

Maschinen und Anlagen werden mithilfe der Steuerungs- und Regelungstechnik automatisiert. Wird z. B. der Antriebsmotor für die Arbeitsspindel einer Drehmaschine auf die Drehzahl 1000/min geschaltet, so bezeichnet man diesen Vorgang als **Steuern**. Beim **Regeln** dagegen wird der Istwert der Drehzahl gemessen, mit dem vorgegebenen Sollwert verglichen und bei Abweichungen korrigiert.

### 8.1.1 Grundlagen der Steuerungstechnik

#### Steuerungen arbeiten nach dem E-V-A-Prinzip

- **Eingabe** der Signale z. B. durch Taster, Druckschalter und Sensoren
- **Verarbeitung** der Signale z. B. durch Verknüpfen in einem Relais
- **Ausgabe** der Signale z. B. an einen Antriebsmotor

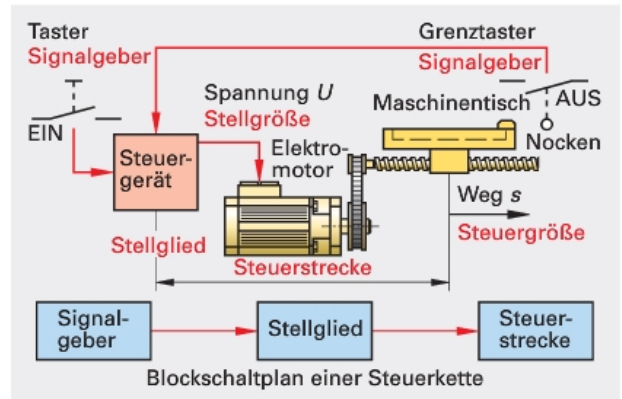
Beim Antrieb des Maschinentisches (**Bild 1**) wird der Elektromotor durch einen Taster über ein Steuergerät eingeschaltet und treibt die Spindel an. Der Maschinentisch fährt aus, bis der Nocken den Grenztaster erreicht und ein AUS-Signal auslöst. Eine Abweichung vom eingestellten Verfahrensweg infolge einer Störung wird nicht erfasst und korrigiert. Dieses Ein- und Ausschalten nennt man **Steuern**.

#### ■ Grundbegriffe

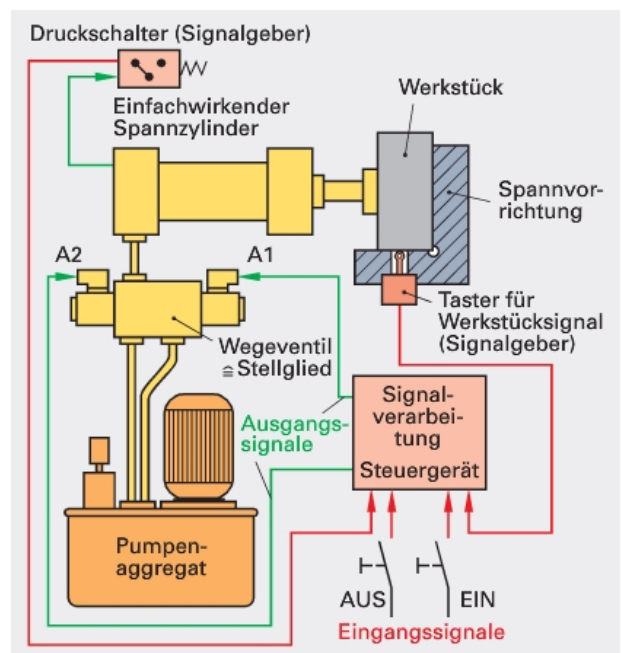
Die Elemente einer Steuerung werden durch genormte Begriffe bezeichnet (**Bild 1**):

**Signalgeber** ist der EIN-Taster, das Steuergerät das **Stellglied**, die elektrische Spannung  $U$ , mit welcher der Elektromotor angesteuert wird, die **Stellgröße**. Der Weg  $s$  des Maschinentisches wird als **Steuergröße** bezeichnet. Die Baueinheiten der Maschine, welche durch die Signalgabe beeinflusst werden, nennt man **Steuerstrecke**.

Die Gesamtanlage, kurz Steuerung genannt, kann vereinfacht durch einen Blockschaltplan dargestellt werden, in dem die einzelnen Elemente der Steuerung als Rechteckblöcke gezeichnet sind (**Bild 1**). Der Signalfluss zwischen den Blöcken wird durch **Wirklinien** dargestellt. Eine Rückwirkung von der Steuergröße auf die Stellgröße findet nicht statt. Deshalb spricht man von einer **Steuerkette** oder von einem offenen Wirkungsablauf.



**Bild 1: Beispiel einer Steuerung**



**Bild 2: Hydraulische Spanneinrichtung**

Beim Steuern wird eine Abweichung der Istgröße von der Sollgröße nicht korrigiert.

#### ■ Beispiel einer Steuerung (Bild 2)

Der Kolben des Spannzylinders darf erst ausfahren, wenn sich ein Werkstück in der Vorrichtung befindet UND der EIN-Taster gedrückt ist. Die Verknüpfung beider Eingangssignale schaltet das Wegeventil auf Zylindervorlauf (Seite 486). Ist der Spanndruck erreicht, gibt der Druckschalter das Signal für die Werkstückbearbeitung. Durch den AUS-Taster und das Signal A2 wird der Zylinder zurückgesteuert.

## ■ Steuerungsarten

Steuerungen kann man nach der Signalverarbeitung und nach der Programmierung unterscheiden.

### Einteilung nach der Art der Signalverarbeitung

**Verknüpfungssteuerungen.** Um den Vorschubmotor des Maschinentisches einzuschalten (A1), muss das Schutzgitter zu (S1), der Tisch in Endlage (S2) und der Taster (S3) betätigt sein (**Bild 1**). Es müssen also drei Eingangssignale UND-verknüpft werden, um das Ausgangssignal A1 zu erhalten.

Bei Verknüpfungssteuerungen wird eine Schaltbedingung nur erfüllt, wenn Signale logisch miteinander verknüpft sind.

**Ablaufsteuerungen.** Bei Ablaufsteuerungen werden Bewegungsvorgänge schrittweise ausgelöst. Bei **zeitabhängigen Ablaufsteuerungen** erfolgt die Signalgabe z.B. durch ein Nockenschaltwerk (**Bild 2**), ein Zeitrelais oder einen Taktgeber.

Bei **prozessabhängigen Ablaufsteuerungen** beginnt ein nachfolgender Arbeitsschritt erst, wenn der vorhergehende abgeschlossen ist (**Bild 3**). Nach dem Start durch den Tastschalter S0 fährt der Maschinentisch in Arbeitsstellung. Dort gibt der Grenztafter S1 das Signal für den Eilgang der Bohreinheit. Anschließend löst S2 das Signal für den Arbeitsvorschub aus usw.

Erfolgt bei zeitabhängigen Ablaufsteuerungen ein Arbeitsschritt fehlerhaft oder gar nicht, so wird der nachfolgende trotzdem ausgeführt. Dies kann zu Störungen führen. Prozessabhängige Ablaufsteuerungen sind darum sicherer als zeitabhängige.

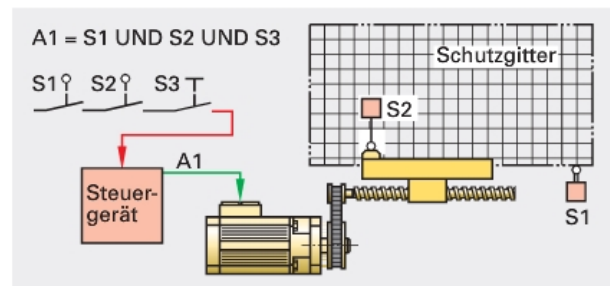
Prozessabhängige Ablaufsteuerungen werden **Wegplansteuerungen** genannt, wenn die Arbeitsschritte den abgefahrenen Wegen z.B. eines Maschinentisches entsprechen (**Bild 3**).

### Einteilung nach der Art der Programmierung

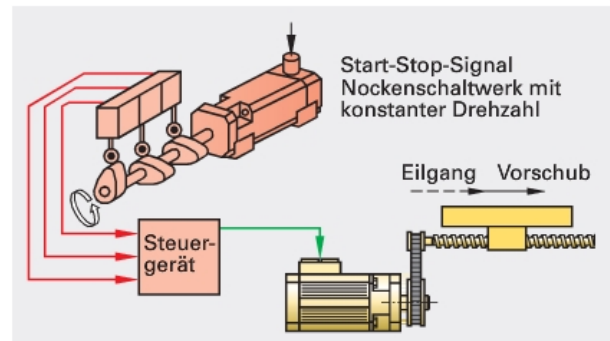
**Verbindungsprogrammierte Steuerungen.** In der pneumatischen Steuerung (**Bild 4**) sind die Bauelemente durch Leitungen nach einem Schaltplan miteinander verbunden. Bei einer Änderung des Ablaufs der Steuerung müssen die Leitungen neu verlegt werden.

Bei verbindungsprogrammierten Steuerungen ist der Programmablauf durch die Bauteile und deren Verbindung fest vorgegeben.

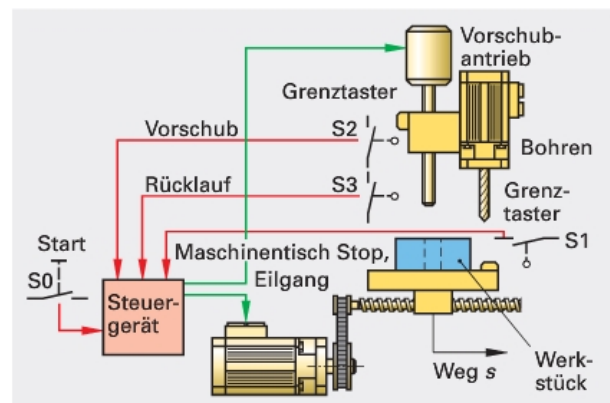
**Speicherprogrammierte Steuerungen (SPS).** Bei speicherprogrammierten Steuerungen (**Bild 4**) wird der Steuerungsablauf durch ein Programm festgelegt (Seite 545).



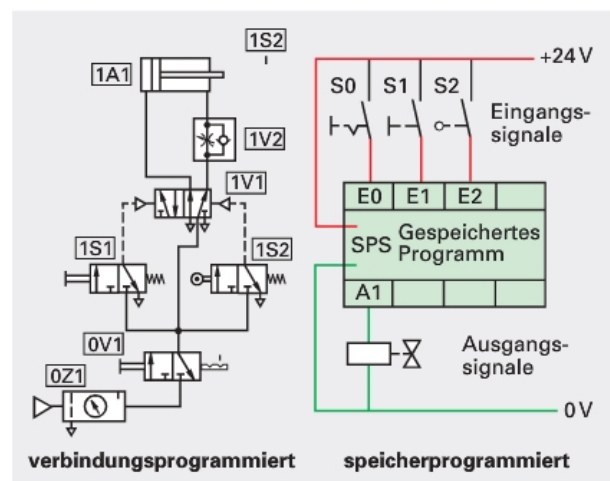
**Bild 1: Verknüpfungssteuerung**



**Bild 2: Zeitabhängige Ablaufsteuerung**



**Bild 3: Prozessabhängige Ablaufsteuerung**



**Bild 4: Verbindungs- und speicherprogrammierte Steuerungen**



## 8.1.2 Grundlagen der Regelungstechnik

Mit Regelungseinrichtungen werden in der Technik Vorgänge automatisiert. Die Aufgabe der Regeleinrichtungen ist es, vorgegebene Werte wie z. B. Drehzahlen, Positionen, Geschwindigkeiten, Temperaturen usw. zu erreichen oder einzuhalten.

**Festwertregelung.** Muss ein vorgegebener Wert konstant gehalten werden, z. B. die Drehzahl beim Drehen, so bezeichnet man dies als Festwertregelung.

**Folgeregelung.** Wird das Werkzeug einem laufend vorausberechneten Wert nachgeführt, z. B. dem Durchmesser beim Konturdrehen, so spricht man von einer Folgeregung.

### ■ Beispiel: Drehzahlregelung an einer CNC-Drehmaschine (Bild 1)

Die Drehzahl der Arbeitsspindel (**Regelgröße**) wird z. B. digital durch einen Tachogenerator gemessen und an der Vergleichsstelle fortlaufend mit dem Sollwert der Drehzahl (**Führungsgröße**) verglichen. Bei einer Abweichung z. B. durch schwankende Schnittkraft (**Störgröße**) regelt der Regler die Drehzahl nach und gleicht sie dem Sollwert an.

Eine Regelung bildet durch den fortlaufenden Vergleich des Istwertes der Regelgröße mit dem Sollwert immer einen geschlossenen Kreislauf. Deshalb spricht man von einem Regelkreis (**Bild 2**).

Jede Regelung ist durch drei Vorgänge gekennzeichnet:

- **Messen** der Regelgröße
- **Vergleichen** mit der Führungsgröße
- **Anpassen** durch Nachstellen

Der Regler und die Nachstelleinrichtung bilden zusammen die **Regeleinrichtung**. Die durch die Regeleinrichtung beeinflusste Einheit wird als **Regelstrecke** bezeichnet.

### ■ Beispiel einer Lageregelung (Bild 3)

Jede CNC-Maschine besitzt außer der Drehzahlregelung auch eine Lageregelung, um das Werkzeug oder den Maschinentisch dem vom Programm vorgegebenen Sollwert nachführen zu können (Seite 565). Die Regelstrecke des Lagerregelkreises (Bild 3) umfasst den Antriebsmotor, den Kugelgewindetrieb, den Maschinentisch und die Messeinrichtung.

Die Position des Maschinentisches wird fortlaufend gemessen und mit den Sollwerten des Programmes verglichen. Weicht der Istwert vom Sollwert ab, wird der Maschinentisch solange bewegt, bis der Sollwert erreicht ist.

### Beispiele für Regelungsvorgänge

- Regelung der Drehzahl beim Plandrehen
- Geschwindigkeitsregelung beim Kfz (Tempomat)
- Regelung der Temperatur im Härteofen
- Druckregelung in Pneumatikanlagen
- Abstandsregelung der Düse beim Laserschneiden

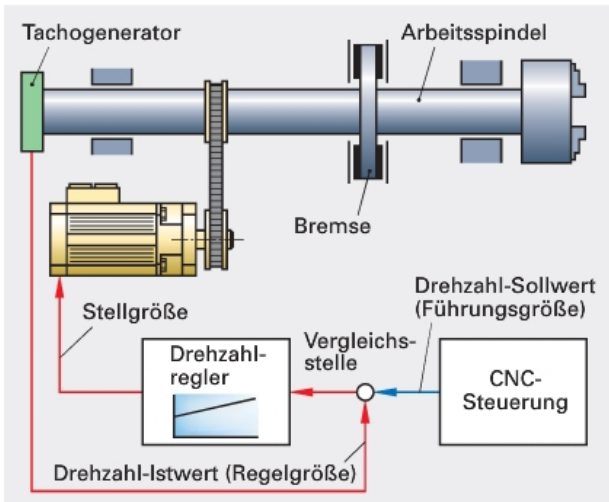


Bild 1: Drehzahlregelung beim Drehen

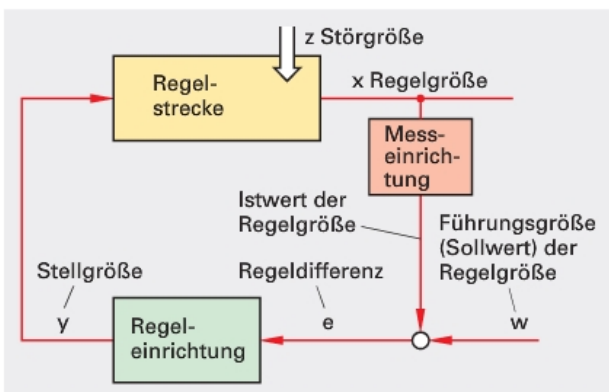


Bild 2: Blocksaltbild eines Regelkreises

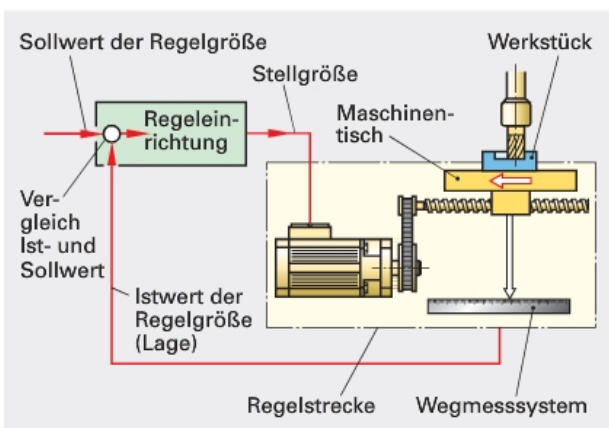


Bild 3: Lagerregelkreis eines Vorschubantriebes

## ■ Reglerarten

Nach ihrer Wirkungsweise unterscheidet man un-  
stetige und stetige Regler.

### Unstetiger Regler

Ein unstetiger Regler besitzt zwei oder mehrere  
Schaltstellungen. Er verändert die Stellgröße un-  
stetig durch Schalten in Stufen. Besitzt der Regler  
nur zwei Schaltstellungen EIN und AUS, so wird er  
auch Zweipunktregler genannt.

Zweipunktregler werden z. B. als Bimetallregler in  
Temperaturregelkreisen eingesetzt (**Bild 1**). Beim  
Einschalten der Ofenheizung ist der Kontakt der Bi-  
metallfeder zunächst geschlossen. Bei Erwärmung  
durch die Heizung biegt sich die Bimetallfeder auf  
und öffnet den Kontakt (obere Grenztemperatur).  
Erst wenn die Temperatur durch die einsetzende  
Abkühlung wieder unter den unteren Grenzwert  
abgesunken ist, schließt der Kontakt wieder und  
die Heizung setzt erneut ein.

Der Unterschied zwischen Einschalt- und Ausschalt-  
temperatur ist die **Schaltdifferenz** des Zweipunkt-  
reglers. Die Temperatur im Ofen stellt sich durch  
die verzögerte Wärmeleitung auf einen Wert zwi-  
schen den beiden Grenztemperaturen ein (**Bild 2**).

### Stetige Regler

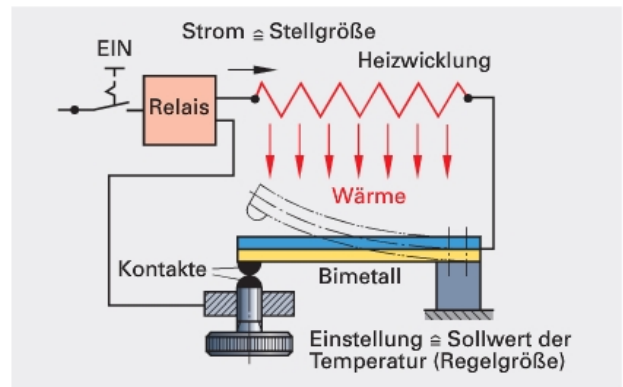
Stetige Regler erfassen die Regelgröße  $x$  stufenlos  
(stetig) und ändern dann die Stellgröße  $y$  ebenfalls  
stufenlos innerhalb des Stellbereichs (**Bild 3**). Sie  
können die Regelgröße, z. B. den Füllstand eines  
Wasserbehälters, genauer einhalten als unstetige  
Regler.

Um die Eigenschaften eines stetigen Reglers unter-  
suchen zu können, ändert man das Eingangssignal  
 $x$  sprunghaft und beobachtet, wie das Ausgangs-  
signal  $y$  darauf reagiert (**Bild 4**). Die Art, wie sich  
das Ausgangssignal während der Beobach-  
tungszeit ändert, nennt man die **Übergangsfunktion**  
oder die **Sprungantwort** des Reglers. Bei den stetigen  
Reglern unterscheidet man P-Regler, I-Regler,  
PI-Regler, D-Regler und PID-Regler.

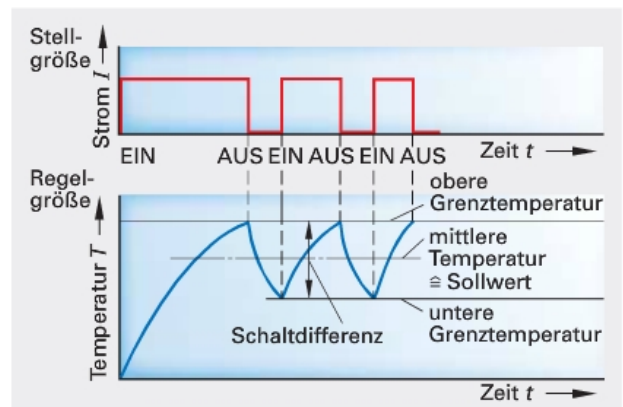
**P-Regler.** Erhöht sich z. B. infolge einer Störung der Wasserzulauf  
(Störgröße) im Zulaufrohr, steigt der Füllstand (Bild 3). Der mitsteigen-  
de Schwimmer betätigt über einen Hebel das Ventil, der Zulauf wird  
dadurch gedrosselt. Die Änderung der Ventilstellung erfolgt im Ver-  
hältnis der Hebelübersetzung. Die Sprungantwort des Reglers ist also  
der Änderung des Eingangssignals **proportional** (Bild 4).

Das Ventil im Zulaufrohr muss so weit geschlossen werden, dass  
trotz höheren Zuflusses die Zulaufmenge zum Behälter gleich bleibt.  
Dazu ist aber ein höherer Schwimmerstand und somit auch Füllstand  
erforderlich. Der **P-Regler** hat also eine bleibende Abweichung vom  
Sollwert.

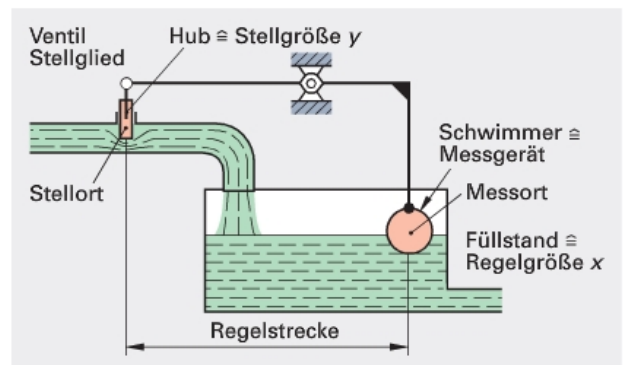
**Proportionalregler (P-Regler)** reagieren schnell auf Signalände-  
rungen, besitzen aber eine bleibende Regelabweichung.



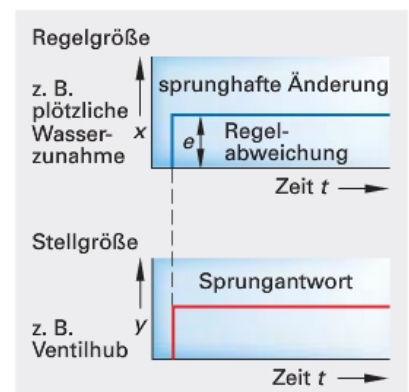
**Bild 1: Unstetiger Regler einer Ofenheizung**



**Bild 2: Regelverhalten eines Zweipunktreglers**



**Bild 3: Stetiger Regler**



**Bild 4: P-Verhalten**



**I-Regler.** Beim **Integralregler** (I-Regler) bewirkt eine sprunghafte Änderung der Regelgröße eine Änderung der Geschwindigkeit der Stellgröße (**Bild 1**). Je größer die Regelabweichung ( $e_2$ ,  $e_1$ ) am Eingang des I-Reglers ist, desto schneller wird das Stellglied verstellt (Kennlinien 1 und 2).

Der Füllstand eines Behälters wird durch einen I-Regler konstant gehalten (**Bild 2**). Hat der Füllstand seinen Sollwert erreicht, ist der Spannungsabgriff am Potenziometer gleich null. Der Motor steht still. Senkt sich der Schwimmer, erhält der Motor Spannung. Diese wird umso größer, je mehr sich der Füllstand absenkt. Der Motor dreht sich entsprechend der größeren Absenkung schneller. Somit öffnet sich auch das Ventil schneller. Die Verstellgeschwindigkeit des Ventils ist also direkt abhängig von der Regelabweichung des Schwimmers. Die Spannungsrichtung wechselt, wenn sich der Schwimmer wieder hebt. Dadurch ändert sich die Drehrichtung des Motors. Das Ventil schließt sich. Der Sollwert wird ohne bleibende Regelabweichung wieder erreicht.

**I-Regler** sind langsamer als P-Regler, beseitigen aber die Regelabweichung vollständig.

**PI-Regler.** Beim **PI-Regler** werden ein P-Regler und ein I-Regler parallel geschaltet. Der PI-Regler verbindet dadurch den Vorteil des P-Reglers, die schnelle Regelung, mit dem Vorteil des I-Reglers, der keine bleibende Regelabweichung zulässt. Er wird z. B. bei der Lageregelung für die Positionierung des Maschinentisches bei NC-Maschinen eingesetzt.

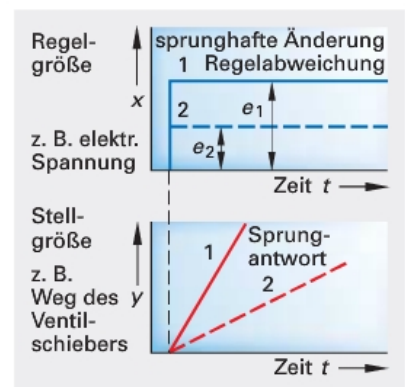
**D-Regler.** Beim **differenzierend** wirkenden Regler (D-Regler) ändert sich bei einer sehr schnellen Regelabweichung  $e$  die Stellgröße  $y$  kurzzeitig und kehrt dann wieder auf ihren ursprünglichen Wert zurück (**Bild 3**). Die Änderung der Stellgröße ist umso größer, je schneller die Abweichung erfolgt. Da der **D-Regler** nur kurzzeitig die Stellgröße ändert, gleicht er eine konstante Regelabweichung nicht aus. Er kann nur zusammen mit einem P-, I- oder PI-Regler eingesetzt werden.

Der **differenzierende Anteil** (D-Anteil) eines Reglers beschleunigt die Stellgröße und bewirkt ein sehr schnelles Eingreifen.

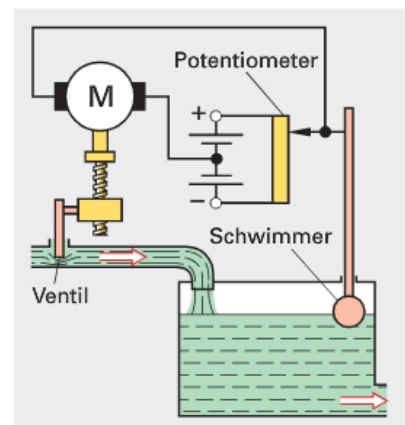
**PID-Regler.** **PID-Regler** wirken noch schneller als PI-Regler. Nach einem sprunghaft veränderten Eingangssignal (**Bild 4**) wird durch den D-Einfluss die Stellgröße kurzzeitig verändert (P1). Da nun der P-Anteil des Reglers eine der Regelabweichung proportionale, sehr schnelle Verstellung der Stellgröße bewirkt, kehrt diese nicht wieder auf den ursprünglichen Wert zurück (P2). Zum neuen Wert der Stellgröße wird nun der I-Anteil des Reglers addiert. Damit geht die Regelabweichung wieder auf null zurück.

Mit einem PID-Regler lässt sich z. B. die Drehzahl eines Gleichstrommotors regeln. Dadurch bleibt die Drehzahl des Motors auch bei unterschiedlicher Belastung konstant.

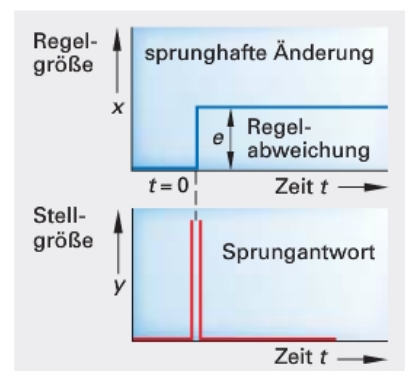
Der **PID-Regler** verbindet die Vorteile des P-, I- und D-Reglers. Er reagiert schnell und hebt die Regelabweichung völlig auf.



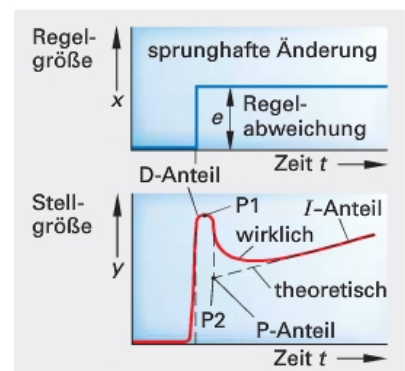
**Bild 1: I-Verhalten**



**Bild 2: I-Regler**



**Bild 3: D-Verhalten**



**Bild 4: PID-Verhalten**

Für die Darstellung wichtiger Teile des Regelkreises werden genormte Bildzeichen verwendet (**Tabelle 1**).

**Tabelle 1: Bildzeichen der Steuerungs- und Regelungstechnik**

Bildzeichen	Bedeutung	Bildzeichen	Bedeutung	Beispiel: Druckregelung
	Messort, Fühler		Signal- oder Messumformer	
	Stellglied, Stellort		Regler, allgemein	
	Stellantrieb, allgemein		Einsteller, allgemein	

## ■ Elektrische Regler

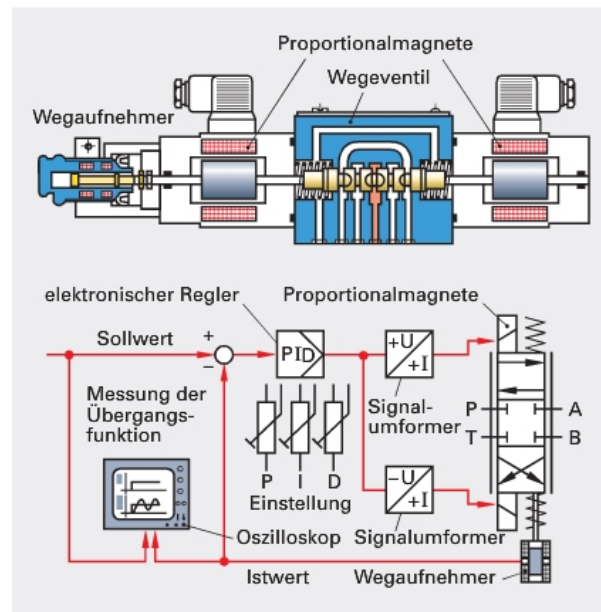
In der Regelungstechnik wird die Signalverarbeitung fast ausschließlich mit elektronischen Reglern ausgeführt.

### Beispiel: Proportionalventil mit PID-Regler

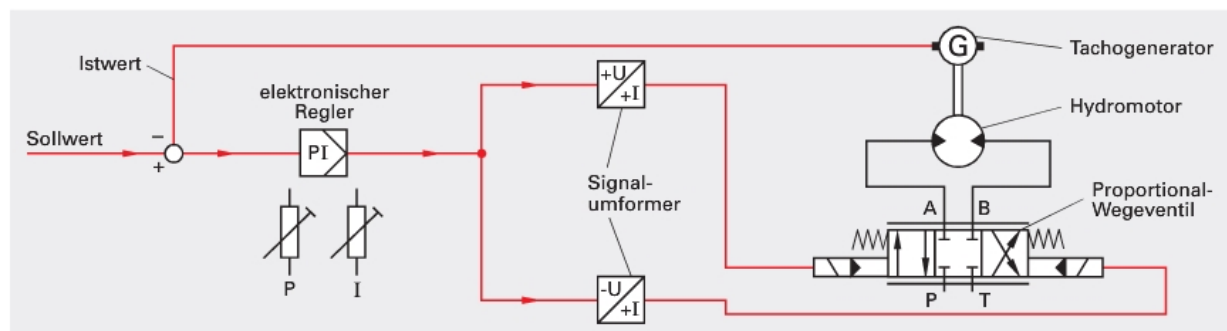
Mit Proportionalventilen wird z.B. die Geschwindigkeit von Hydraulikzylindern stufenlos eingestellt (**Bild 1**). Sie besitzen einen Wegaufnehmer, der den Ventilhub elektrisch misst und in einen Steuerstrom umsetzt. Dieser wird über einen PID-Regler dem Sollwert nachgeregt und den Proportionalmagneten zugeführt (Seite 536).

### Beispiel: Drehzahlregelung eines Hydromotors

Die Extruderwelle einer Spritzgießmaschine wird durch einen Hydromotor angetrieben. Um die Drehzahl des Motors konstant zu halten, wird ein PI-Regler eingesetzt (**Bild 2**). Stellglied ist ein Proportionalventil. Ein Tachogenerator liefert den Istwert der Drehzahl. Sinkt die Drehzahl, wird über den PI-Regler der Durchfluss des Ventils verstellt. Dies bewirkt eine Änderung der Drehzahl.



**Bild 1: Proportional-Wegeventil mit PID-Regler**



**Bild 2: Drehzahlregelung eines Hydromotors**

## Wiederholung und Vertiefung

- 1 Welche Eigenschaften hat eine Verknüpfungssteuerung?
- 2 Wodurch unterscheiden sich die beiden Arten der Ablaufsteuerungen voneinander?
- 3 Wie unterscheidet sich eine verbindungsprogrammierte Steuerung von einer speicherprogrammierten Steuerung?
- 4 Wie unterscheiden sich unstetige und stetige Regler?
- 5 Welche Eigenschaften hat ein P- bzw. I-Regler?
- 6 Was bewirkt der D-Anteil bei einem stetigen Regler?
- 7 Nennen Sie zwei Anwendungsbeispiele von PID-Reglern.