



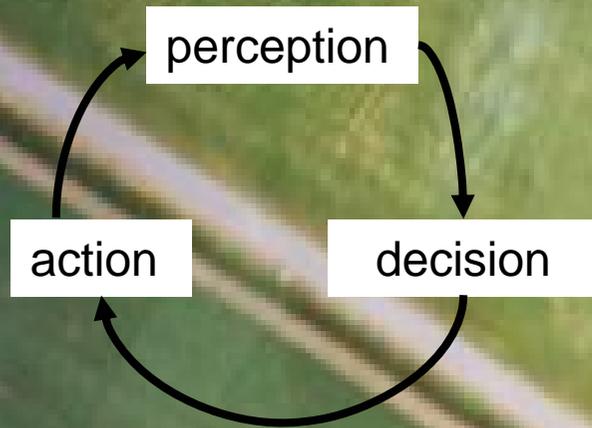
Einführung in die Robotik
Regelung

Mohamed Oubbati
Institut für Neuroinformatik

Tel.: (+49) 731 / 50 24153
mohamed.oubbati@uni-ulm.de

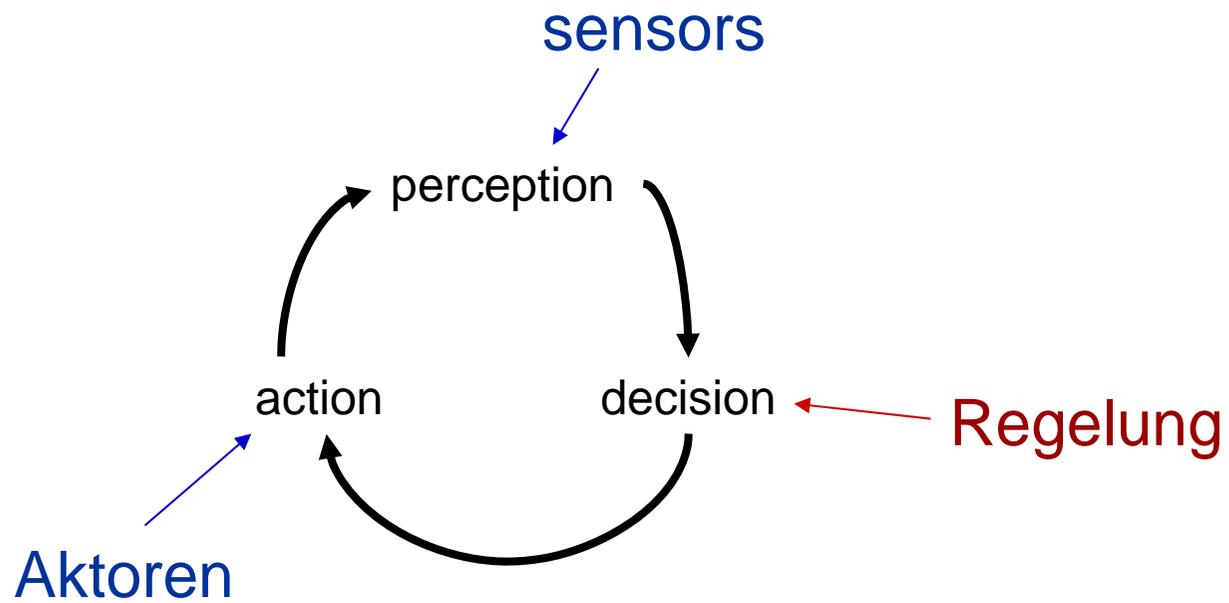
04. 12. 2012

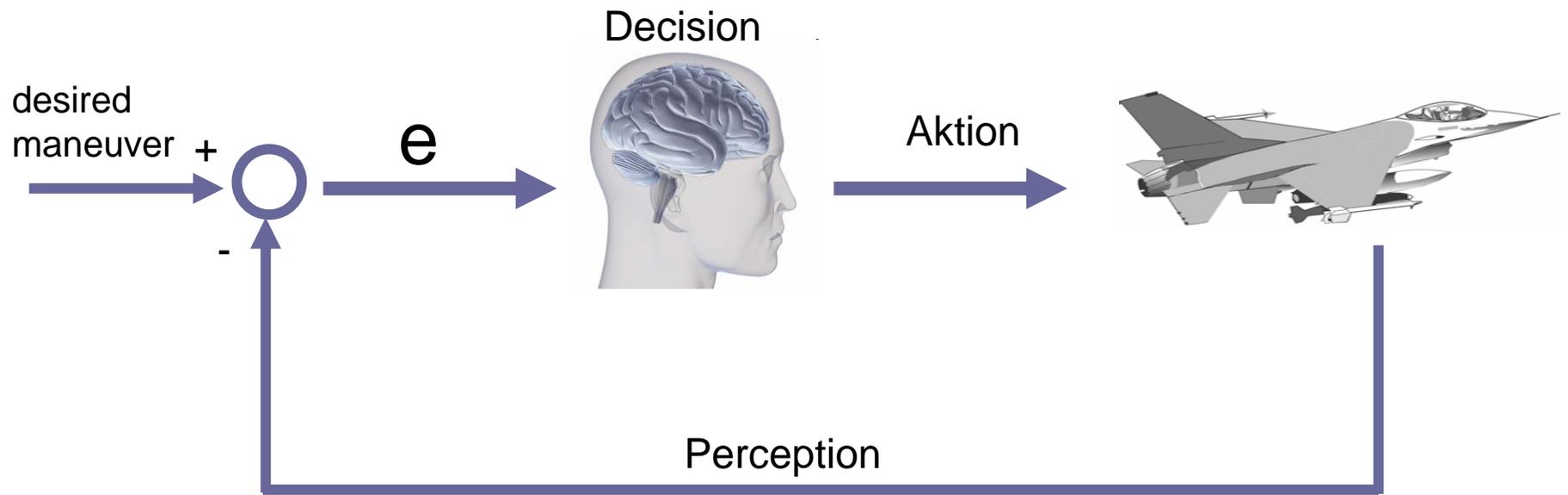
The human is perhaps the most intelligent control system in nature!



in real time!



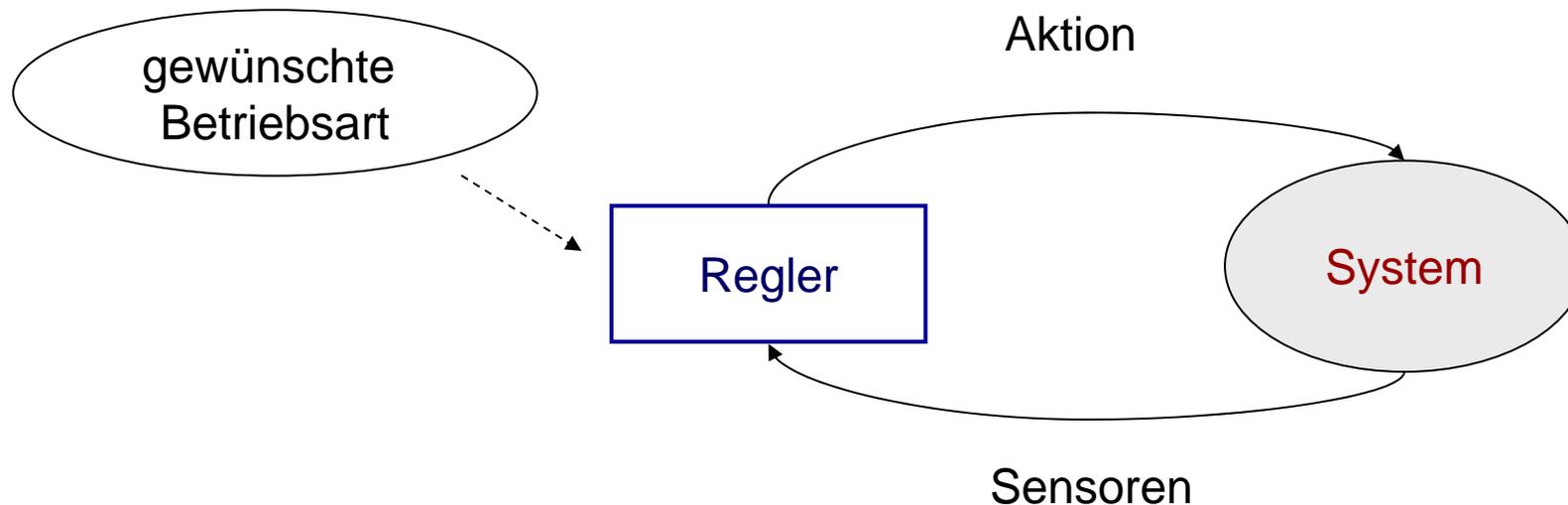




Der Mensch als Regler

Was ist Regelung ?

Regelung ist eine gezielte Beeinflussung dynamischer Systeme, so dass eine gewünschte Betriebsart eingestellt wird.



Wofür kann man Regelung brauchen?

Segway

Wenn man darauf steht und sich nach **vorne lehnt, verliert** der Segway sein **Gleichgewicht**. Um das Gleichgewicht zu erhalten, **bewegt er** die Räder mit der **richtigen Geschwindigkeit**, und damit bewegt man sich **vorwärts**.



→ das ist die **Regelung**, die die richtige **Geschwindigkeit** berechnet.

ESP (Elektronisches Stabilitätsprogramm)

to avoid this!



Das ESP nutzt **Sensor-Informationen** (wie Bremsdruck, Lenkwinkel, Radgeschwindigkeit) und regelt den Bremsdruck, um das **Auto** unter kritischen Bedingungen **auf der Spur zu halten**.

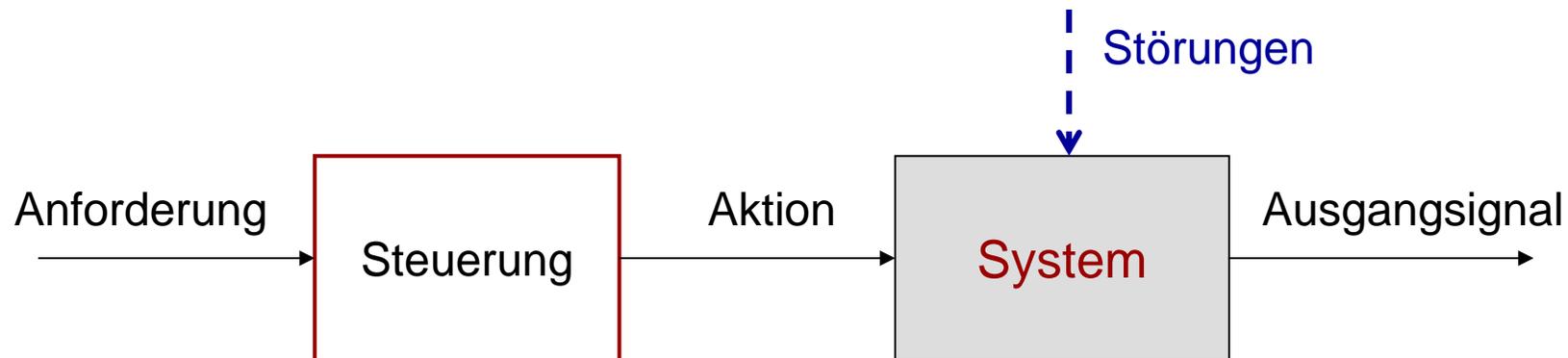
Wofür kann man Regelung brauchen?



Unterschied Steuerung - Regelung

Steuerung (open-loop control)

Die Steuerung wirkt auf das Eingangssignal (Aktion) und beeinflusst damit das Ausgangssignal.

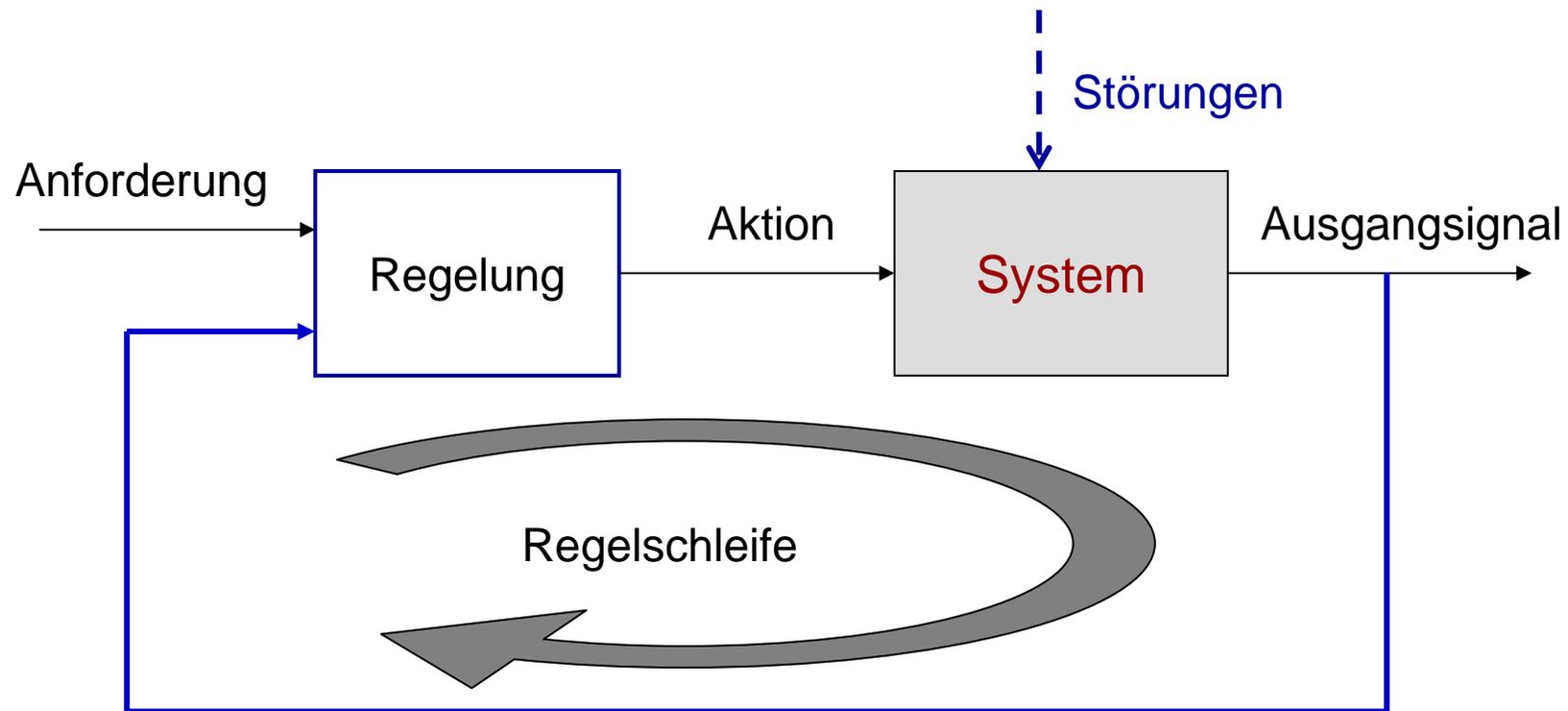


Problem

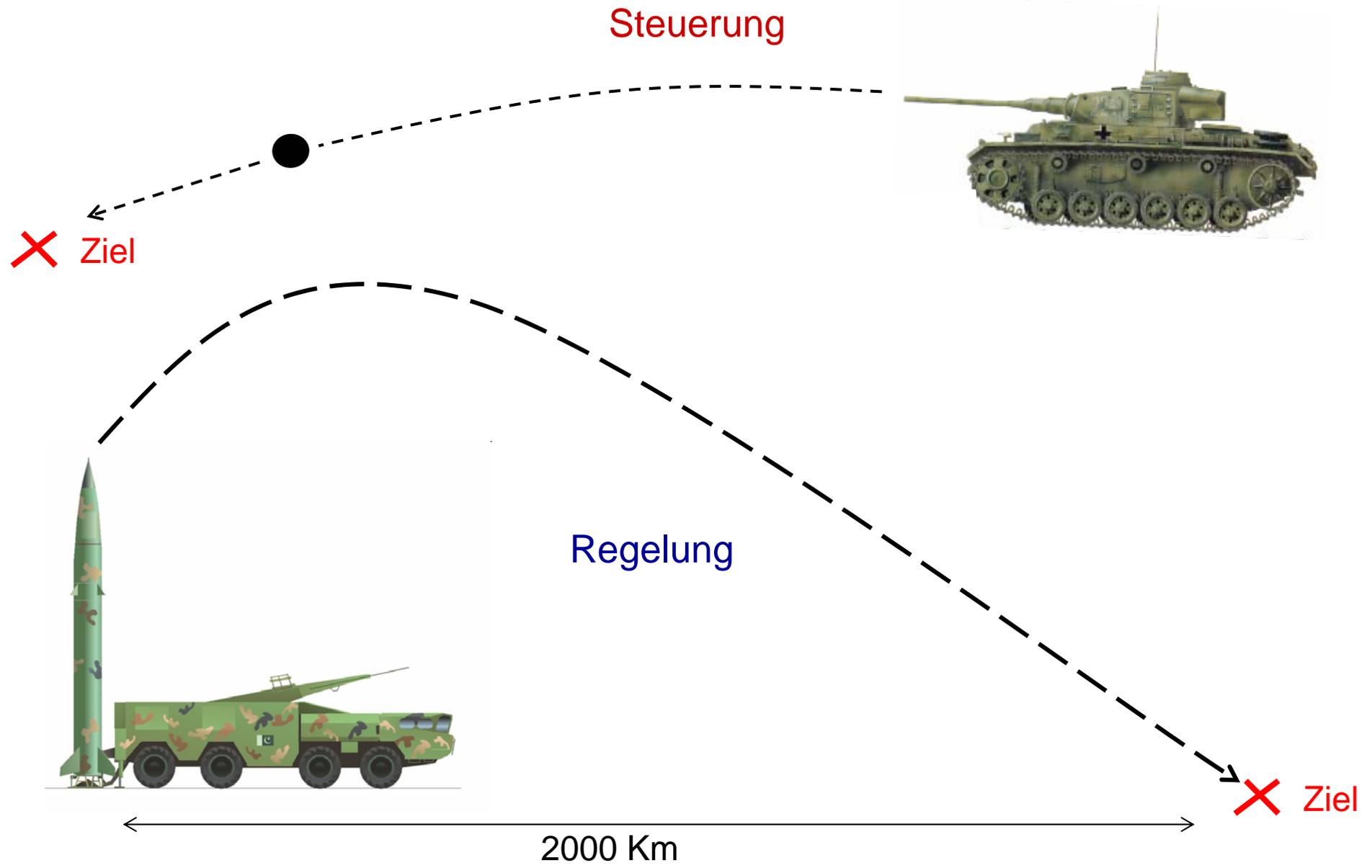
Die Steuerung “weiß” nicht, ob das System die gewünschte Betriebsart erreicht hat!

Regelung (closed-loop control)

Die Regelung wirkt auch auf das Eingangssignal (Aktion) um das Ausgangssignal zu beeinflussen, aber in diesem Vorgehen **weiß** man, ob ob das System die gewünschte Betriebsart erreicht hat.

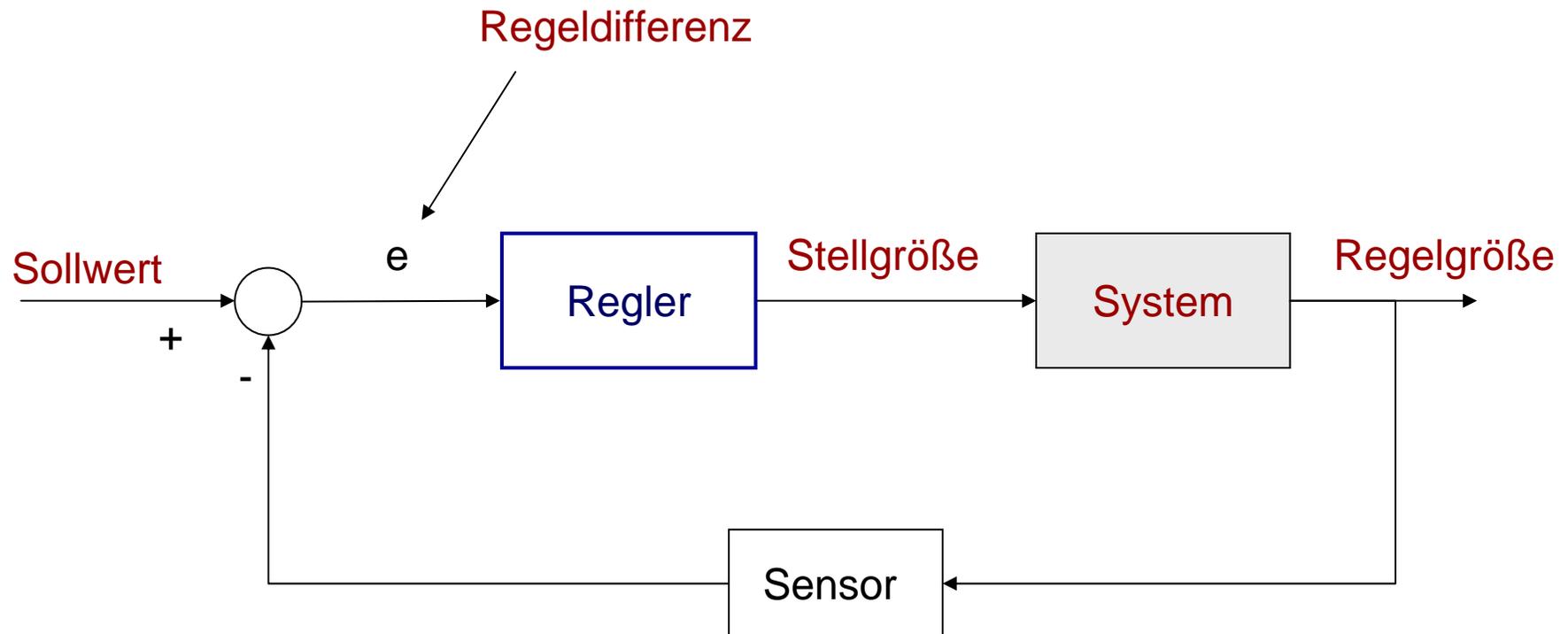


Beispiel

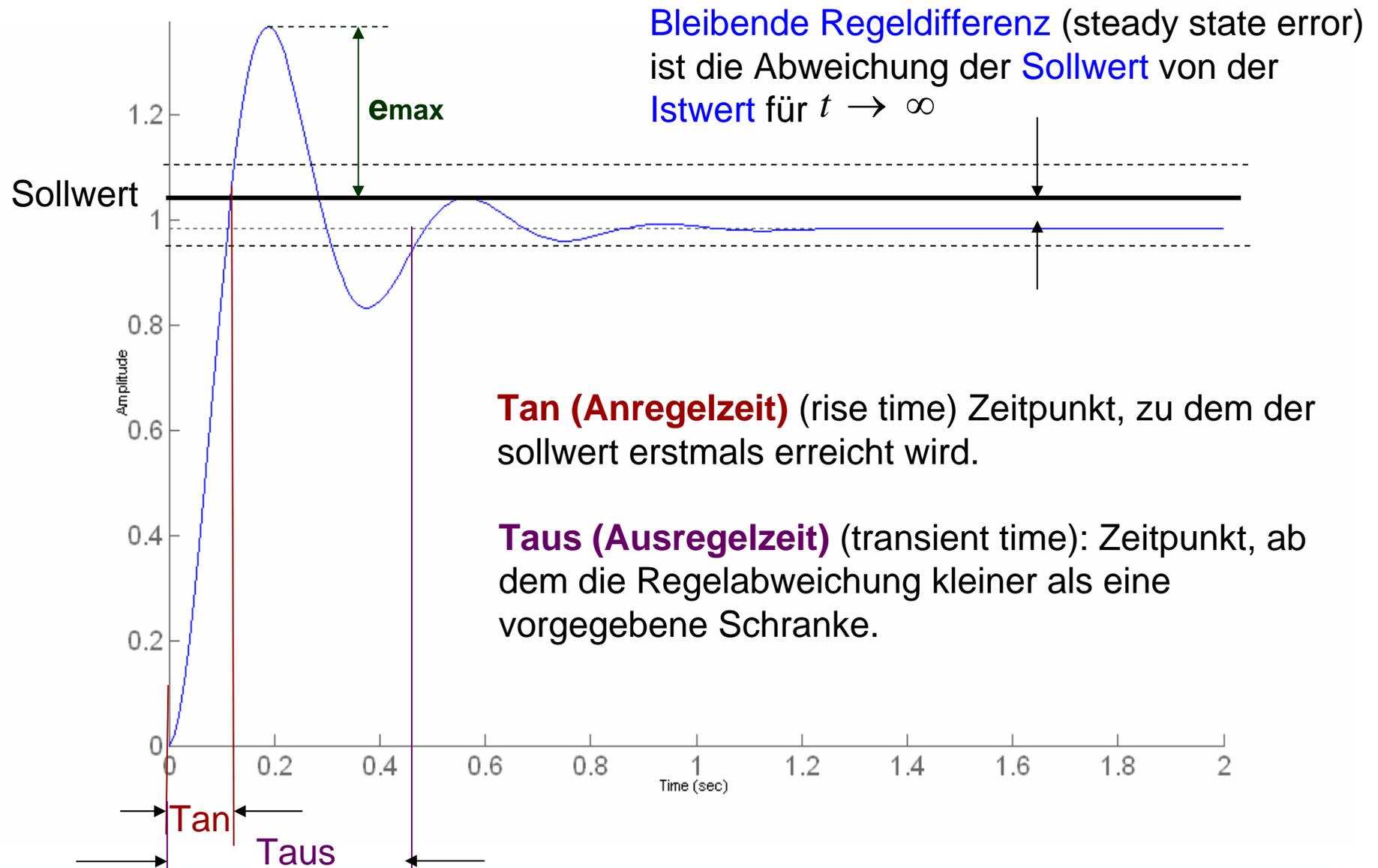


Der Regelkreis

Grundsätzlicher Aufbau von Regelkreisen



e_{max} (Maximale Überschwingweite) (overshoot) gibt die maximale Regelabweichung an, die nach dem erstmaligen Erreichen des Sollwertes auftritt.



Allgemeine Anforderungen an einen Regelkreis

An eine Regelung werden vier Anforderungen gestellt:

- Kleine bleibende Regeldifferenz.
- geringes Überschwingen.
- Kleine Anregelzeit.
- Kleine Ausregelzeit.

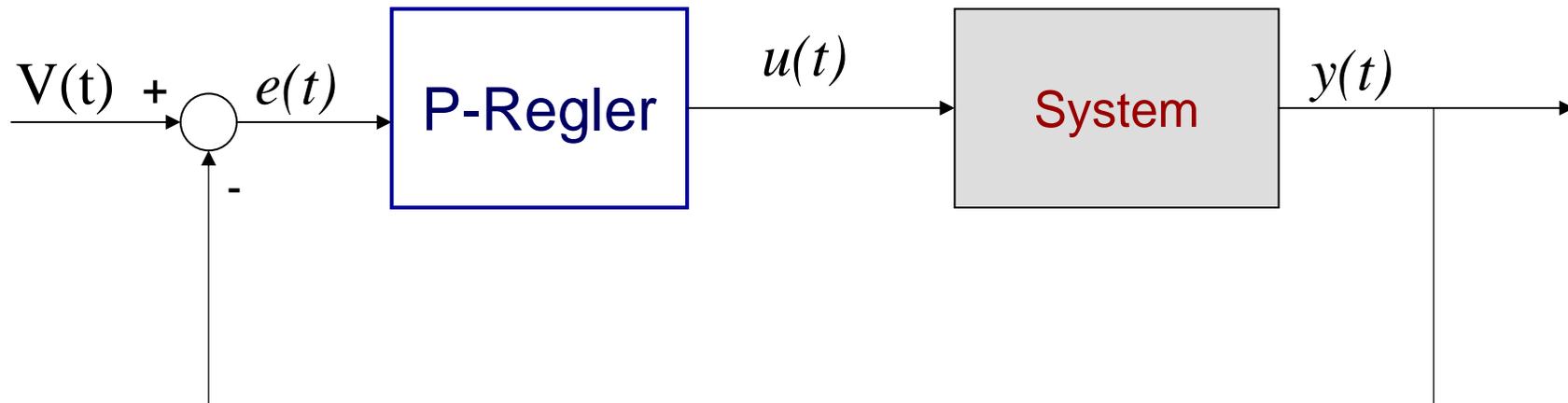
PID-Regler

PID-Regler besteht aus folgenden Anteilen:

- Proportionalen Anteil (**P-Regler**)
- Integralen Anteil (**I-Regler**)
- Differentialen Anteil (**D-Regler**)

P-Regler

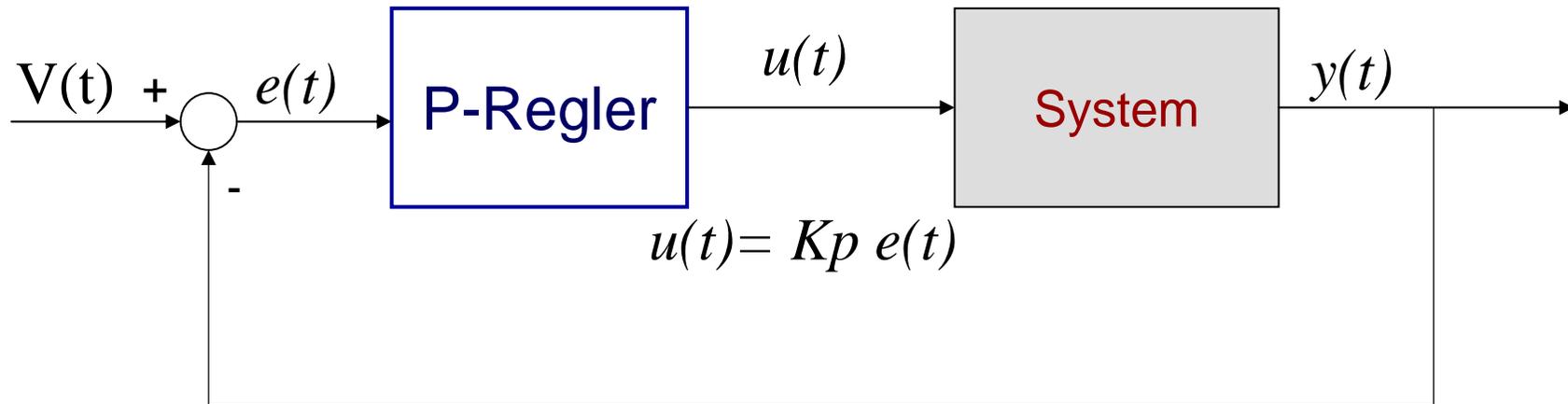
Er bestimmt die Stellgröße $u(t)$ durch Multiplikation der Regelabweichung $e(t)$ mit einem Faktor K_p :



$$u(t) = K_p e(t)$$

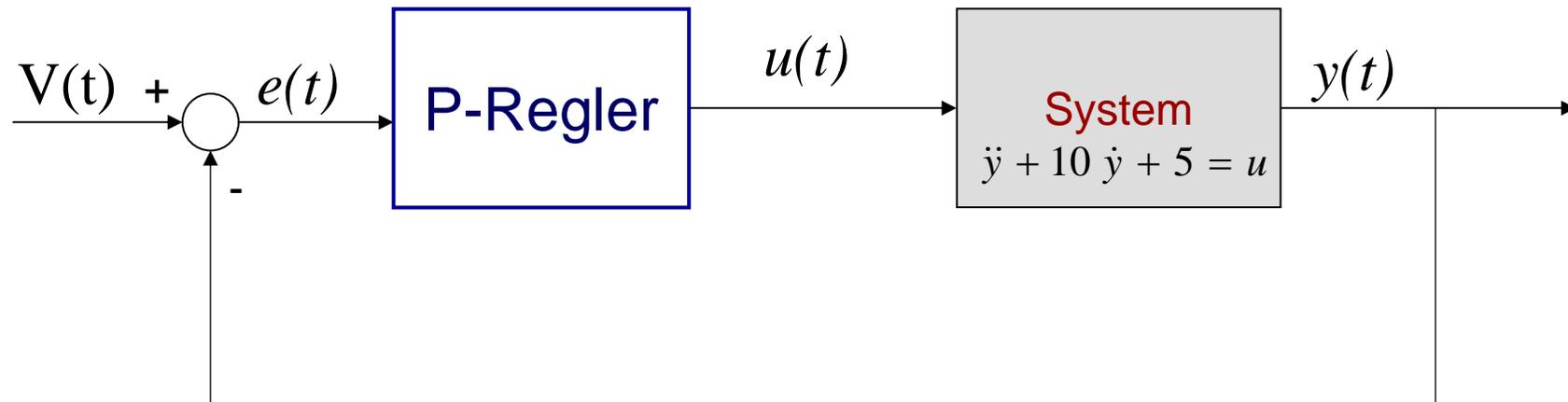
P-Regler

Er bestimmt die Stellgröße $u(t)$ durch Multiplikation der Regelabweichung $e(t)$ mit einem Faktor K_p :

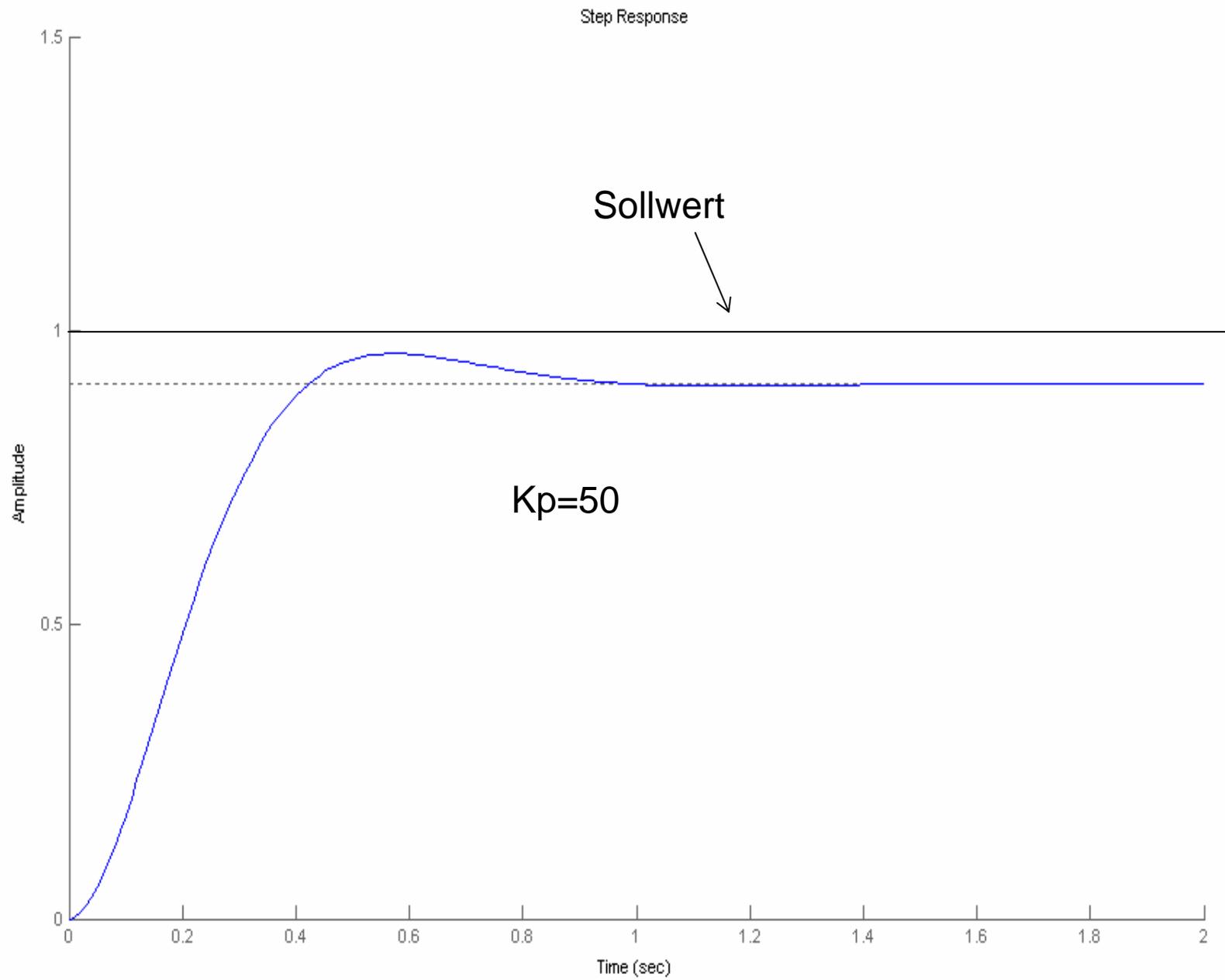


- reagiert nur auf aktuellen Wert der Regelabweichung $e(t)$ → **berücksichtigt nur die Gegenwart.**
- je größer (kleiner) die Regelabweichung $e(t)$, desto größer (kleiner) ist die Stellgröße $u(t)$.
- Getting closer to the desired value means that the control signal $u(t)$ does practically nothing! → **eine bleibende Regelabweichung.**

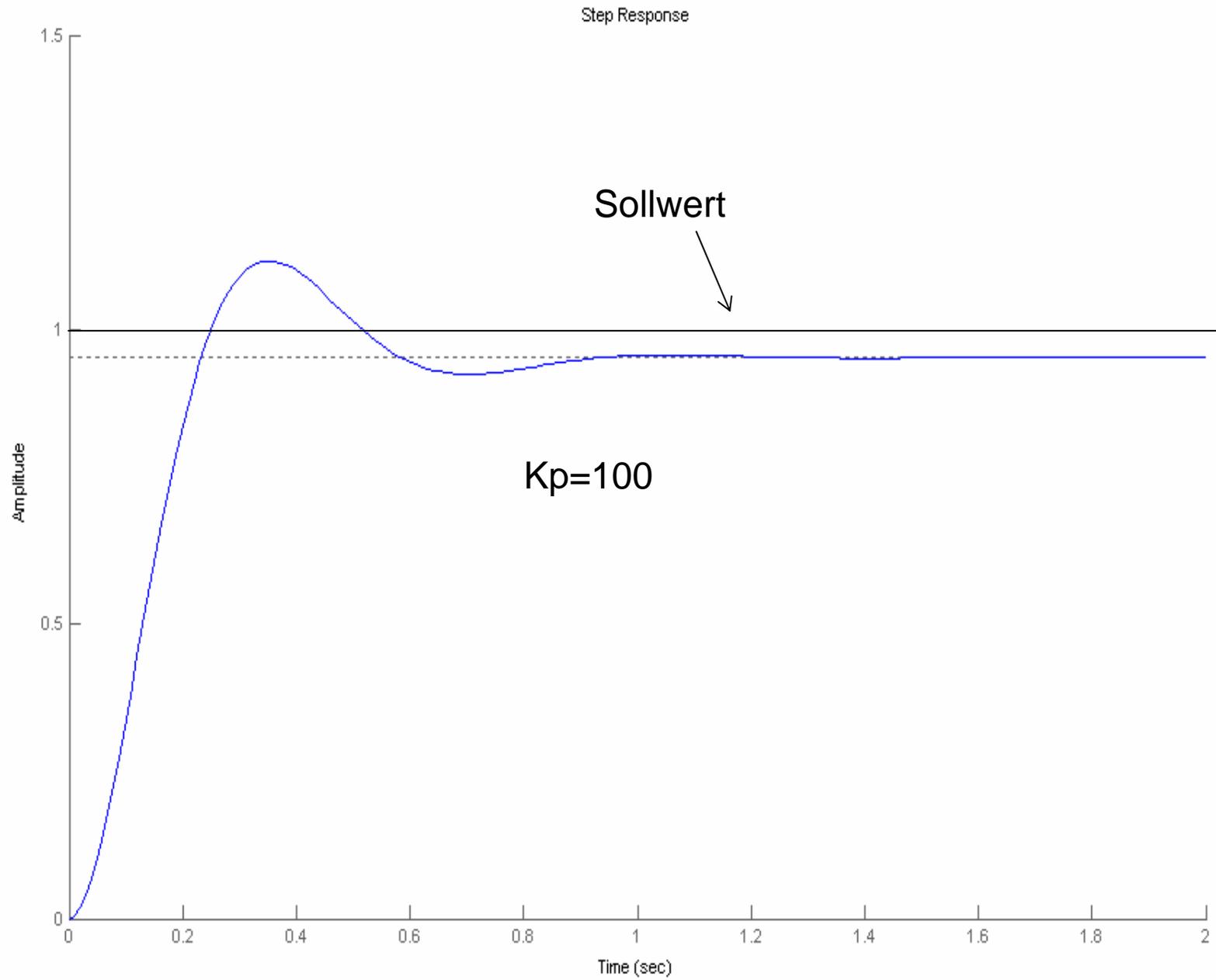
Simulation



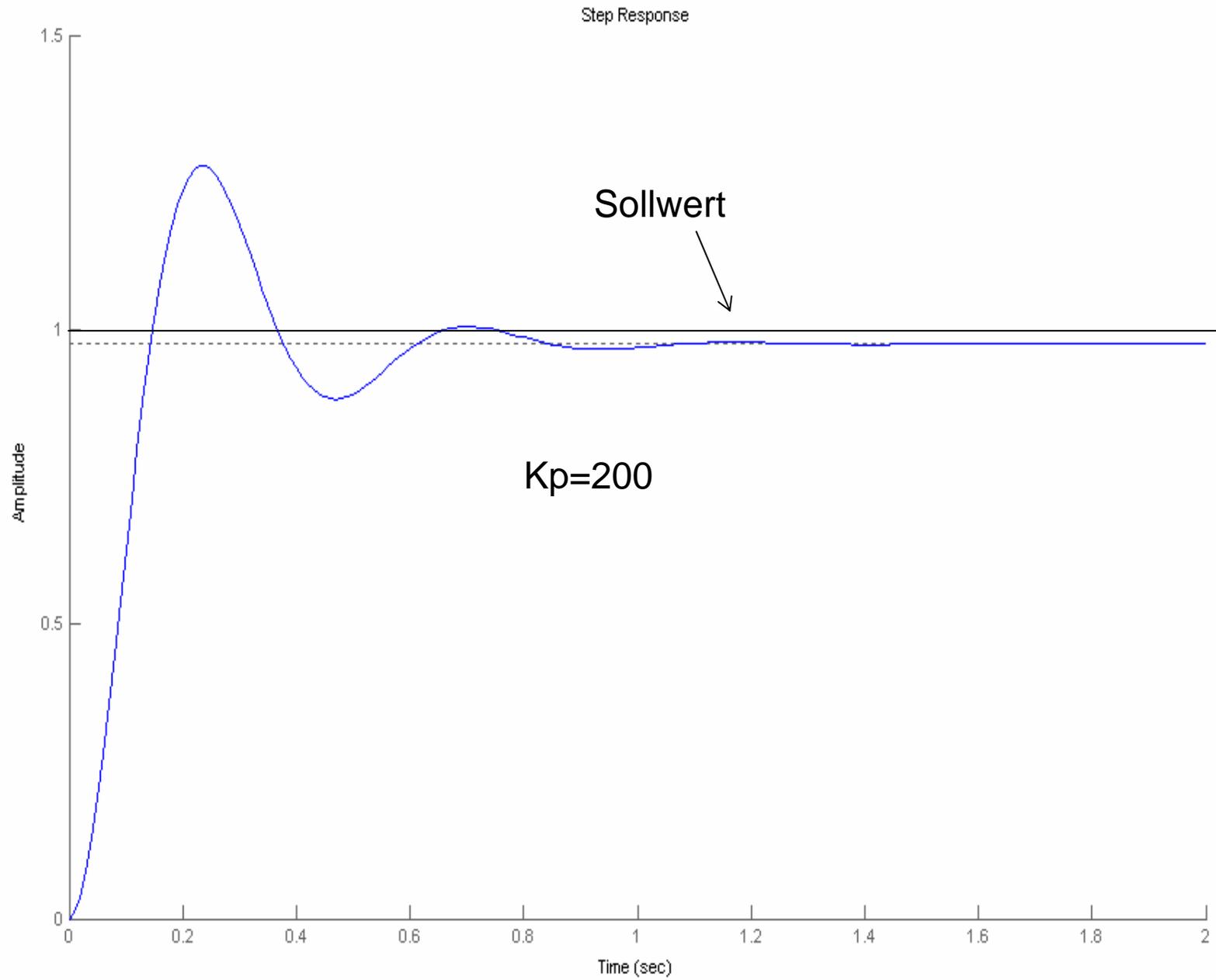
P-Regler



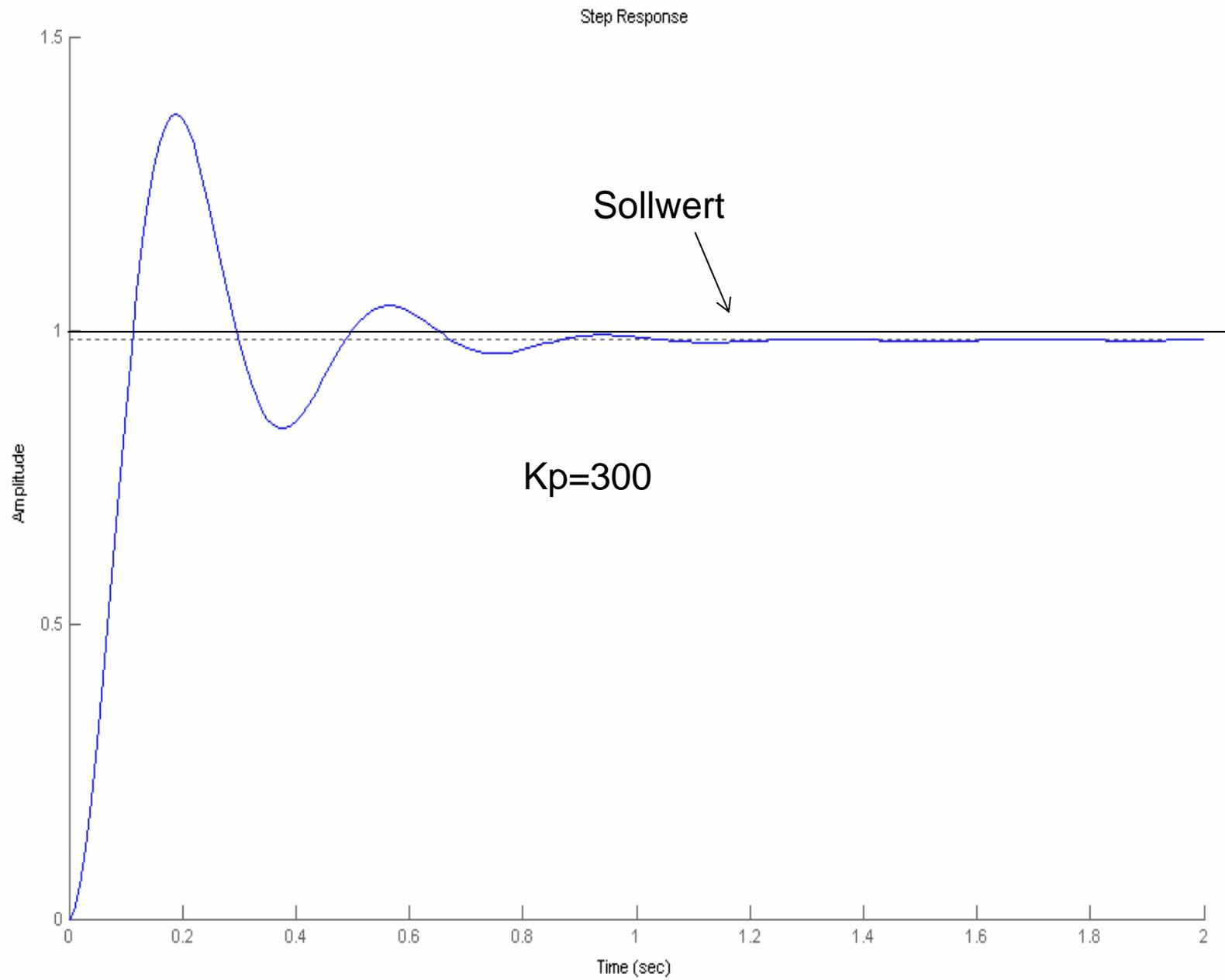
P-Regler



P-Regler



P-Regler



P-Regler

Zusammenfassung

Die **Regeldifferenz** und die **Ausregelzeit** werden **kleiner**, wenn **K_p größer** gewählt wird.

Aber dazu erhält man eine **stärkere Überschwingung!**

P-Regler



- einfach im Aufbau und damit relative preiswert.
- das Verhalten wird nur durch die Einstellung des Parameters K_p .



K_p

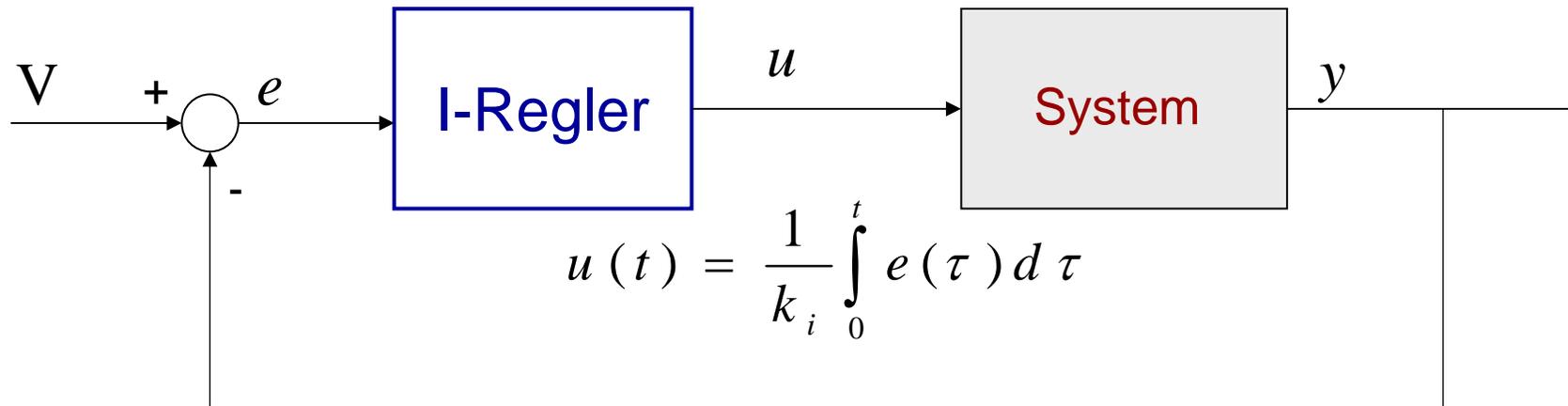
K_p

bleibende Regeldifferenz

Überschwingweite

I-Regler

Beim *I*-Regler (integrierender Regler) ist die Stellgröße $u(t)$, abgesehen vom Anfangswert, proportional zum Zeitintegral der Regelabweichung $e(t)$:



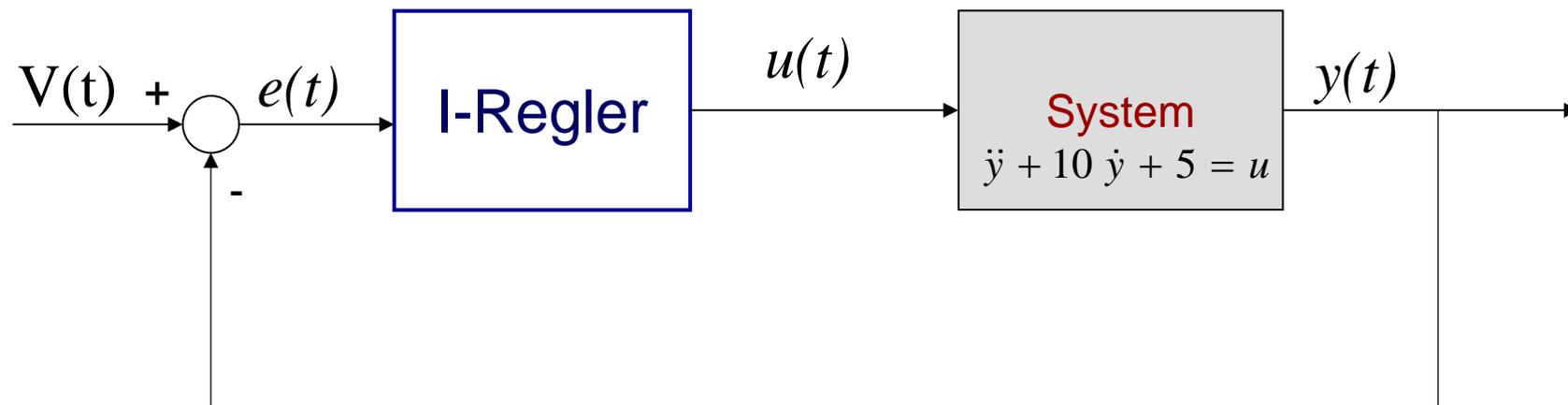
alle zurückliegenden Werte der Regelabweichung $e(t)$ werden integriert. → berücksichtigt die *Vergangenheit*.

Advantage

If $e(t)$ remains non-zero (even for small values) for a length of time, the control signal $u(t)$ gets larger and larger as time goes on! → keine bleibende Regelabweichung

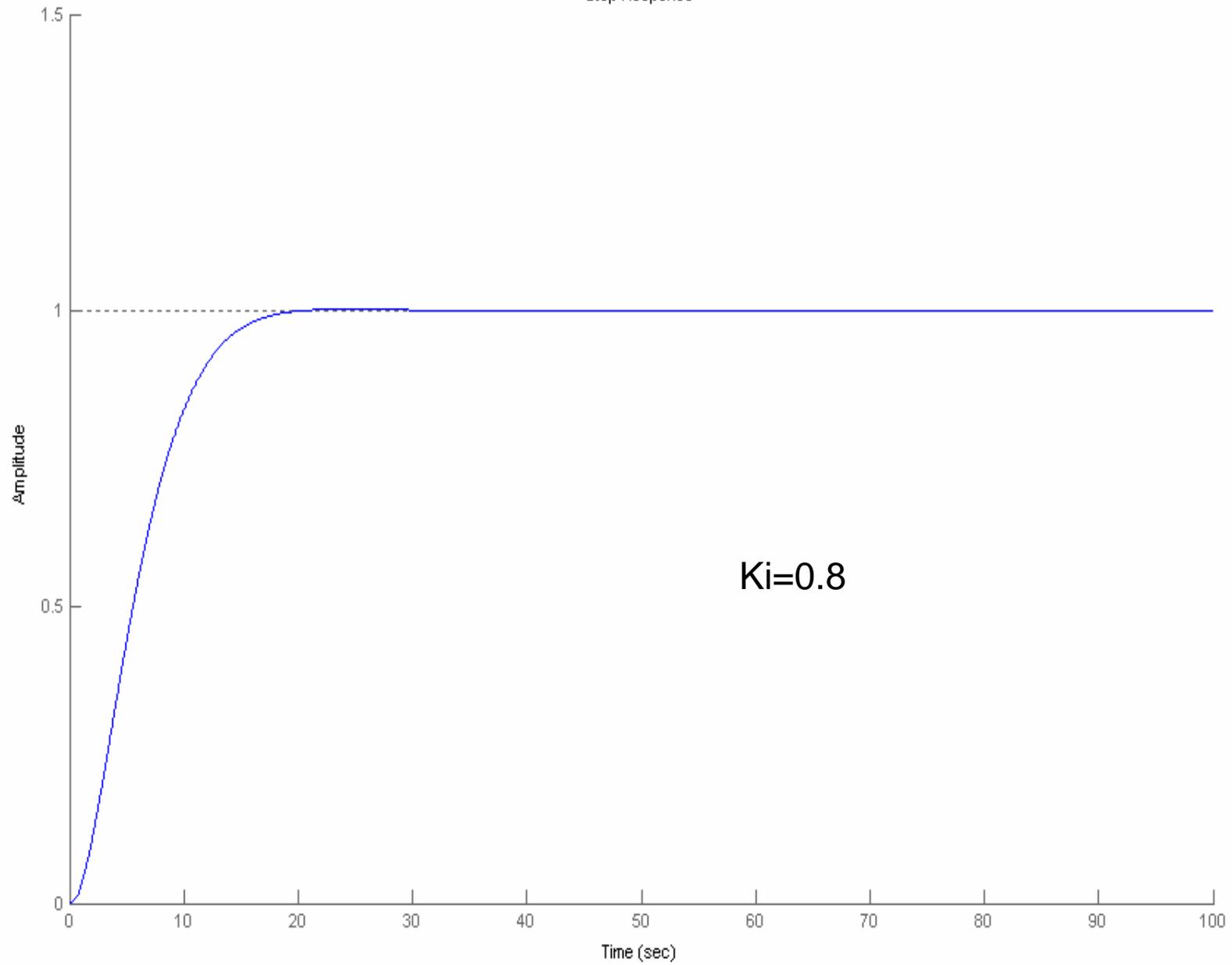
I-Regler

Simulation



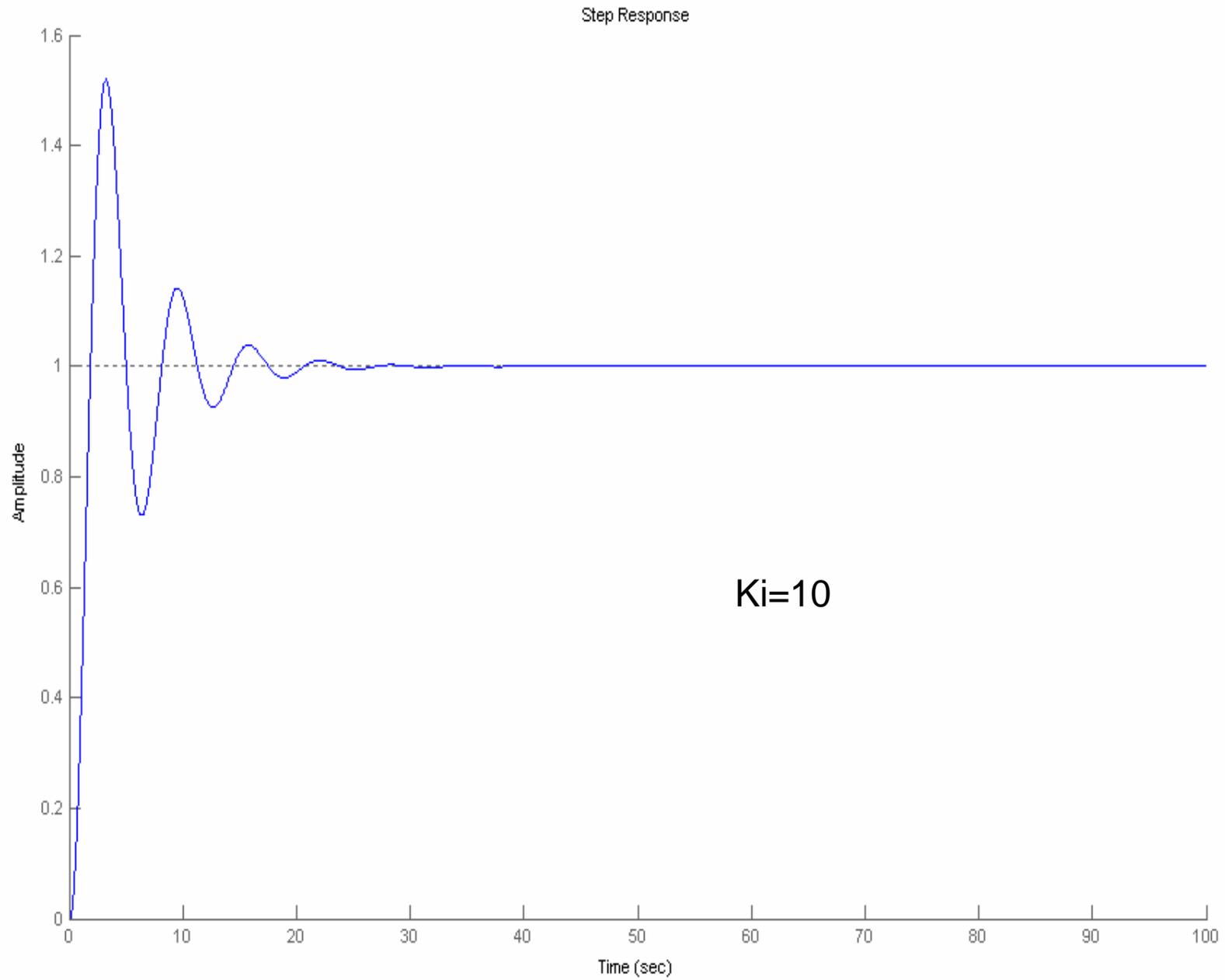
I-Regler

Step Response

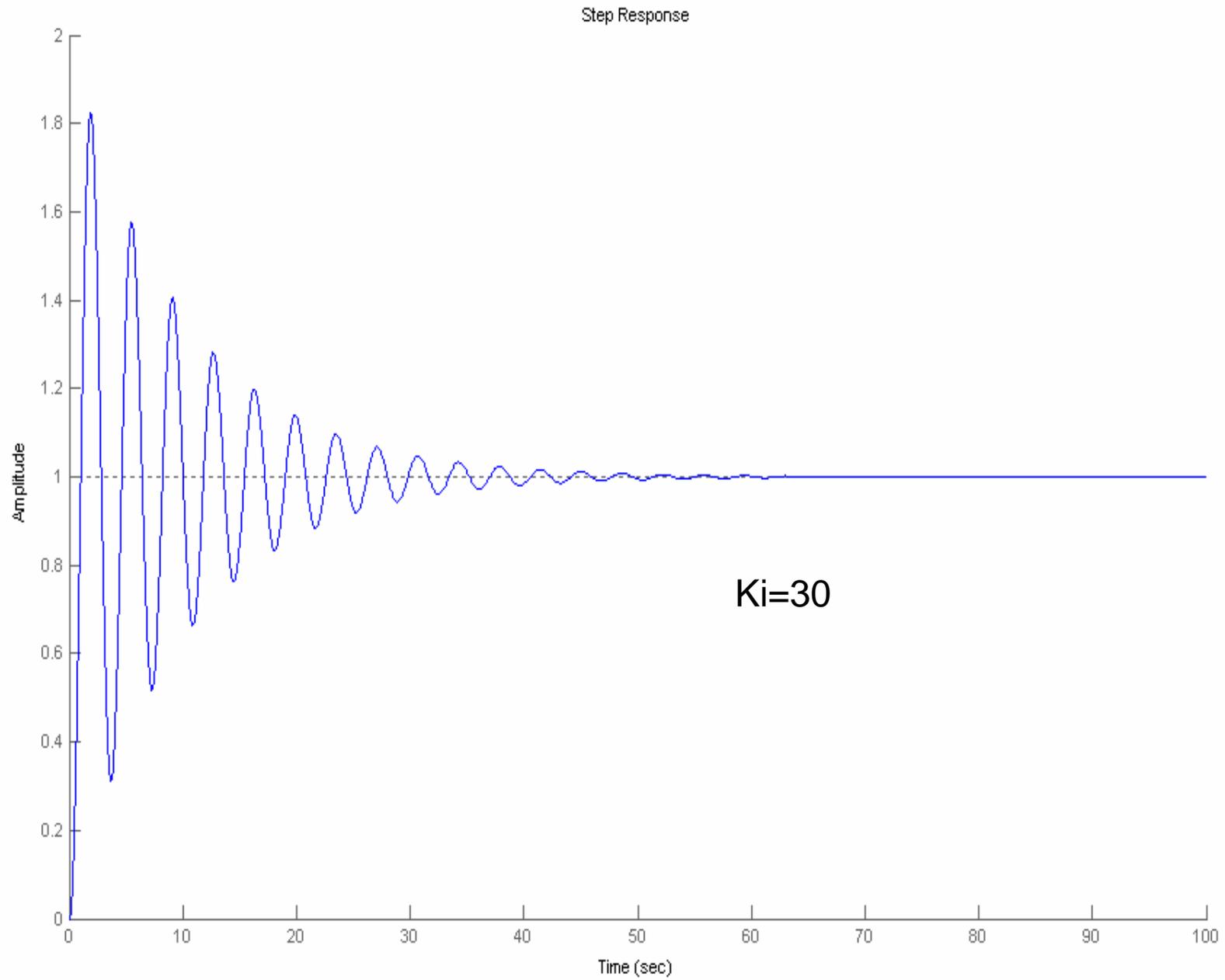


$K_i=0.8$

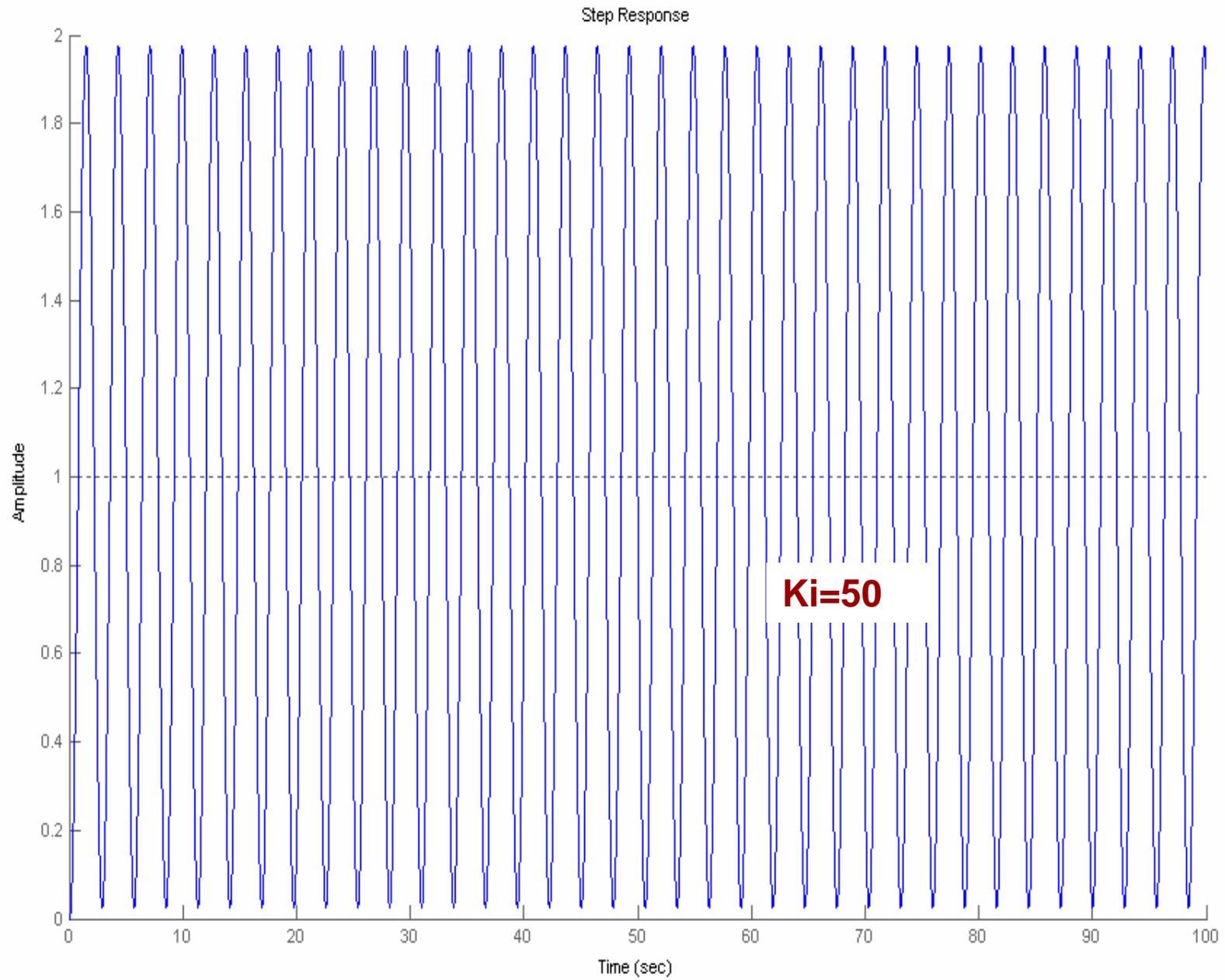
I-Regler



I-Regler



I-Regler



I-Regler



keine bleibende Regeldifferenz.



I-Regler greift langsamer ein als
P-Regler.

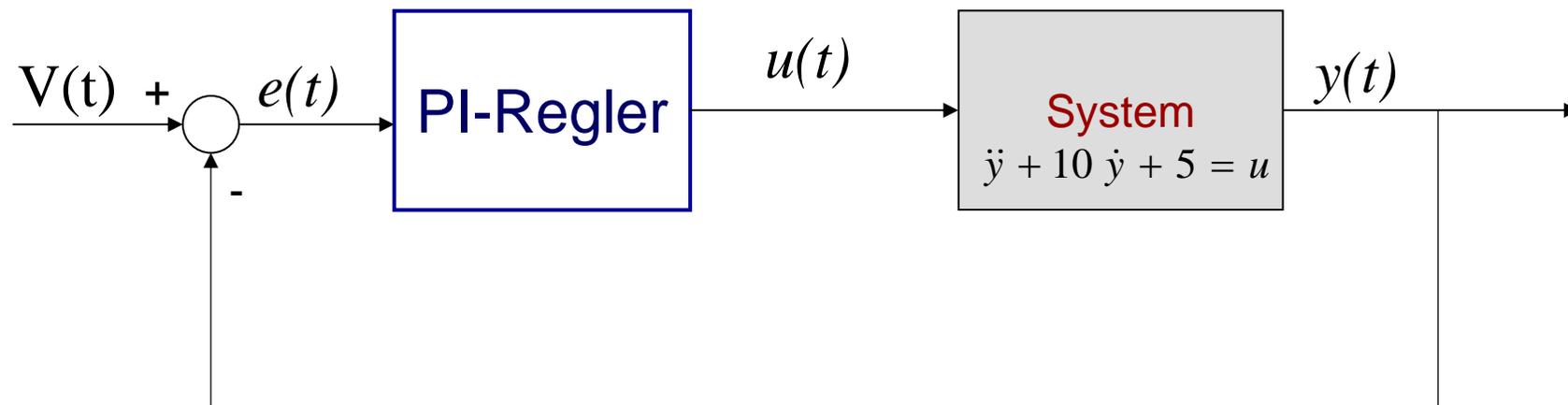
PI-Regler

Die Kombination eines *I-Reglers* mit einem *P-Regler* führt zum *PI-Regler*.

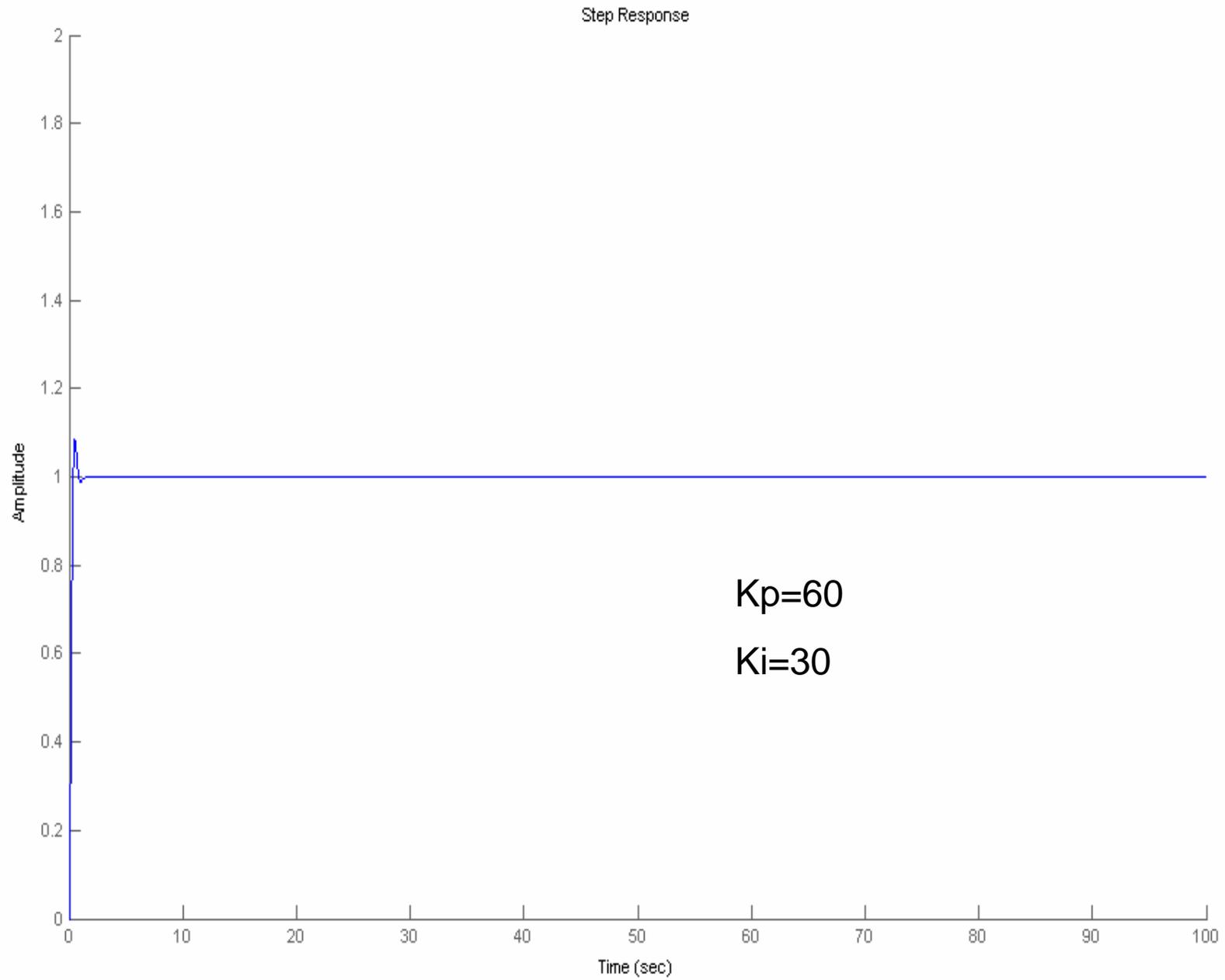
$$u(t) = K_p e(t) + \frac{1}{k_i} \int_0^t e(\tau) d\tau$$

PI-Regler

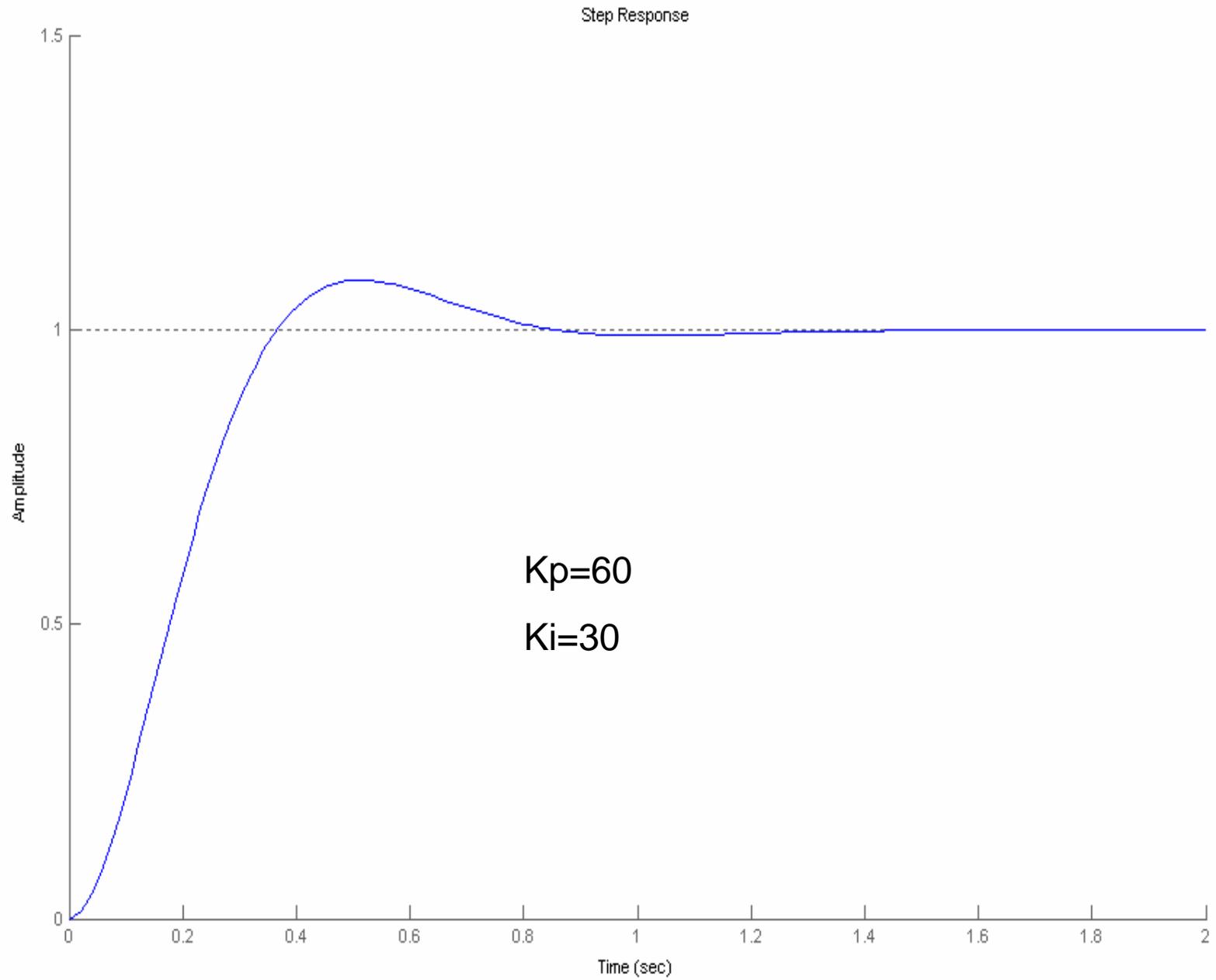
Simulation



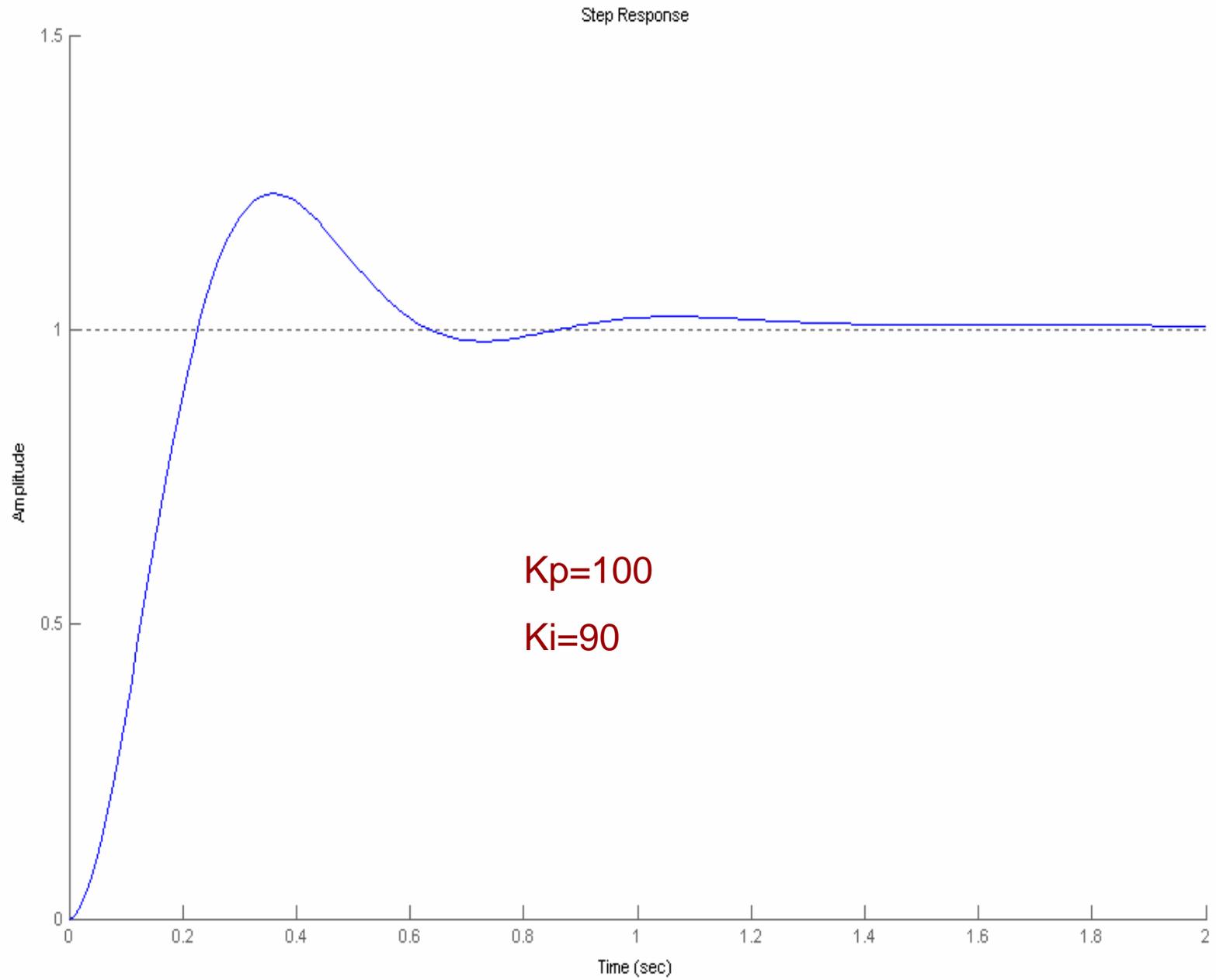
PI-Regler



PI-Regler



PI-Regler



PI-Regler



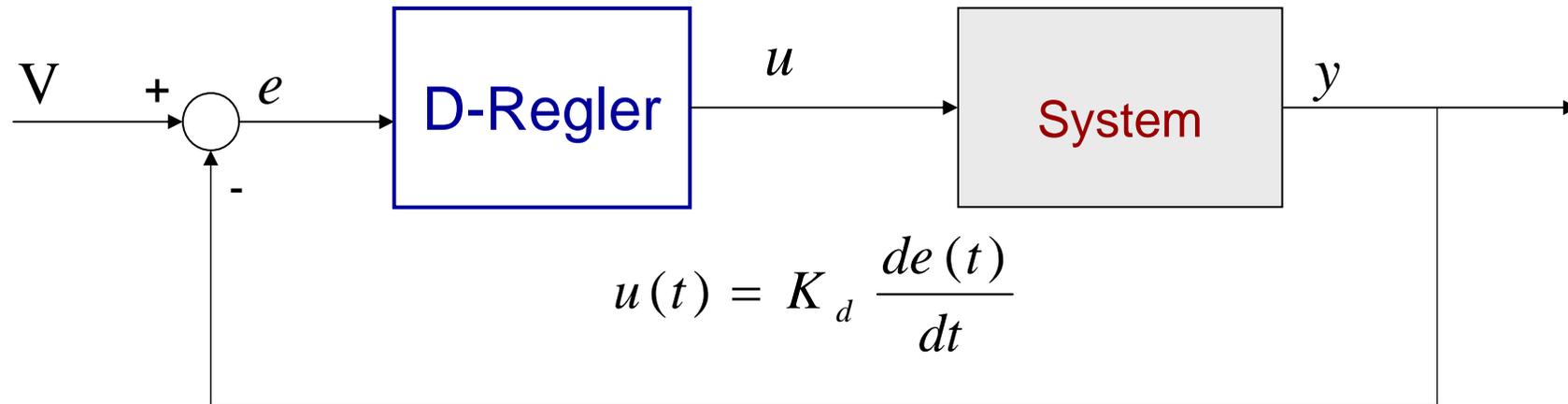
- anfangs schneller als der *I*-Regler.
- präziser als der *P*-Regler (keine bleibende Regeldifferenz)



Einstellung von zwei Reglerparametern
(Zeit Aufwand beim Tuning)

D-Regler

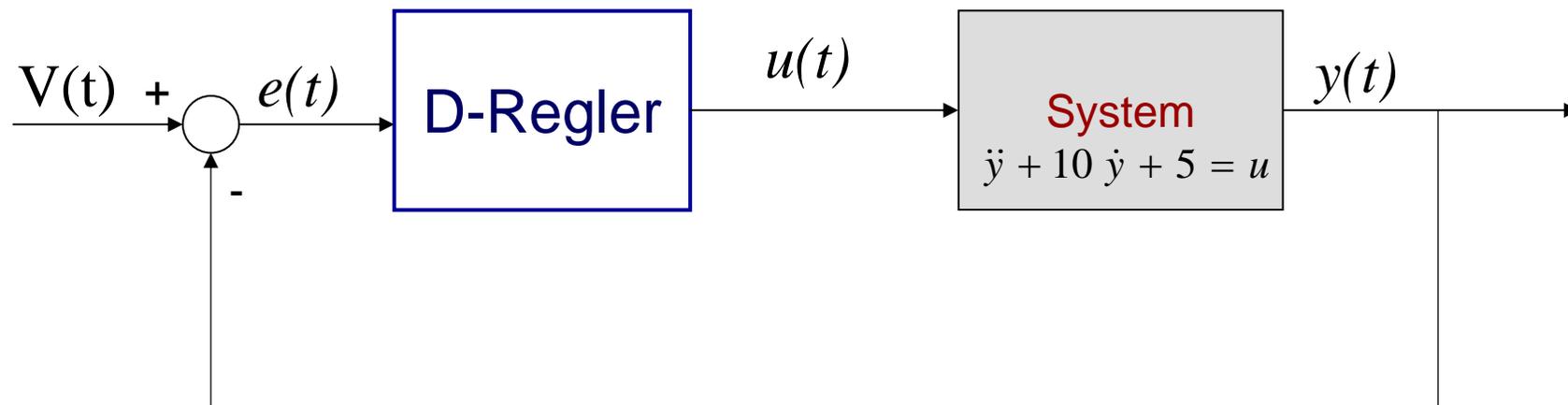
Der D-Regler (differentialer Regler) bestimmt den Stellwert aus der zeitlichen Ableitung der Regelabweichung.



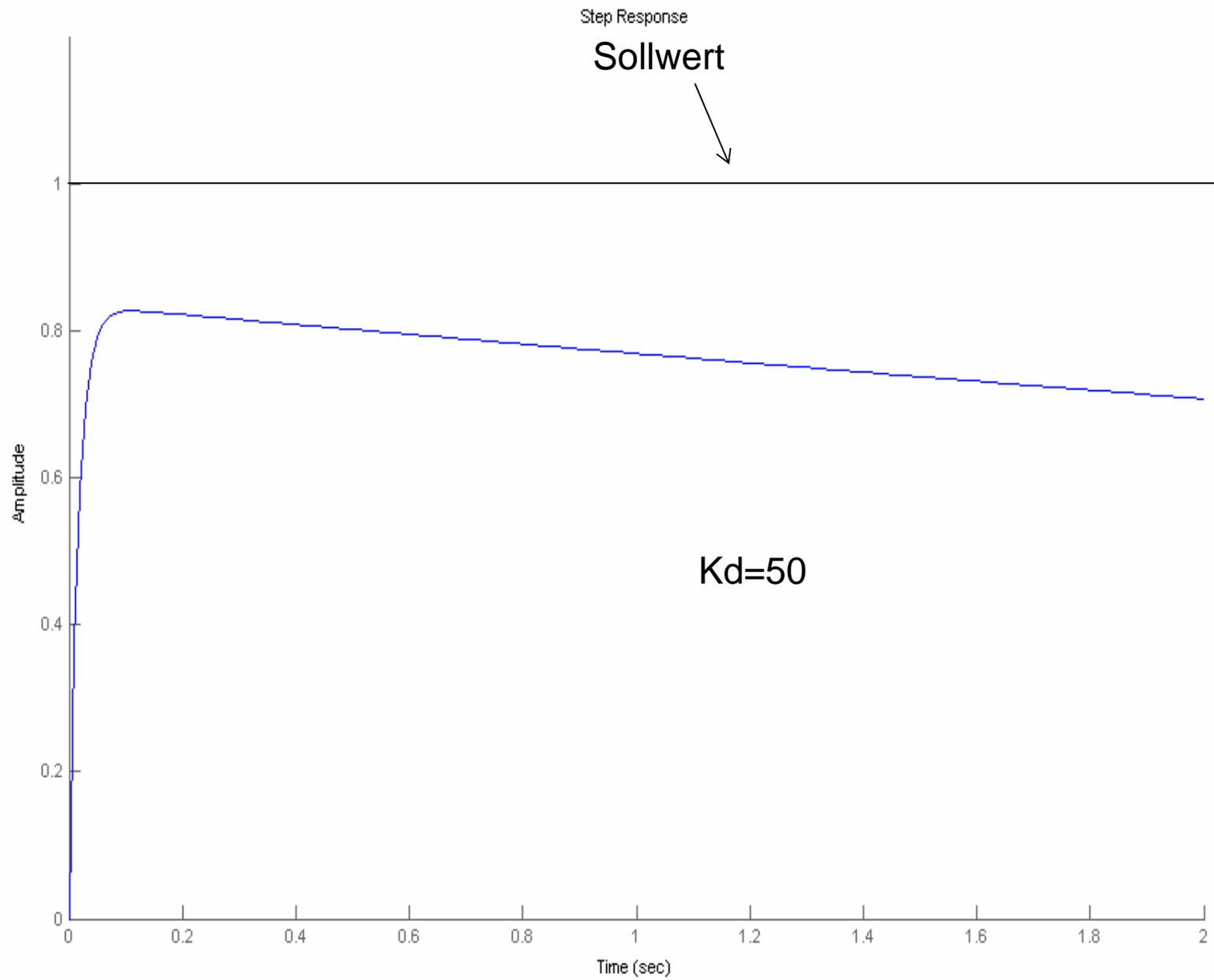
- Der *D*-Regler reagiert auf der Änderung der Regelabweichung.
- Die Änderung zeigt, wohin die Regelabweichung in der Zukunft gehen wird.
→ **berücksichtigt die Zukunft.**
- Je stärker die Änderung der Regelabweichung $e(t)$, desto größer ist die Stellgröße $u(t)$. → **Überschwingen wird minimiert.**

D-Regler

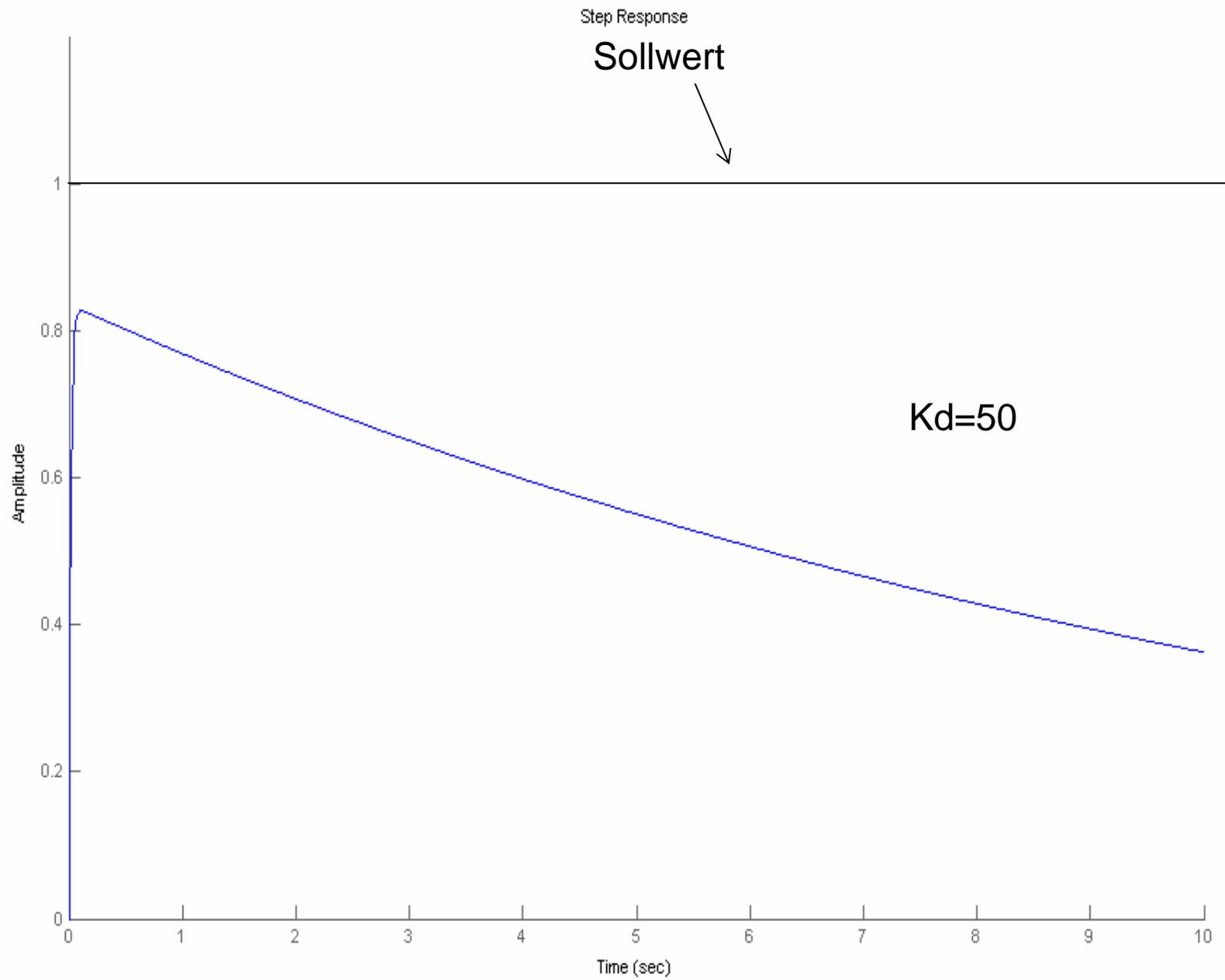
Simulation



D-Regler



D-Regler



D-Regler



greift sofort ein beim Auftreten einer Regeldifferenz.



Das **Überschwingen** zu minimieren.



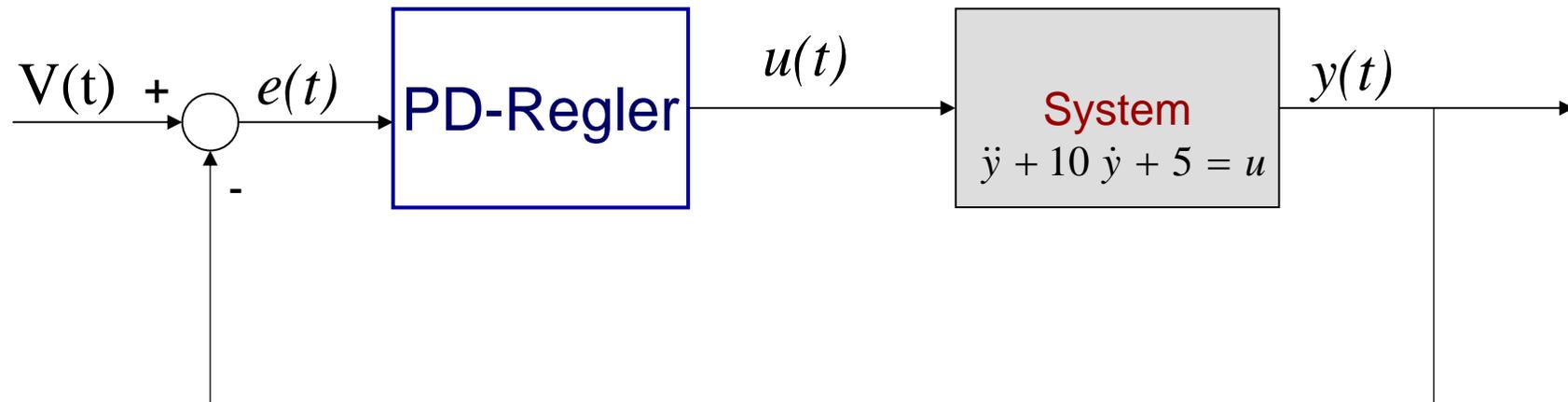
- **reagiert nicht** auf eine konstante Regeldifferenz.
- verstärkt Messrauschen.

PD-Regler

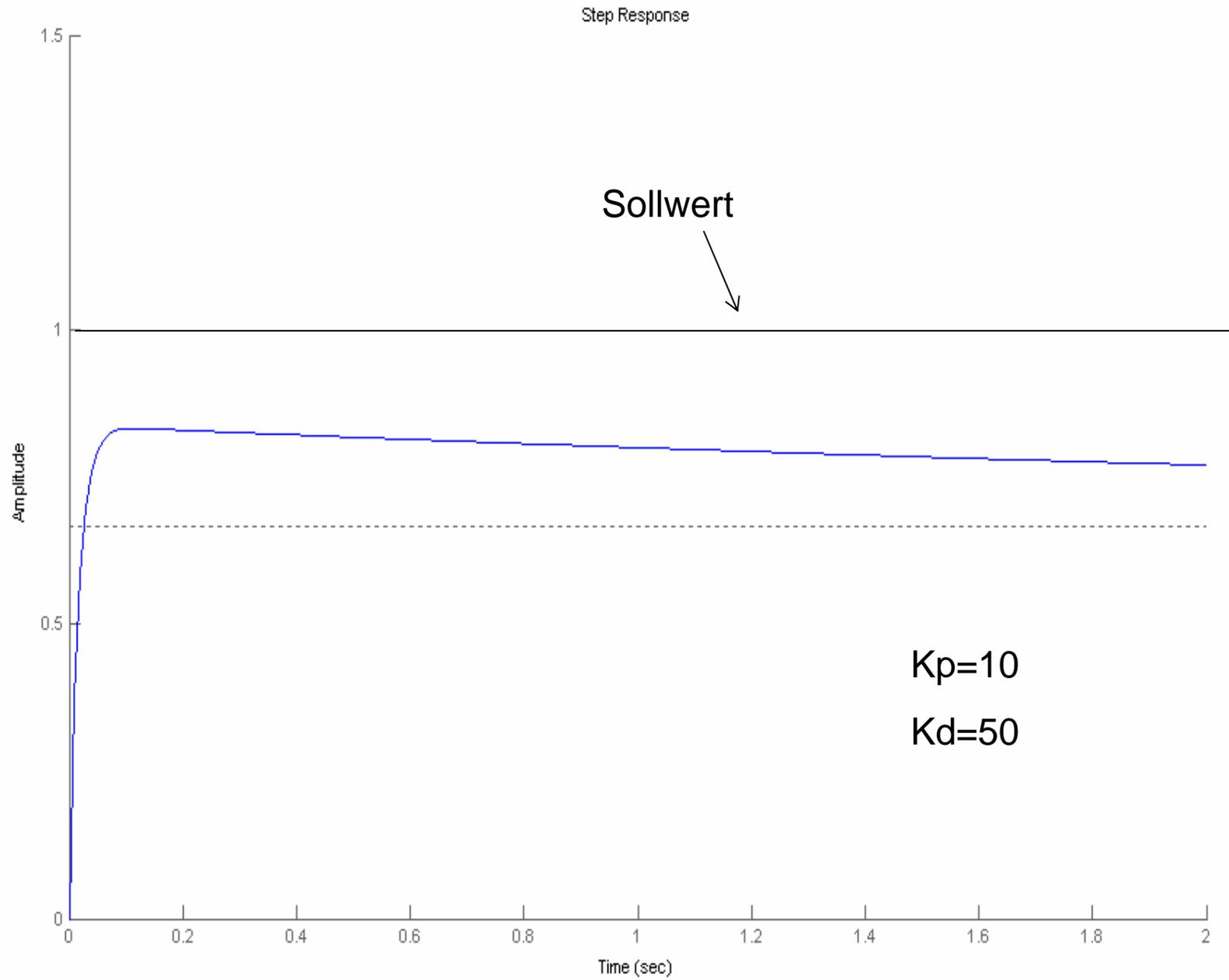
Die Parallelschaltung eines *D*-Reglers und eines *P*-Reglers führt zum *PD*-Regler.

$$u(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

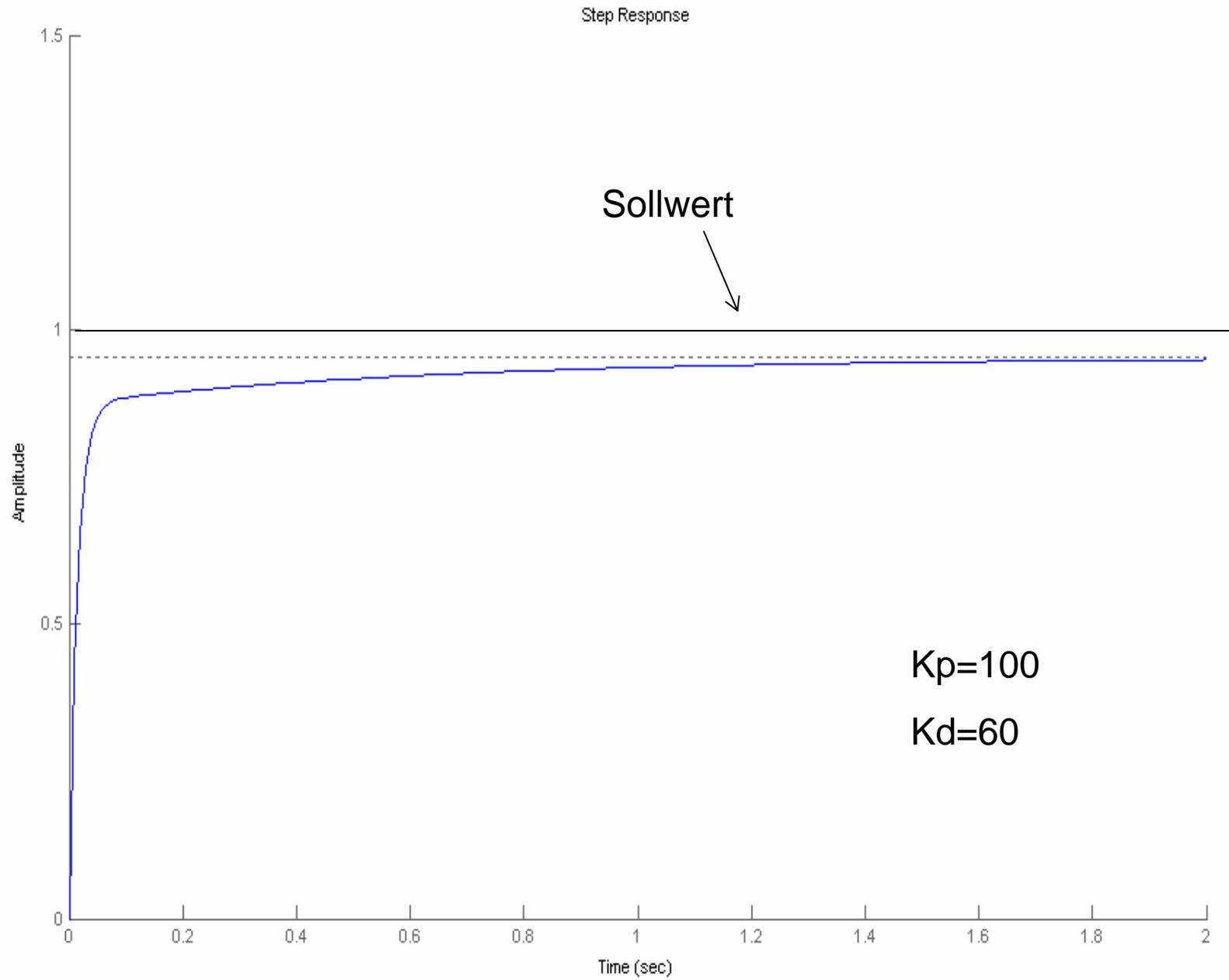
Simulation



PD-Regler



PD-Regler



PD-Regler



sehr schneller Regler, und größere Regeldifferenz werden vermieden.



bleibende Regeldifferenz tritt auf.

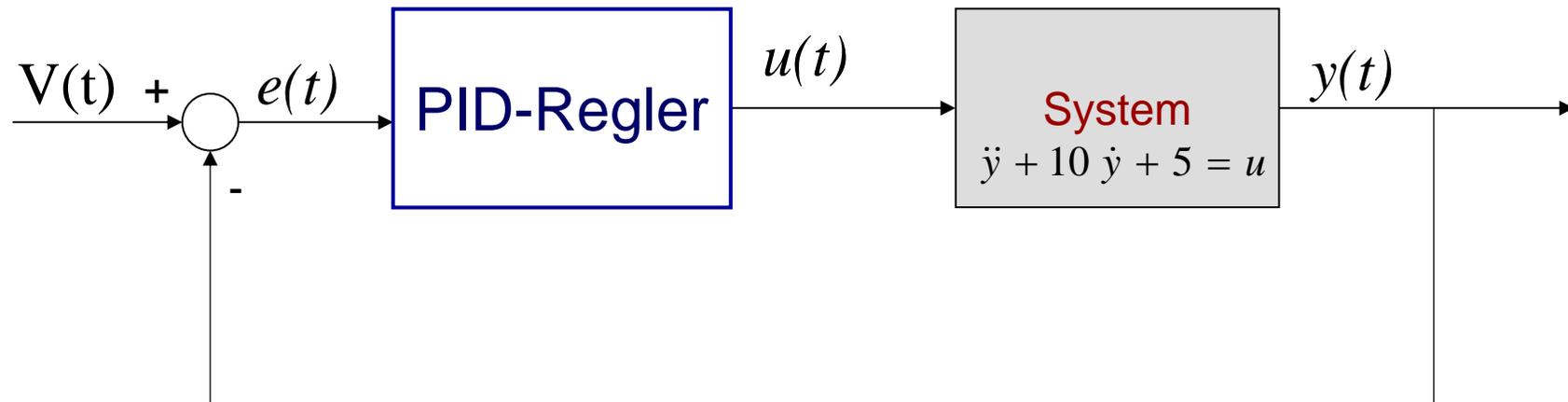
PID-Regler

Der PID-Regler vereint die Verhaltensweisen der P -, I -, und D -Regler.

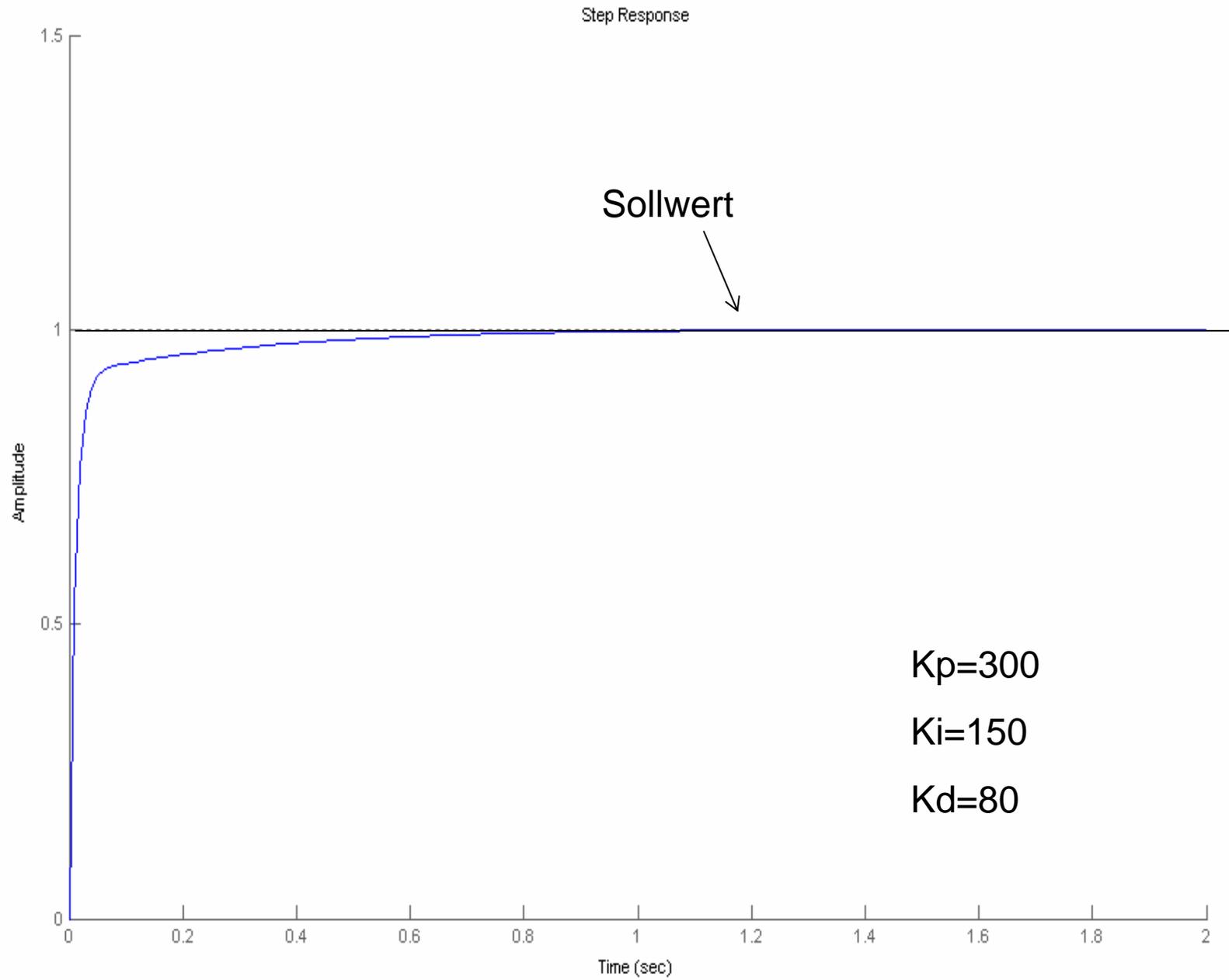
$$u(t) = K_p e(t) + \frac{1}{K_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

PID-Regler

Simulation



PID-Regler



PID-Regler



- reagiert schnell
- lässt keine bleibende Regeldifferenz zu
- erlaubt keine großen Regelabweichungen



Einstellung eines PID-Regler
erfordert einen großen
Zeitaufwand

Die Merkmale der elementaren PID-Regler

Regler	Anregelzeit	Überschwinger	Ausregelzeit	Regelabweichung
K_P	sinkt	wächst	geringe Änderung	sinkt
K_I	sinkt	wächst	wächst	0
K_D	geringe Änderung	sinkt	sinkt	geringe Änderung

Zeitdiskreter PID-Regler

P-Regler

$$u(t) = K_p e(t)$$

Abgetastet mit $t = kT$

$$u(kT) = u_k$$

$$y(kT) = y_k$$

$$e(kT) = e_k = r_k - y_k$$

$$k=1,2,3,\dots$$

$$u_k = K_p e_k$$

PI-Regler

Abgetastet mit $t = kT$ wobei $\dot{u}(t) = \Delta u_k$

Nach "Euler rückwärts" gilt: $\Delta u_k = \frac{u_k - u_{k-1}}{T}$

Nach ein paar algebraischen Umformungen erhält man (die Tafel...)

$$u_k = u_{k-1} + \left(K_p + \frac{T}{K_i} \right) e_k - K_p e_{k-1}$$

PD-Regler

Mit der gleichen Vorgehensweise !

$$u_k = \left(K_p + \frac{K_d}{T} \right) e_k - \frac{K_d}{T} e_{k-1}$$

PID-Regler

$$u_k = u_{k-1} + \left(K_p + \frac{T}{K_i} + \frac{K_d}{T} \right) e_k + \left(K_p - \frac{2K_d}{T} \right) e_{k-1} + \frac{K_d}{T} e_{k-2}$$