

Klausur Regelungstechnik
Studiengang Technische Informatik
 Prof. Dr.-Ing. W. Kesslerer

Donnerstag, 16. Januar 2025, 08.00 Uhr, Raum **B 101**

- Zugelassene Hilfsmittel: Alles, jedoch keine Altklausuren mit Musterlösungen, keine Kommunikationsgeräte und keine Laptops etc.
- Versehen Sie bitte jedes Lösungsblatt mit Ihrem Namen und jede Seite mit einer fortlaufenden Seitennummer.
- Falls Teillösungen über mehrere Seiten verteilt sind, versehen Sie diese bitte mit entsprechenden Querverweisen.
- Nicht gekennzeichnete oder nicht eindeutig zugeordnete Lösungsfragmente werden nicht gewertet!
- Lösungen ohne erkennbare Begründung werden nicht gewertet.
- Reklamationen der Korrektur und Bewertung nur bei Klausurrückgabe!

Name:

Vorname:

Matrikel-Nr.

Unterschrift:

Aushändigen der korrigierten Klausur (zutreffendes bitte ankreuzen):

- Nur an mich persönlich oder an Kommilitonen/innen mit schriftlicher Vollmacht.
- An Frau / Herrn / Person:
- An alle, die danach fragen.

Dritter (letzter zulässiger) Versuch:

- Nein.
- Ja.

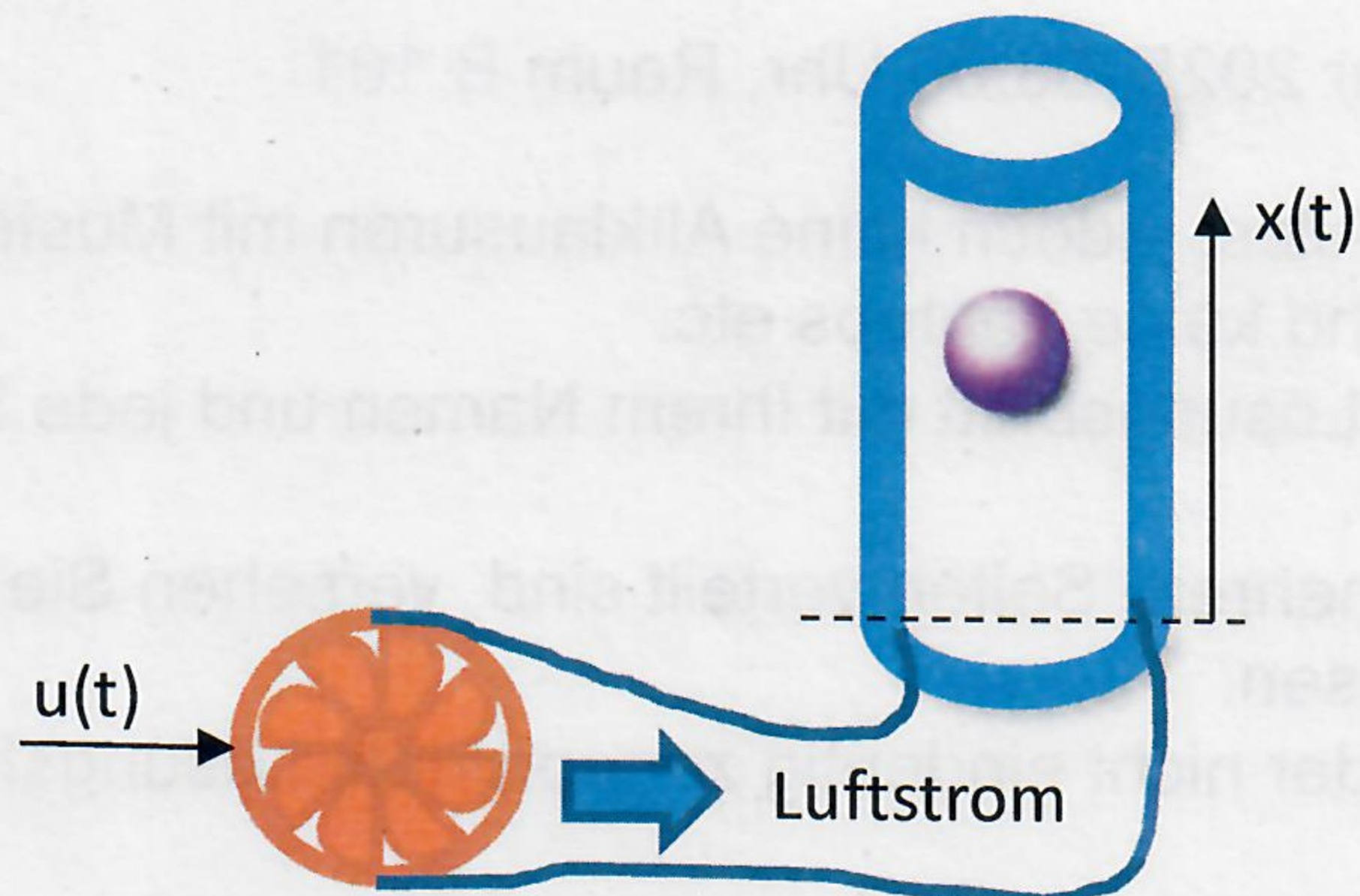
Frage	Max. Punkte	Erreichte Punkte
Aufgabe 1	20	16
Aufgabe 2	22	4
Aufgabe 3	18	8
SUMME	60	28

NOTE: 3,7 *Zm*



Aufgabe 1:

Für eine von einem Luftstrom in einer Glasröhre balancierten Styroporkugel mit der Höhe $x(t)$ und der Eingangsspannung des Ventilators $u(t)$ gemäß der folgenden Abbildung



ergibt sich für die Übertragungsfunktion in (sehr) stark vereinfachter Form

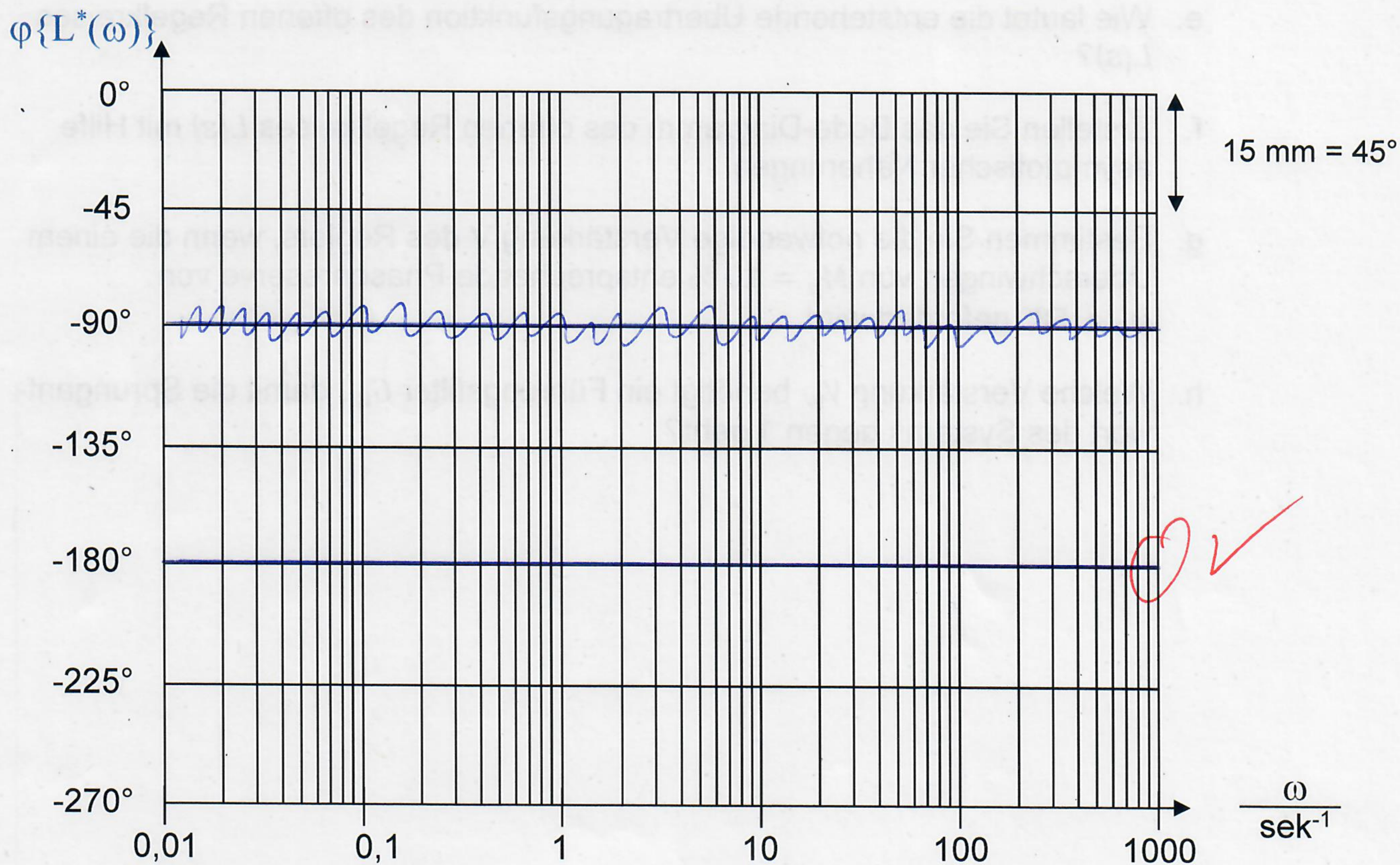
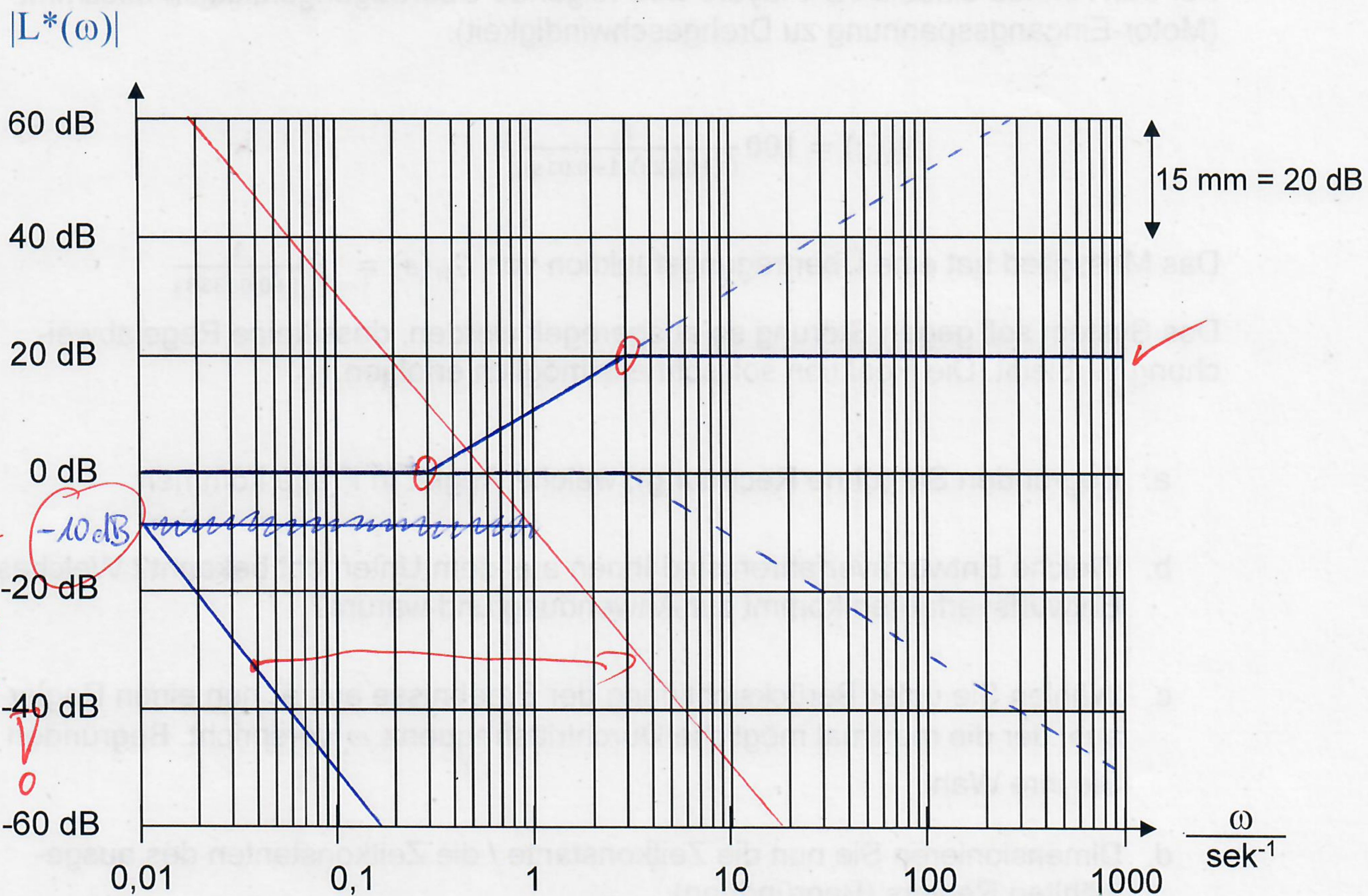
$$G_S(s) = \frac{X(s)}{U(s)} \approx 0,31623 \frac{1}{s^2}$$

Das Messsystem wird mit $G_M(s)=1$ angenommen. Für diese Anordnung soll ein Regler entworfen werden.

Die Kugel soll zu Demonstrationszwecken innerhalb von 1,44 Sek. zwischen zwei Positionen hin springen können, mit einem maximalen Überschwingen von 15 %. Ein Regelfehler ist unerheblich.

- Begründen Sie (ohne Rechnung), welche Regler in Frage kommen.
- Bestimmen Sie die zur Erreichung des geforderten Verhaltens im Zeitbereich notwendigen Werte im Frequenzbereich für den Phasenrand φ_R und die Durchtrittsfrequenz ω_c .
- Zeichnen Sie im Bode-Diagramm den asymptotischen Betrags- und Phasengang der Übertragungsfunktion des offenen Kreises ohne Regler $L^*(\omega)=G_S(\omega) \cdot G_M(\omega)$.
- Treffen und begründen Sie unter Berücksichtigung der Vorauswahl aus a) nun eine abschließende Reglerauswahl.
- Dimensionieren Sie die Zeitkonstante / die Zeitkonstanten des ausgewählten Reglers.
- Ergänzen Sie im Betragsgang des Bode-Diagramms den Betragsgang für den ausgewählten Regler für $V=1$.
- Bestimmen Sie die notwendige Reglerverstärkung V .

Bode-Diagramm zu **Aufgabe 1**:



Aufgabe 2:

Für den Antrieb eines DVD-Players wird folgende Übertragungsfunktion bestimmt (Motor-Eingangsspannung zu Drehgeschwindigkeit):

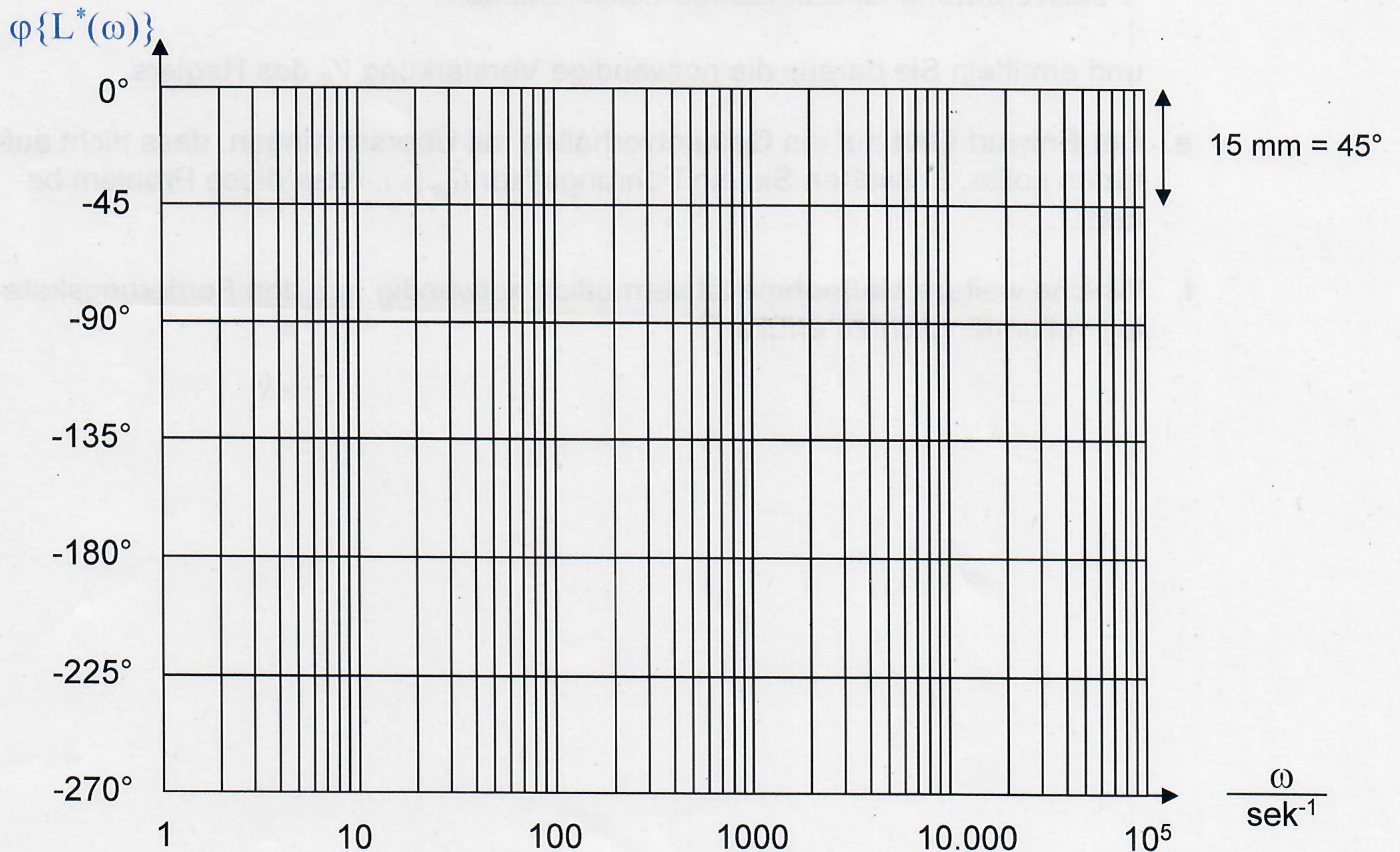
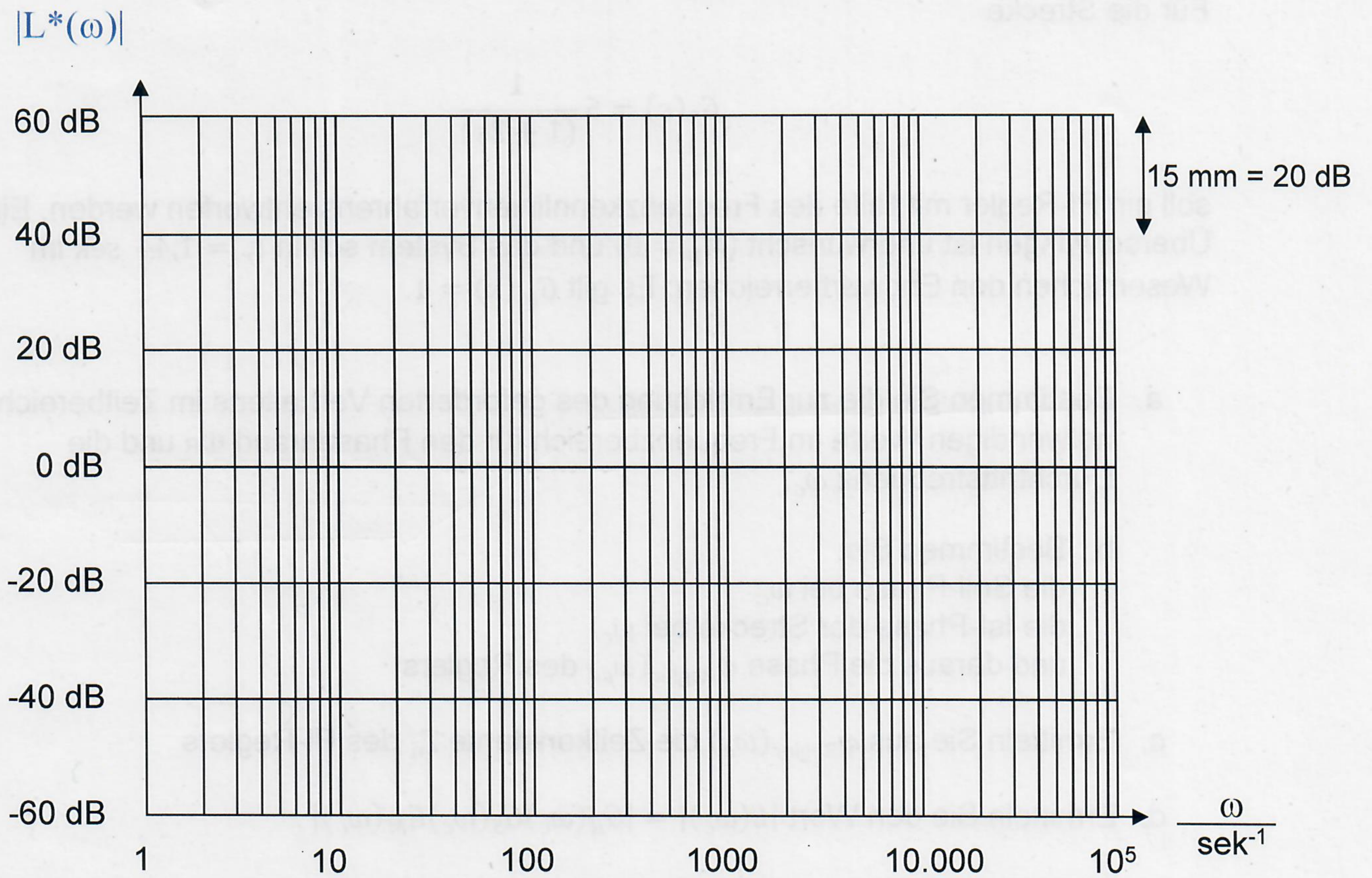
$$G_S(s) = 100 \frac{1}{(1+0.02s)(1+0.01s)}$$

Das Messglied hat eine Übertragungsfunktion von $G_M(s) = 10 \frac{1}{1+0,00333s}$

Das System soll gegen Störung so ausgegelt werden, dass keine Regelabweichung verbleibt. Die Reaktion soll schnellstmöglich erfolgen.

- Begründen Sie (ohne Rechnung), welche Regler in Frage kommen.
- Welche Entwurfsverfahren sind Ihnen aus dem Unterricht bekannt? Welches Entwurfsverfahren kommt zur Anwendung und warum?
- Wählen Sie unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus a) nun einen Regler aus, der die maximal mögliche Durchtrittsfrequenz ω_c verspricht. Begründen Sie ihre Wahl.
- Dimensionieren Sie nun die Zeitkonstante / die Zeitkonstanten des ausgewählten Reglers (Begründung).
- Wie lautet die entstehende Übertragungsfunktion des offenen Regelkreises $L(s)$?
- Erstellen Sie das Bode-Diagramm des offenen Regelkreises $L(s)$ mit Hilfe asymptotischer Näherungen.
- Bestimmen Sie die notwendige Verstärkung V des Reglers, wenn die einem Überschwingen von $M_p = 10\%$ entsprechende Phasenreserve von $\varphi_R \approx 58^\circ$ gefordert wird.
- Welche Verstärkung V_W benötigt ein Führungsfilter G_W , damit die Sprungantwort des Systems gegen 1 geht?

Bode-Diagramm zu **Aufgabe 2**:



Aufgabe 3:

Für die Strecke

$$G_S(s) = 5 \frac{1}{(1 + 3s)}$$

soll ein PI-Regler mit Hilfe des Frequenzkennlinienverfahrens entworfen werden. Ein Überschwingen ist unerwünscht ($M_p = 0$) und das System soll in $t_r = 1,44$ sek im Wesentlichen den Endwert erreichen. Es gilt $G_M(s) = 1$.

- a. Bestimmen Sie die zur Erreichung des geforderten Verhaltens im Zeitbereich notwendigen Werte im Frequenzbereich für den Phasenrand Φ_R und die Durchtrittsfrequenz ω_c .
- b. Bestimmen Sie:
die Soll-Phase bei ω_c
die Ist-Phase der Strecke bei ω_c
und daraus die Phase $\varphi_{\text{Regler}}(\omega_c)$ des Reglers
- c. Ermitteln Sie aus $\varphi_{\text{Regler}}(\omega_c)$ die Zeitkonstante T_n des PI-Reglers
- d. Ermitteln Sie den Wert $|L(\omega_c)| = |G_R(\omega_c)G_S(\omega_c)G_M(\omega_c)|$
- mit Abschätzungen $\omega_c \ll 1/\tau$ bzw. $\omega_c \gg 1/\tau$,
 τ stellvertretend für auftretende Zeitkonstanten -
und ermitteln Sie daraus die notwendige Verstärkung V_R des Reglers.
- e. Der Entwurf führt auf ein Gesamtverhalten mit Überschwingen, dass nicht auftreten sollte. Entwerfen Sie ein Führungsfilter $G_W(s)$, dass diese Problem behebt.
- f. Welche weitere Maßnahme ist vermutlich notwendig, um den Forderungskatalog vollumfänglich zu erfüllen?

Aufgabe 1

$$t_r = 1,44 \text{ sek}, M_p = 15\% = 0,15, e(\infty) = \text{egal}$$

$$\omega_{c, \text{Soll}} = \frac{1,44}{1,44} = 1, \varphi_R = 69^\circ - 106 \cdot 0,15 = 53,1^\circ \checkmark$$

a) Regelfehler unmerklich $\checkmark \Rightarrow$ kein I-Anteil nötig \checkmark
 \Rightarrow P- oder PD-Regler \checkmark 2/2

b) $\omega_{c, \text{Soll}} = 1 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \checkmark, \varphi_R = 53,1^\circ \text{ (s.o.)} \checkmark$ 2/2

c) $L(s) = G_S(s) \cdot G_m(s) = 0,31623 \frac{1}{s^2} \checkmark$

$$V_{dB} = 20 \cdot \log_{10}(0,31623) \approx -10 \text{ dB} \checkmark$$

$$\frac{1}{s^2} \Rightarrow -40 \text{ dB/Dekade von Beginn an} \checkmark$$

$$\Rightarrow -180^\circ \text{ Phase konstant} \checkmark \text{ Betragsgang falsch} \quad 3/4$$

~~A) PD-Regler, um Phaseverlauf zu heben und auf $\omega_{c, \text{Soll}}$ zu kommen wäre richtig gewesen!~~

~~B) $\varphi_{\text{Strecke bei } \omega_{c, \text{Soll}}} = -90^\circ$ ~~Wäre richtig!~~~~

$$\varphi_{PD} = 53,1^\circ - (-90^\circ) - 180^\circ$$

$$= -36,9^\circ < 0 \text{ ?}$$

~~! soll eigentlich ≥ 0 sein, also doch P-Regler!~~

~~d) RP-Regler~~

~~e) $\varphi_{\text{Soll}} = -180^\circ + 53,1^\circ = -126,9^\circ$~~

$$\omega_{c, \text{Soll}} = 1 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\omega_{c, \text{Ist}} \approx 0,006$$

weitere Lösungsanteile auf letzter Seite!

Aufgabe 1

d) PD-Regler, um $\omega_c = 1$ zu erreichen ✓

e) Verstärkung bei $\omega_c = -180^\circ$

$$\varphi_{PD} = 53,1^\circ - (-180^\circ) = -180^\circ \\ = 53,1^\circ \quad \checkmark$$

4/4

$$m = \tan^2\left(\frac{853,1^\circ + 90^\circ}{2}\right) \approx 8,98 \quad \checkmark$$

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{m}} = 0,33 \quad \checkmark \Rightarrow T_1 = \frac{1}{\omega_1} \approx 3 \quad \checkmark$$

$$\omega_2 = \sqrt{m} \approx 3 \quad \checkmark \Rightarrow T_2 = \frac{1}{\omega_2} \approx 0,33 \quad \checkmark$$

$$\rightarrow G_R(s) = V \frac{1+3s}{1+0,33s} \quad \checkmark$$

3/3

f) 2/2 im Bode-Diagramm

g) 0/3

Σ 16/20

Aufgabe 3

$$G_S(s) = 5 \frac{1}{1+3s}$$

$$M_p = 0, \quad t_r = 1,44 \text{ sek}, \quad G_M(s) = 1$$

a) $\omega_c = \frac{1,44}{1,44} = 1 \checkmark$ $M_p = 0 \Leftrightarrow d = 1 \Leftrightarrow \varphi_R = 76,75^\circ \checkmark$ 2/2

b) ~~$\varphi_{\text{Strecke}} = \varphi\{G_S(\omega_c)\}$~~ $G_S(\omega_c) = 5 \cdot \frac{1}{1+3j} = \frac{5}{4} = 1,25$?

$$\varphi_{\text{Strecke}} = \varphi\{G_S(s)\} = \varphi\{1,25\} \approx 51,3^\circ$$

$$\varphi_{DI} = -180^\circ + 76,75^\circ - 51,3^\circ = -154,55^\circ \quad (\checkmark) \quad \text{Formel richtig}$$

$$\varphi_{\text{Soll}} = -180^\circ + 76,75^\circ = -103,25^\circ \quad \checkmark$$

Wert Marks

2/3

c) $T = \frac{1}{1} \cdot \tan(-154,55^\circ + 90^\circ)$
 $= \tan(-64,55^\circ) \approx -2,1$

Formel richtig und konsequent
aber Wert falsch. Negative
Zeitkonstante und kein
Kommentar ???

2/4

d) $|L(\omega)| = \left| 5 \frac{1}{1+3} \cdot 1 \cdot V \cdot \frac{1-2,1j}{1} \right|$

$$= \left| \frac{5}{4} \cdot V \cdot (-1,1j) \right|$$

$$= V \cdot |(-1,375)| = V \cdot 1,375$$

$$\Rightarrow V = \frac{1}{1,375} \approx \frac{8}{11} \approx 0,72$$

$$\omega_c \ll \frac{1}{T}$$

$$|L(\omega_c)| = \left| \frac{5}{4} \cdot V \cdot \frac{1-0}{1} \right|$$

$$= \frac{5}{4} \cdot V \Rightarrow V = \frac{5}{4} = 1,25$$

$$\omega_c \gg \frac{1}{T}$$

Berechnungsansatz: 2/5

e) \therefore 0/2

f) \therefore 0/2

$$\Sigma 8/18$$