

Der kybernetische Ansatz zum Verständnis der dissipativen Strukturen

1. Was ist Kybernetik?

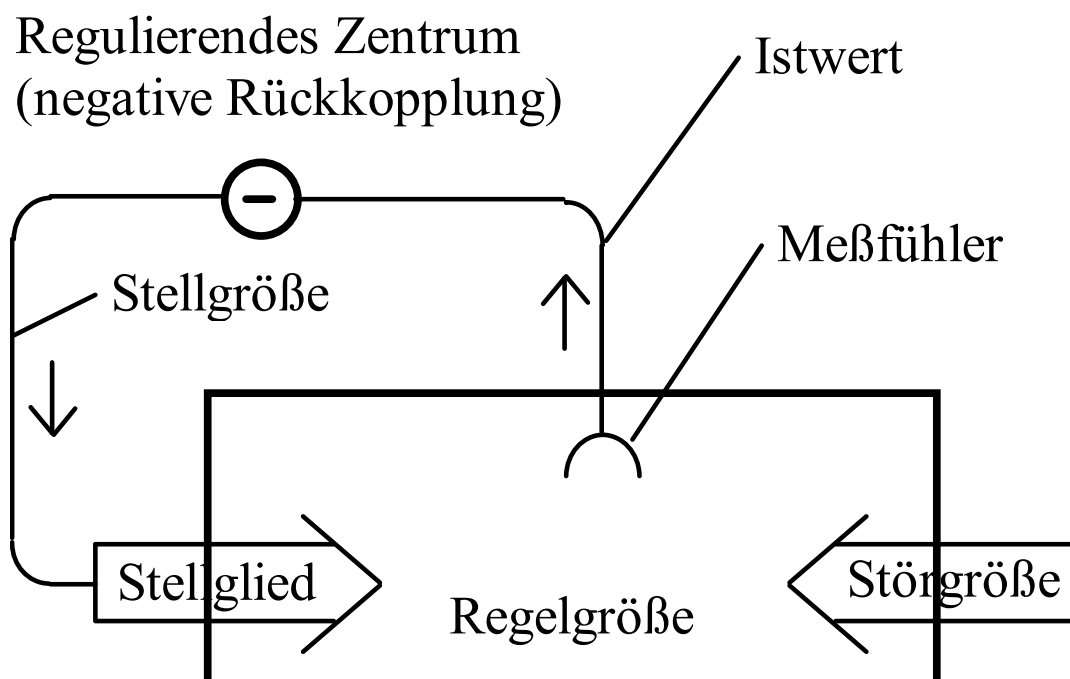
Norbert Wiener: "Cybernetics. Control and Communications in the Animal and the Machine", New York 1948
(dt. "Kybernetik", Düsseldorf 1963)

κυβερνήτης - Steuermann

Control - Regelung *und* Steuerung

Ziel von Wiener: gemeinsame neutrale Oberbegriffe für Lebewesen und Maschinen, um falsche Analogien zu vermeiden; (man hüte sich vor Vergleichen, die "*nichts anderes als...*" enthalten!)

Prinzip eines **Regelkreises** (z.B. Thermostat):



Begriffserläuterungen

Regelgröße: eigentlich die *geregelte* Größe, z.B. Temperatur

Störgröße: z.B. Wärmeaustausch mit der Umgebung

Sollwert: der Wert der Regelgröße, bei der keine Korrektur-Reaktion ausgelöst wird

Istwert: augenblicklicher Wert der Regelgröße

Wenn: Istwert \neq Sollwert \rightarrow **Regelabweichung**

\Rightarrow Korrekturreaktion wird ausgelöst

Stellglied: Korrekturmechanismus, z.B. Heizung/Kühlung

unstetige Regler: z.B. Zweipunktregelung: Stellglied arbeitet entweder (mit konstanter Leistung) oder arbeitet nicht

stetige Regler: die Intensität des Stellgliedes nimmt mit der Größe der Regelabweichung zu.

Führungsgröße: verstellt den Sollwert, z.B. wird bei der Temperaturregelung im menschlichen Körper bei Fieber durch das Einfließen einer Führungsgröße der Temperatur-Sollwert nach oben verschoben.

Negative Rückkopplung (Feedback): jede vom Fühler gemeldete Abweichung löst gerade die *Gegenaktion* gegen die Abweichung aus, z.B. bei Temperaturerhöhung wird die Kühlung aktiviert \rightarrow führt zu Stabilität (immer?)

Totzeit: systembedingte zeitliche Verzögerung, die zwischen dem Feststellen der Regelabweichung und der Reaktion des Stellgliedes verstreicht.

2. Instabilität von Regelvorgängen

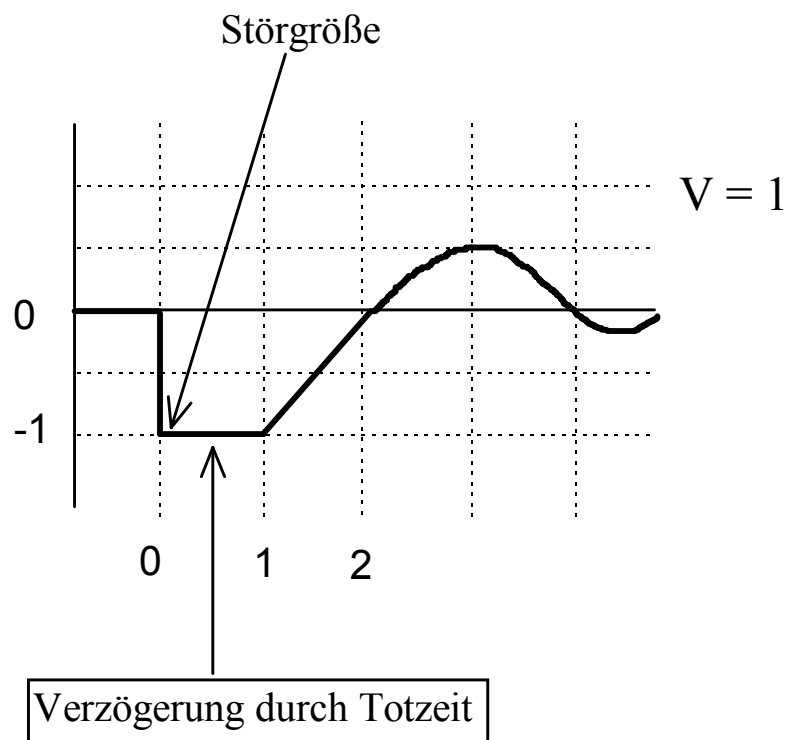
Ziel von Regelvorgängen ist die Einstellung und Stabilisierung des Sollwertes.

Beispiel: stetiger Regler mit der Totzeit von $T = 1$ s

Sollwert: $R = 0$

kurze Störung: Regelgröße werde auf $R = -1$ verringert

- 1) der Regelkreis habe die **Verstärkung $V = 1$** , d.h. das Stellglied arbeite so intensiv, daß die gemeldete Störung gerade nach Ablauf der Totzeit zu Null gemacht werde:

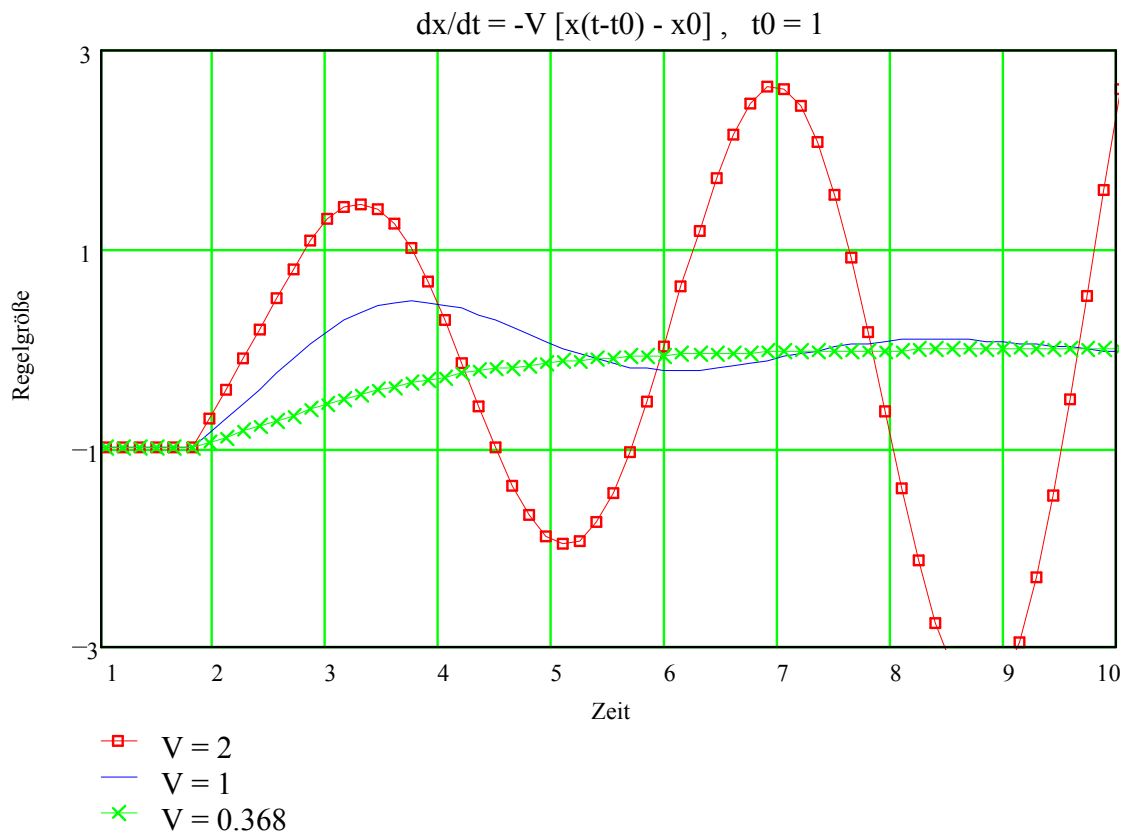


Überschießende Reaktion des Reglers auf Grund der Totzeit:

wenn die Regelgröße wieder Null geworden ist, meldet der Fühler immer noch $R = -1$ → neue Regelabweichung entsteht usw. → gedämpfte Schwingung um den Sollwert!

Wie kann diese lange Zeit des Einpendelns verkürzt werden?

2) Verstärkung vergrößern? $\rightarrow V = 2$:



\rightarrow die Schwingungen schaukeln sich auf, der Regler ist instabil geworden ("Reglerkatastrophe")

Analoger Effekt tritt bei Verdopplung der Totzeit ein:

\rightarrow das Produkt Vt_0 ist entscheidend:

$Vt_0 > 1.6$: *instabil*, sich aufschaukelnde Schwingungen

$0.37 < Vt_0 < 1.6$: *stabil*, gedämpfte Schwingungen

$Vt_0 < 0.37$ ($= 1/e$): *stabil*, asymptotische Annäherung

3. Beispiele

1) Technik:

- Fliehkraftregler der Dampfmaschine (J. Watt, 1788)
- Füllhöhenregler beim Spülkasten
- Thermostat, Potentiostat
- Bestimmung des Schwerpunktes eines glatten Stabes

2) Organismen:

- Temperaturregelung bei Warmblütern
- Pupillenreaktion (→ Pupillen-Oszillationen!)
- Pulsfrequenz (→ Überschießen möglich!)
- Atemfrequenz
- Stottern (zu große Totzeit)

4. Grenzen der Kybernetik, Vorläufer und Nachfolger

1) Grenzen:

- *Linearität* der Beschreibung: nur ein stabiler Zustand möglich, Oszillationen sind entweder gedämpft oder sich aufschaukelnd;
- Betonung der *Stabilität*: Instabilität wird nur negativ gewertet;
- räumliche und strukturelle Bedingungen sind von außen (durch Konstruktion) *vorgegeben*, nur zeitliche Selbstorganisation ist möglich;
- der Sollwert ist auch extern determiniert.

2) Nachfolgertheorien, Erweiterungen:

- Begriff der *Homöostase* (W. Ross Ashby (1952): ultrastabiler "Homöostat" mit zahlreichen Gleichgewichtslagen, W. Cannon: Organismus als Homöostat, Begriff des "Streß"): die Sollwerte selbst können sich veränderten Verhältnissen selbsttätig anpassen ("Anpassung");
- Begriff der *Autopoiese* (H. v. Foerster, H. Maturana, F. Varela): Organismen als informatorisch abgeschlossene Systeme mit dem Ziel der Aufrechterhaltung ihrer Stabilität;

aber: nach wie vor an *Stabilität* allein orientiert, jede Veränderung, jedes Lernen ist nur *Anpassung*

5. Positive Rückkopplung - die Brücke zur Selbstorganisationstheorie

positive Rückkopplung führt zur Instabilität des Grundzustandes, Nichtlinearität der Systembeziehungen zu neuen stabilen Zuständen:

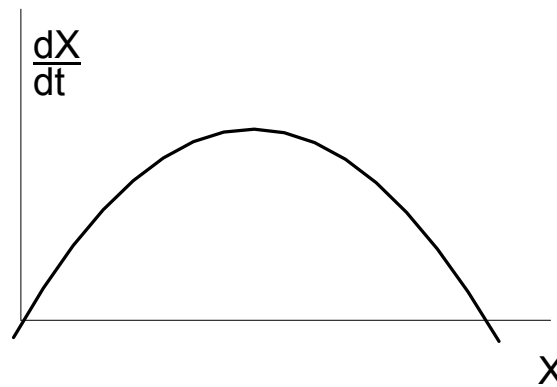
1) stöchiometrische Autokatalyse: $A + X \rightleftharpoons 2X$

$$\frac{dX}{dt} = kAX - k'X^2$$

$$X_1 = 0, \text{ pos. RK}$$

$$X_2 = KA, \quad K = \frac{k}{k'}$$

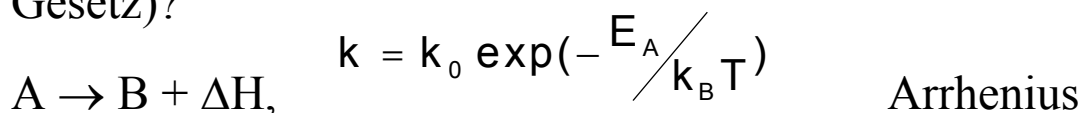
$$\text{neg. RK, stabil}$$



neu: das System hat von selbst einen neuen Sollwert, X_2 , ausgebildet

2) systemische Autokatalyse: exotherme Reaktion

Warum gibt es eine Entzündungstemperatur von brennbaren Stoffen (Widerspruch zum kontinuierlichen Arrhenius-Gesetz)?



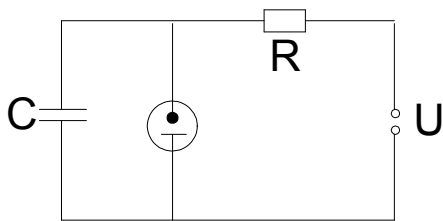
J.H. Van't Hoff: stationärer Zustand mit einer Temperatur, die sich aus dem Verhältnis von Wärmeentwicklung und -abgabe ergibt; dabei existiert ein Schwellwert der Temperatur, über welchem die Reaktion selbstbeschleunigt abläuft

6. Ohne Verzögerung keine Oszillationen

Die positive Autokatalyse ermöglicht die Entstehung von zusätzlichen, stabilen und instabilen, stationären Zuständen (Autokatalyse, Bistabilität etc.) - sie kann aber allein keine zeitlichen Oszillationen verursachen.

→ dazu bedarf es, analog zum Regelsystem, einer zeitlichen Verzögerung im Verlauf der Rückkopplungen.

Beispiel: Versuch der Regelung einer Kondensatorspannung mittels einer Glimmlampe



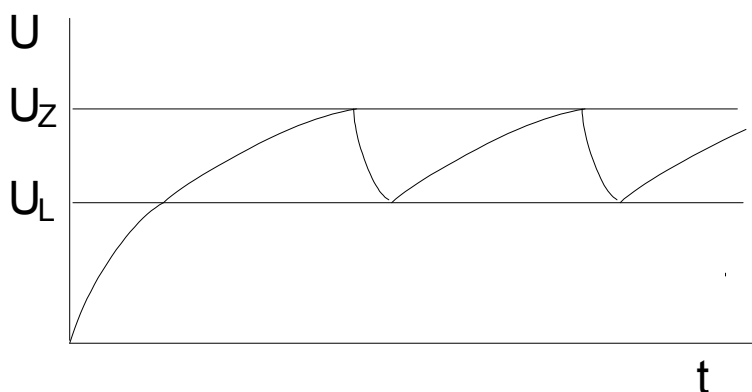
Zündspannung U_Z

Löschspannung U_L , $U_L < U_Z$

Aufladezeit des Kondensators:

$$t_0 \sim RC$$

der Widerstand der Glimmlampe im gezündeten Zustand sei viel kleiner als der Vorwiderstand R



Ergebnis: *Relaxationsoszillationen* (Kippschwingungen) aufgrund der Zeitverzögerung (Ladezeit des Kondensators)