Dr. Serge ZACHER VERLAG
Stuttgart
D-70188

Automation-Letter Nr. 29
16.08.2016

Prof. Dr. S. Zacher

ASA-Regler mit Bypass

Modellbasierter Kompensationsregler mit einer überbrückten Regelstrecke

Das Konzept der Kompensationsregelung ist sehr einfach, nämlich die Übertragungsfunktion der Strecke $G_S(s)$ soll durch die Übertragungsfunktion des Reglers $G_R(s)$ so kompensiert werden, dass daraus eine gewünschte Übertragungsfunktion $G_M(s)$ des geschlossenen Regelkreises entsteht…

Das Kompensationsprinzip hat folgender Nachteil: die Zeitkontanten der industriellen Regelstrecken führen bei der reziproken Übertragungsfunktion der Strecke zu mehreren differenzierenden Anteilen des Reglers. Die D-Anteile erschweren die Realisierung des modellbasierten Reglers und verschlechtern die Regelung.

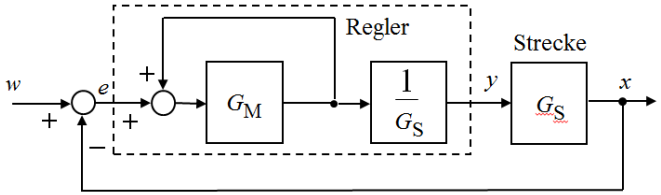
S. Zacher, M. Reuter: ***Regelungstechnik für Ingenieure*.**
Seiten 357, 358. Springer Vieweg Verlag, 14. Auflage, 2014

2016 Copyright S. Zacher

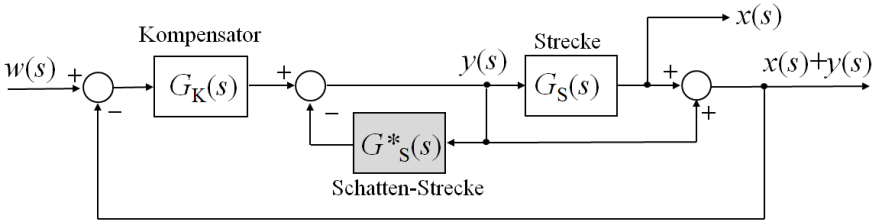
Abstract, Urheberrechts- und Haftungshinweis

Bekannt sind Kompensationsregler $G_R(s)$, die ein reziprokes Modell der Regelstrecke $G_S(s)$ beinhalten. Der zweite Anteil des Kompensationsreglers wird durch die Übertragungsfunktion $G_M(s)$ des gewünschten Verhaltens des geschlossen Regelkreises definiert. Da die industriellen Strecken $G_S(s)$ üblicherweise PT-Glieder mit großen Zeitverzögerungen T sind, entstehen große differenzierende Anteile bei der Umkehrung $1/G_S(s)$, die entweder nicht genau realisierbar sind oder Störungen verursachen.

Um dies zu vermeiden, wurde eine so genannte Schatten-Strecke in Regelkreis eingeführt, die sich mit der Originalstrecke ohne Kehrwertbildung kompensieren lässt [1]. Daraus entstanden zwei Optionen von ASA-Reglern: mit *Vorfilter* und mit *Kompensator*. Die letzte Option wird im vorliegenden *Automation-Letter* weiter entwickelt, und zwar so, dass der Kompensator mit der Schatten-Strecke in einem Block zusammengefasst wird. Die neue Option wird *ASA-Regler mit Bypass* genannt.

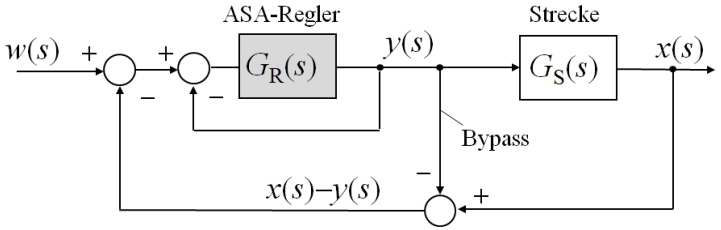


Kompensationsregler mit reziproke Strecke



ASA-Regler mit Schatten-Strecke

ASA-Regler mit Bypass



Die vorliegende Publikation unterliegt der Urheberrecht. Alle Rechte sind bei Dr, S. Zacher vorbehalten.
All rights are by the author, Dr. S. Zacher, reserved. Die Weiterentwicklung oder Nutzung der Publikation ohne Referenz auf Urheber ist nicht zugelassen. No use of this publication without references on the author.

Für die Anwendung der vorliegenden Publikation in der Industrie, im Laborbetrieb und in anderen praktischen Fällen sowie für eventuelle Schäden, die aus unvollständigen oder fehlerhaften Angaben über das dynamische Systeme ergeben können, übernimmt der Autor keine Haftung. For the practical use of the results of this publication takes the author no responsibility.

I N H A L T :

1. Einführung …….… Seite 4

2. ASA-Regelung …… Seite 5

2.1 Schatten-Strecke …… Seite 5

2.2 ASA-Kompensator und Schatten-Strecke ……...Seite 6

2.3 ASA-Regler: Kompensator und Schatten-Strecke ……Seite 7

2.4 Beispiel eines ASA-Reglers …….. Seite 8

2.5 Wie funktioniert ASA-Regler ……...… Seite 9

3. Bypass ……Seite 12

3.1 Herleitung ……..…Seite 12

3.2 Entwurfsschritte ……. Seite 13

3.3 Beispiel: I-T1-Strecke …… Seite 14

3.4 Beispiel: P-T2-Strecke …… Seite 18

3.5 Beispiel: schwingungsfähige P-T2-Strecke.. ……... Seite 21

3.6 Beispiel: P-T2-Strecke mit Totzeit …… Seite 23

3.7 Beispiel: Simulation der Füllstandregelung eines Tanks …….. Seite 25

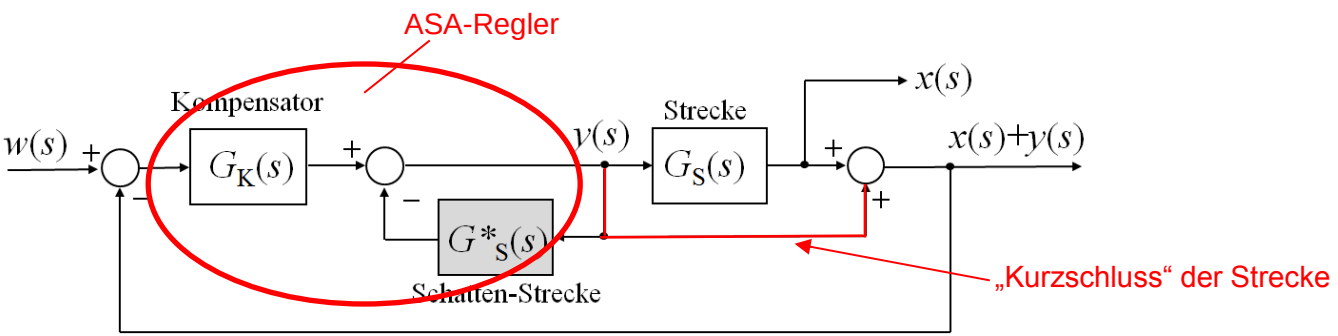
4. Von Kompensationsregler zum ASA-Regler …… Seite 32

5. Zusammenfassung …….. Seite 33

6. Literaturverzeichnis …… Seite 34

1 Einführung

Nachdem ich mit dem ASA-Kompensator [2] experimentiert hatte, kam ich auf die Idee, auf die Schatten-Strecke zu verzichten, jedoch den „Kurzschluss“ bzw. die Parallelschaltung der Strecke [3] zu lassen. Der ASA-Regler bestand somit aus dem Kompensator und der Schatten-Strecke, wie unten angedeutet ist.



Der Regelkreis funktionierte wie erwartet normal, jedoch bei der Realisierung mit MATLAB und C Code Generierung kam es zu Probleme wie z.B. „Algebraic Loop“. In [4] ist gezeigt, wie das „Algebraic loop“ durch die Einführung von Totzeitgliedern bzw. *Delay Units* vermieden werden kann. Jedoch führte der Einsatz von Totzeitgliedern (1/z) zur Instabilität des Kreises. Auch die Einführung von Begrenzungen, die für die Anpassung des Simulink-Modells an die reellen Bedingungen nötig waren, hat plötzlich die Polarität der Regelgröße invertiert. Zwar ist es möglich, diese Probleme zu lösen, wie in [5] nach verschiedenen Versuchen gemacht wurde, begann ich theoretisch den Regelkreis mit dem ASA-Regler untersuchen.

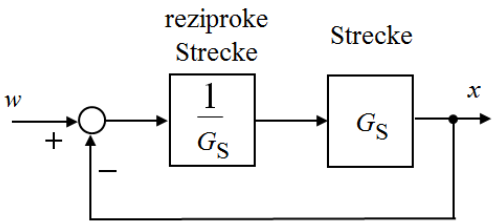
Daraus entstand eine neue Option des ASA-Reglers, die nachfolgend präsentiert wird. Aber zuerst wird ein *ASA-Kompensator* mit expliziter Schatten-Strecke beschrieben (siehe auch [6-11]). Danach wird die Übertragungsfunktion des ASA-Reglers mit der „eingebauten“ Schatten-Strecke bestimmt. Letztendlich wird daraus der *ASA-Regler mit Bypass* hergeleitet. Da dabei die Schatten-Strecke nicht mehr im Regelkreis, sondern im Regler, enthalten wird, wird die Originalstrecke nicht mehr explizit kompensiert. Dadurch wird der ASA-Regler mit Bypass robuster gegenüber eingeführten Totzeitgliedern und Begrenzungen.

Abschließend wird gezeigt, wie die Bypass-Regelung andererseits auch aus dem konventionellen Kompensationsprinzip mit der reziproken Strecke durch die Umwandlung des Wirkungsplanes hergeleitet werden kann.

2016 Copyright S. Zacher

2 ASA-Regelung

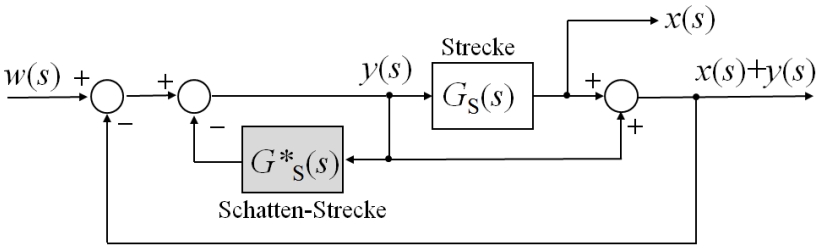
2.1 Schatten-Strecke



Bekanntlich kann eine Regelstrecke $G_S(s)$ durch die in Reihe geschaltete reziproke $G_{rez}(s) = 1/G_S(s)$ vollständig kompensiert werden. Da die Ordnung des Nenners von Regelstrecken $G_S(s)$ meist größer als die Ordnung des Zählers ist, sind die reziproken $G_{rez}(s)$ meist nicht realisierbar,

Geht man jedoch aus dem ASA-Prinzip aus und bildet zwei Systeme aus einer Regelstrecke $G_S(s)$ mittels Parallelschaltung und Rückführung, werden sie sich vollständig kompensieren und dabei auch realisierbar sein.

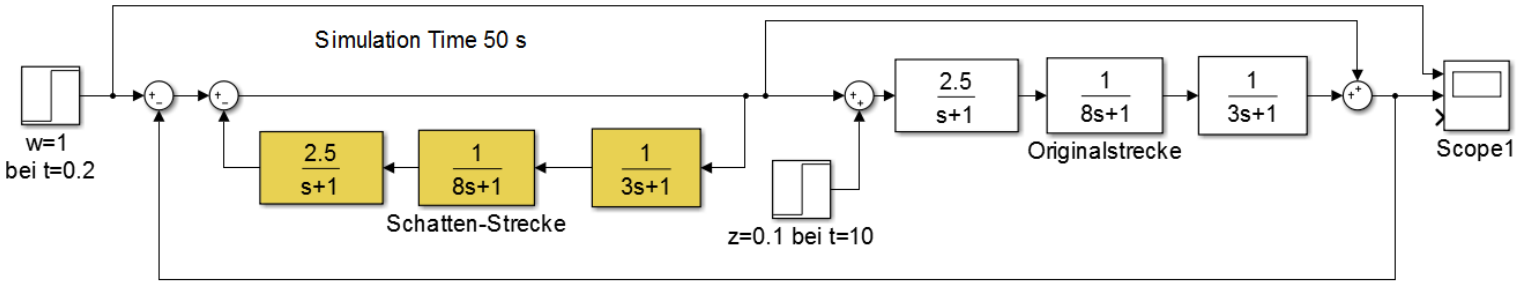
Dafür soll neben der Originalstrecke $G_S(s)$, die in der Parallelschaltung (Originalsystem) steht, auch das Modell der Strecke $G_S(s)$ für die Rückführung (Antisystem) bestimmt werden oder gar als zweite Strecke $G^*_S(s)$ verfügbar sein.

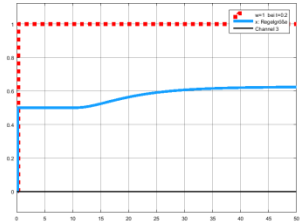


Dieses Streckenmodell oder selbst die zweite Strecke $G^*_S(s)$ wird *Schatten-Strecke* genannt.

Beispiel: $G_S(s) = \dfrac{2{,}5}{(1+s)(1+8s)(1+3s)}$ $\quad G_0(s) = \dfrac{1}{G_S(s)} \cdot G_S(s) = 1$ $\quad G_w(s) = \dfrac{G_0(s)}{1+G_0(s)} = \dfrac{1}{2}$ $\quad x(s) = G_w(s)\hat{w} = \dfrac{1}{2}\hat{w}$

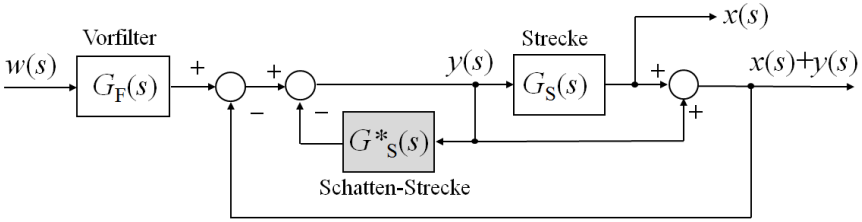
Nach dem Eingangssprung w =1 erreicht die Sprungantwort des Kreises sofort ohne Verzögerung den Wert x = 0,5. Nach dem Störsprung z = 0,1 bei t = 10 s wird die Bilanz zwischen Strecke und Schatten-Strecke verletzt.

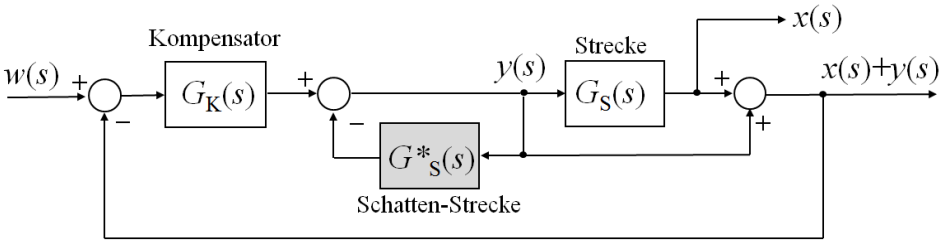




2.2 ASA-Kompensator und Schatten-Strecke

Nachdem die Regelstrecke durch die im vorherigen Abschnitt beschriebenen Beschaltungen unwirksam geworden ist, soll dem geschlossenen Regelkreis das gewünschte Verhalten $G_M(s)$ vermittelt werden. Dies kann auf zwei Wegen erfolgen: mit einem Vorfilter $G_F(s)$ oder mit einem Kompensator $G_K(s)$ [2]. Nachfolgend wird nur der letzte Weg betrachtet.





Der Kompensator $G_K(s)$ wird nach folgender Formel [2] bestimmt, womit das Verhalten des geschlossenen Regelkreises $G_x(s)$ im Bezug auf die Regelgröße x(s) dem vorgegebenen gewünschten Verhalten $G_M(s)$ des Kreises genau entspricht:

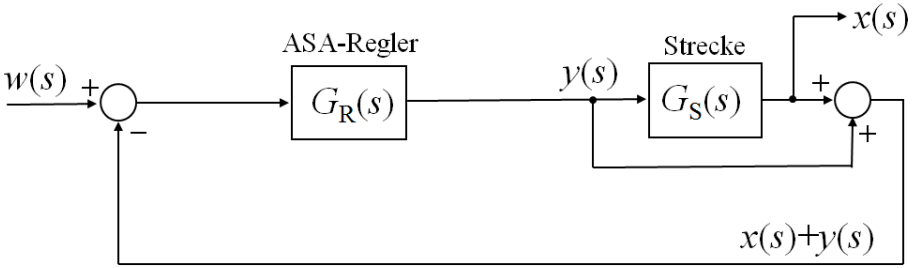
$$\boxed{G_K(s) = \frac{G_M(s)\dfrac{1+G_S(s)}{G_S(s)}}{1-G_M(s)\dfrac{1+G_S(s)}{G_S(s)}}}$$

$$G_x(s) = \frac{x(s)}{w(s)} = \frac{G_K(s)\dfrac{1}{1+G_S(s)}G_S(s)}{1+G_K(s)} = G_M(s)$$

$$G_w(s) = \frac{x(s)+y(s)}{w(s)} = \frac{G_K(s)}{1+G_K(s)}$$

Solange der ASA-Regler aus zwei Teilen, nämlich aus dem Kompensator und der Schatten-Strecke, wie im Bild oben rechts gezeigt, verwendet wird, verläuft der Entwurf des Reglers problemlos.

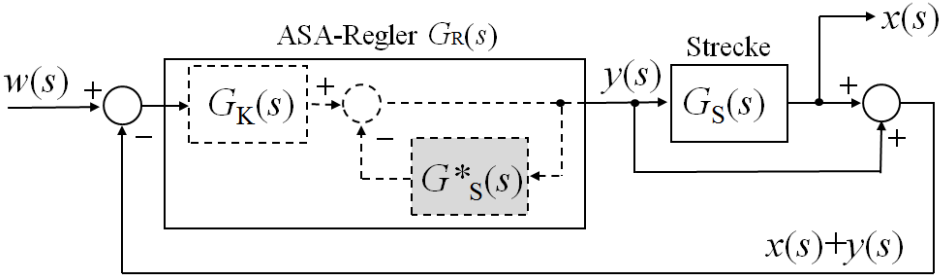
Aber wenn diese beiden Teile in einem ASA-Regler $G_R(s)$ zusammen gefasst werden (Bild neben rechts), kommt es sofort zu Problemen, weil die Kompensation Strecke/Schatten-Strecke nicht mehr genau realisiert werden kann.



2016 Copyright S. Zacher

2.3 ASA-Regler: Kompensator mit Schatten-Strecke

Die Übertragungsfunktion $G_R(s)$ des ASA-Reglers bestehend aus dem Kompensator $G_K(s)$ und dem internen Kreis mit der Schatten-Strecke wird wie folgt hergeleitet, wobei die Schatten-Strecke $G^*_S(s)$ einfach wie $G_S(s)$ bezeichnet wird:



$$G_R(s) = G_K(s)\frac{1}{1+G_S(s)} = \frac{G_M(s)\dfrac{1+G_S(s)}{G_S(s)}}{1-G_M(s)\dfrac{1+G_S(s)}{G_S(s)}} \cdot \frac{1}{1+G_S(s)} = \frac{\dfrac{G_M(s)}{G_S(s)}}{\dfrac{G_S(s)-G_M(s)-G_M(s)G_S(s)}{G_S(s)}}$$

$$G_R(s) = \frac{G_M(s)}{G_S(s)[1-G_M(s)]-G_M(s)} = \frac{1}{\dfrac{G_S(s)[1-G_M(s)]-G_M(s)}{G_M(s)}} = \frac{1}{G_S(s)\underbrace{\left[\dfrac{1}{G_M(s)}-1\right]}_{G_{Mrez}(s)}-1}$$

Unter Beachtung

$$G_{Mrez}(s) = \frac{1}{G_M(s)} - 1$$

daraus folgt die Übertragungsfunktion $G_R(s)$ des ASA-Reglers:

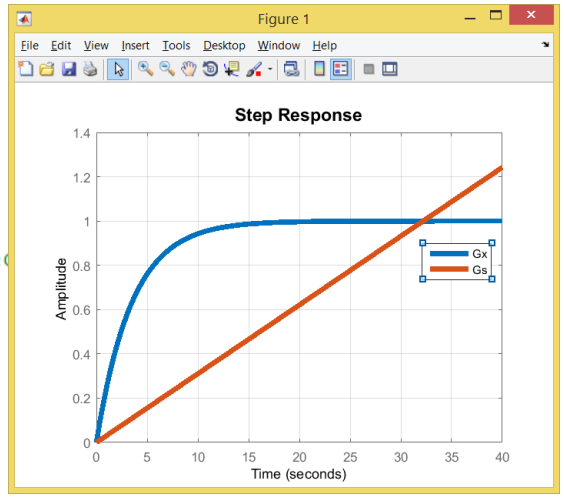
$$\boxed{G_R(s) = \frac{1}{G_S(s)G_{Mrez}(s)-1}}$$

2016 Copyright S. Zacher

2.4 Beispiel eines ASA-Reglers

Beispiel: $G_S(s) = \frac{1}{32{,}2s}$ $\quad G_M(s) = \frac{1}{1+3{,}5s}$ $\quad G_{Mrez}(s) = \frac{1}{G_M(s)} - 1$ $\quad G_R(s) = \frac{1}{G_S(s)G_{Mrez}(s) - 1}$

```
s=tf('s'); %Eingabe des Laplace-Operators
Gs=1/(32.2*s);%Strecke
GM=1/(1+3.5*s);%Gewünschtes Verhalten
GMrez=(1/GM)-1;%reziproke GM mit rückgekoppelte Strecke
GR=1/(Gs*GMrez-1)%ASA-Regler
% Erst warten, bis GR vom MATLAB ausgegeben wird.
numR=[ -32.2]; %Zählerpolynom des ASA-Reglers
denR=[28.7];%Nennerpolynom des ASA-Reglers
step(GR)%Sprungantwort des ASA-Reglers ohne Strecke
%Falls nötig, wird auch die Sprungantwort des Reglerkrieses berec
Gv=GR*Gs; %Vorwärts-Signalübertragung für x
G0=GR*(1+Gs);% aufgeschnittener Regelkreis
Gw=G0/(1+G0);% Übertragungsfunktion für Ausgang x(s)+y(s)
Gx=Gv/(1+G0);%Übertragungsfunktion für Ausgang x(s)
step(Gw)%Sprungantwort von Ausgang x(s)+y(s)
step(Gx,Gs)%Sprungantworten geregelter und ungeregelter Regelgröße x(s)
```



Der ASA-Regler wirkt wie ein P-Regler, jedoch mit einem negativen Vorzeichen: $G_R(s) = \frac{32{,}2s}{-28{,}7s} = -1{,}12$

Trotzdem ist der Regelkreis stabil, weil die Strecke $G_S(s)$ und die Schatten-Strecke $G^*_S(s)$ gleich sind und sich gegenseitig kompensieren:

$$\frac{1}{1+G_S^*(s)} \cdot [1+G_R(s)] = 1$$

2016 Copyright S. Zacher

2.5 Wie funktioniert ASA-Regler

Unter Bezeichnung $G^*_R(s) = -G_R(s)$ gilt im Hauptregelkreis

$$G_0(s) = -G_R^*(s)(1+G_S(s)) = -G_R^*(s) - G_R^*(s)G_S(s)$$

$$G_w(s) = \frac{x(s)+y(s)}{w(s)} = \frac{G_0(s)}{1+G_0(s)} = \frac{G_K(s)}{1+G_K(s)}$$

d.h. der Regler $G_R(s)$ mit seinem negativen Vorzeichen kommt gar nicht zum Einsatz. Im Regelkreis wirkt in diesem Fall allein der Kompensator:

$$G_K(s) = \frac{G_M(s)\dfrac{1+G_S(s)}{G_S(s)}}{1-G_M(s)\dfrac{1+G_S(s)}{G_S(s)}}$$

Es ist einfach zu beweisen, dass ein Regelkreis mit $G_K(s)$ immer stabil wird, wenn $G_M(s)$ und $G_S(s)$ stabil sind.

Da die Regelgröße durch eine andere Übertragungsfunktion $G_x(s)$ definiert wird

$$x(s) = G_x(s)w(s) \quad \Rightarrow \quad G_x(s) = \frac{x(s)}{w(s)} = \frac{G_v(s)}{1+G_0(s)} = \frac{G_R(s)G_S(s)}{1+G_0(s)} = \frac{-G_R^*(s)G_S(s)}{1-G_R^*(s)-G_R^*(s)G_S(s)}$$

wird sie positiv, wenn der gesamte Nenner der Übertragungsfunktion $G_x(s)$

$$1-G_R^*(s)-G_R^*(s)G_S(s)$$

negativ wird bzw. wenn die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$G_R^*(s)+G_R^*(s)G_S(s) > 1$$

2016 Copyright S. Zacher

Bei einem ASA-Kompensator mit der expliziten Schatten-Strecke wird die letzte Bedingung durch die Kompensation Strecke/Schatten-Stecke erfüllt.

Wird jedoch diese Bedingung nicht erfüllt oder werden die Übertragungsfunktionen der Strecke $G_S(s)$ und der Schatten-Strecke $G^*_S(s)$ nicht gleich sein, kann die Regelgröße invertiert oder instabil werden.

Das kann dann leicht passieren, wenn die Schatten-Strecke $G^*_S(s)$ mit dem Kompensator $G_K(s)$ in einem ASA-Regler

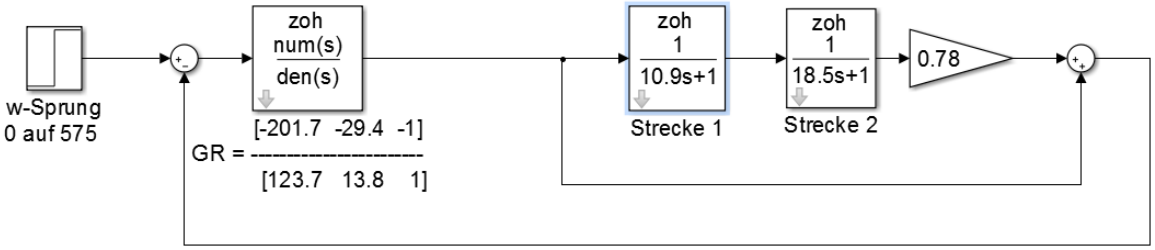
$$G_R(s) = \frac{1}{G_S(s)G_{Mrez}(s) - 1}$$

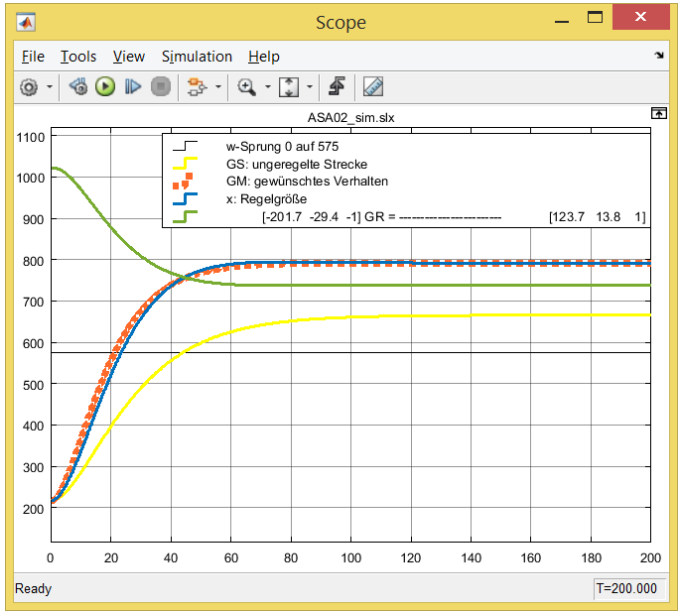
zusammen gefasst wird, weil in diesem Fall die Schatten-Strecke nicht mehr direkt wirken kann.

Die Bilanz zwischen Strecke $G_S(s)$ und der Schatten-Strecke $G^*_S(s)$ kann durch kleine Parameter-Abweichungen oder durch die zusätzlich eingeführten Blöcken wie Begrenzung gestört werden, was auch zur Instabilität oder Invertierung von x führen wird.

Beispiel: $G_S(s) = \frac{0{,}78}{(1+10{,}9s)(1+18{,}5s)}$ $\quad G_M(s) = \frac{1}{(1+10s)^2}$

$$G_R(s) = \frac{-201{,}7s^2 - 29{,}4s - 1}{123{,}7s^2 + 13{,}8s + 1}$$

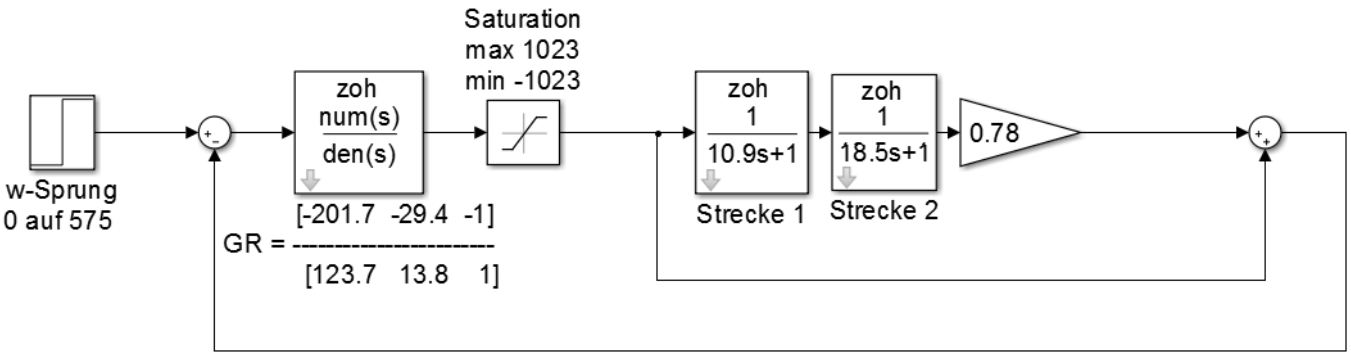




Die Regelgröße $x(t)$ verläuft fast genau wie beim vorgegebenen gewünschten Verhalten $G_M(s)$

2016 Copyright S. Zacher

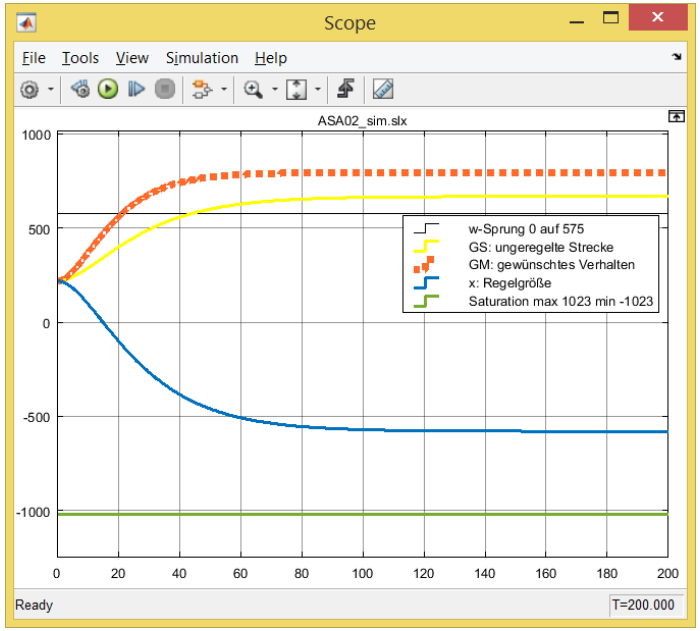
Soweit ist alles in Ordnung. Aber eher eine Begrenzung in den Regelkreis eingefügt wird, um die Stellgröße in gegebenen Grenzen zu halten, wird die Regelgröße gestört.



Die Bilanz zwischen Strecke und Schatten-Strecke gilt nicht mehr und wird durch die eingeführte Begrenzung verletzt. Als Folge wird die negative Regelgröße vom ASA-Regler erstellt.

Um solche Fehler zu vermeiden und die Stabilität des Regelkreises zu gewährleisten, soll das Vorzeichen des ASA-Reglers $G_R(s)$ invertiert werden. Das ist aber nur dann möglich, wenn auch das Vorzeichen der Parallelschaltung der Strecke geändert wird.

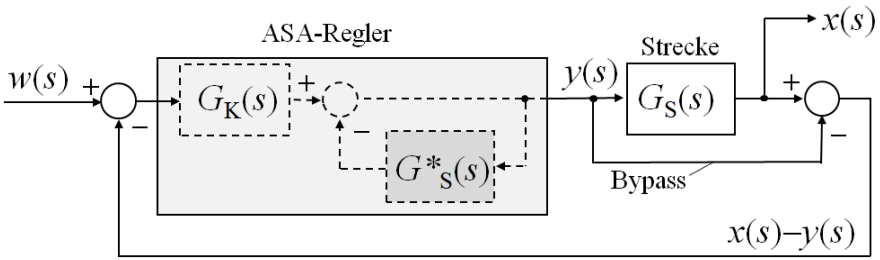
Die somit entstehende Modifikation der ASA-Regelung wird in nachfolgenden Abschnitten beschrieben. Sie ist eigentlich vom ASA-Konzept abgekoppelt, weil bei dieser Modifikation keine Schatten-Strecke mehr benötigt wird. Nachfolgend wird auch gezeigt, dass solche Regelung ohne Schatten-Strecke nahe zur konventionellen Kompensationsregelung mit reziproken Strecken liegt. Man kann sogar zeigen, wie beide Verfahren voneinander durch die Umwandlung des Wirkungsplanes hergeleitet werden können.



2016 Copyright S. Zacher

3 Bypass

3.1 Herleitung



Der ASA-Regler mit zusammengefassten Kompensator und Schatten-Strecke ist neben im Bild gezeigt. Wie bereits oben erwähnt, wird die „kurgeschlossene“ Regelstrecke nicht mehr mit der Schatten-Strecke kompensiert. Es entfällt die Notwendigkeit, die Parallelschaltung (Bypass) mit positivem Vorzeichen zu versehen. Somit wird das positive Vorzeichen durch das negative Vorzeichen ersetzt, um den Regelkreis robuster zu machen.
Die Übertragungsfunktion des ASA-Reglers wird wie folgt bestimmt:

$$G_x(s) = \frac{x(s)}{w(s)} = \frac{G_R(s)G_S(s)}{1+G_R(s)[G_S(s)-1]} = G_M(s) \quad \Rightarrow \quad G_R(s)G_S(s) = G_M(s) + G_M(s)G_R(s)G_S(s) - G_M(s)G_R(s)$$

$$G_R(s) = \frac{G_M(s)}{G_S(s)+G_M(s)-G_M(s)G_S(s)}$$

$$G_R(s) = \frac{G_M(s)}{G_S(s)[1-G_M(s)]+G_M(s)} \quad \Rightarrow \quad G_R(s) = \frac{\dfrac{G_M(s)}{1-G_M(s)}}{G_S(s)+\dfrac{G_M(s)}{1-G_M(s)}} \quad \Leftarrow$$

$G_{M0}(s)$ ist „offenes“ gewünschtes Verhalten

$$\frac{G_M(s)}{1-G_M(s)} = G_{M0}(s)$$

$$G_R(s) = \frac{G_{M0}(s)}{G_S(s)+G_{M0}(s)} = \frac{\dfrac{G_{M0}(s)}{G_S(s)}}{1+\dfrac{G_{M0}(s)}{G_S(s)}} \quad \Leftarrow$$

$$\frac{G_{M0}(s)}{G_S(s)} = G_{R0}(s)$$

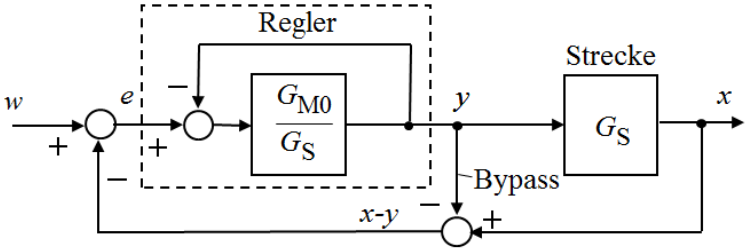
$G_{R0}(s)$ ist „offener“ ASA-Regler

$G_R(s)$ ist ASA-Regler

$$G_R(s) = \frac{G_{R0}(s)}{1+G_{R0}(s)}$$

2016 Copyright S. Zacher

3.2 Entwurfsschritte



1. Schritt: Einen Bypass für die Regelstrecke erstellen.

2. Schritt: Das gewünschte Verhalten $G_{M0}(s)$ des offenen Kreises oder des geschlossenen Kreises $G_M(s)$ definieren

$$G_{M0}(s) = \frac{G_M(s)}{1 - G_M(s)}$$

3. Schritt: Die Übertragungsfunktion des „offenen“ Reglers $G_{R0}(s)$ bestimmen

$$G_{R0}(s) = \frac{G_{M0}(s)}{G_S(s)}$$

4. Schritt: Die Übertragungsfunktion des ASA-Reglers $G_R(s)$ berechnen bzw. simulieren

$$G_R(s) = \frac{G_{R0}(s)}{1 + G_{R0}(s)}$$

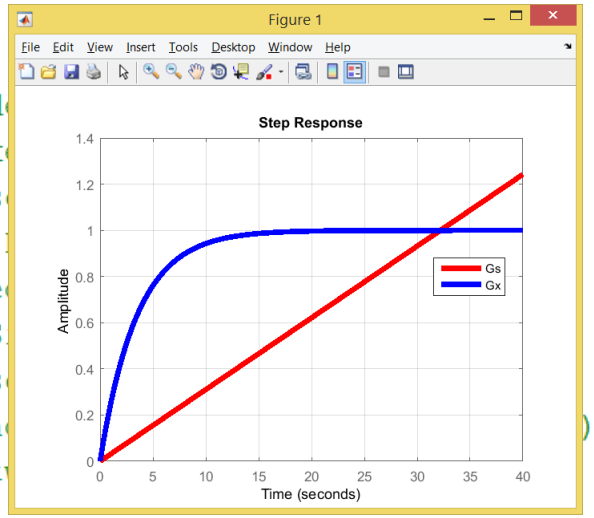
Beispiel: $G_S(s) = \frac{1}{32{,}2s}$ $\quad G_M(s) = \frac{1}{1 + 3{,}5s}$

$$G_{M0}(s) = \frac{1}{3{,}5s}$$

$$G_{R0}(s) = \frac{32{,}2s}{3{,}5s} = 9{,}2$$

$$G_R(s) = \frac{9{,}2}{1 + 9{,}2} = 0{,}9$$

```
s=tf('s'); %Eingabe d
Gs=1/(32.2*s);%Streck
GM0=1/(3.5*s);%Gewüns
GR0=GM0/Gs; %offener
GR=GR0/(1+GR0)%ASA-Re
Gv=GR*Gs; %Vorwärts-S
G0=GR*(Gs-1);% aufges
Gx=Gv/(1+G0);%Übertra
step(Gs,Gx)%Sprungant
```

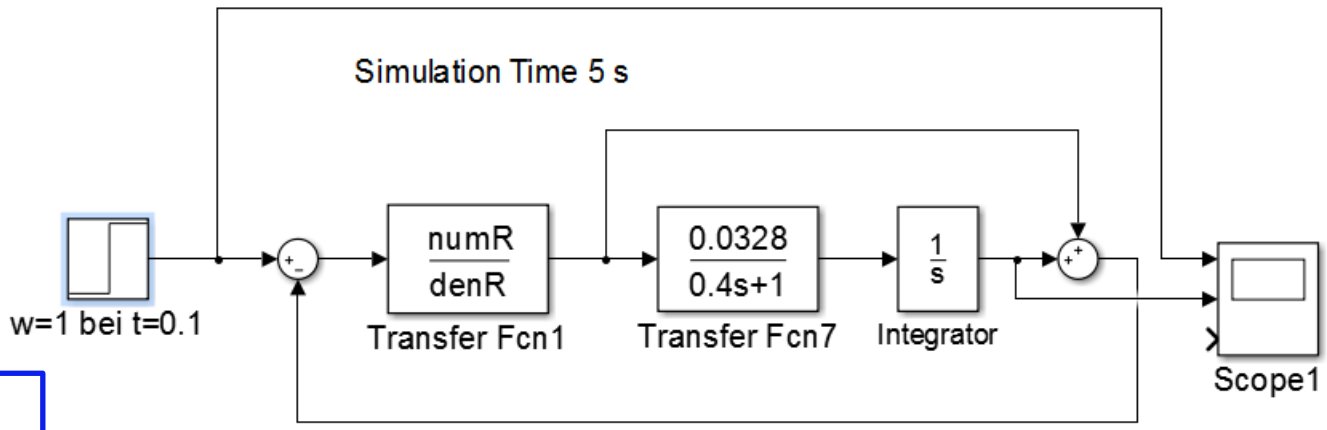


2016 Copyright S. Zacher

3.3 Beispiel: I-T1-Strecke

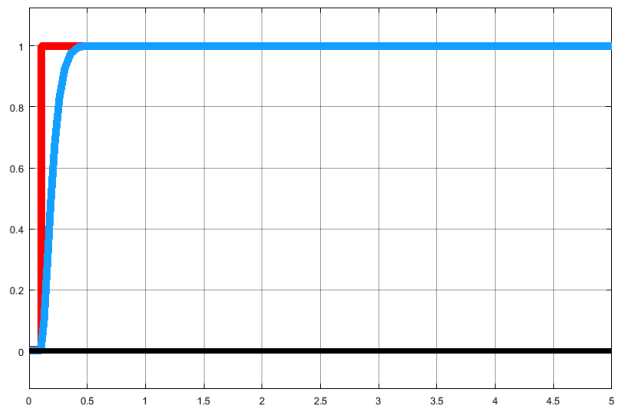
$$G_S(s) = \frac{0{,}0328}{s(0{,}4s+1)} \qquad G_M(s) = \frac{1}{(0{,}05s+1)^2}$$

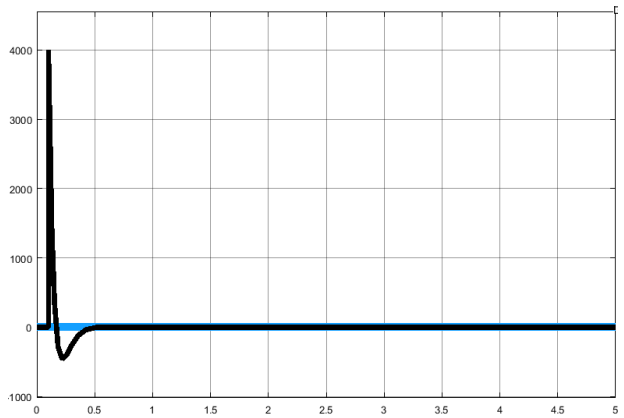
```
s=tf('s');
Gs=0.0328/(0.4*(s^2)+s);
GM=1/(0.05*s+1)^2;
GM0=1(0.05^2+0.1);
GR0=GM0/Gs;
GR=GR0/(1+GR0)
```



$$G_R(s) = \frac{-0{,}4s^2 - s}{0{,}3999s^2 + 0{,}9967s}$$

Die Sprungantworten der Regelgröße x(t) und die Stellgröße y(t) sind unten im Bild gezeigt: links x(t) und rechts y(t).





2016 Copyright S. Zacher

Die Simulation der vorherigen Seite hat gezeigt, dass für die Realisierung des bislang ausgewählten gewünschten Verhaltens

$$G_{\mathrm{M}}(s) = \frac{1}{(0{,}05s+1)^2}$$

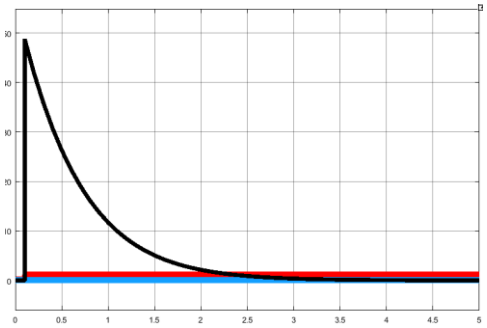
eine Stellgröße von 4000 benötigt wird, was praktisch nicht realisierbar ist. Um die Regelung praktisch realisierbar zu machen, soll anstelle 0,05 s eine größere Zeitkonstante gewählt werden, z.B. 0,5 s.

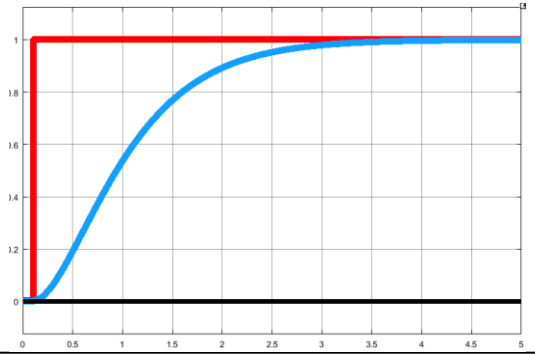
Dann folgt:

```
s=tf('s');
Gs=0.0328/(0.4*(s^2)+s);
GM=1/(0.25*s^2+s+1);
GM0=1(0.05^2+0.1);
GR0=GM0/Gs;
GR=GR0/(1+GR0)
```

$$\boxed{G_{\mathrm{R}}(s) = \frac{-0{,}4s^2 - s}{0{,}3918s^2 + 0{,}9672s}}$$

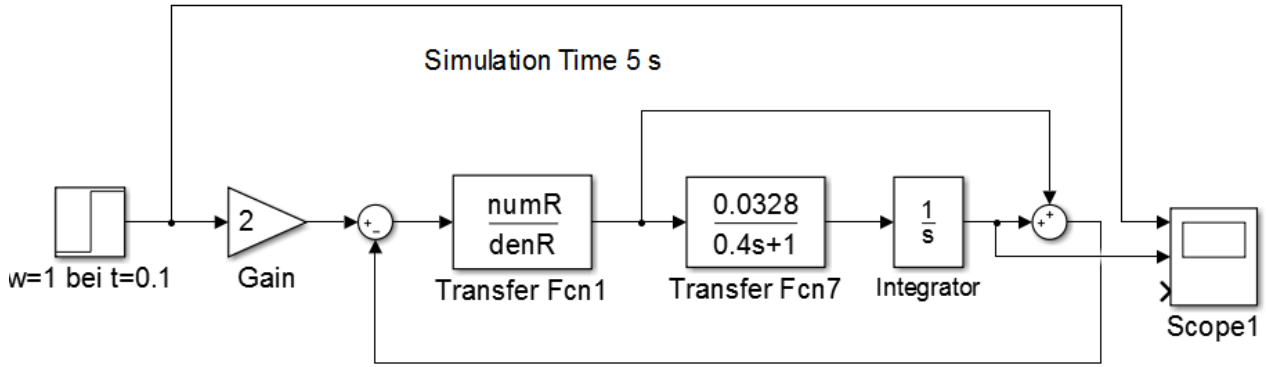
Da die Stellgröße damit bei 50 liegt, wird die letzte Übertragungsfunktion für weitere Code-Generierung eingesetzt.



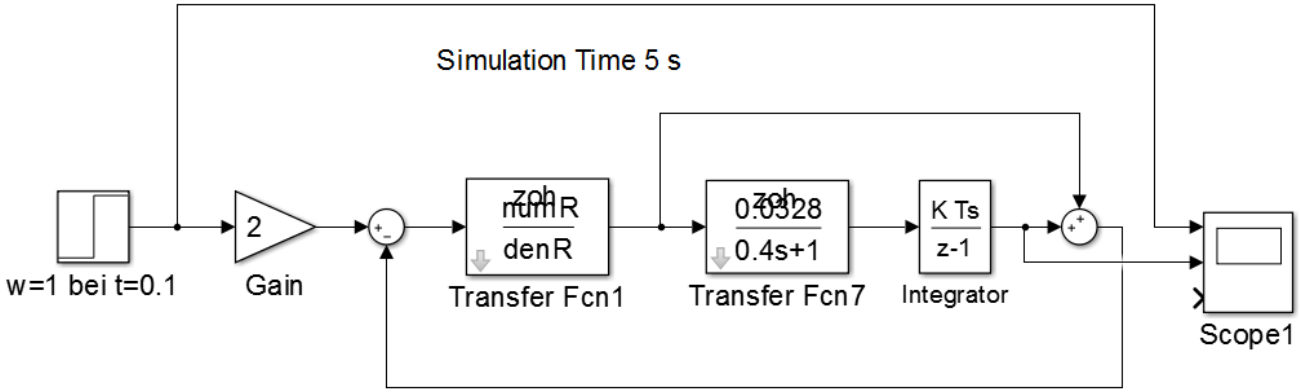


2016 Copyright S. Zacher

Nun soll der C Code des ASA-Reglers generiert werden. Der unten gezeigte analoge Kreis



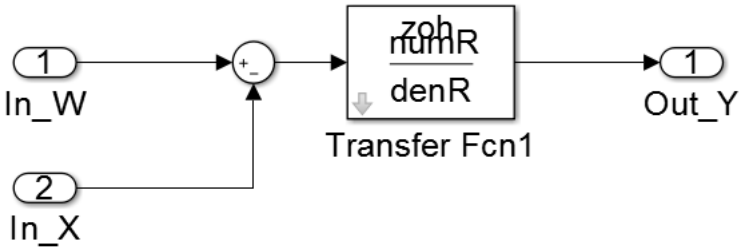
wird dafür zunächst digitalisiert: siehe Automation-Letter Nr. 5
http://www.zacher-international.com/Automation_Letters/05_Model_Discretizer.pdf



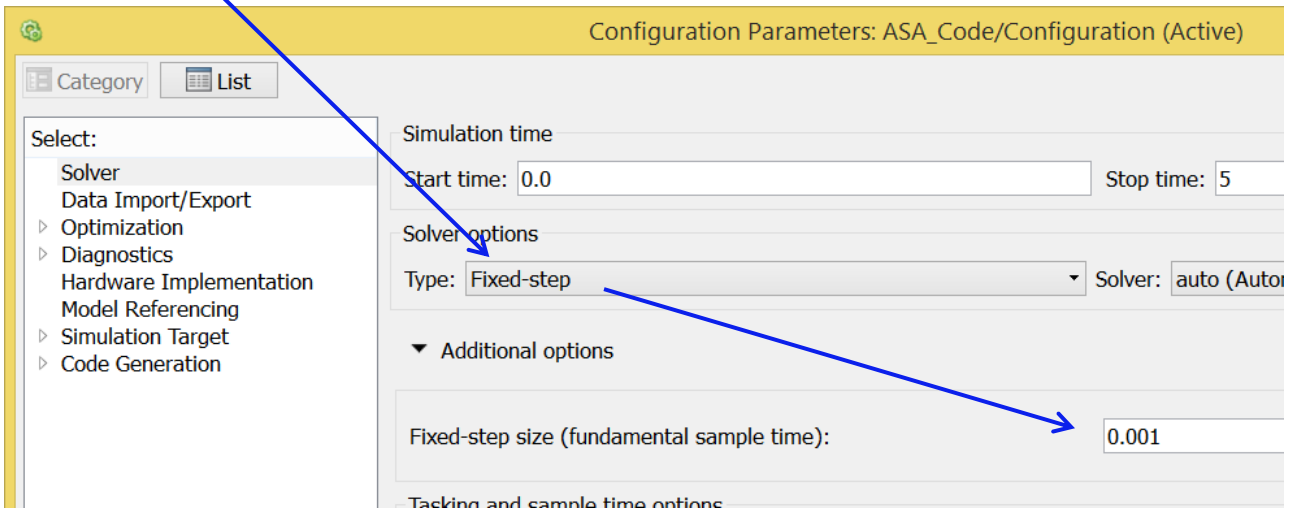
2016 Copyright S. Zacher

3.3 Beispiel: I-T1-Strecke

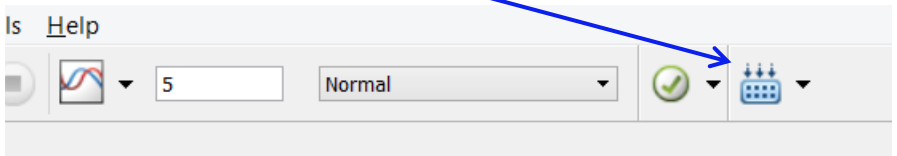
Dann wird der Regler aus dem Regelkreis herausgenommen und mit In/Out-Ports versehen.



Der *Solver* wird von *Variable-Step auf Fixed-Step* gesetzt (hier: *step-size* = 0.001)



Die Code wird mit *Build*-Taste generiert

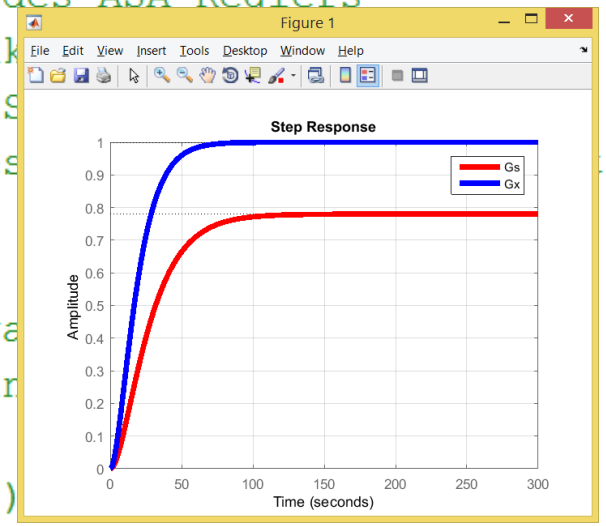


2016 Copyright S. Zacher

3.4 Beispiel: P-T2-Strecke

$$G_S(s) = \frac{0{,}78}{(1+10{,}9s)(1+18{,}5s)} \qquad G_M(s) = \frac{1}{(1+10s)^2}$$

```
s=tf('s'); %Eingabe des Laplace-Operators
Gs=0.78/((1+10.9*s)*(1+18.5*s));%Strecke
GM=1/((1+10*s)^2);%Gewünschtes Verhalten
%GM0=GM/(1-GM);%gewünschtes Verhalten des offenen Kreises
GM0=1/(100*s^2+20*s);
%GR0=GM0/Gs; %offener Regler
GR0=(1/0.78)*(1+10.9*s)*(1+18.5*s)/(100*s^2+20*s);
%GR=GR0/(1+GR0)%ASA-Regler
GR=(258.5*s^2+37.69*s+1.282)/(358.5*s^2+57.69*s+1.282)
numR=[258.5   37.69   1.282]; %Zählerpolynom des ASA-Reglers
denR=[358.5   57.69   1.282];%Nennerpolynom des ASA-Reglers
GR=tf(numR,denR) %Kontrolle: Übertragungsfunk
step(GR)%Sprungantwort des ASA-Reglers ohne S
%Falls nötig, wird auch die Sprungantwort des
Gv=GR*Gs; %Vorwärts-Signalübertragung für x
G0=GR*(Gs-1);% aufgeschnittener Regelkreis
Gw=G0/(1+G0);% Übertragungsfunktion für Ausga
Gx=Gv/(1+G0);%Übertragungsfunktion für Ausgar
step(Gw)%Sprungantwort von Ausgang x(s)+y(s)
step(Gs,Gx)%Sprungantwort der Regelgröße x(s)
```



2016 Copyright S. Zacher

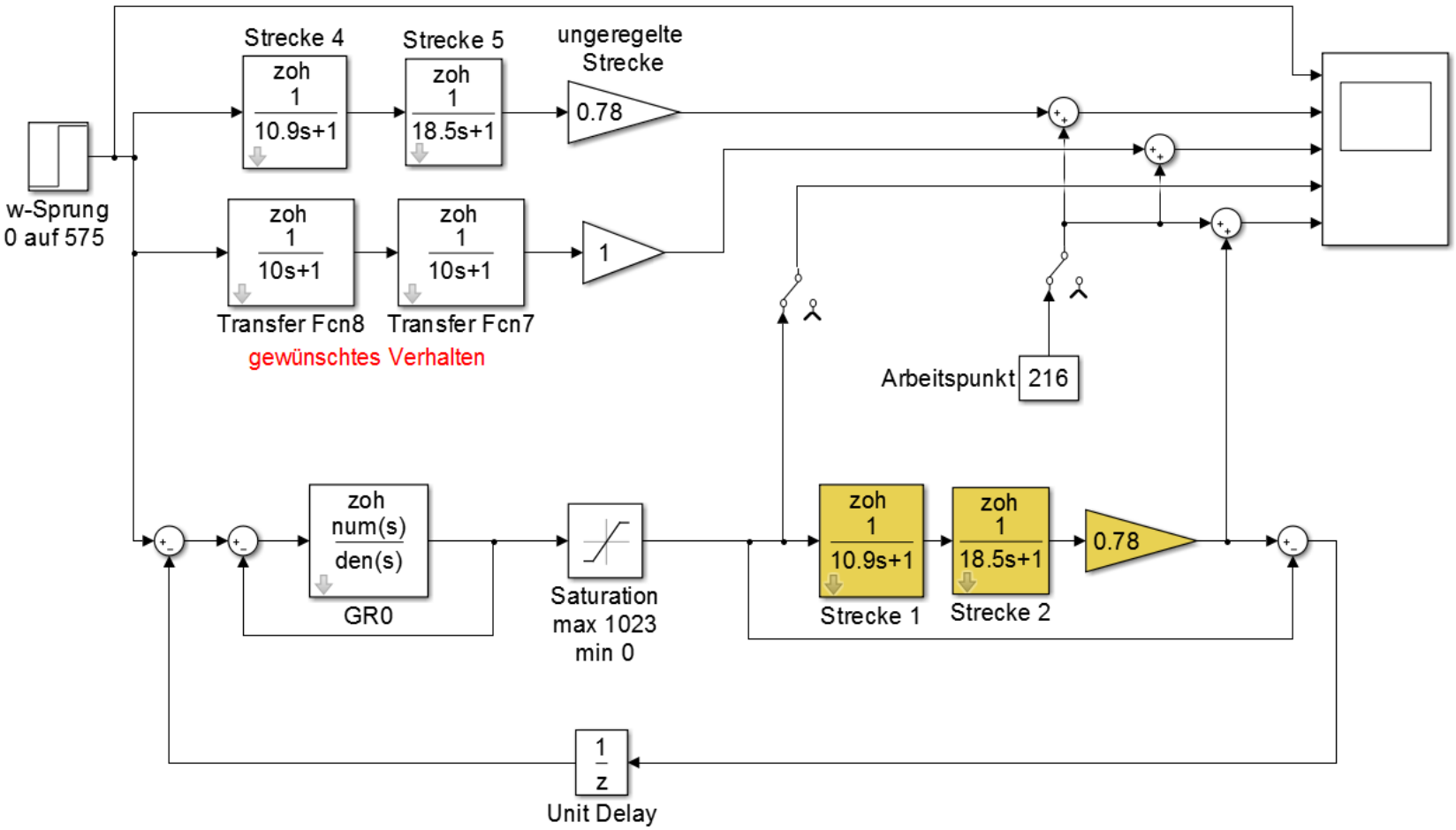
3.4 Beispiel: P-T2-Strecke

$$G_{R0}(s) = \frac{1}{0{,}78} \cdot \frac{(1+10{,}9s)(1+18{,}5s)}{(1+10s)^2 - 1}$$

Doppelklick für die Suche nach dem AlgebraicLoop

Simulationsdauer 200 s

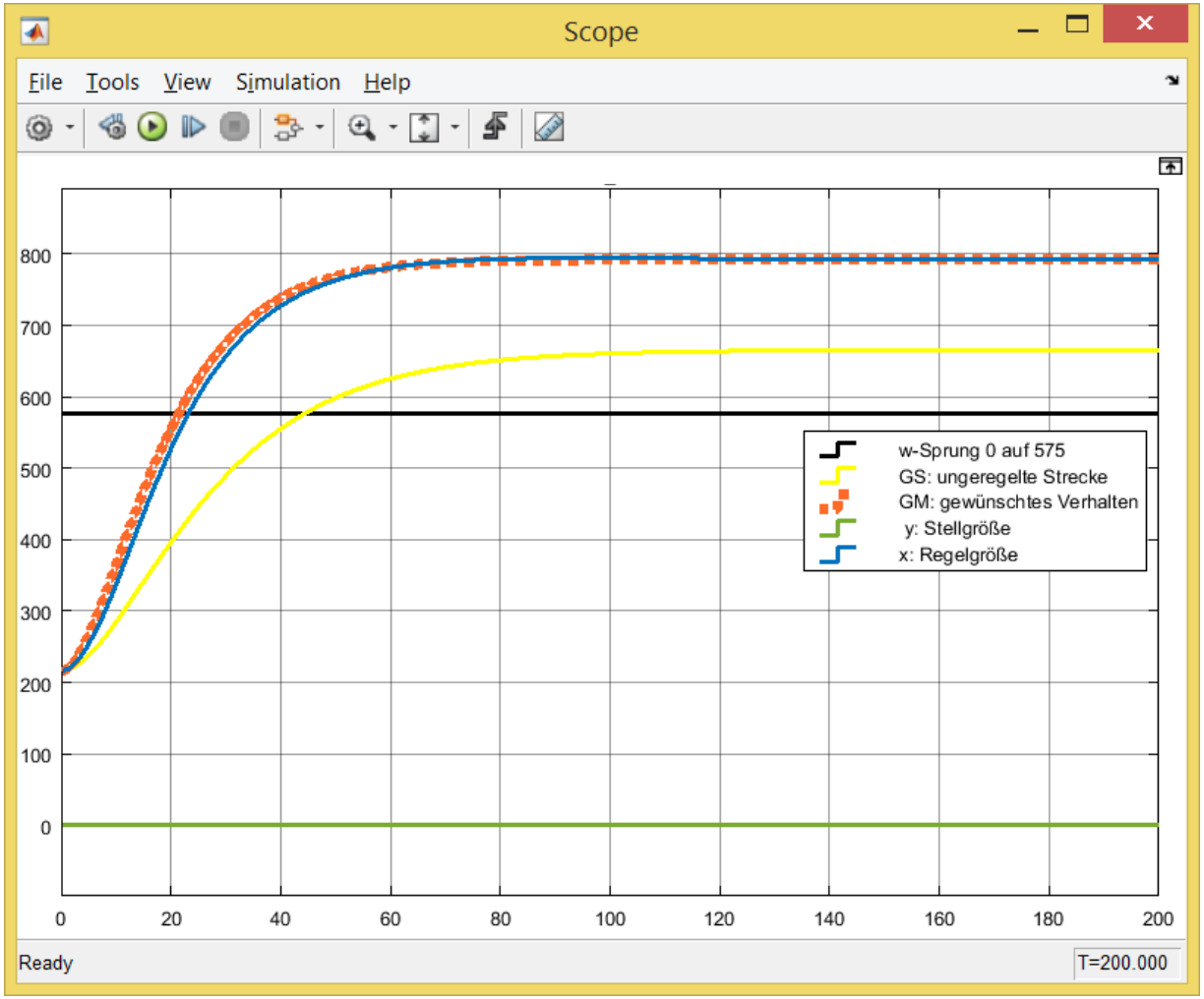
Simulink.BlockDiagram.getAlgebraicLoops('ASA02_sim')



2016 Copyright S. Zacher

3.4 Beispiel: P-T2-Strecke

$$G_S(s) = \frac{0{,}78}{(1+10{,}9s)(1+18{,}5s)} \qquad G_M(s) = \frac{1}{(1+10s)^2} \qquad G_{R0}(s) = \frac{1}{0{,}78} \cdot \frac{(1+10{,}9s)(1+18{,}5s)}{(1+10s)^2 - 1}$$



2016 Copyright S. Zacher

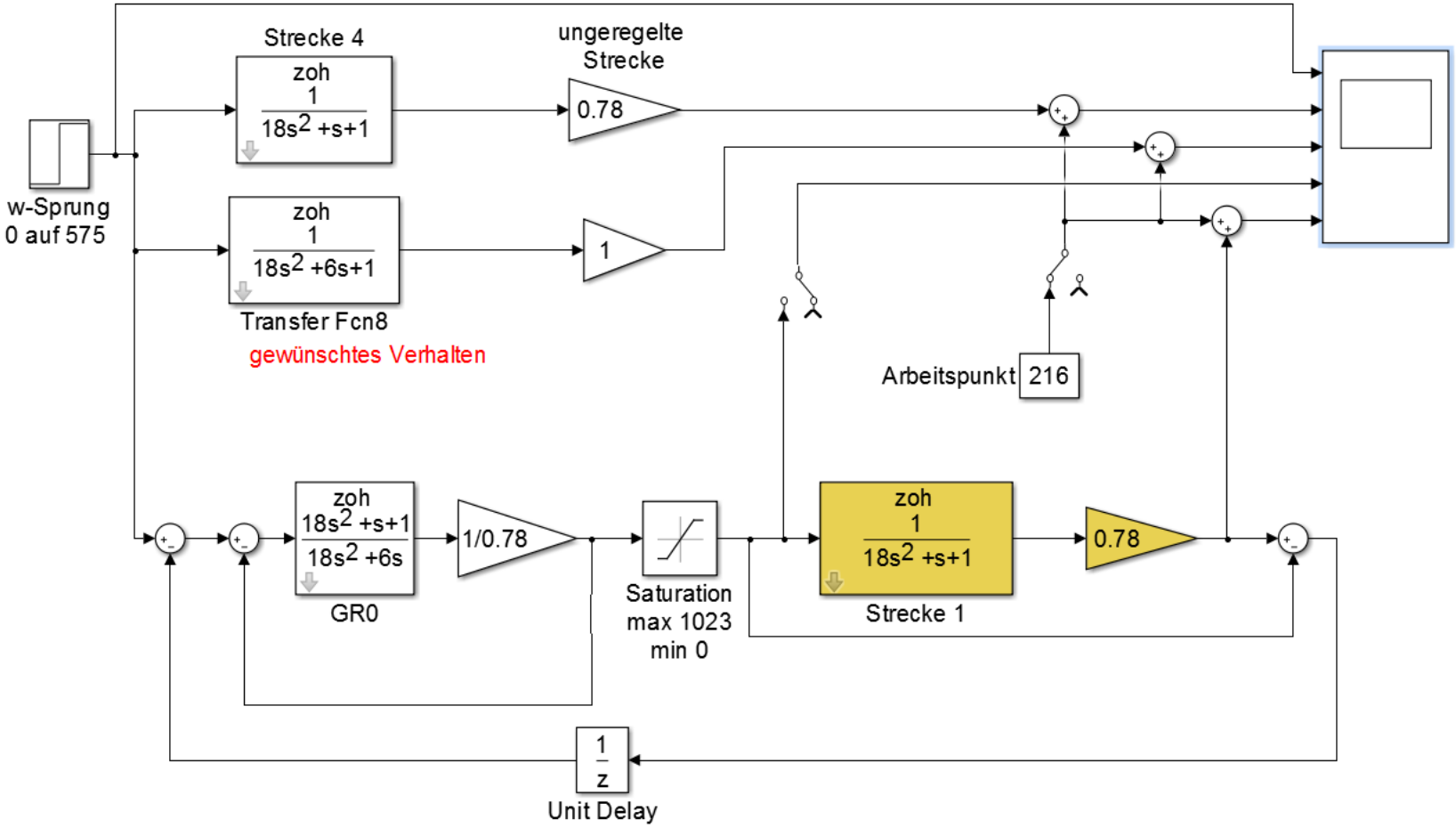
3.5 Beispiel: schwingungsfähige P-T2-Strecke $G_S(s)$

$$G_S(s) = \frac{0{,}78}{18s^2 + s + 1} \qquad G_M(s) = \frac{1}{18s^2 + 6s + 1} \qquad G_{R0}(s) = \frac{1}{0{,}78} \cdot \frac{18s^2 + s + 1}{18s^2 + 6s}$$

Doppelklick für die Suche nach dem AlgebraicLoop

Simulationsdauer 200 s

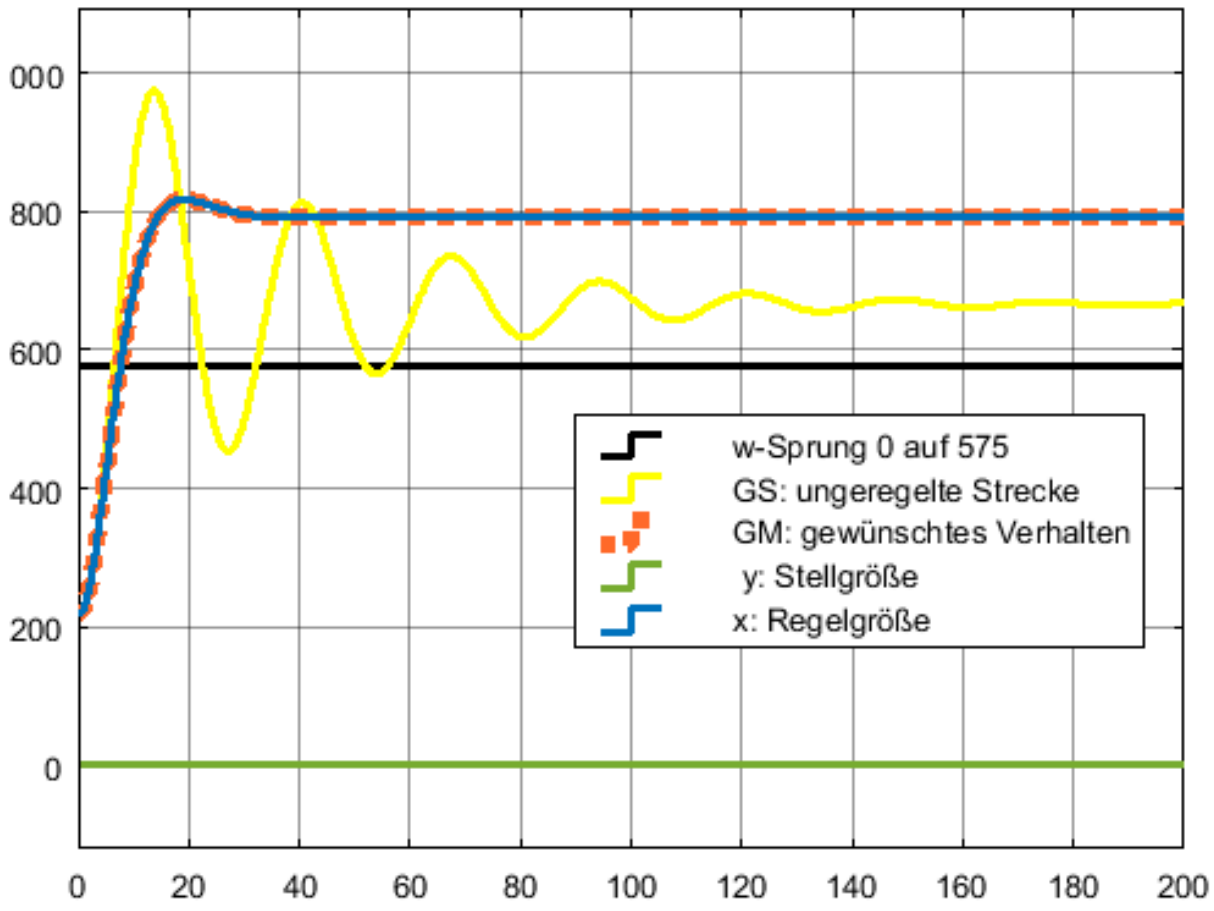
Simulink.BlockDiagram.getAlgebraicLoops('ASA02_sim')



2016 Copyright S. Zacher

3.5 Beispiel: schwingungsfähige P-T2-Strecke GS(s)

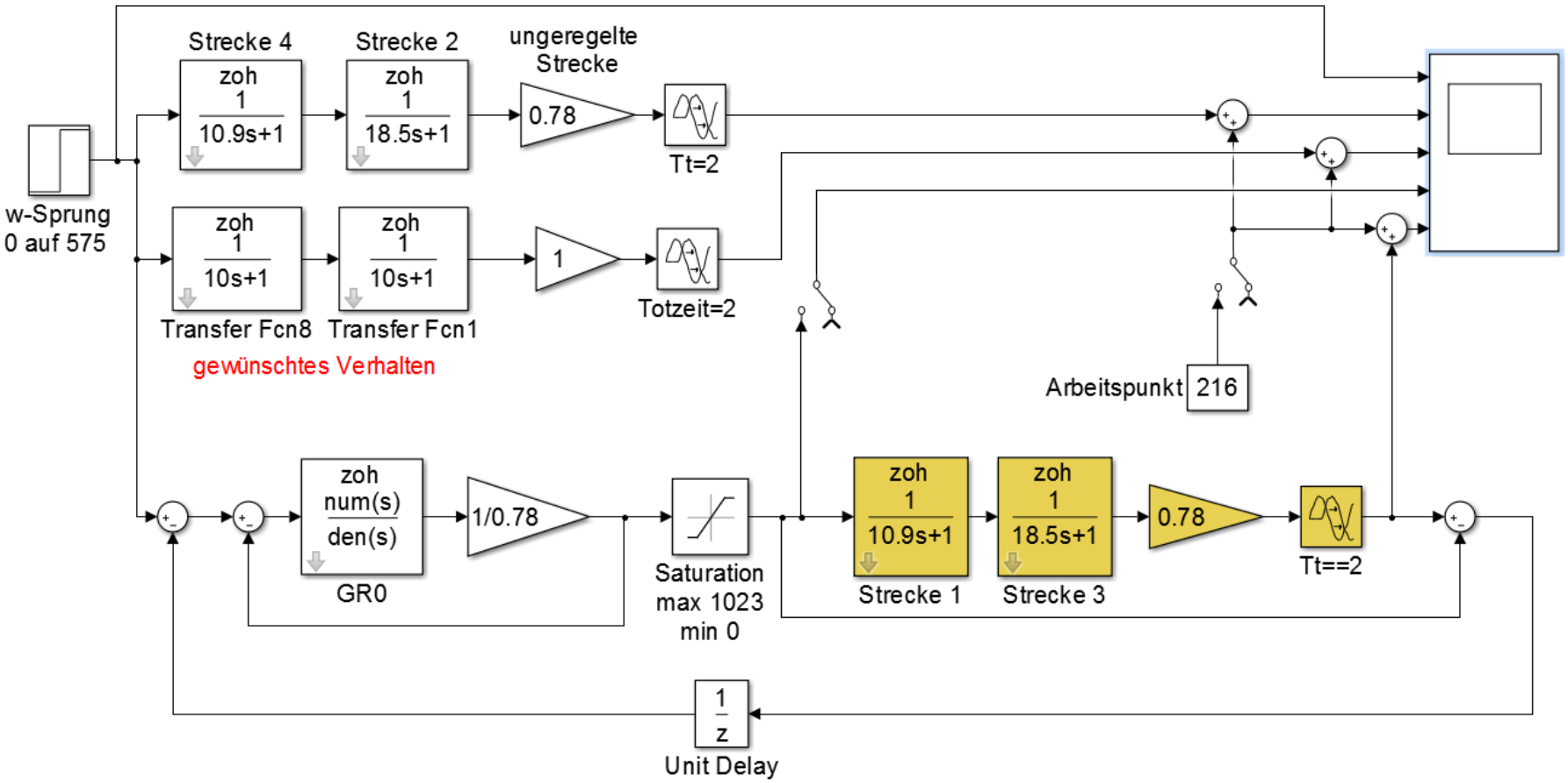
$$G_S(s) = \frac{0{,}78}{18s^2 + s + 1} \qquad G_M(s) = \frac{1}{18s^2 + 6s + 1} \qquad G_{R0}(s) = \frac{1}{0{,}78} \cdot \frac{18s^2 + s + 1}{18s^2 + 6s}$$



2016 Copyright S. Zacher

3.6 Beispiel: P-T2-Strecke $G_S(s)$ mit Totzeit

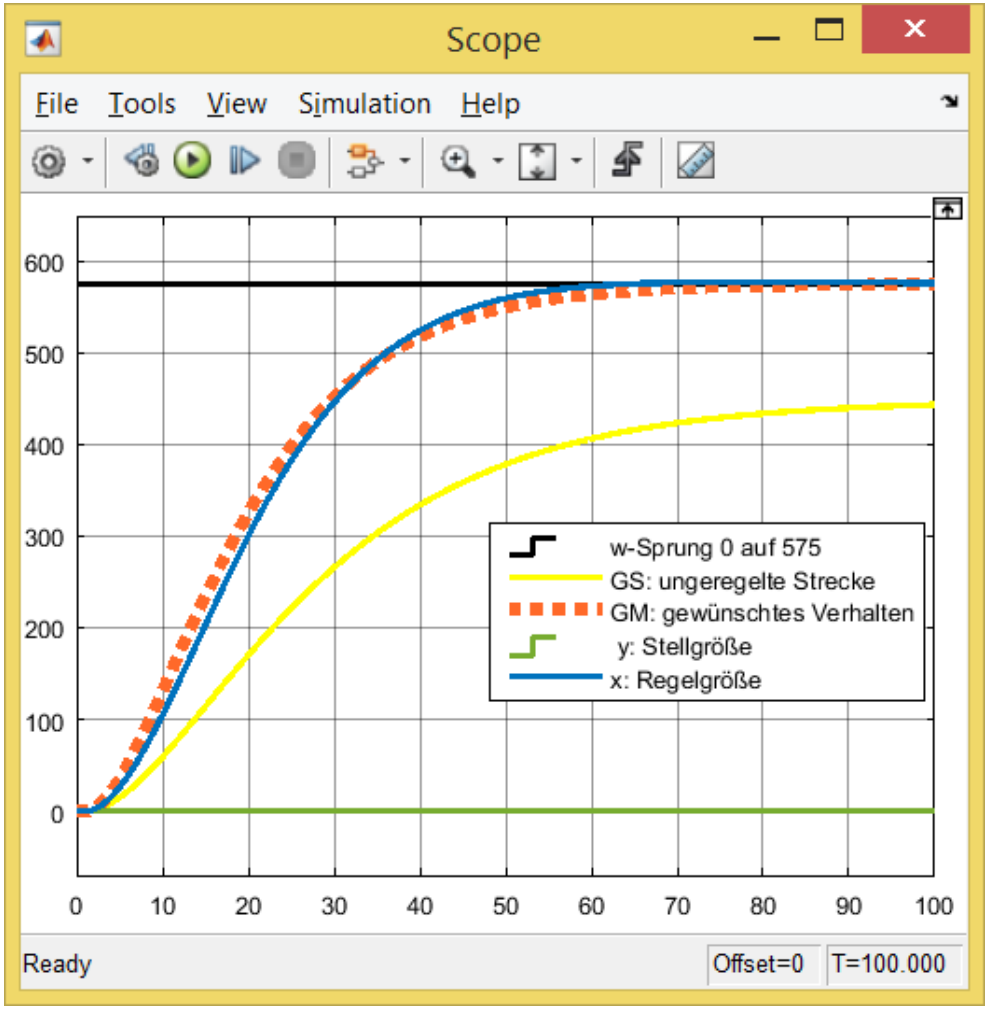
$$G_S(s) = \frac{0{,}78}{(1+10{,}9s)(1+18{,}5s)} e^{-2s} \qquad G_M(s) = \frac{1}{(1+10s)^2} e^{-2s} \qquad G_{R0}(s) = \frac{1}{0{,}78} \cdot \frac{(1+10{,}9s)(1+18{,}5s)}{(1+10s)^2 - 1}$$



2016 Copyright S. Zacher

3.6 Beispiel: P-T2-Strecke GS(s) mit Totzeit

$$G_S(s) = \frac{0{,}78}{(1+10{,}9s)(1+18{,}5s)} e^{-2s} \qquad G_M(s) = \frac{1}{(1+10s)^2} e^{-2s} \qquad G_{R0}(s) = \frac{1}{0{,}78} \cdot \frac{(1+10{,}9s)(1+18{,}5s)}{(1+10s)^2 - 1}$$



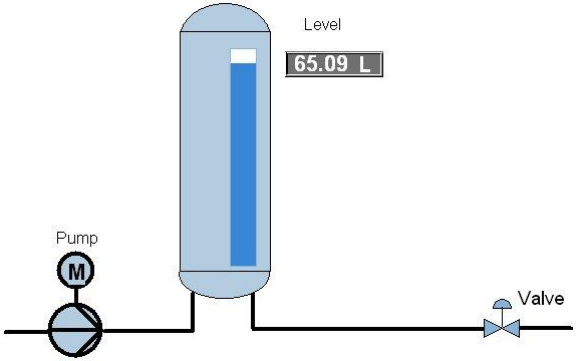
2016 Copyright S. Zacher

3.7 Beispiel: Simulation der Füllstandsregelung eines Tanks

Gegeben ist die Übertragungsfunktion eines Tanks mit zwei Stellgliedern: die Pumpe zum Füllen und das Ventil zum Leeren:

$$G_S(s) = \frac{4}{s(1+2s)}$$

Der maximale Füllstand des Tanks ist x=70 L. Die Stellgröße y darf 1023 nicht überschreiten bzw. y<1023.



Es werden folgende Option der Füllstandregelung simuliert und miteinander verglichen:

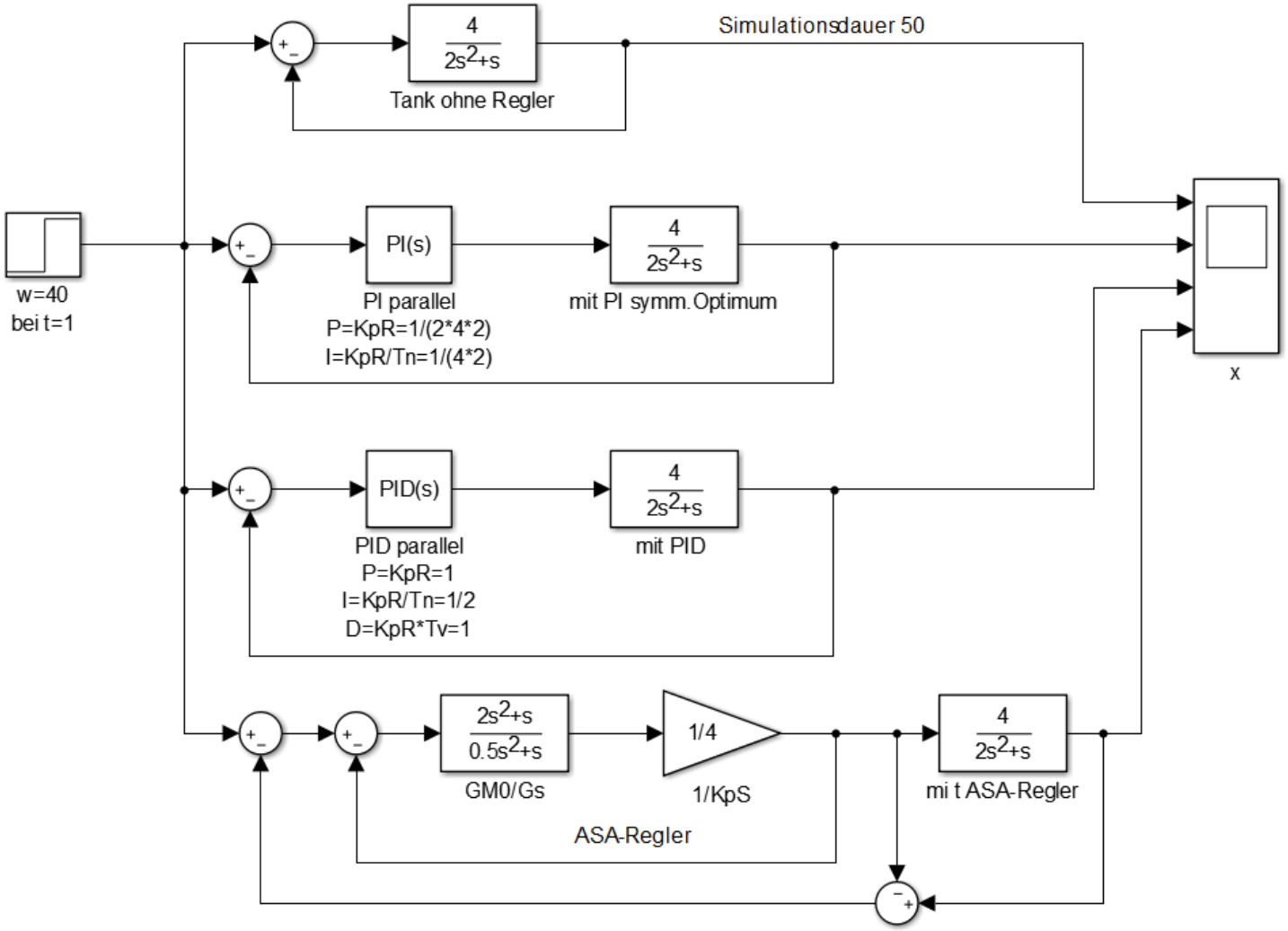
1. ohne Regler bzw. mit dem P-Regler mit K_{PR}=1
2. mit dem PI-Regler nach dem symmetrischen Optimum mit maximale Phasenreserve
3. mit dem PID-Regler mit der optimalen Dämpfung ϑ=0,707
4. mit dem ASA-Regler mit Bypass mit dem gewünschten Verhalten $G_M(s) = \frac{1}{0{,}25s^2 + s + 1}$

Nachfolgend wird zuerst angenommen, dass der Füllstand mit nur einem Stellglied ohne Begrenzung geregelt werden kann. Dann werden beide Stellglieder berücksichtigt: die Pumpe für positive Regeldifferenzen e>0 (Füllen) und das Ventil für negative Regeldifferenzen e<0 (Leeren).

2016 Copyright S. Zacher

3.7 Beispiel: Füllstandsregelung eines Tanks

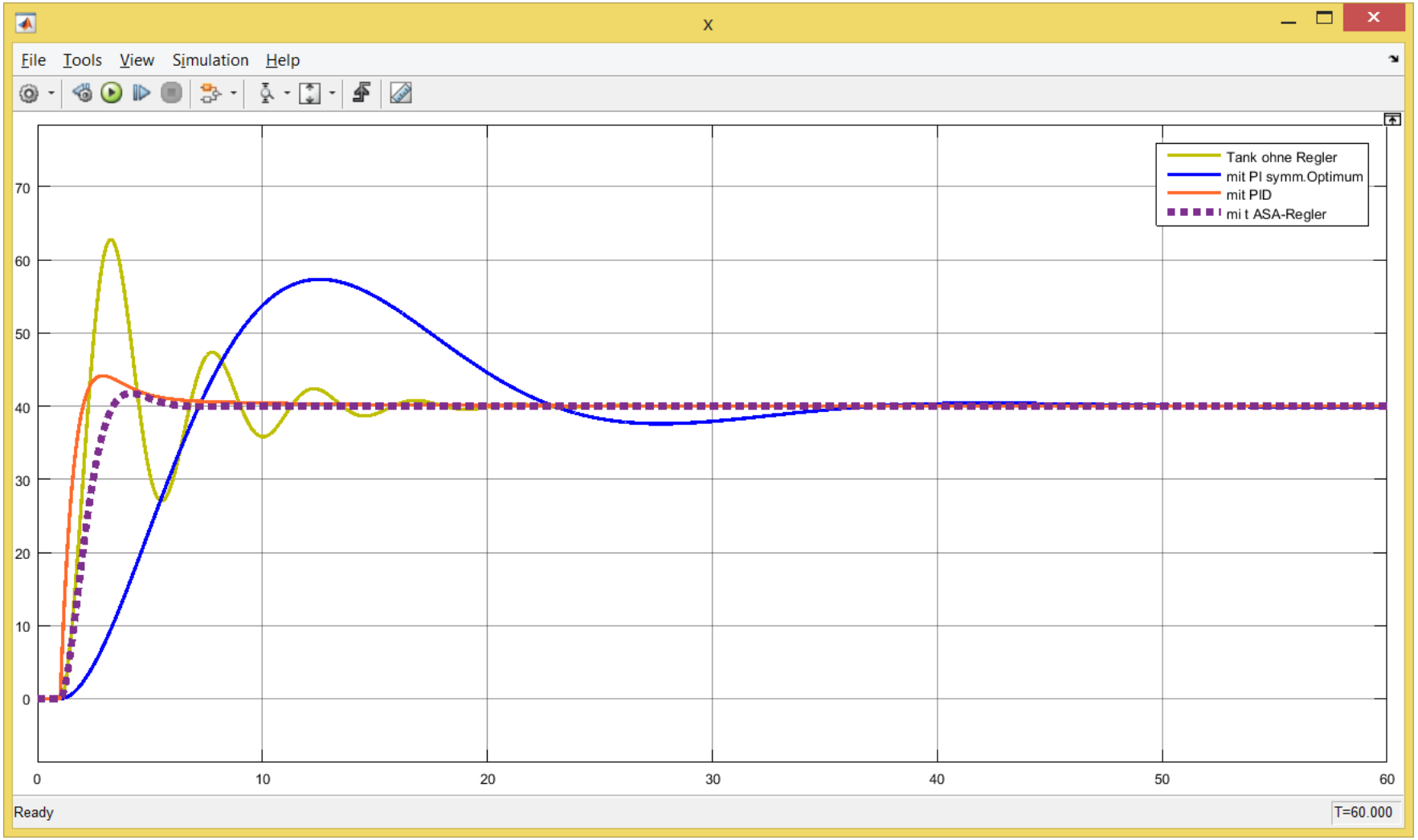
Die Regelung mit nur einem Stellglied für positive e>0 (Füllen) und negative Regeldifferenzen e<0 (Leeren)



2016 Copyright S. Zacher

3.7 Beispiel: Füllstandsregelung eines Tanks

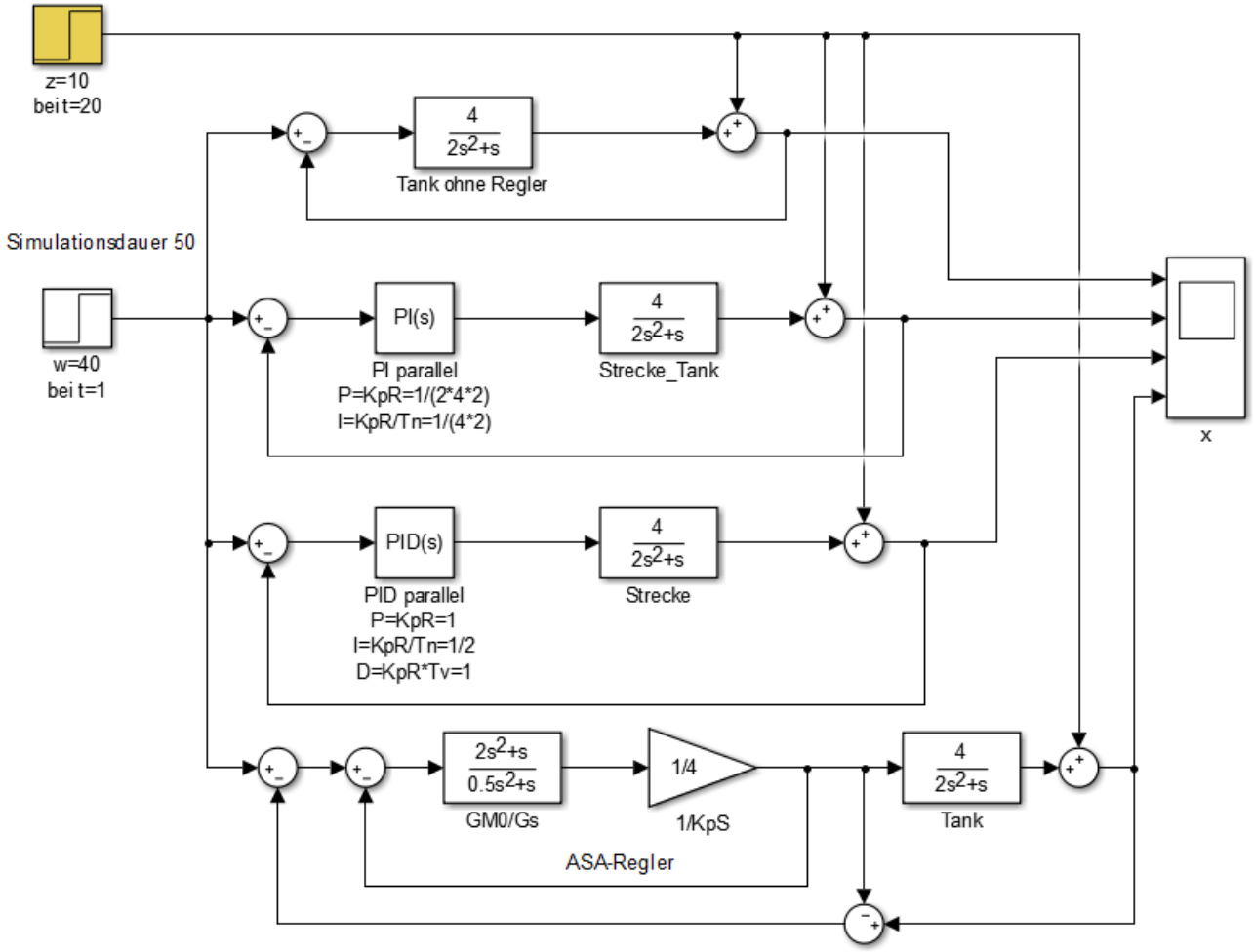
Die Regelung mit nur einem Stellglied für positive e>0 und negative Regeldifferenzen e>0 (Füllen)



2016 Copyright S. Zacher

3.7 Beispiel: Füllstandsregelung eines Tanks

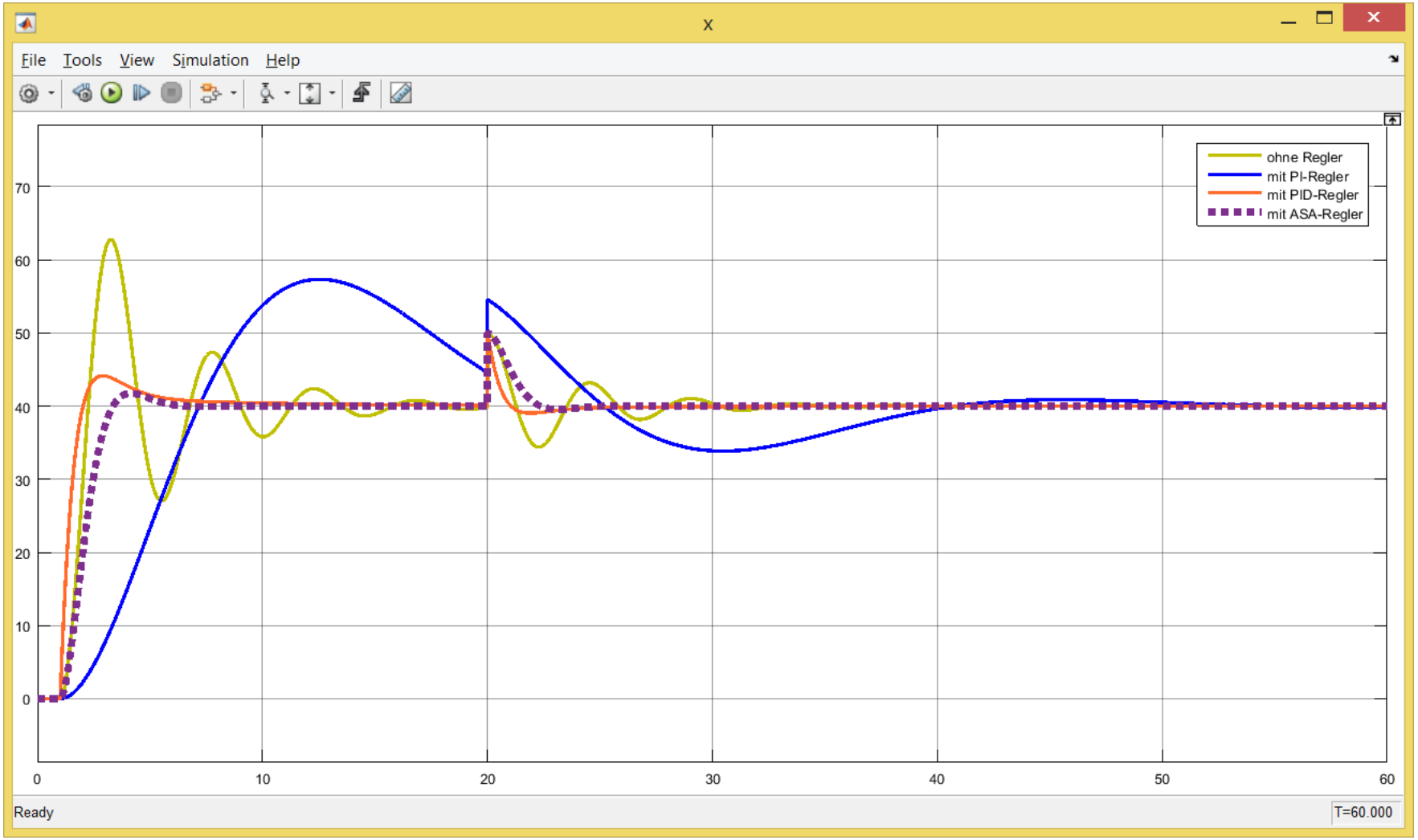
Die Wirkung von Störgrößen bei der Regelung mit nur einem Stellglied für positive e>0 und negative Regeldifferenzen e>0



2016 Copyright S. Zacher

3.7 Beispiel: Füllstandsregelung eines Tanks

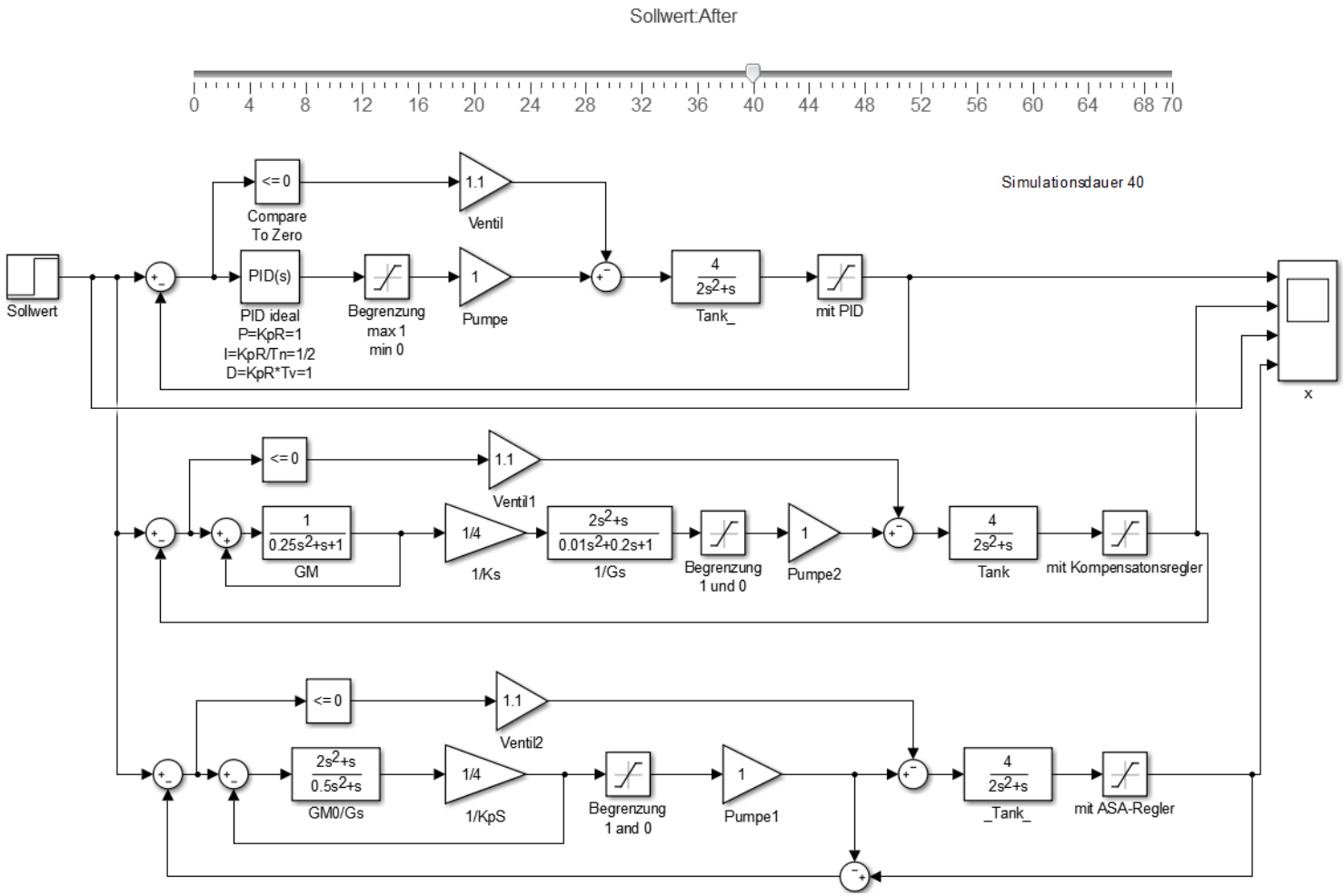
Die Wirkung von Störgrößen bei der Regelung mit nur einem Stellglied für positive e>0 und negative Regeldifferenzen e>0



2016 Copyright S. Zacher

3.7 Beispiel: Füllstandsregelung eines Tanks

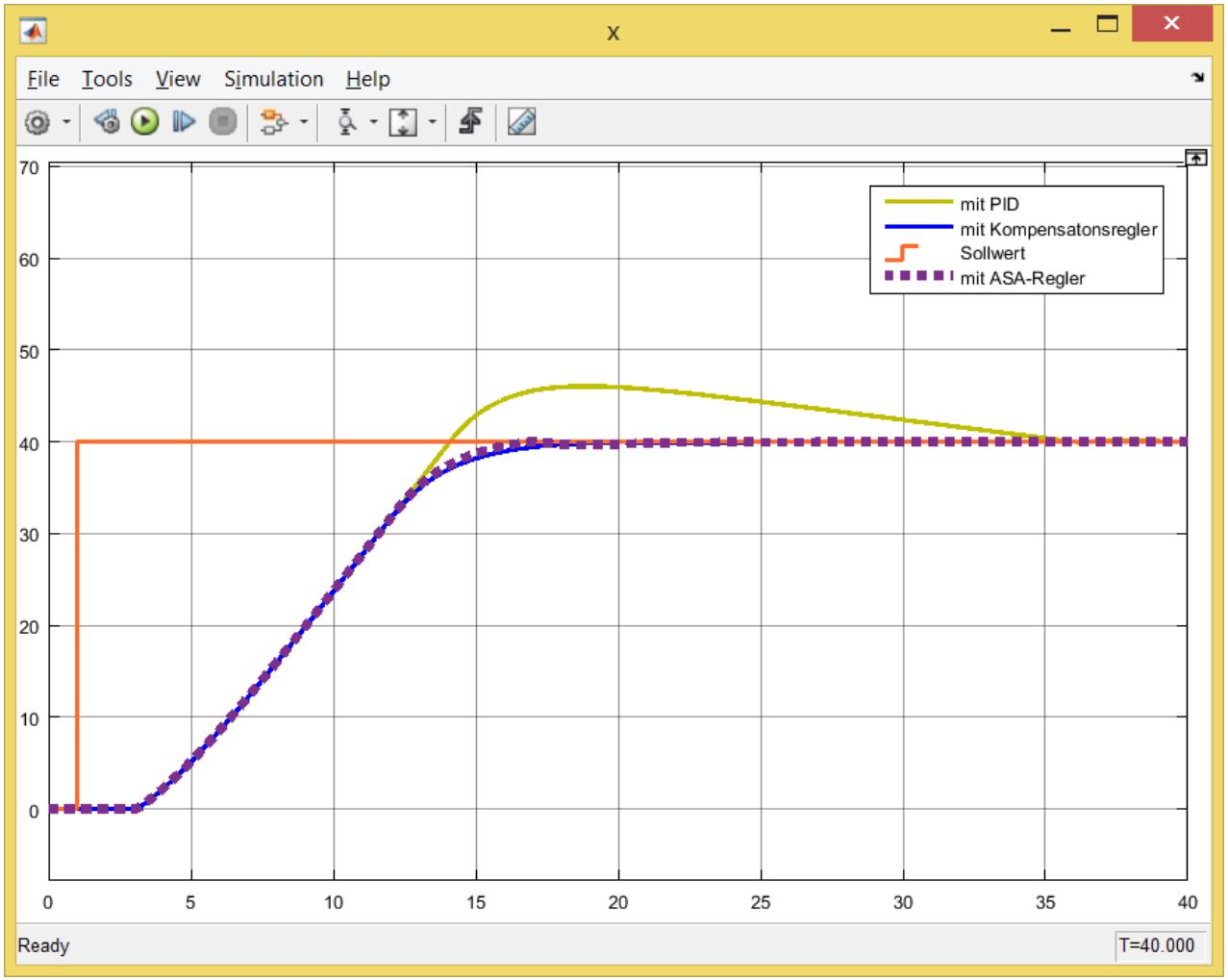
Die Regelung mit zwei Stellgliedern: mit der Pumpe für positive e>0 Regeldifferenzen und mit dem Ventil für negative e<0.
Oben: mit PID-Regler
Mitte: mit konventionellen Kompensationsregler mit reziproke Strecke $G_M(s) = \frac{1}{0{,}25s^2 + s + 1}$
Unten: mit ASA-Regler mit Bypass



2016 Copyright S. Zacher

3.7 Beispiel: Füllstandsregelung eines Tanks

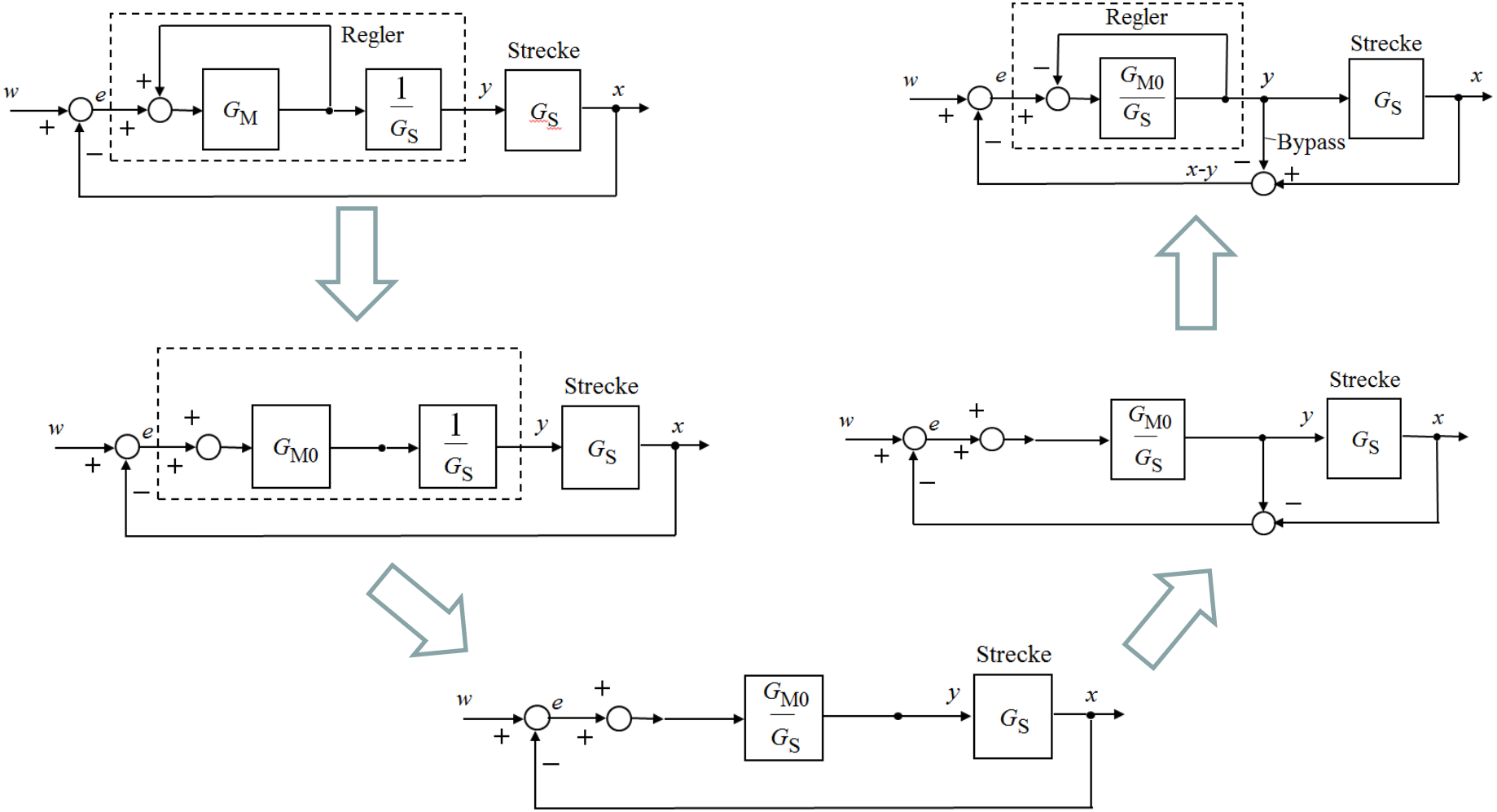
Die Regelung mit zwei Stellgliedern: mit der Pumpe für positive e>0 Regeldifferenzen (Füllen) und mit dem Ventil für negative e<0 Regeldifferenzen (Leeren)



2016 Copyright S. Zacher

4 Von Kompensationsregler zum ASA-Regler mit Bypass

Abschließend wird unten schematisch dargestellt, wie man die oben betrachtete Bypass-Regelung direkt von konventionellen Kompensationsregler mit reziproke Strecke ohne Übergang zur ASA-Regelung durch die Umwandlung des Wirkungsplanes herleiten kann.

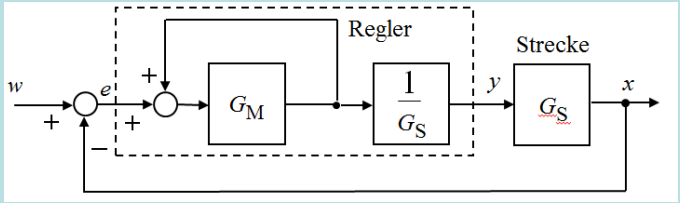


5 Zusammenfassung

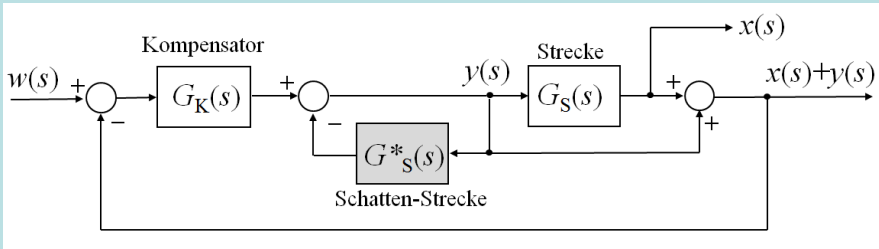
Die modellbasierten Kompensationsregler mit verschiedenen Strukturen wurden betrachtet und analysiert. Der Zusammenhang und die Unterschiede zwischen einzelnen Modifikationen sind unten schematisch dargestellt. Einige Typen sind für die manuelle Berechnung besser geeignet, die anderen – für die Simulation mit MATLAB und die nachfolgende C Code Generierung mit Simulink-Coder oder PLC-Coder.

$$G_R(s) = \frac{1}{G_S(s)} \cdot \frac{G_M(s)}{1 - G_M(s)}$$

$$G_K(s) = \frac{G_M(s)\dfrac{1+G_S(s)}{G_S(s)}}{1 - G_M(s)\dfrac{1+G_S(s)}{G_S(s)}}$$



Kompensationsregler mit reziproke Strecke

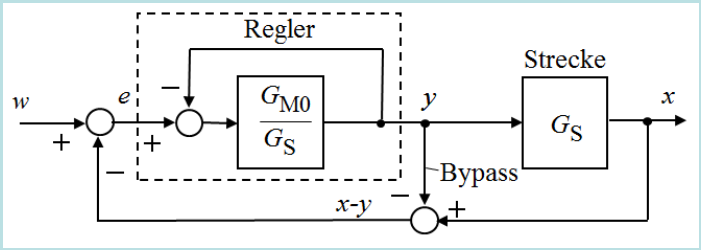


ASA-Regler mit Schatten-Strecke

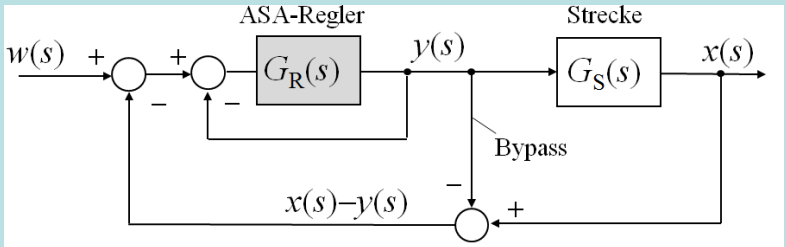
$$G_R(s) = \frac{\dfrac{G_{M0}(s)}{G_S(s)}}{1 + \dfrac{G_{M0}(s)}{G_S(s)}}$$

$$G_R(s) = \frac{\dfrac{G_M(s)}{1 - G_M(s)}}{G_S(s) + \dfrac{G_M(s)}{1 - G_M(s)}}$$

Kompensationsregler mit Bypass



ASA-Regler ohne Schatten-Strecke



2016 Copyright S. Zacher

6 Literaturverzeichnis

[1] http://www.zacher-international.com/Automation_Letters/07_Schatten_Strecke.pdf

[2] http://www.zacher-international.com/Automation_Letters/08_ASA-Implementierung.pdf

[3] http://www.zacher-international.com/Automation_Letters/06_Unwirksame_Strecke.pdf

[4] http://www.zacher-international.com/Automation_Letters/15_Algebraic_loop.pdf

[5] Oliver Schmitt: Studienarbeit, DHBW Mannheim, 2016 (in Vorbereitung)

[6] http://www.zacher-international.com/Automation_Letters/25_ASA_Regler_OSLO.pdf

[7] S. Wessel: *Entwicklung eines ASA-basierenden Reglers für Volumenstromregelung*. 2014, Master-Thesis, Hochschule Darmstadt, FB EIT, Fernstudium

[8] D. Groß: *Entwurf und Untersuchung einer modellbasierten prädiktiven Regelung mit ASA-Konzept*. 2015, Master-Thesis, Hochschule Darmstadt, FB EIT, Fernstudium

[9] S. Zacher: *ASA-Control. Antisystem-Approach for Closed Loop Control*. Verlag Dr. Zacher, (bereit zur Publikation in 2016), ISBN 978-3-937638-01-0

[10] S. Zacher: *Regelungstechnik Aufgaben*. 3. Auflage, Verlag Dr. Zacher, 2012, ISBN 978-3-937638-25-6

[11] S. Zacher, M. Reuter: *Regelungstechnik für Ingenieure*, 14. Auflage, 2014, Springer Vieweg Verlag

2016 Copyright S. Zacher