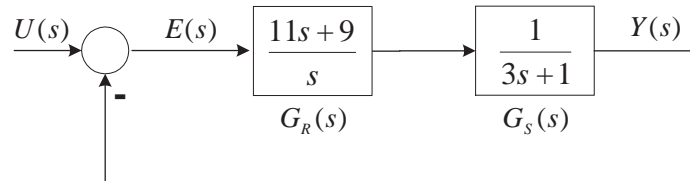


## Aufgabe 1: Laplace-Transformation

(20 Punkte)

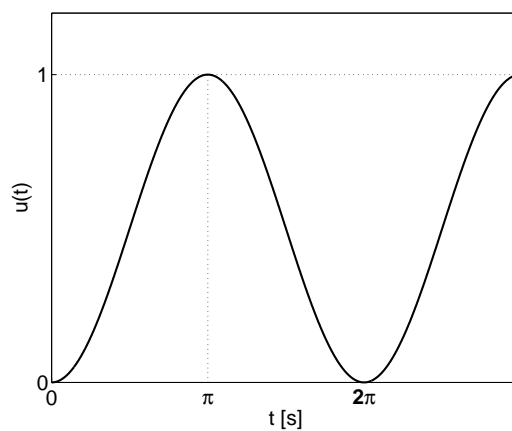
Gegeben ist der folgende Regelkreis:



Zum Zeitpunkt  $t = 0$  wird die Eingangsgröße  $u(t)$  aufgeschaltet,

$$u(t) = \sin^2(0.5t)$$

Der Zeitverlauf der Eingangsgröße ist in der folgenden Abbildung dargestellt:



Bestimmen Sie den Zeitverlauf der Ausgangsgröße  $y(t)$ . Alle Anfangswerte sind Null.

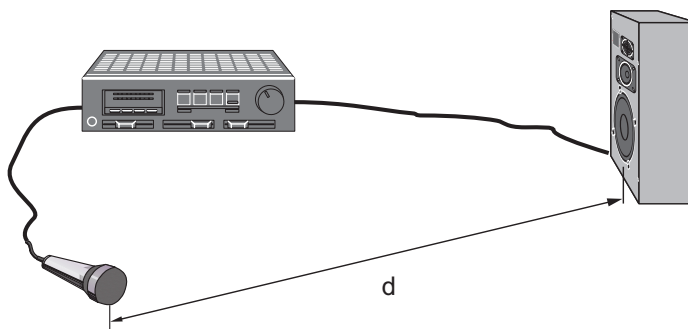
*Lösungshilfe*

$$\sin^2(\omega t) \quad \circ - - \bullet \quad \frac{2\omega^2}{s(s^2 + 4\omega^2)}$$

## Aufgabe 2: Modellbildung

(20 Punkte)

Betrachten Sie das abgebildete elektroakustische System, bestehend aus einem Mikrophon, einem Tonverstärker und einem Lautsprecher.



Folgende Verstärkungen  $k$  und Knickfrequenzen  $\omega_0$  sind gegeben:

Mikrofon	VZ1-Glied	$k_M = 0.02 \frac{Vm^2}{N}$
		$\omega_M = 60000 \frac{rad}{s}$
Verstärker	VZ1-Glied	$k_V = 1000$
		$\omega_V = 125000 \frac{rad}{s}$
Lautsprecher	VZ1-Glied	$k_L = 1.0 \frac{N}{Vm^2}$
		$\omega_L = 60000 \frac{rad}{s}$

Bekanntlich kann es durch Einkopplung des Lautsprecher-Tons über den Luftweg der Länge  $d$  in das Mikrophon zu einem unerwünschten Pfeifton kommen. Genau dieses Problem soll in der Folge analysiert werden !

- a) Zeichnen Sie zunächst ein Blockschaltbild der Anordnung unter Berücksichtigung der unerwünschten Einkopplung.

Das Übertragungsverhalten der Luft kann zunächst allgemein durch ein Totzeitglied mit  $G_t(s) = k_t e^{-sT_t}$  beschrieben werden.

- b) Beschreiben Sie das rückgekoppelte System durch ein Strukturbild.

- c) Bestimmen Sie die zugehörige Übertragungsfunktion  $F_0(s)$  des offenen Kreises.

Betrachten Sie das Übertragungsverhalten des Schallweges als ein Totzeitglied  $G_t(s)$  mit entfernungsabhängigem Verstärkungsfaktor  $k_t$ , also:

$$G_t(s) = k_t e^{-s T_t}$$

Dabei berücksichtigt  $k_t$  die quadratische Abnahme des Schalldrucks mit zunehmender Entfernung  $d$  vom Lautsprecher, wobei eine Proportionalitätskonstante  $k^* = 12.5 [m^2]$  den von der Geometrie des Lautsprechers abhängigen Abfall des Schalldruckes beschreibt.

Die Totzeit  $T_t$  bestimmt die Laufzeit des Signals vom Lautsprecher zum Mikrofon, bezogen auf die Schallgeschwindigkeit in Luft ( $v_S = 335 [\frac{m}{s}]$ )

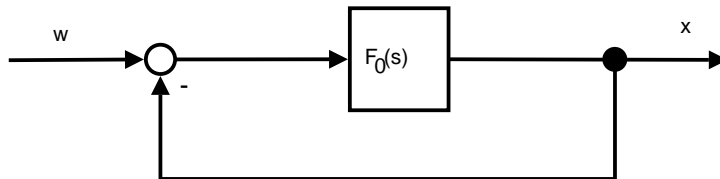
- d) Wie lautet die Übertragungsfunktion  $G_t(s)$  für die konkrete Problemstellung ?

Die gesamte Verstärkung  $k$  des offenen Kreises  $F_0(s)$  und die auftretende Phasendrehung hängen (unter anderem) von der Länge des Schallweges  $d$  ab; allein diese Abhängigkeit soll in der Folge untersucht werden.

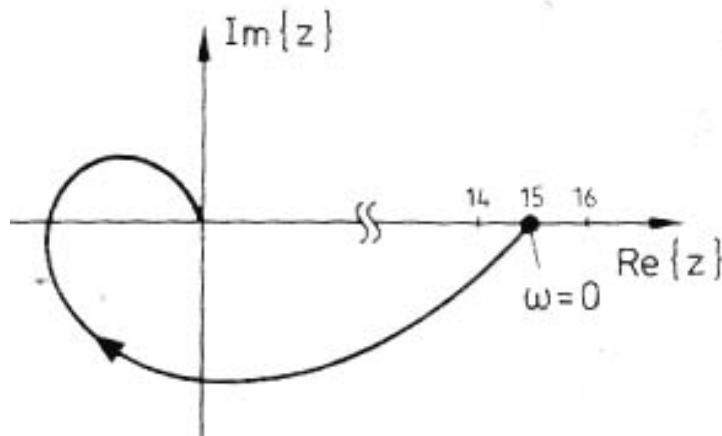
- e) Skizzieren Sie den Verlauf der Ortskurve des offenen Kreises, und treffen Sie eine quantitative Stabilitätsaussage nach NYQUIST in Abhängigkeit von der Entfernung  $d$ .
- f) Wie beurteilen Sie das Stabilitätsverhalten für folgende Entfernungen zwischen Lautsprecher und Mikrofon:  
 $d_1 = 10.0 [m]$ ,  $d_2 = 15.0 [m]$  und  $d_3 = 20.0 [m]$  ?

### Aufgabe 3: Ortskurve / Nyquist-Kriterium (20 Punkte)

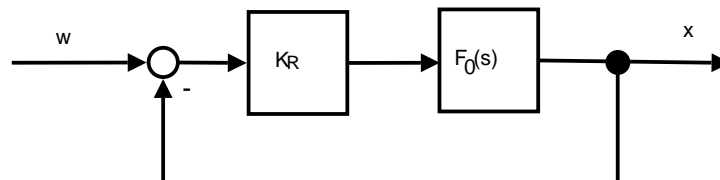
Gegeben sei der folgende Regelkreis:



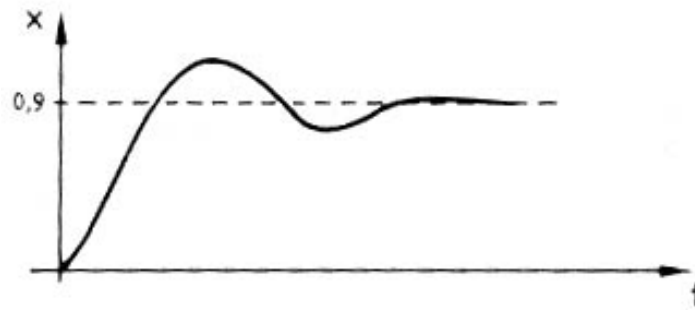
Der Frequenzgang des offenen Kreises  $F_0(j\omega)$  wurde messtechnisch erfasst und liegt in Gestalt der Ortskurve  $z = F_0(j\omega)$  vor.



- Besitzt der offene Kreis Proportional- oder Integralverhalten?
- Es wird ein P-Regler für die Regelung eingesetzt:

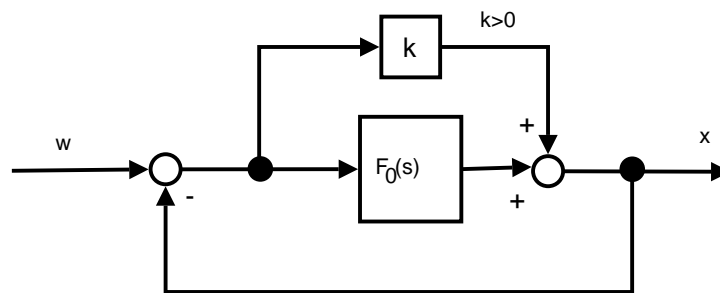


Die folgende Führungssprungantwort wird gemessen:



Wie groß wurde  $K_R$  gewählt?

- c) Wie verändert sich die Ortskurve des offenen Regelkreises aus Teilaufgabe a), wenn der Kreis auf folgende Weise modifiziert wird?



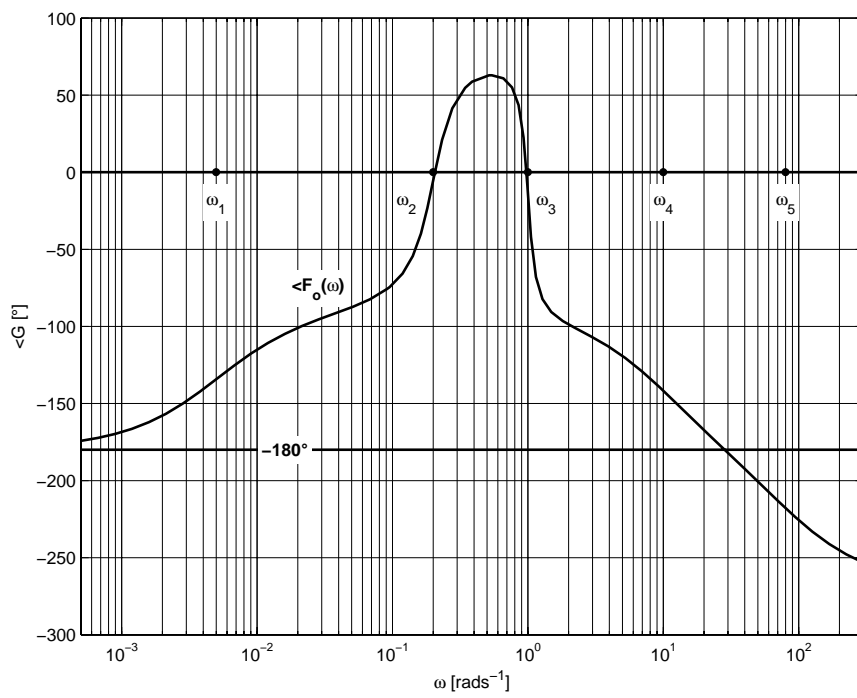
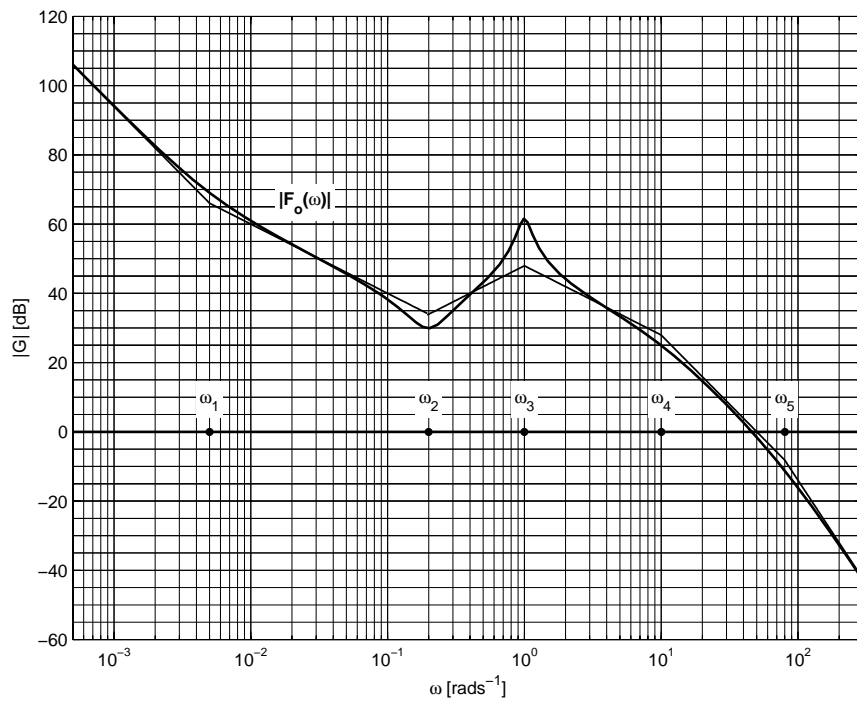
- d) Welchen Einfluss haben die beiden Maßnahmen in Teilaufgabe b) bzw. Teilaufgabe c) auf die Phase des Frequenzganges des jeweils entstehenden offenen Kreises?

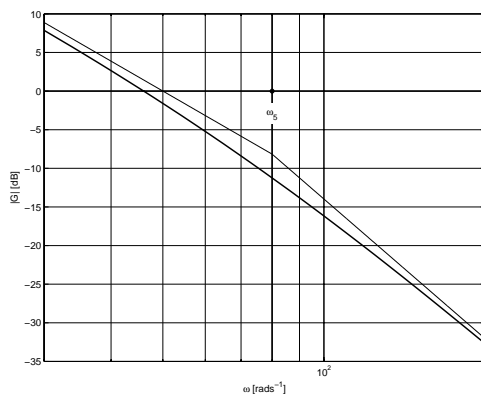
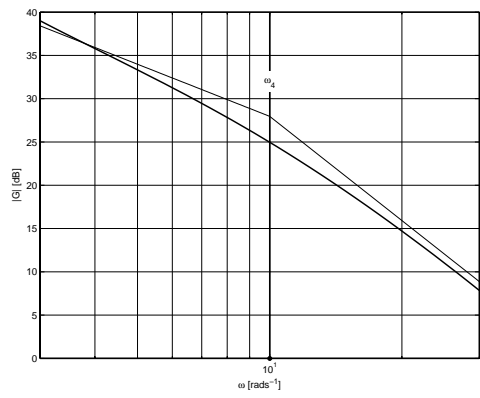
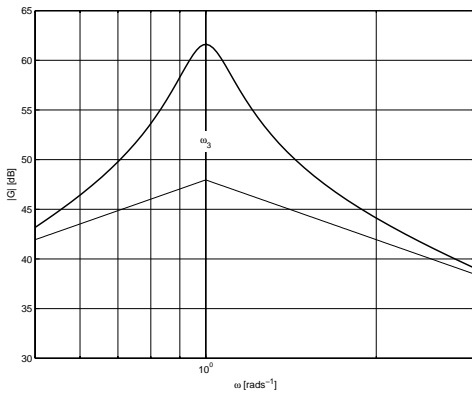
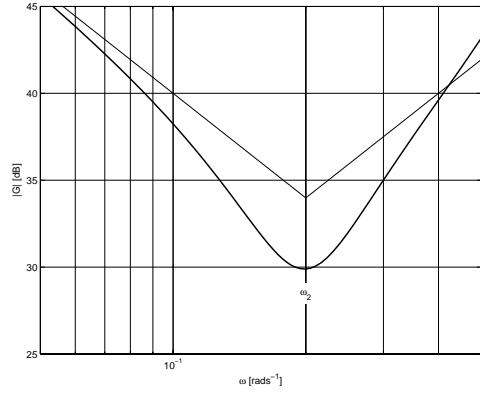
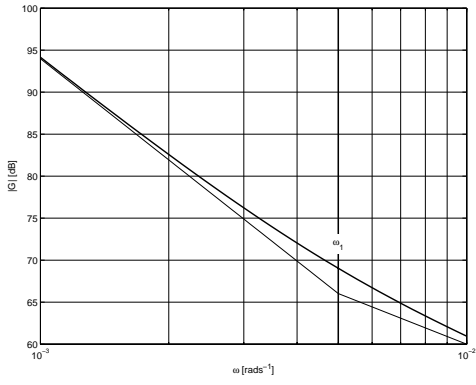
## Aufgabe 4: Frequenzkennlinien

(20 Punkte)

Die folgenden zwei Abbildungen zeigen die Frequenzkennlinien eines minimalphasigen offenen Regelkreises zusammen mit zugehörigen Knickgeraden. (In den darauf folgenden 5 Abbildungen sind diese Kennlinienverläufe nochmals detaillierter dargestellt).

- a) Bestimmen Sie den Frequenzgang  $F_0(j\omega)$  des offenen Regelkreises.
- b) Ist der geschlossene Regelkreis stabil?
- c) Wie muss die gesamte Verstärkung des offenen Regelkreises eingestellt werden, damit die Phasenreserve  $30^\circ$  beträgt?

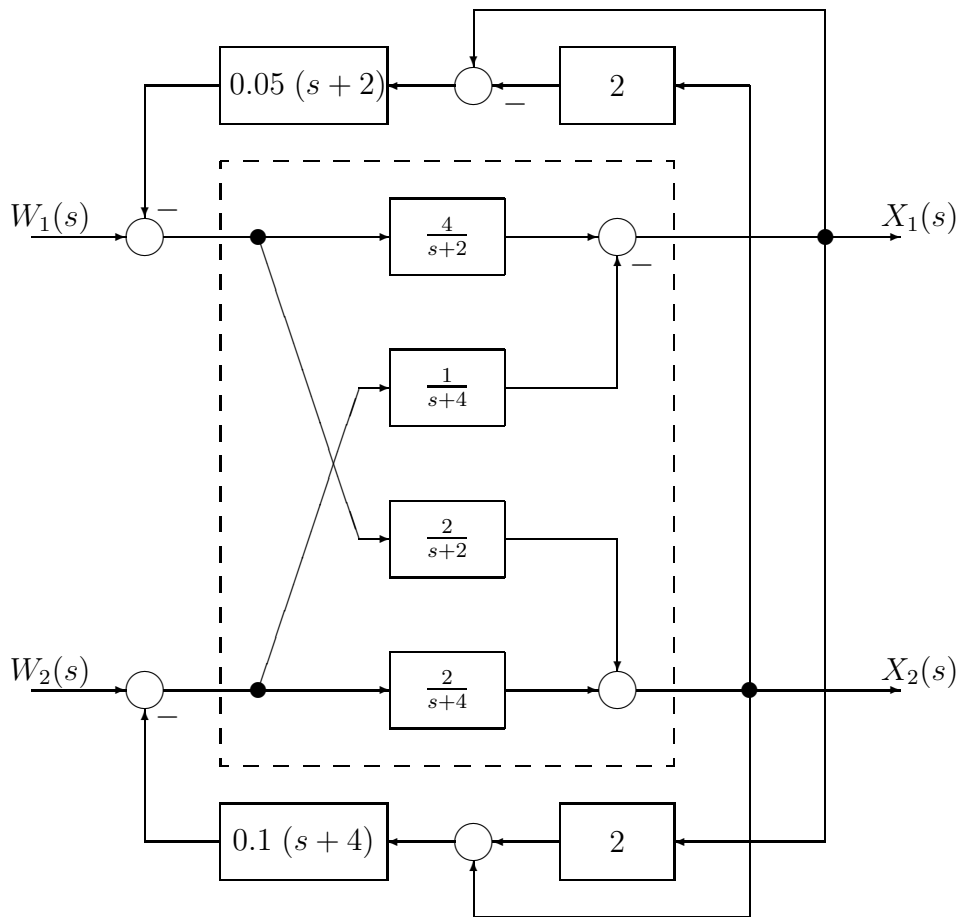




## Aufgabe 5: Entkopplung

(20 Punkte)

Gegeben sei das nachfolgend abgebildete verkoppelte System, welches bereits eine zusätzliche Entkopplungsstruktur besitzt:



Überprüfen Sie, ob die hier dargestellte Entkopplung gelungen ist.