulensysteme. Das ist ein typischer Fall eines solchen kleinen, aber wichtigen Technologiesprungs, der so den Anforderungen nach größerer zu überbrückender Entfernung und höherer Geschwindigkeit elegant gerecht wurde. Und das auch noch modular im Baukastensystem.

Ermöglicht wurde dieser Wandel von der Pneumatik zur Elektrik auch durch einen wenige Jahre zuvor erfolgten großen Technologiesprung durch die Erfindung des Transistors und dessen industrieller Einführung Anfang der fünfziger Jahre.

### **Vor dem „Rechnen“ kam das „Kräftemessen“**

Ähnlich wie die Unterhaltungs- und Rundfunktechnik bis in die fünfziger Jahre auf die Elektronenröhren angewiesen war, galt für die Mess- und Regeltechnik bis dahin die Pneumatik als die wichtigste praktikable Technologie.



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.3	25.02.2024

Elektronenröhren konnten schon aus Gründen des Explosionsschutzes nur in Ausnahmefällen in Feldgeräten verwendet werden, da sie wegen des hohen Energieverbrauches und der damit verbundenen Erwärmung tabu waren oder umfangreiche Schutzmaßnahmen erforderten.

So funktionierte in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts meistens der gesamte Regelkreis vom Messumformer über den Prozessregler bis hin zum Stellungsregler an der Armatur rein pneumatisch ohne elektrische Bauelemente. Dabei wurde die physikalische Messgröße wie Druck, Temperatur, Durchfluss oder Füllstandshöhe nicht wie heute in ein 0/4 bis 20 mA-Signal umgeformt, sondern in ein pneumatisches Einheitssignal von 0,2 bis 1 bar. Darin war der analoge Messwert proportional abgebildet und wurde anschließend im pneumatischen Prozessregler mit dem eingestellten Sollwert, der meist durch einen Druckminderer erzeugt wurde, verglichen.

Der Vergleich von Soll- und Istwert wurde mit Hilfe einer sogenannten Kraftwaage durchgeführt, das heißt, die diversen Drucksignale wurden durch den Einsatz von Metallfaltenbälgen in Kräfte umgeformt nach der einfachen physikalischen Beziehung:  $\text{Kraft} = \text{Druck} \times \text{Fläche}$ . Je nach Richtung und Größe der Regelabweichung wurde das Steuerelement des Düse-Prallplatte-Systems mehr oder weniger ausgelenkt und ein nachgeschalteter pneumatischer Verstärker erzeugte schließlich das Ausgangsdrucksignal, das dann zum pneumatischen Stellungsregler oder direkt zum pneumatischen Antrieb geleitet wurde. Im Bild 7 ist das Funktionsprinzip eines solchen Prozessreglers dargestellt und in Bild 8 ein Gerät mit den möglichen Umrüst- und Austauschteilen. Die „Komfortvariante“ eines solchen Prozessreglers hatte bereits die Möglichkeit, pneumatisch PID-Parameter für die Optimierung der Regelung einzustellen, und verfügte über mehr als ein Dutzend Luftanschlüsse. Die Einbaumaße eines Reglers von 144 x 77 x 667 (H x B x T in mm) erforderten demnach vergleichsweise tiefe Wartentafeln.



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.3	25.02.2024

Heute repräsentiert ein solcher 9 kg schwerer Regler nur einen von einigen hundert oder gar tausend Regler-Bausteinen eines Prozessleitsystems, d.h., würde man in heutigen Leitsystemen die pneumatischen Maßstäbe bzgl. Größe und Gewicht ansetzen, so würde allein nur der Prozessregler Teil der Anlage einen Raum mit vielen Schränken füllen und mehrere Tonnen auf die Waage bringen.

In der Vergangenheit musste man sich daher auf die Automatisierung der wesentlichen Komponenten beschränken, um die Größe der Messwerte nicht ausufern zu lassen und auch den Luftverbrauch in Grenzen zu halten. Dazu kommt, dass ein modernes Leitsystem über Milliarden von Speicherzellen verfügt, die die Prozessführung enorm erleichtern. So sind Datenarchivierung sowie Diagnose- und Alarmmanagement, die hohe Speicherkapazitäten benötigen, heutzutage nicht mehr wegzudenken. Kaum zu glauben, dass ein pneumatisches Regelsystem ohne die Möglichkeit der Datenspeicherung auskam und dennoch seine Aufgabe meisterte. (Allerdings stand schon, zumindest für die Archivierung, relativ früh eine ausgereifte Schreibertechnologie zur Verfügung.

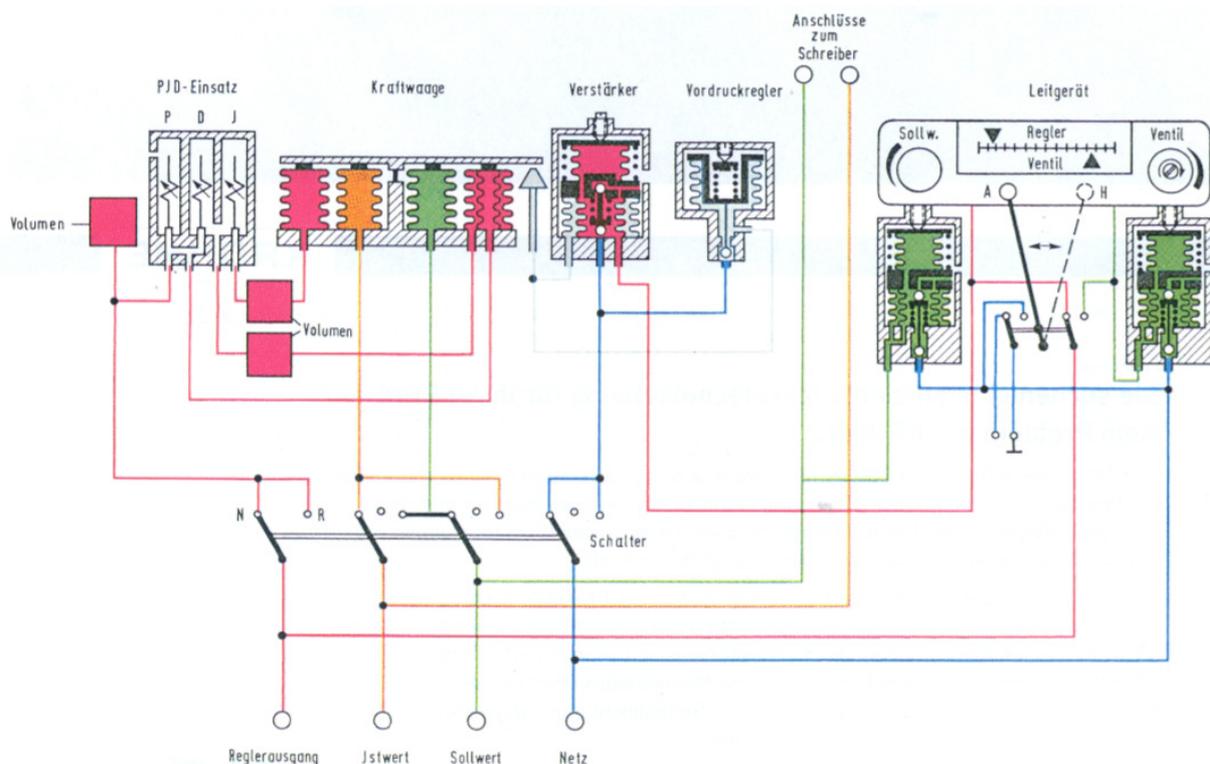
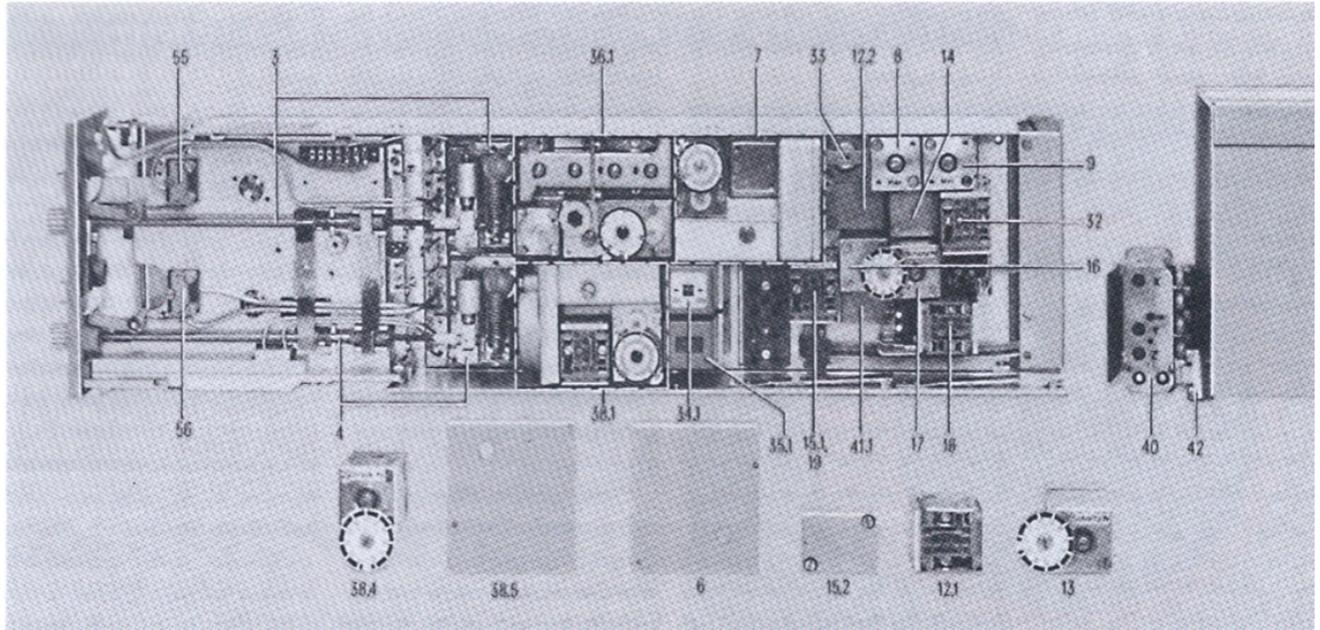


Bild 7: Funktionsprinzip eines pneumatischen PID-Prozessreglers für einen Regelkreis.



Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.3	25.02.2024

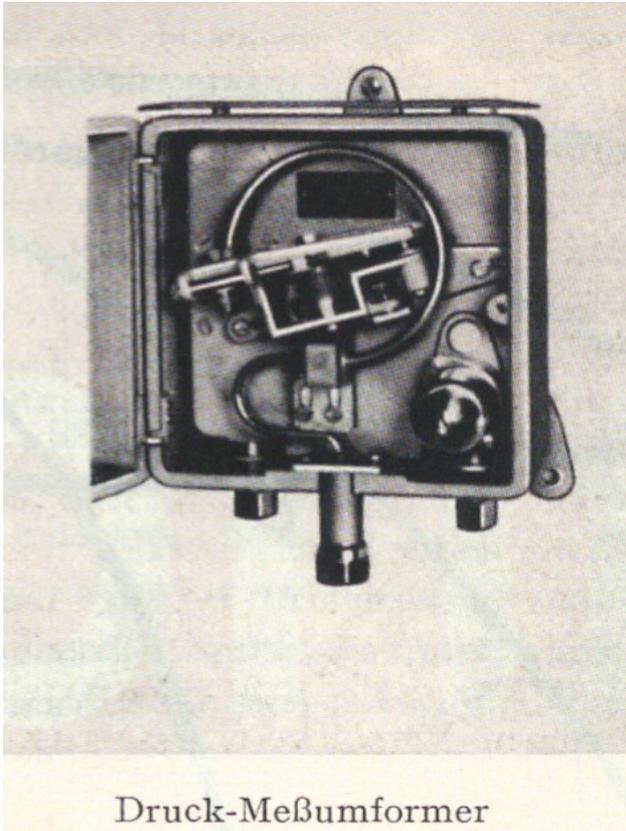


3 Sollwertinsteller	14 Reglerangleicher (anstelle von 13)	32 Pneumatisch-elektrischer Schalter (ggf. Doppelschalter) für Grenzwertmeldung	38.5 Brückenplatte C74450-A409-B40 (anstelle von 38.4)
4 Handstelldruckeinsteller	15.1;19 pneumatischer Umschalter für Ausgangsbegrenzung ( $y$ ) oder DDC ( $y_C - y_R$ )	33 Prüfschalter	40 pneumatischer Anschlußstecker
6 Brückenplatte C74450-A409-B39 (anstelle von 7)	15.2 Brückenplatte C74450-A410-B22	34.1 pneumatischer Um- schalter mit Angleich- libelle für Sollwert- umschaltung ( $w$ )	41.1 Oder-Glied für SPC oder DDC
7 D-Einheit	16 Schwellwertschalter für Ausgangsbegrenzung	35.1 pneumatischer Um- schalter für Betriebs- artenumschaltung ( $y_R - y_H$ )	42 elektrischer Anschlußstecker
8, 9 Grenzwertmeldeschalter pneumatischer Umschalter für Strukturumschaltung (Rückführgröße; anstelle von 12.2)	17 Hilfsdruckgeber für Strukturumschaltung	36.1 P-Einheit	55 Impulsschalter für Sollwert- umschaltung (extern-intern oder SPC-intern)
12.1 pneumatischer Umschalter für Strukturumschaltung (Rückführgröße; anstelle von 12.2)	18 Pneumatisch-elektrischer Schalter (Doppelschalter) für SPC oder DDC	38.1 I-Einheit	56 Impulsschalter für Betriebsartenumschaltung (Regler-Hand oder DDC-Regler-Hand)
12.2 Brückenplatte C74450-A410-B22		38.4 Arbeitspunktdruck- geber (anstelle von 38.1)	
13 Schwellwertschalter für Strukturumschaltung (anstelle von 14)			

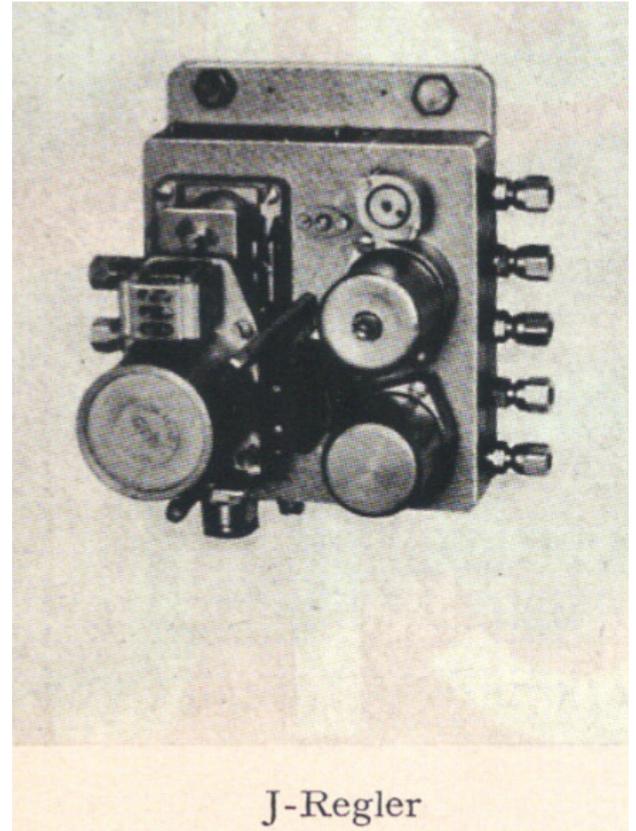


Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.3	25.02.2024

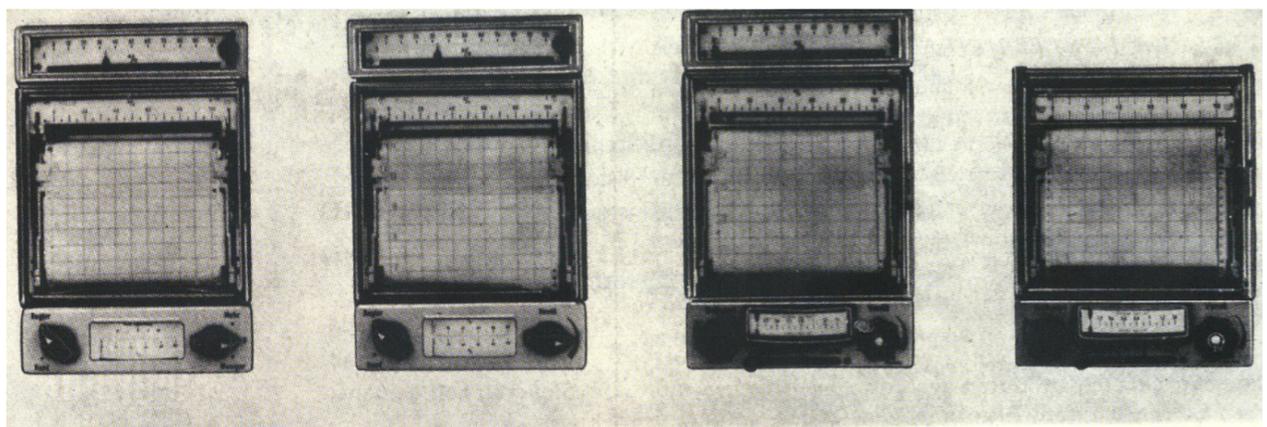
### Geräte mit pneumatischer Signalverarbeitung



Druck-Meßumformer



J-Regler



Elektr. Regler S  
A

Elektr. Sollwertsteller  
Elektr. Q-Schreiber  
Elektr. Leitgerät

Elektr. Regler K  
B

Elektr. Sollwertsteller  
Elektr. Q-Schreiber  
Elektr. Leitgerät

Elektropneum. Regler  
C

Pneum. Sollwertanzeiger  
Elektr. Q-Schreiber  
Pneum. Leitgerät

Pneum. Regler  
D

—  
Pneum. Q-Schreiber  
Pneum. Leitgerät



Bild 1. Pneumatischer Empfänger als Zähler (Werkbild Bopp & Reuther GmbH).

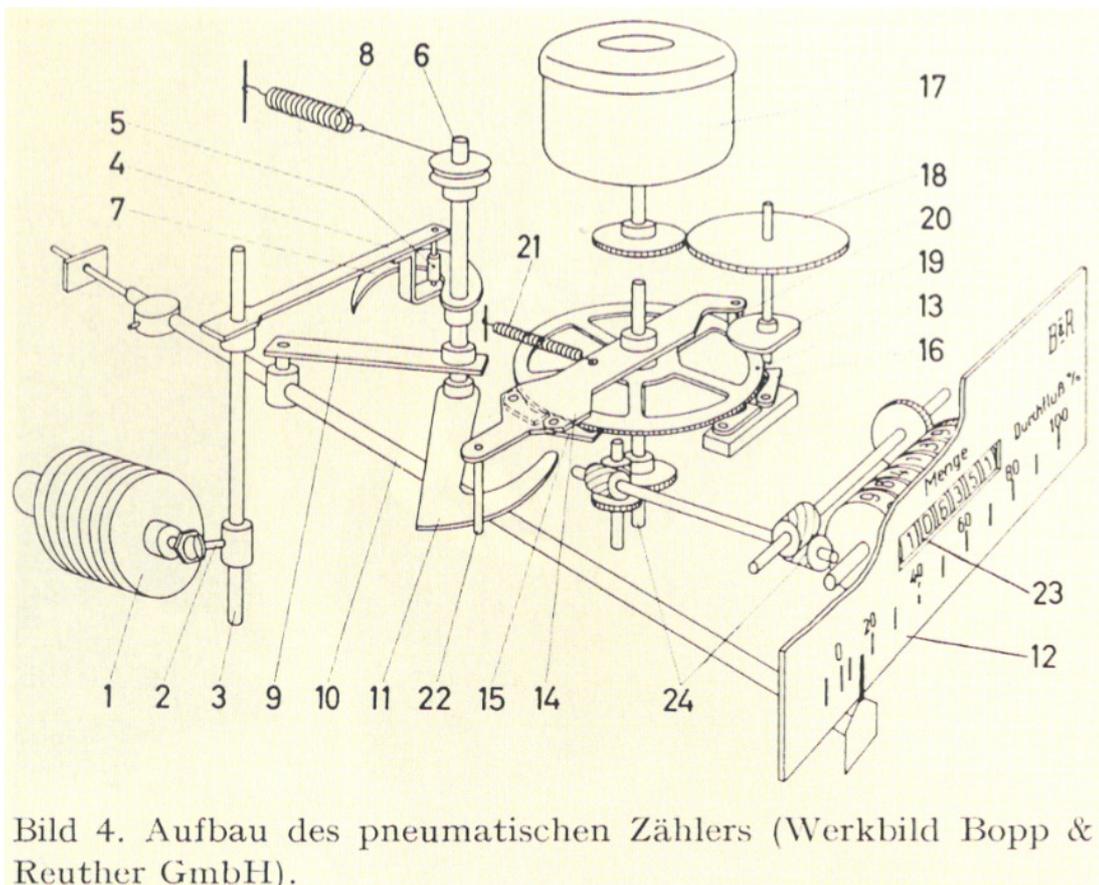


Bild 4. Aufbau des pneumatischen Zählers (Werkbild Bopp & Reuther GmbH).

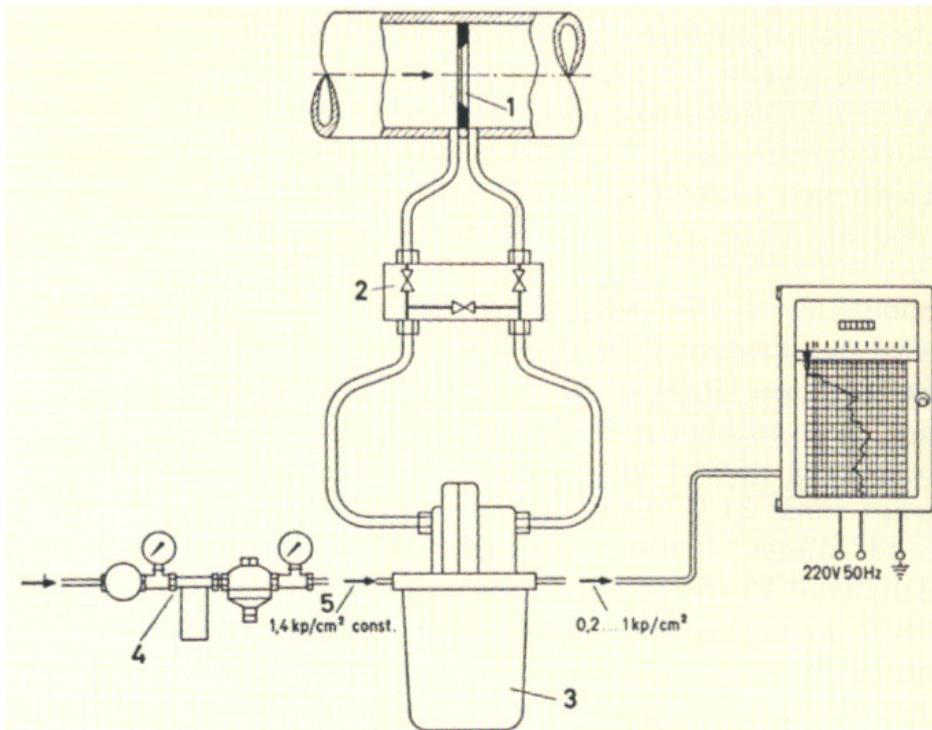


Bild 3. Beispiel einer Durchflußmessung mit Zählung der Menge (Werkbild Bopp & Reuther GmbH).

1 = Wirkdruckgeber, z. B. Normblende

2 = 3-fach-Ventilblock

3 = Pneum. Meßumformer für Wirkdruck

4 = Zuluft-Druckregler mit Filter

5 = Konstante Zuluft zum Meßumformer (ca. 1,4 kp/cm<sup>2</sup>)

rechts: angeschlossener pneum. Empfänger mit Zähl- und Schreibwerk.

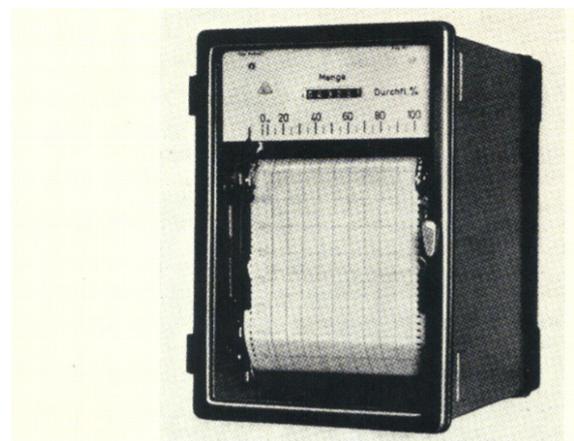


Bild 2. Pneumatischer Empfänger als Zähler und Schreiber (Werkbild Bopp & Reuther GmbH).





Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	<b>Grundlagen 1.3</b>	25.02.2024

### ***1.3.2 Steuern, Regeln, Leiten***

Um innerhalb eines technischen Prozesses eine physikalische Größe – z.B. einen Druck, einen Durchfluss oder eine Temperatur – auf einem gewünschten Wert zu halten, kann diese Größe entweder gesteuert oder geregelt werden.

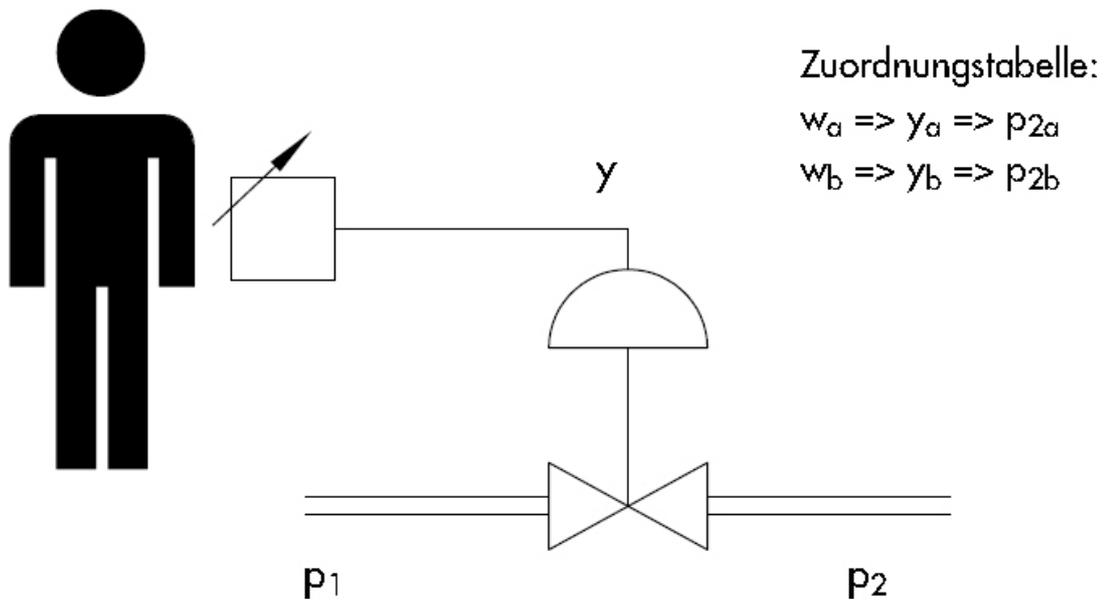
#### ***1.3.1.1 Steuern***

Die Steuerung ist ein Vorgang, bei dem über eine oder mehrere Eingangsgrößen eines Systems eine Prozessgröße beeinflusst wird. Der sich tatsächlich einstellende Wert der Prozessgröße wird nicht überprüft, so dass sich eine mögliche Abweichung z.B. hervorgerufen durch äußere Störungen nicht auf den Steuerungsvorgang auswirkt. Kennzeichen der Steuerung ist somit ein offener Wirkungsablauf.

Der in Bild 1 dargestellte Bediener hat die Aufgabe mit einem Stellventil den Druck ( $p_2$ ) in einer Rohrleitung einzustellen. Dazu nutzt er eine Zuordnungsvorschrift, in der für jeden Sollwert ( $w$ ) ein bestimmtes Stellsignal ( $y$ ) des Fernstellers festgelegt ist.



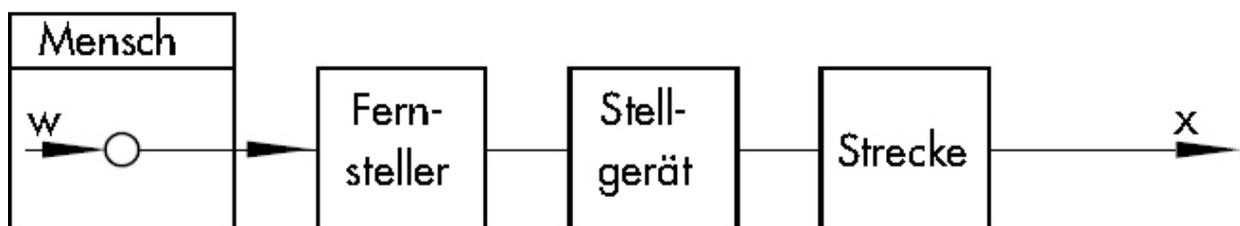
Da dieses Stellverfahren mögliche Durchflussschwankungen nicht berücksichtigt, sollte eine Größe nur dann gesteuert werden, wenn sichergestellt ist, dass sie nicht durch Störungen in unzulänglicher Weise beeinflusst wird.



*Der Bediener steuert über den Fernsteller die Prozessgröße  $p_2$*

Kennzeichen einer Steuerung sind der:

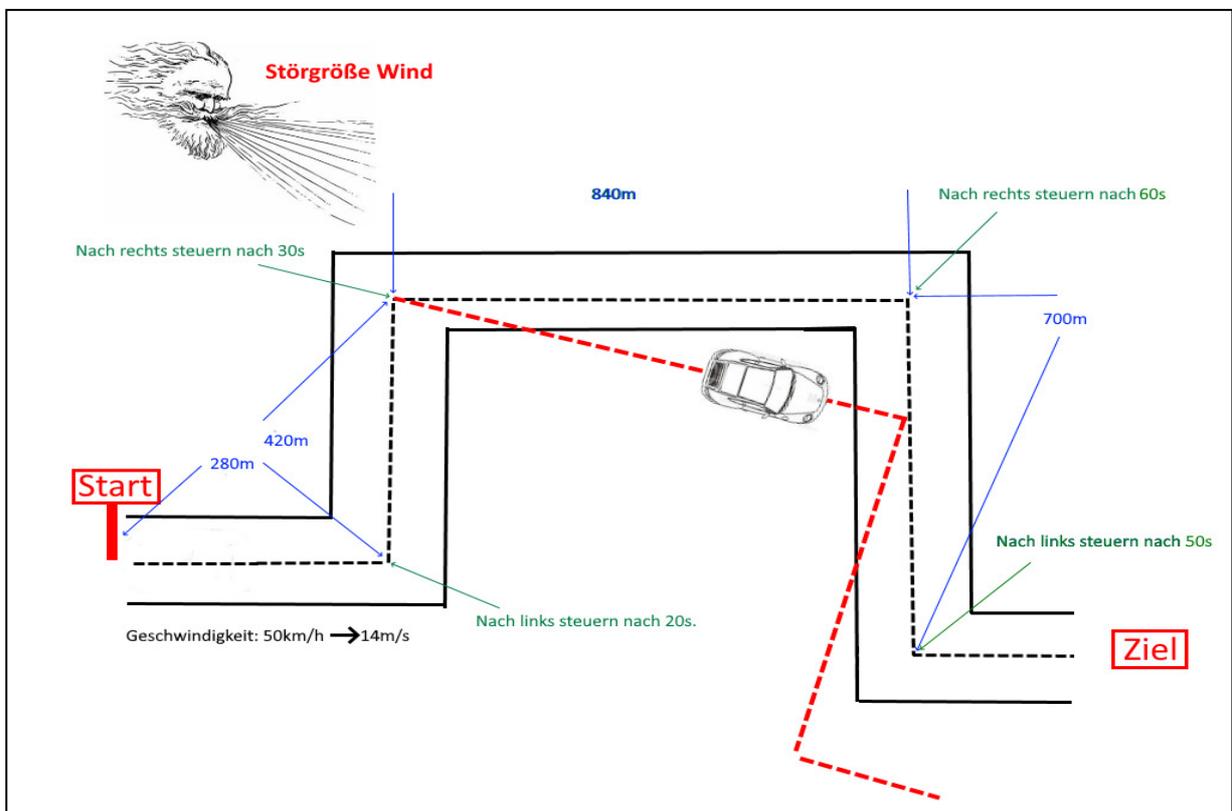
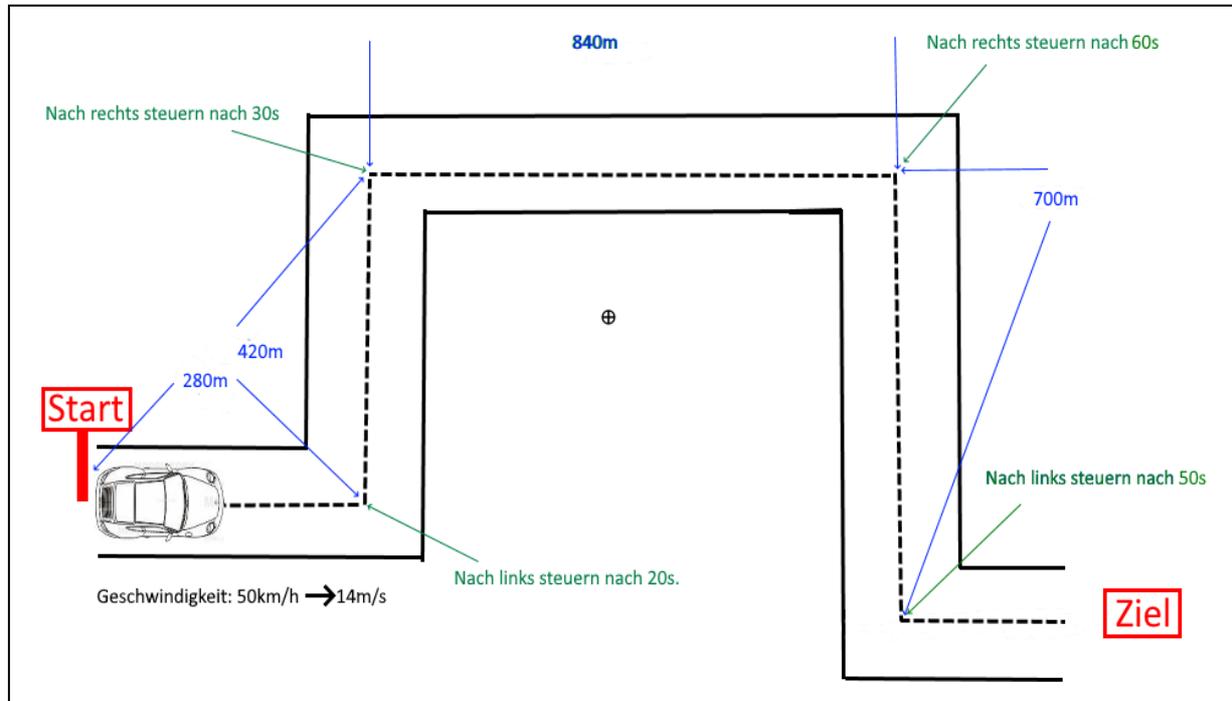
- Offene Wirkungsablauf
- Störungen werden nicht erkannt



Blockschaltbild der Handsteuerung



### Einfluss von Störgrößen





Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	<b>Grundlagen 1.3</b>	25.02.2024

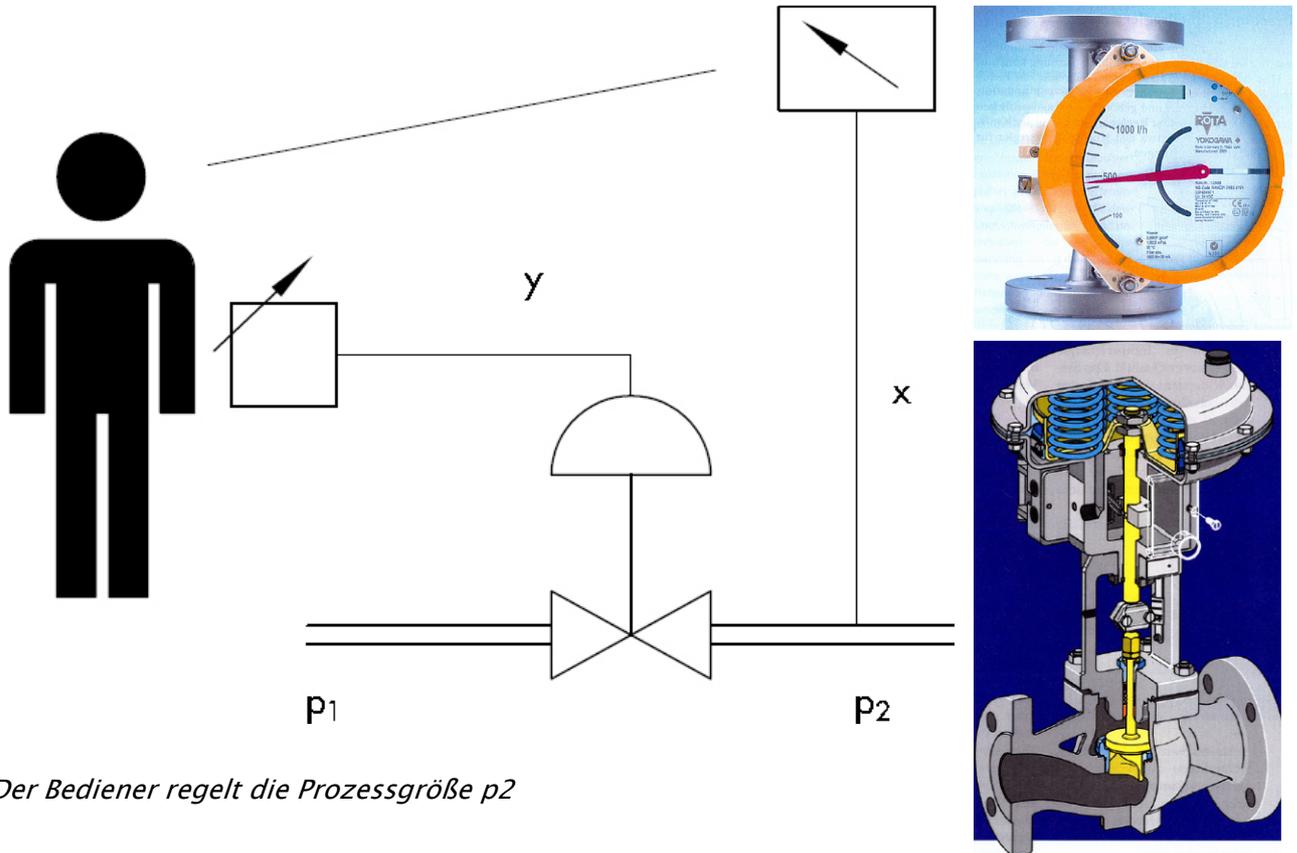
### **1.3.1.2 Regeln**

Bei einer Regelung wird die zu regelnde Größe (Regelgröße  $x$ ) fortlaufend gemessen und mit einem vorgegebenen Wert (Führungsgröße  $w$ ) verglichen. Besteht zwischen diesen beiden Größen eine Differenz (Regeldifferenz  $e$  bzw. Regelabweichung  $xw$ ), so wird abhängig von der gemessenen Differenz ein Verstellvorgang eingeleitet, welcher die Regelgröße mit der Führungsgröße wieder in Übereinstimmung bringen soll. Kennzeichen der Regelung ist somit ein geschlossener Wirkungsablauf.

Der in Bild 2 dargestellte Bediener überwacht den Druck  $p_2$  in der Rohrleitung, an der verschiedene Verbraucher angeschlossen sind. Erhöht sich der Verbrauch, so sinkt der Druck in der Leitung. Dies erkennt der Bediener, woraufhin er den Steuerdruck des pneumatischen Stellventils solange verändert, bis der gewünschte Druck  $p_2$  wieder angezeigt wird. Durch die ununterbrochene Beobachtung der Druckanzeige und den unverzüglichen Regeleingriff sorgt der Bediener dafür, dass sich der Druck immer auf dem gewünschten Wert hält. Aufgrund der Rückführung der Prozessgröße  $p_2$  über die Druckanzeige zum Bediener liegt ein geschlossener Wirkungsablauf vor, das typische und notwendige Merkmal einer Regelung.

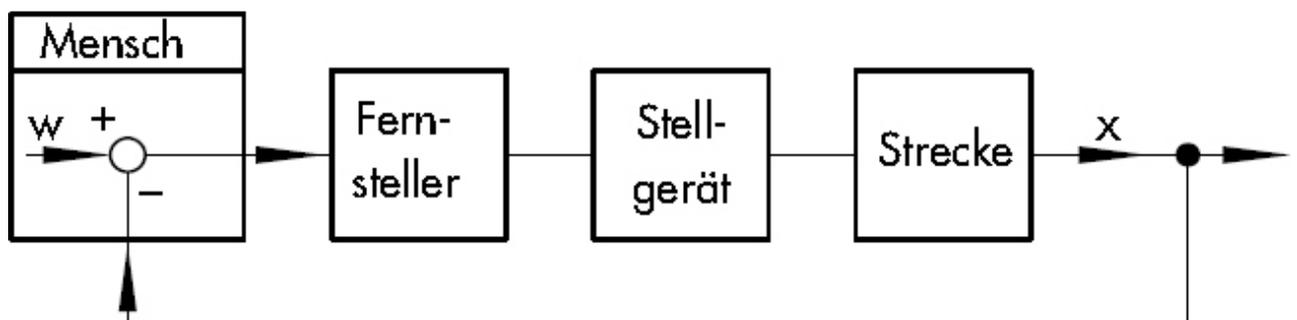


Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.3	25.02.2024

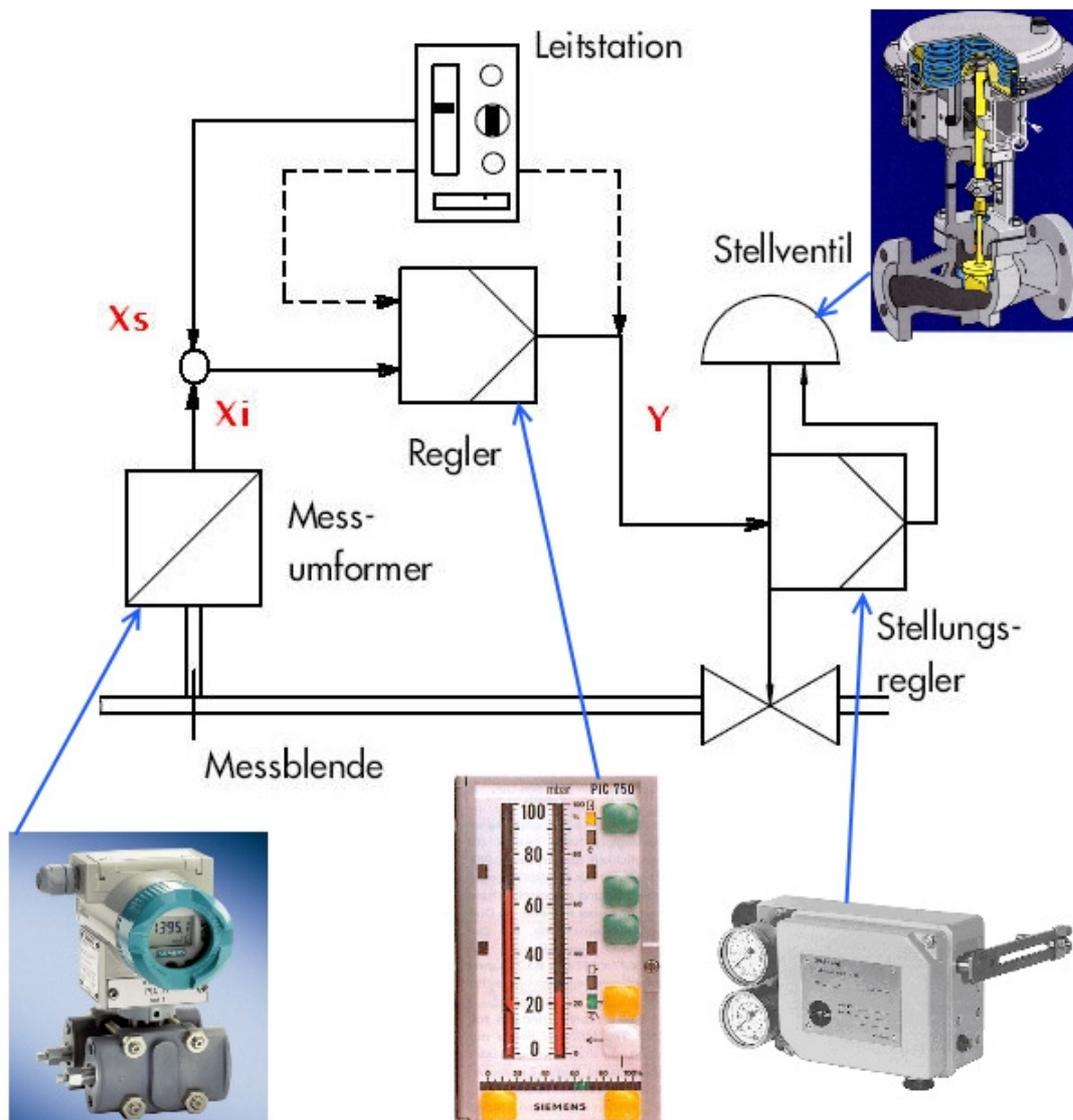
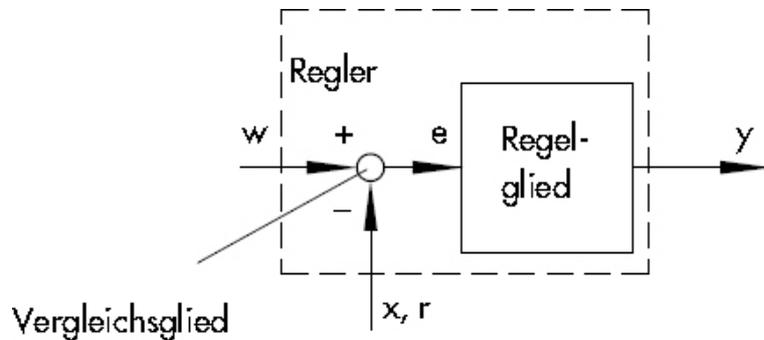


Kennzeichen einer Regelung sind der:

- Geschlossene Wirkungsablauf
- Störungen werden ausgegelt



Blockschaltbild der Handregelung





Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.3	25.02.2024

### 1.3.1.3 Leiten

#### Definition des Begriffs Leiten

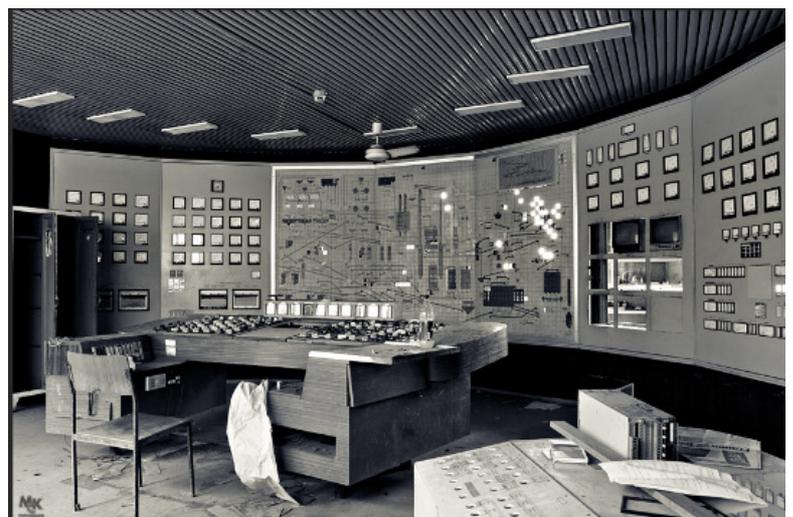
Gesamtheit aller Maßnahmen, die einen im Sinne festgelegter Ziele erwünschten Ablauf eines Prozesses bewirken. Die Maßnahmen werden vorwiegend unter Mitwirkung des Menschen aufgrund der aus dem Prozess oder auch aus der Umgebung erhaltenen Daten mit Hilfe der Leiteinrichtung getroffen.

– DKE DEUTSCHE KOMMISSION ELEKTROTECHNIK ELEKTRONIK INFORMATIONSTECHNIK IM **DIN** UND **VDE**: DIN V 19222:2001-09, 4.1.2



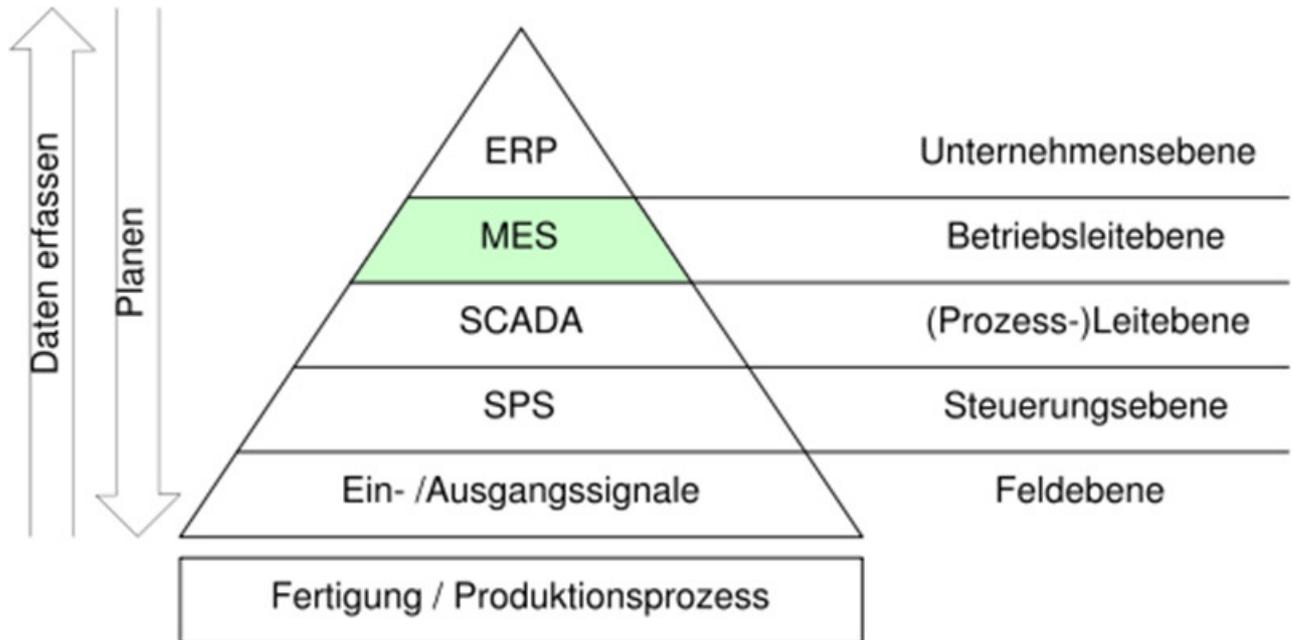
Bundesarchiv, Bild 183-N0712-0003  
Foto: Müller 112, Juli 1974

Leitstand 1974





Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.3	25.02.2024



- ERP** = Enterprise Resource Planning  
**MES** = Manufacturing Execution System  
**SCADA** = Supervisory Control and Data Acquisition  
**SPS** = Speicherprogrammierbare Steuerung





Ingenieurwesen II	Automatisierungstechnik (AUT)	DI. Matthias Trier
Elektrotechnik (BEII)	Grundlagen 1.3	25.02.2024

