

|   |  |                    |
|---|--|--------------------|
| <b>Ostfalia</b><br>Hochschule für angewandte<br>Wissenschaften <br><br>Fakultät Fahrzeugtechnik<br>Prof. Dr.-Ing. B. Lichte<br>Institut für Fahrzeugsystem- und<br>Servicetechnologien | Modulprüfung<br>Regelungstechnik<br>BPO 2011<br><br><br>WS 2019/2020<br>16.01.2020 | Name:.....         |
|   |  | Vorname:.....      |
|   |  | Matr.Nr.:.....     |
|   |  | Unterschrift:..... |

Zugelassene Hilfsmittel:      Kurzfragen:    Keine  
Aufgaben:                    Eigene Formelsammlung DIN A4 doppelseitig  
Taschenrechner der Serie CASIO FX-991

Zeit:                              Kurzfragen:    30 Min.  
Aufgaben:                    60 Min.

**Punkte:**

| K1 | K2 | K3 | A1 | A2 | A3 | A4 | Summe<br>(max. 90) | Prozente | Note |
|----|----|----|----|----|----|----|--------------------|----------|------|
|    |    |    |    |    |    |    |                    |          |      |

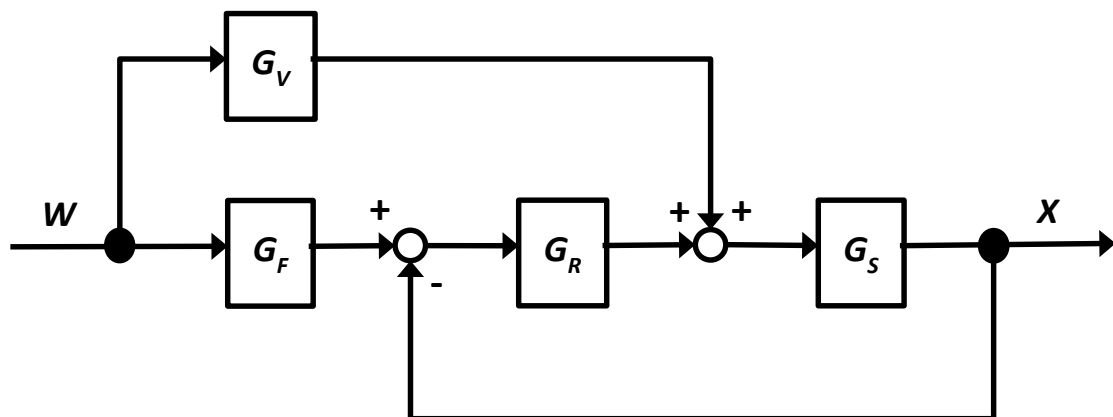
**Bearbeitungshinweise:**

- **Beschriften** Sie die Deckblätter mit **Namen, Matrikel-Nr.** und **Unterschrift**.
- Verwenden Sie nur das **ausgeteilte Papier** für Ihre Rechnungen und Nebenrechnungen. Zusätzliches Papier erhalten Sie von den Aufsichtsführenden. Markieren Sie **deutlich** auf dem Klausurbogen, wenn die Lösung auf einem Zusatzzettel weitergeführt wurde.  
**Sie sind dafür verantwortlich**, dass Zusatzzettel beim Einsammeln an den Klausurbogen angeheftet werden, um einen Verlust zu verhindern.
- Existiert für eine Teilaufgabe mehr als ein Lösungsvorschlag, so wird diese Teilaufgabe mit 0 Punkten bewertet. Verworfenen Lösungsansätze sind durch deutliches Durchstreichen kenntlich zu machen. Schreiben Sie **keine Lösungen in roter Farbe**.
- Ihre Lösung muss Schritt für Schritt nachvollziehbar sein. Geben Sie zu allen Lösungen, wenn möglich auch das zugehörige **Formelergebnis** ohne Zahlenwerte an (Punkte). Die schlichte Angabe des Zahlenergebnisses reicht i. allg. für die volle Punktzahl nicht aus.
- Lösen Sie die Heftklammern nicht.

|   |  |                |
|---|--|----------------|
| Fakultät Fahrzeugtechnik<br>Prof. Dr.-Ing. B. Lichte<br>Institut für Fahrzeugsystem- und<br>Servicetechnologien | <b>Modulprüfung<br/>Regelungstechnik</b> | Name:.....     |
| Hilfsmittel: Keine<br>Zeit: 30 Min.   | <b>Kurzfragenteil</b>                    | Vorname.....   |
|   | WS 2019/2020<br>16.01.2020               | Matr.Nr.:..... |

### Kurzfrage 1 – (9 Punkte) Wirkungsplanalgebra/Wirkungsplan

Beim nachstehenden Regelkreis bestehend aus einem Regler  $G_R(s)$  und der Strecke  $G_S(s)$  soll mit Hilfe der Übertragungsfunktionen  $G_F(s)$  und  $G_V(s)$  das Führungsverhalten des geschlossenen Regelkreises verbessert werden.



- (5P) Ermitteln Sie die Führungsübertragungsfunktion  $G_W(s)$  des geschlossenen Regelkreises.
- (4P) Wie muss die sogenannte Vorsteuerung  $G_V(s)$  gewählt werden, damit das gewünschte Führungsverhalten

$$X(s) = G_F(s) \cdot W(s)$$

erzielt wird?



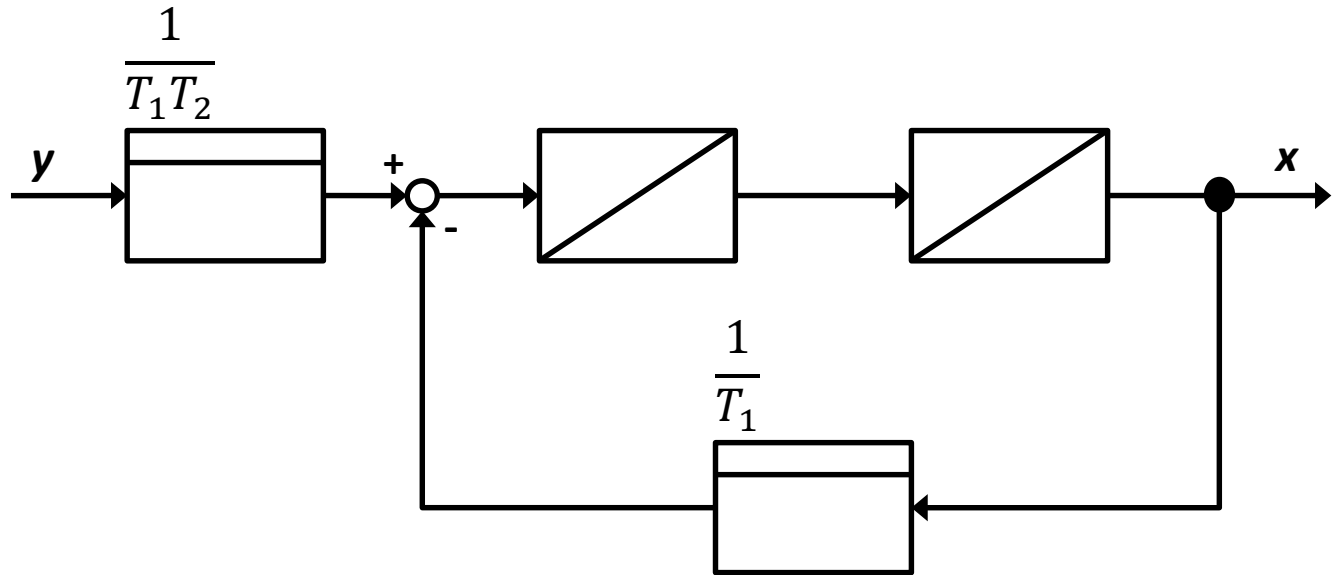
## Kurzfrage 2 – (10 Punkte)

Betrachten Sie den nachfolgenden Wirkungsplan.

Beschriften Sie zunächst die Ein- und Ausgänge der Integratoren.

Leiten Sie aus dem Wirkungsplan die Differentialgleichung her und bestimmen Sie anschließend die Übertragungsfunktion  $G(s) = \frac{X(s)}{Y(s)}$ .

Wie nennt man dieses Übertragungsglied?





### Kurzfrage 3 – (16 Punkte) Verständnisfragen

Kreuzen Sie an, ob die folgenden Aussagen richtig oder falsch sind. **Falsche** Antworten führen zu einem **Punktabzug**.

| Aussage   | richtig | falsch |
|---|---------|--------|
| <b>Steuerung versus Regelung</b>  |         |        |
| 1. Bei einer Steuerung werden nie Messeinrichtungen verwendet.  |         |        |
| 2. Nicht messbare Störungen und Modellungenauigkeiten kann eine Steuerung prinzipiell nicht kompensieren.   |         |        |
| 3. Entscheidend für die Wirkungsweise einer Regelung ist die Vorzeichenumkehr im Vergleichsglied.   |         |        |
| 4. Die Rückkopplung ist die Grundvoraussetzung jeder Regelung.  |         |        |
| <b>Ein System bestehend aus einer Masse, einer Feder (Federkraft: <math>k \cdot x(t)</math>) und einem Dämpfer (Dämpferkraft: <math>d \cdot \dot{x}(t)</math>) wird beschrieben durch</b> |         |        |
| 5. eine Differentialgleichung 1. Ordnung.   |         |        |
| 6. eine lineare Differentialgleichung.  |         |        |
| 7. eine Differentialgleichung 2. Ordnung.   |         |        |
| <b>Betrachtet wird das Führungsverhalten eines stabilen Regelkreises bei einer sprungförmigen Eingangsgröße. Sind die folgenden Aussagen richtig oder falsch?</b>                         |         |        |
| 8. Der Regelkreis ist stationär genau, wenn der offene Regelkreis einen I-Anteil besitzt.   |         |        |
| 9. Der Regelkreis ist stationär genau, wenn der geschlossene Regelkreis einen I-Anteil besitzt.   |         |        |
| 10. Ist der Regelkreis nicht stationär genau, sollte man im Regler einen I-Anteil hinzufügen.   |         |        |
| <b>Wozu dienen die Einstellregeln nach Ziegler-Nichols?</b>   |         |        |
| 11. Sie dienen dazu, möglichst schnell (ohne genaue Modellvorstellung der Regelstrecke) anhand von Messdaten einen ersten groben Reglerentwurf durchzuführen.                             |         |        |
| 12. Die Regeln basieren auf langjähriger Erfahrung und führen stets zu hervorragenden Regelergebnissen.   |         |        |
| 13. Der Entwurf ist in der Regel auf lineare, stabile und nichtschwingungsfähige Regelstrecken beschränkt.  |         |        |
| <b>Welche Bezeichnungen sind in der Regelungstechnik gemäß DIN IEC 60050-351 üblich?</b>  |         |        |
| 14. Mit $m(t)$ wird im Standard-Regelkreis die Rückführgröße bezeichnet.  |         |        |
| 15. Mit $r(t)$ wird im Standard-Regelkreis die Reglerausgangsgröße bezeichnet.  |         |        |
| 16. Mit $y(t)$ wird im Standard-Regelkreis die Regeldifferenz bezeichnet.   |         |        |

|  |  |                |
|--|--|----------------|
| Fakultät Fahrzeugtechnik<br>Prof. Dr.-Ing. B. Lichte<br>Institut für Fahrzeugsystem-<br>und Servicetechnologien              | <b>Modulprüfung<br/>Regelungstechnik</b> | Name:.....     |
| Hilfsmittel: Eigene<br>Formelsammlung<br>DIN A4<br>doppelseitig<br>Taschenrechner der Serie<br>CASIO FX-991<br>Zeit: 60 Min. | <b>Aufgabenteil</b>                      | Vorname.....   |
|  | WS 2019/2020<br>16.01.2020               | Matr.Nr.:..... |

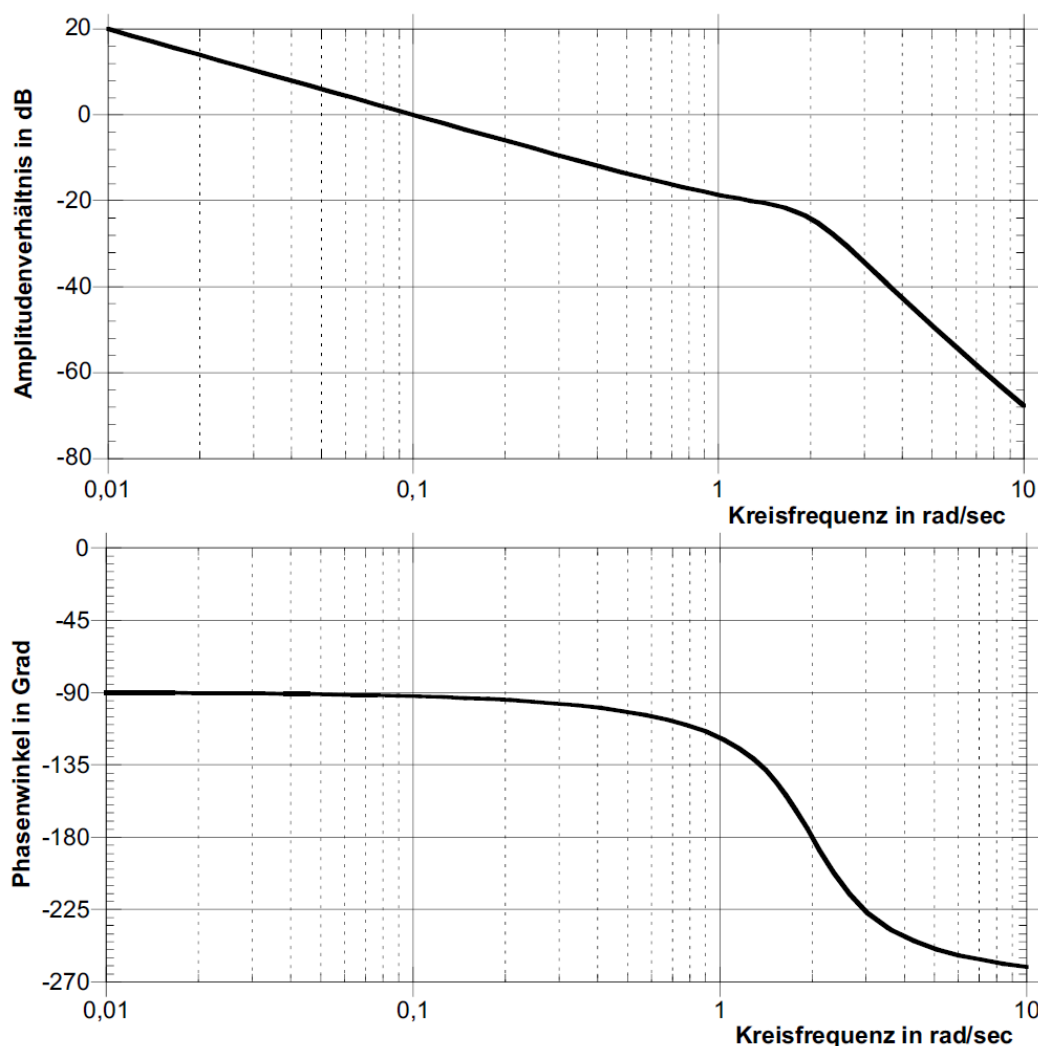
### Aufgabe 1 – (14 Punkte) Reglerentwurf

Für den offenen Regelkreis mit der Übertragungsfunktion

$$G_O(s) = K_R \frac{1}{s \cdot (s^2 + 1,6 \cdot s + 4)}$$

wurde mit einer Reglerverstärkung  $K_R = 0,4$  der unten abgebildete Frequenzgang gemessen.

- (1) (7 P) Ermitteln Sie die Amplitudenreserve (in dB) und die Phasenreserve des Regelkreises. Begründen Sie, warum der geschlossene Regelkreis stabil ist.
- (2) (6 P) Der Regelkreis ist für die Anwendung zu langsam. Auf welchen Wert darf  $K_R$  maximal erhöht werden, wenn gefordert wird, dass die Phasenreserve nicht kleiner als  $45^\circ$  werden darf?
- (3) (1 P) Ist der geschlossene Regelkreis auf sprungförmige Führungsgrößen stationär genau? Keine Berechnung, nur kurz begründen!







## Aufgabe 2 – (22 Punkte) Laplace-Transformation, Stabilität, stationäre Genauigkeit

Gegeben ist ein **Standardregelkreis**, bestehend aus einem Regler und einer Regelstrecke. Die **Regelstrecke** mit dem Eingang  $y(t)$  und dem Ausgang  $x(t)$  wird durch folgende Differentialgleichung beschrieben:

$$\ddot{x}(t) - 4 \dot{x}(t) = \dot{y}(t) + y(t) \quad .$$

- a) (6 P) Geben Sie die Übertragungsfunktion der Regelstrecke  $G_S(s) = \frac{X(s)}{Y(s)}$  im Bildbereich an (alle Anfangsbedingungen = 0). Geben Sie auch die Nullstellen und die Pole an. Ist die Regelstrecke stabil? (Begründung)

- b) (4 P) Es wird ein P-Regler

$$G_{R1}(s) = K_R$$

eingesetzt. Untersuchen Sie mit Hilfe des Routh-Kriteriums für welche Werte von  $K_R$  der **geschlossene** Regelkreis stabil ist.

- c) (4 P) Der geschlossene Regelkreis soll durch einen Einheitssprung angeregt werden. Untersuchen Sie mit Hilfe des Endwertsatzes der Laplace-Transformation, ob der geschlossene Regelkreis stationär genau ist.
- d) (4 P) Alternativ wird folgender Regler benutzt:

$$G_{R2}(s) = 2 \left( 1 + \frac{2}{s} \right) \quad .$$

Wie heißt dieser Reglertyp? Berechnen Sie die Übertragungsfunktion des offenen Kreises  $G_O(s)$  und die Führungsübertragungsfunktion  $G_W(s)$ . Ist der Regelkreis nun auf sprungförmige Führungsgrößen stationär genau? Keine Berechnung, nur begründen!

- e) (4 P) Ermitteln Sie durch Rücktransformation die **Impulsantwort** des geschlossenen Regelkreises bei Verwendung des Reglers  $G_{R2}(s)$ .

Tabelle 2.1: Korrespondenztabelle der Laplace-Transformation

| Nr. | Bildfunktion<br>$F(s)$          | Zeitfunktion<br>$f(t), t \geq 0$ ( $f(t) = 0, t < 0$ )  | Anmerkung                        |
|-----|---------------------------------|---|----------------------------------|
| 1   | 1                               | $\delta(t) = \begin{cases} \infty & \text{für } t = 0 \\ 0 & \text{für } t \neq 0 \end{cases}$                              | Dirac-Impuls                     |
| 2   | $\frac{1}{s}$                   | $\sigma(t)$   | Einheitssprungfunktion           |
| 3   | $\frac{1}{s^2}$                 | $r(t) = t$  | Einheitsanstiegsfunktion         |
| 4   | $\frac{1}{s^n}$                 | $\frac{t^{n-1}}{(n-1)!}$  | $n > 0$ , ganzzahlig             |
| 5   | $\frac{1}{s+a}$                 | $e^{-at}$   | $a$ konstant                     |
| 6   | $\frac{1}{(s+a)^n}$             | $\frac{t^{n-1}}{(n-1)!} e^{-at}$  | $a$ und $n$ wie zuvor            |
| 7   | $\frac{s}{s^2 + \omega^2}$      | $\cos(\omega t)$  | $\omega > 0$ konstant            |
| 8   | $\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$ | $\sin(\omega t)$  | $\omega > 0$ konstant            |
| 9   | $\frac{1}{s^2 + 2as + b^2}$     | $\frac{1}{2w} (e^{s_1 t} - e^{s_2 t})$<br>$\frac{1}{\omega} e^{-at} \sin(\omega t)$   | $D = \frac{a}{b} > 1$<br>$D < 1$ |
| 10  | $\frac{s}{s^2 + 2as + b^2}$     | $\frac{1}{2w} (s_1 e^{s_1 t} - s_2 e^{s_2 t})$<br>$e^{-at} \left( \cos(\omega t) - \frac{a}{\omega} \sin(\omega t) \right)$ | $D = \frac{a}{b} > 1$<br>$D < 1$ |

In den Beziehungen 9 und 10 ist:  $w = \sqrt{a^2 - b^2}$ ;  $\omega = \sqrt{b^2 - a^2}$ ;  $s_{1,2} = -a \pm w$





### Aufgabe 3 – (17 Punkte) Wurzelortskurve

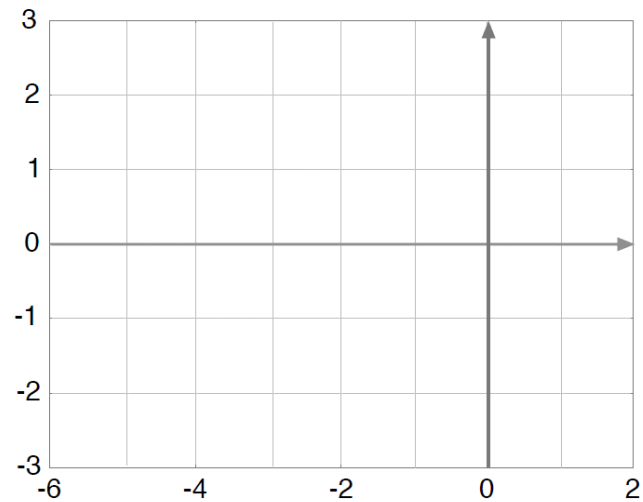
Gegeben ist ein Standard-Regelkreis. Die Übertragungsfunktion der Regelstrecke lautet:

$$G_S(s) = \frac{s - 1}{s + 1} \quad .$$

a) (5 P) Das System soll mit einem I-Regler

$$G_R(s) = \frac{K_I}{s}$$

geregelt werden. Skizzieren Sie die Wurzelortskurve in der nachstehenden Abbildung. Warum ist ein reiner I-Regler ungeeignet?



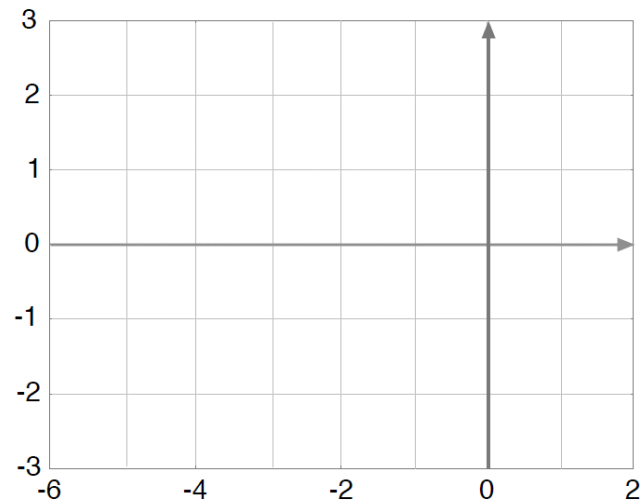
b) (4 P) Das System soll stattdessen mit einem P-Regler

$$G_R(s) = K_R$$

geregelt werden. Skizzieren Sie die Wurzelortskurve in der nachstehenden Abbildung.

Kann die Reglerverstärkung  $K_R$  so gewählt werden, dass der Regelkreis stabil ist?

Kann  $K_R$  so gewählt werden, dass das System schwingungsfähig ist? Markieren Sie, wenn dies möglich ist, mögliche Pole für diesen Fall in der Wurzelortskurve.

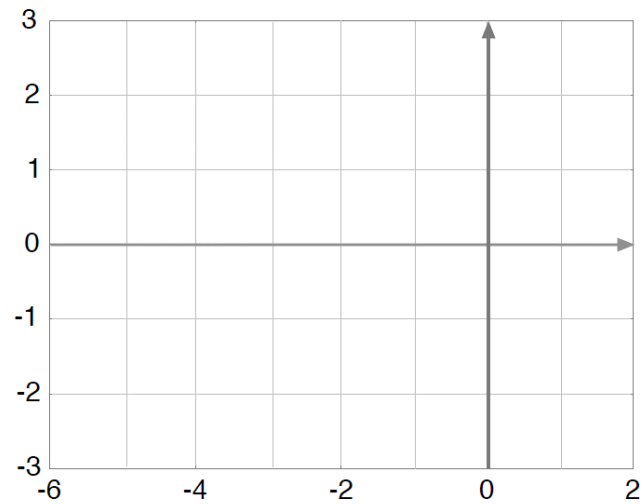


c) (8 P) Das System soll stattdessen mit einem D-T<sub>1</sub>-Regler

$$G_R(s) = \frac{K_D s}{1 + s \cdot 0.2}$$

geregelt werden. Skizzieren Sie wiederum die Wurzelortskurve in der nachstehenden Abbildung.

Kann  $K_D$  so gewählt werden, dass der Regelkreis stabil und schwingungsfähig ist? Markieren Sie, wenn dies möglich ist, mögliche Pole für diesen Fall in der Wurzelortskurve.



#### Aufgabe 4 – (11 Punkte) Stabilität, Wirkungsplan

Gegeben ist ein Standardregelkreis mit:

$$G_R(s) = K_P + K_D s \quad \text{und} \quad G_S(s) = \frac{1}{s(s+5)(s-2)}.$$

- a) (3 P) Berechnen Sie die Übertragungsfunktion des offenen Kreises  $G_O(s)$  und die Führungsübertragungsfunktion  $G_W(s)$ .
- b) (8 P) Bestimmen Sie mit dem Routh-Kriterium die Stabilitätsgrenzen, d.h. geben Sie die dazu notwendigen Bedingungen bezüglich  $K_P$  und  $K_D$  an.



