Dieses Dokument wird Ihnen vom Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

Praktikum der Physik für Fortgeschrittene

Regelungstechnik

Gruppennummer: 566
Betreuer: Boris Holzherr

Peter Kächler
del_pedro@gmx.de

Michael Diez
m@dcomp.de

Ulm im Februar 2004

Dieses Dokument wurde von Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

1. THEORETISCHE GRUNDLAGEN 4

1.1. Definitionen 4

1.2. Laplace-Transformation 4

1.3. Übertragungs- und Frequenzgangfunktion 5

1.4. Bode-Diagramme 5

1.5. Signalflusspläne 6

1.6. Elemente von Regeleinrichtungen 7
1.6.1. Das P-Element 7
1.6.2. Das PT_1-Element 8
1.6.3. Das PT_2-Element 9
1.6.4. Das I-Element 10
1.6.5. Das T_t-Element 11
1.6.6. Das PI-Element 12

1.7. Der Operationsverstärker 12
1.7.1. Impedanzwandler 13
1.7.2. Invertierender Verstärker 13
1.7.3. Nichtinvertierender Verstärker 14
1.7.4. Differenzverstärker 14
1.7.5. Summierverstärker 15
1.7.6. Differenzierer – Hochpass 16
1.7.7. Integrierer – Tiefpass 16

2. VERSUCHSBESCHREIBUNG & AUSWERTUNG I 17

2.1. Potentiometerkennlinie 17

2.2. Motorkennlinie 18

2.3. Analoge Regelung 24

2.4. Digitale Regelung 25

3. AUSWERTUNG DER REGELUNGEN 27

3.1. Analoge Regelung 27
3.1.1. P-Regler 27
3.1.2. PI-Regler 35

3.2. Diskussion der analogen Regelung 45

3.3. Digitale Regelung 45
3.3.1. P-Regler 45
3.3.2. PI-Regler 49
3.3.3. Positionsregelung 53

DIESE DOKUMENTATION wurde von Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

LITERATURVERZEICHNIS 55

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Regeltechnische Elemente und Begriffe (aus [7]) 4
Abbildung 2: Signalflussbild eines Übertragungsblocks 6
Abbildung 3: Reihenschaltung von Übertragungsblöcken (aus [7]) 6
Abbildung 4: Parallelschaltung von Übertragungsblöcken (aus [7]) 6
Abbildung 5: Signalflussplan des geschlossenen Regelkreises (aus [7]) 7
Abbildung 6: Bode Diagramm des P-Elements (aus [7]) 7
Abbildung 7: Bode Diagramm des PT_1-Elements (aus [7]) 8
Abbildung 8: Bode Diagramm des PT_2-Elements (aus [7]) 9
Abbildung 9: Bode Diagramm des I-Elements (aus [7]) 10
Abbildung 10: Bode Diagramm des T_t-Elements (aus [7]) 11
Abbildung 11: Bode Diagramm des PI-Elements (aus [7]) 12
Abbildung 12: Schaltbild des Operationsverstärkers 13
Abbildung 13: Impedanzwandler (aus [5]) 13
Abbildung 14: Invertierender Verstärker (aus [5]) 14
Abbildung 15: Nichtinvertierender Verstärker (aus [5]) 14
Abbildung 16: Differenzverstärker (aus [5]) 15
Abbildung 17: Summierverstärker (aus [5]) 15
Abbildung 18: Differenzierer - Hochpass (aus [5]) 16
Abbildung 19: Integrierer - Tiefpass (aus [5]) 16
Abbildung 20: Schaltplan des P-Reglers 24
Abbildung 21: Schaltplan des PI-Reglers 25
Abbildung 22: Digitale Regelung mittels Lav View - "Schaltplan" 26
Abbildung 23: Positionsregelung des Wagens mittels Lab View 54

Diese Kopie wurde von Carl Wilhelm Fischer Physik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

1. THEORETISCHE GRUNDLAGEN

1.1. Definitionen

Nach DIN 19 226 gelten folgende Definitionen:
„Das **Steuern** – die Steuerung – ist der Vorgang in einem System, bei dem eine oder mehrere Größen als Eingangsgrößen andere Größen als Ausgangsgrößen auf Grund der dem System eigentümlichen Gesetzmäßigkeiten beeinflussen.
Das **Regeln** – die Regelung – ist ein Vorgang, bei dem eine Größe, die zu regelnde Größe (Regelgröße), fortlaufend erfasst, mit einer andere Größe, der Führungsgröße, verglichen und im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird.“ (aus [2])

Bei einer Regelung liegt also ein geschlossener Wirkungskreislauf vor.

Die *Regelgröße x* wird mit einer Messeinrichtung gemessen und mit der *Führungsgröße w* verglichen. Die *Regeldifferenz* $x_d = w - x$ wird über ein Regelglied verstärkt, man erhält die *Reglerausgangsgröße* y_R. Diese wird meistens mit einem Leistungsverstärker, der Stelleinrichtung, verstärkt, man erhält die *Stellgröße y*. Messeinrichtung, Vergleicher, Regelglied und Stelleinrichtung bilden den **Regler**.
Die Stellgröße ist die Eingangsgröße der **Regelstrecke**, an der *Störgrößen z* wirken. In der Regelstrecke wird die Regelgröße gemäß der Stellgröße verändert. Salopp gesprochen ist die Regelstrecke das komplette System ohne die Regelung.
Regelung und Regelstrecke bilden den Regelkreis.

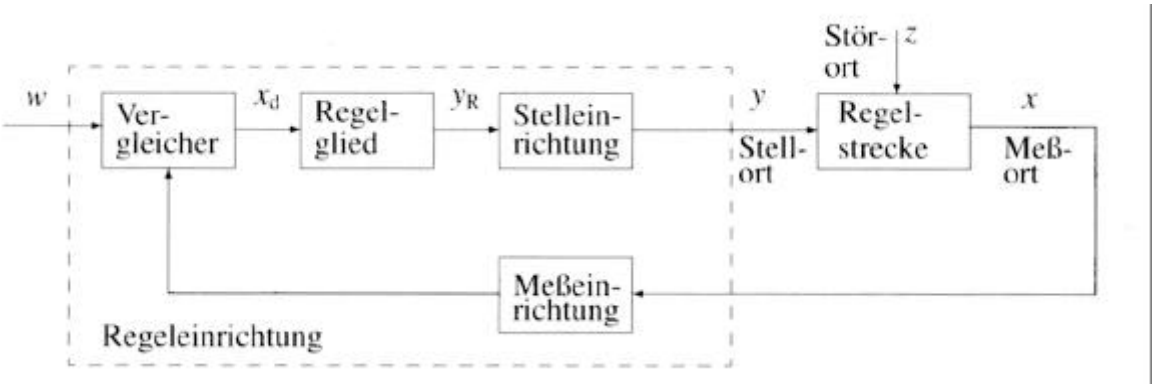


Abbildung 1: Regeltechnische Elemente und Begriffe (aus [7])

1.2. Laplace-Transformation

Die Laplace-Transformation ist ein mathematisches Verfahren zur Lösung von Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten.
Es gelten folgende Transformationsregeln:

$$L\left[f(t)\right] = F(s) = \int_0^\infty f(t)e^{-st}dt, \tag{1}$$

wobei $s = s + iw$ ist.
Für die Rücktransformation gilt:

$$L^{-1}\left[F(s)\right] = f(t) = \oint F(s)e^{st}ds, \tag{2}$$

wobei der geschlossene Integrationsweg in der komplexen Zahlenebene um alle Polstellen von $F(s)$ führt.

Diese Publikation wurde vom Verein Technische Physik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

Die Laplace-Transformation ist linear

$$L(ax+by)=aL(x)+bL(y) \tag{3}$$

und es gelten folgende Rechenregeln:

$$L\left[\frac{d^n}{dt^n}f(t)\right]=s^nL\left[f(t)\right], \tag{4}$$

sofern $\frac{d^u}{dt^u}f(t)=0$ für $u=0...n-1$

Und:

$$L\left[\int f(t)\,dt\right]=\frac{1}{s}L\left[f(t)\right] \tag{5}$$

1.3. Übertragungs- und Frequenzgangfunktion

Das Verhalten von Regelungselementen lässt sich durch folgende Differentialgleichung beschreiben:

$$\sum_n a_n\frac{d^n}{dt^n}x_a(t)=\sum_m b_m\frac{d^m}{dt^m}x_e(t), \tag{6}$$

wobei $x_a(t)$ und $x_e(t)$ die Ausgangs- bzw. Eingangsfunktion des Regelelements ist.

Anwendung der Laplace-Transformation auf (6) ergibt

$$\sum_n a_n s^n x_a(s)=\sum_m b_m s^m x_e(s), \tag{7}$$

Die **Übertragungsfunktion** ist definiert als

$$G(s)=\frac{x_a(s)}{x_e(s)}=\frac{\sum_n a_n s^n x_a(s)}{\sum_m b_m s^m x_e(s)}=\frac{\sum_n a_n s^n}{\sum_m b_m s^m} \tag{8}$$

und hängt somit nicht von x_a und x_e ab.

Betrachtet man nur den Imaginärteil und setzt anstatt s iw in die Übertragungsfunktion erhält man die **Frequenzgangfunktion**:

$$F(iw)=\frac{x_a(iw)}{x_e(iw)} \tag{9}$$

1.4. Bode-Diagramme

Zur Darstellung der Amplituden- und Phasenverhältnisse von Ein- und Ausgangsfunktion verwendet man Bode-Diagramme.

Dazu wird die Frequenzgangfunktion in Polarform dargestellt:

$$F(iw)=\left|F(iw)\right|e^{ij(iw)}, \tag{10}$$

mit

$$\left|F(iw)\right|=\sqrt{\left(\operatorname{Re}F(iw)\right)^2+\left(\operatorname{Im}F(iw)\right)^2} \tag{11}$$

$$j(iw)=\arctan\frac{\operatorname{Im}F(iw)}{\operatorname{Re}F(iw)} \tag{12}$$

Diese Kopie ist nur für den Gebrauch im Fachbereich Physik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

Im Bodediagramm wird der Logarithmus von $\left|F\left(iw\right)\right|$ (manchmal auch $20*\log \hat{=} \mathrm{dB}$) gegen die Frequenz in logarithmischer Darstellung aufgetragen, ebenso die Phase j .

Die Vorteile von Bode-Diagrammen sind:

- Es lassen sich große Frequenz- und Amplitudenbereiche darstellen.
- Eine Reihenschaltung von Übertragungselementen, bei der die Frequenzgänge multipliziert werden, lässt sich als graphische Addition darstellen.
- Der Kurvenverlauf besitzt in allen Frequenzbereichen eine konstante relative Genauigkeit.

1.5. Signalflusspläne

Wirkungs- oder Signalflusspläne werden zur Darstellung der prinzipiellen Wirkungsweise eines Systems verwendet.
Der Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgangsgröße (-funktion) und Übertragungsfunktion wird in Blockdiagrammen dargestellt.
Die Rückwirkungsfreiheit wird durch die Pfeile symbolisiert.

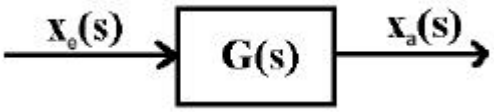


Abbildung 2: Signalflussbild eines Übertragungsblocks

Bei Reihenschaltung von Übertragungsblöcken werden die Übertragungsfunktionen multipliziert, bei Reihenschaltung addiert.

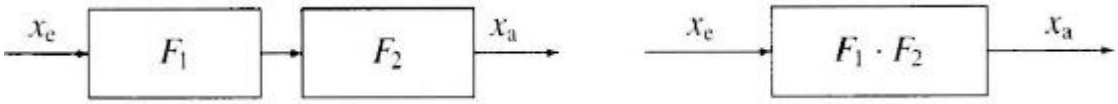


Abbildung 3: Reihenschaltung von Übertragungsblöcken (aus [7])

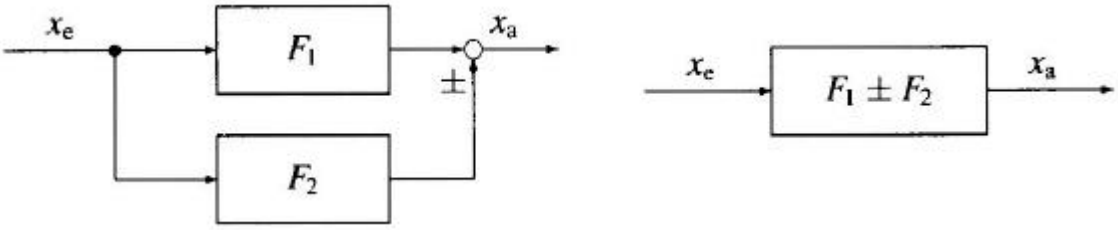


Abbildung 4: Parallelschaltung von Übertragungsblöcken (aus [7])

Die Übertragungsfunktion des geschlossenen Regelkreises berechnet man folgendermaßen:

$$F_g = \frac{F_1}{1+F_1} \tag{13}$$

Diese Kopie ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt. Sie wurde vom Verein Physik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

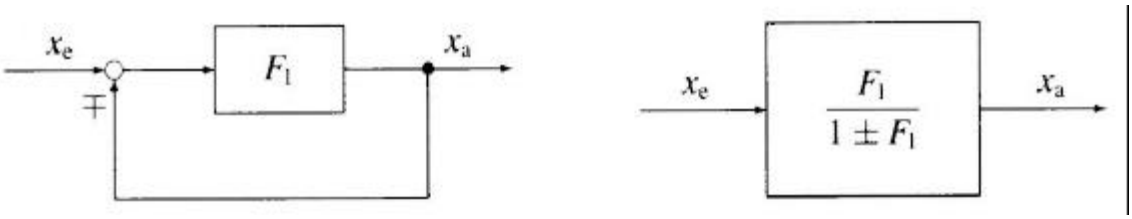


Abbildung 5: Signalflussplan des geschlossenen Regelkreises (aus [7])

1.6. Elemente von Regeleinrichtungen

1.6.1. Das P-Element

Die DGL des Proportionalelements lautet

$$x_a(t) = K_P x_e(t), \tag{14}$$

wobei K_P als Proportionalitätskonstante bezeichnet wird.

Das Eingangssignal wird also unverzögert auf den Ausgang übertragen und je nach Proportionalitätskonstante verstärkt. Ein P-Regler regelt also sehr schnell, allerdings bleibt eine Regeldifferenz bestehen, die in der technischen Ausführung der zu regelnden Objekte begründet liegt.

Die Übertragungsfunktion lautet $G(s) = \frac{x_a(s)}{x_e(s)} = K_P$, dasselbe gilt für die Frequenzgangfunktion $F(iw) = \frac{x_a(iw)}{x_e(iw)} = K_P$.

Für die Darstellung im Bode-Diagramm ergibt sich

$$\log\left|F(iw)\right| = \log K_P \tag{15}$$

$$j(iw) = 0 \tag{16}$$

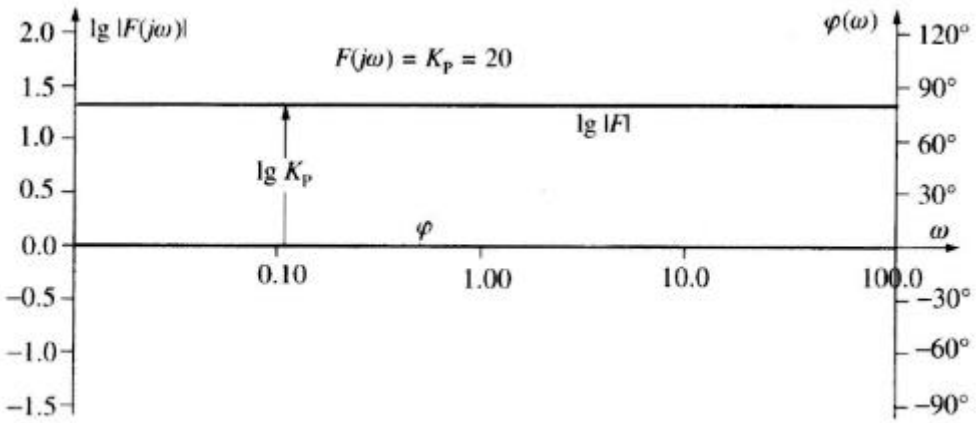


Abbildung 6: Bode Diagramm des P-Elements (aus [7])

Diese Kopie ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt. © Deutsche Physik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

1.6.2. Das PT_1-Element

Die DGL des Proportionalelements mit Verzögerung 1.Ordnung lautet

$$T_1 \frac{d}{dt} x_a(t) + x_a(t) = K_P x_e(t), \tag{17}$$

wobei T_1 als Zeitkonstante bezeichnet wird.

Übertragungs- und Frequenzgangfunktion erhält man wiederum durch Anwendung der Laplace-Transformation:

$$G(s) = \frac{x_a(s)}{x_e(s)} = \frac{K_P}{1 + sT_1}$$

$$F(iw) = \frac{x_a(iw)}{x_e(iw)} = \frac{K_P}{1 + iwT_1}$$

Daraus ergeben sich die für die Darstellung im Bode-Diagramm wichtigen Größen:

$$\log\left|F(iw)\right| = \log K_P - \log\sqrt{1 + w^2 T_1^2} \tag{18}$$

$$j(iw) = -\arctan(wT_1) \tag{19}$$

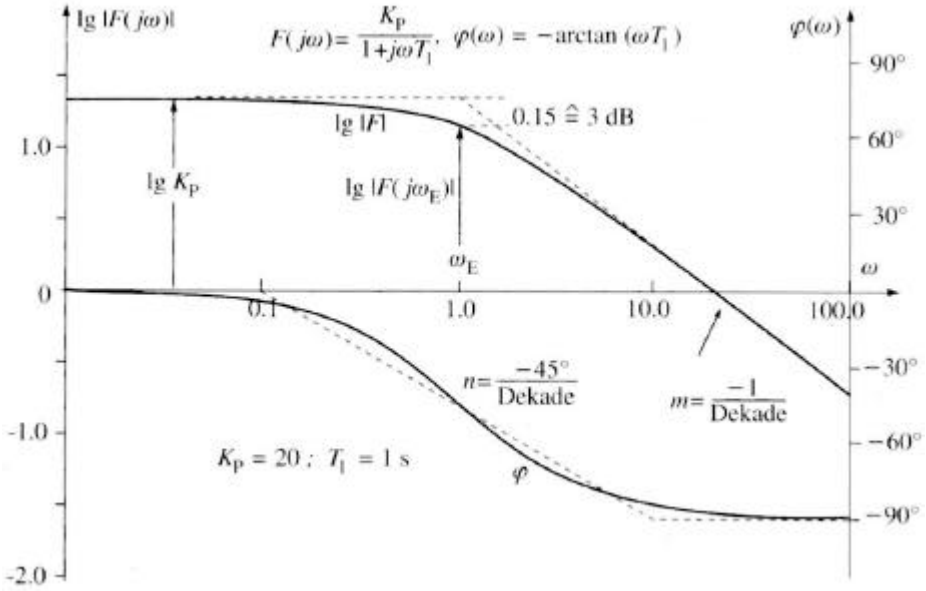


Abbildung 7: Bode Diagramm des PT_1-Elements (aus [7])

Diese Dokumentation wurde vom Verein Wissenschaftsfabrik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

1.6.3. Das PT_2-Element

Die DGL des Proportionalelements mit Verzögerung 2.Ordnung lautet

$$\frac{1}{w_0^2}\frac{d^2}{dt^2}x_a(t)+\frac{2D}{w_0}\frac{d}{dt}x_a(t)+x_a(t)=K_P x_e(t), \tag{20}$$

wobei w_0 die Kernkreisfrequenz ist, die Eigenfrequenz des ungedämpften System. D ist die Dämpfungskonstante, K_P wiederum die Proportionalitätskonstante.

Übertragungs- und Frequenzgangfunktion ergeben sich zu

$$G(s)=\frac{x_a(s)}{x_e(s)}=\frac{K_P}{1+2D\frac{s}{w_0}+\frac{s^2}{w_0^2}}$$

$$F(iw)=\frac{x_a(iw)}{x_e(iw)}=\frac{K_P}{1+2D\frac{iw}{w_0}+\frac{(iw)^2}{w_0^2}}$$

Weiterhin ergibt sich:

$$\log\left|F(iw)\right|=\log K_P-\log\sqrt{\left[1-\left(\frac{w}{w_0}\right)^2\right]^2+\left[2D\frac{w}{w_0}\right]^2} \tag{21}$$

$$j(iw)=-\arctan\left(\frac{2D\frac{w}{w_0}}{1-\left(\frac{w}{w_0}\right)^2}\right) \tag{22}$$

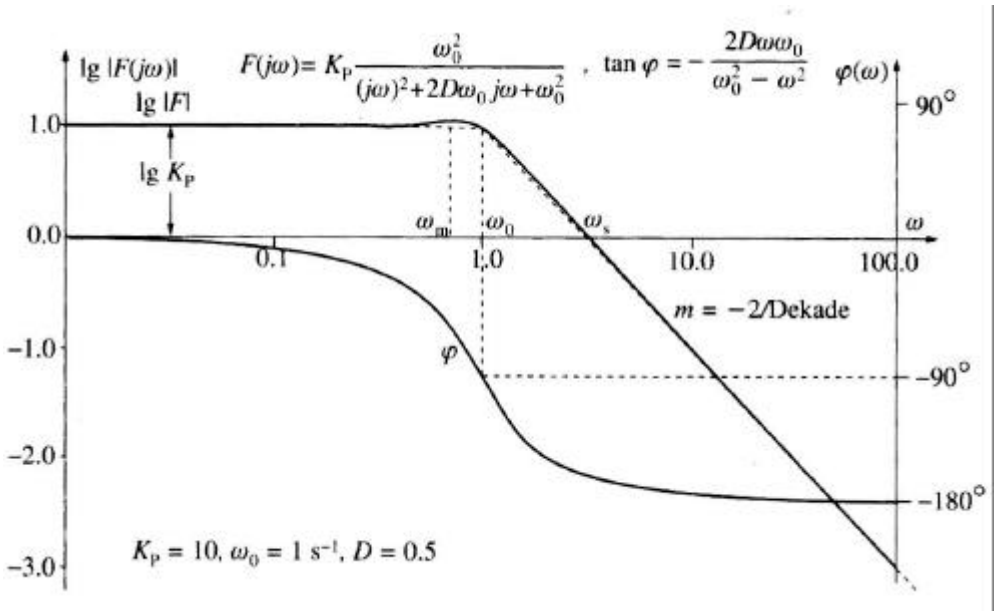


Abbildung 8: Bode Diagramm des PT_2-Elements (aus [7])

Diese Kopie ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt. Sie wurde vom Verein Physik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

1.6.4. Das I-Element

Die DGL des Integralelements lautet

$$x_a(t) = K_I \int x_e(t)\,dt, \tag{23}$$

mit der Integrationskonstante K_I.

Das Integralelement integriert die Eingangsgröße auf, so dass das Problem der bleibenden Regeldifferenz beim Proportionalelement nicht besteht. Die Vorteile von Proportional- und Integralelement, das schnelle Regeln bzw. das Reagieren auch auf kleinste Regeldifferenzen, werden beim PI-Regler kombiniert.(siehe 1.6.6).

Übertragungs- und Frequenzgangfunktion des Integralelements ergeben sich zu

$$G(s) = \frac{x_a(s)}{x_e(s)} = \frac{K_I}{s}$$

$$F(iw) = \frac{x_a(iw)}{x_e(iw)} = \frac{K_I}{iw}$$

Die für das Bode-Diagramm wichtigen Größen berechnen sich zu

$$\log\left|F(iw)\right| = \log K_I - \log w \tag{24}$$

$$j(iw) = -\frac{p}{2} \tag{25}$$

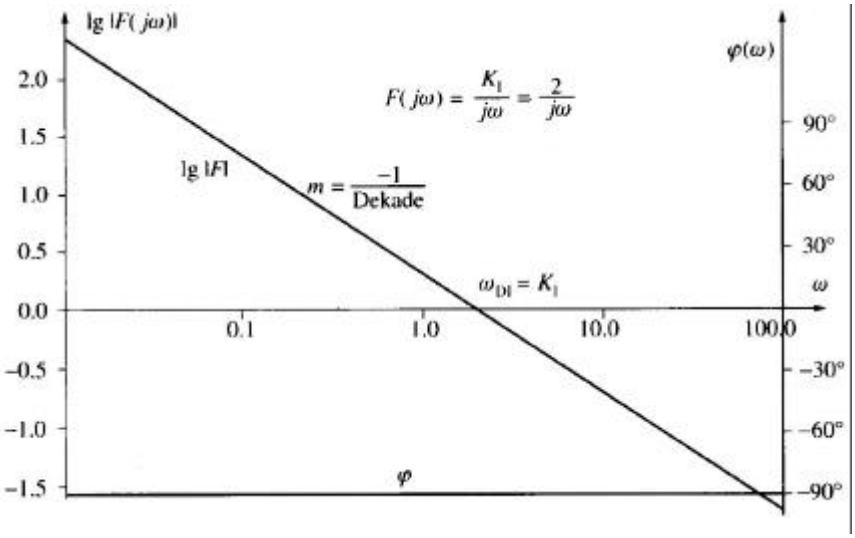


Abbildung 9: Bode Diagramm des I-Elements (aus [7])

Diese Seite wurde freundlicherweise vom Verein Physik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

1.6.5. Das T_t-Element

Bei vielen regeltechnischen Problemen tritt das Totzeitelement auf. Hierbei behält die Ausgangsgröße zuerst ihren Wert, erst nach der Totzeit T_t erfolgt die Regelung.

Die DGL lautet somit

$$x_a(t) = K_P x_e(t - T_t) \tag{26}$$

Die Proportionalitätskonstante K_P tritt beim PT_t-Element auf, beim reinen Totzeitelement ist sie 1.

Übertragungs- und Frequenzgangfunktion erhält man wieder durch Anwendung der Laplace-Transformation:

$$G(s) = \frac{x_a(s)}{x_e(s)} = K_P e^{-sT_t}$$

$$F(iw) = \frac{x_a(iw)}{x_e(iw)} = K_P e^{-iwT_t}$$

Betrag und Phase der Frequenzgangfunktion können gleich abgelesen werden:

$$\log\left|F(iw)\right| = \log K_P \tag{27}$$

$$j(iw) = -wT_t \tag{28}$$

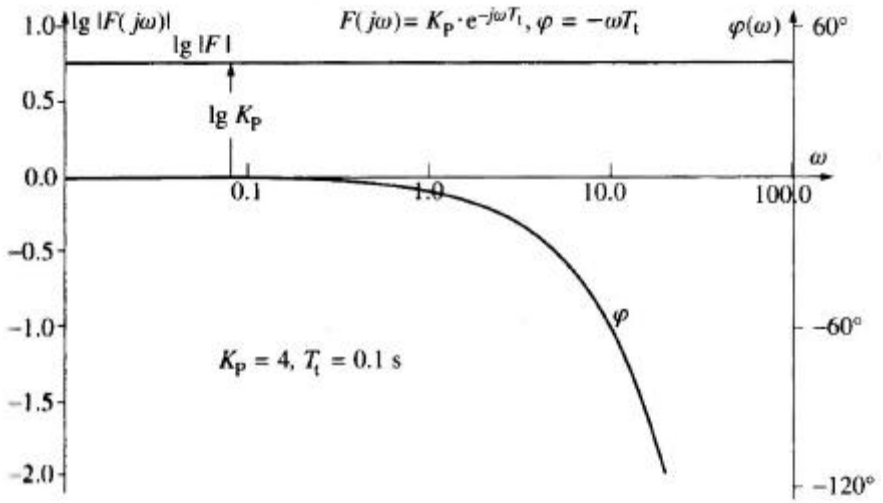


Abbildung 10: Bode Diagramm des T_t-Elements (aus [7])

Diese Kopie ist nur für den Gebrauch im Fachbereich Physik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

1.6.6. Das PI-Element

Beim PI-Regler werden die Vorteile von Proportionalitäts- und Integralregler kombiniert. Dies wird durch eine Parallelschaltung erreicht.
Übertragungs- und Frequenzgangfunktion werden dementsprechend addiert:

$$G(s) = K_P + \frac{K_I}{s}$$

$$F(iw) = K_P + \frac{K_I}{iw}$$

Für Amplitudengang und Phase ergibt sich:

$$\log\left|F(iw)\right| = \log\sqrt{K_P^2 + \frac{K_I^2}{w^2}} \tag{29}$$

$$j\,(iw) = -\arctan\frac{K_I}{wK_P} \tag{30}$$

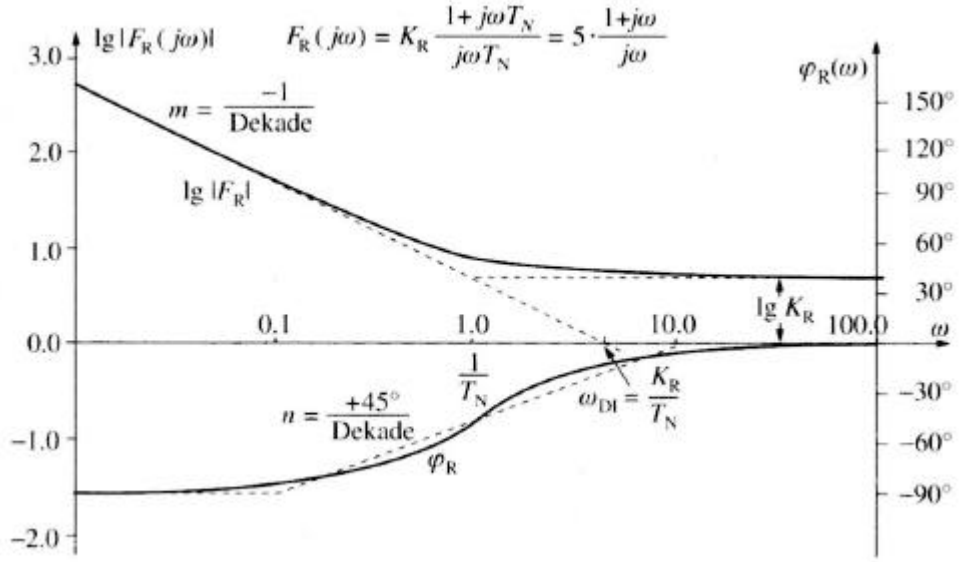


Abbildung 11: Bode Diagramm des PI-Elements (aus [7])

1.7. Der Operationsverstärker

Operationsverstärker sind Differenzverstärker mit zwei Eingängen, von denen einer invertierend wirkt, und einem Ausgang. Die Differenz der Eingangssignale wird verstärkt am Ausgang als Spannung abgegeben. Beim Idealen Operationsverstärker beträgt die Verstärkung unendlich, beim realen liegt sie im Bereich von 10^5. Der Operationsverstärker wird mit einer symmetrischen Versorgungsspannung betrieben, typischerweise mit $\pm 15\text{V}$. Die Ausgangsspannung kann demnach nicht größer als die Versorgungsspannung werden.
Der ideale OPV besitzt einen unendlich großen Eingangswiderstand und einen Ausgangswiderstand von Null. In der Realität ist der Eingangswiderstand hochohmig, der Ausgangswiderstand niederohmig.

Diese Dokumentation wurde von Mitgliedern der Fachschaft Physik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

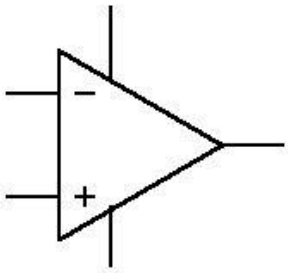


Abbildung 12: Schaltbild des Operationsverstärkers

Im Folgenden werden einige Operationsverstärkerschaltungen vorgestellt. Es werden die Verstärkungen angegeben, genauere Erklärungen der Funktionsweise können aus [5] entnommen werden.

1.7.1. Impedanzwandler

Der Impedanzwandler ist die einfachste Schaltung mit einem Operationsverstärker. Sie besitzt einen Verstärkungsfaktor von eins.
Die Schaltung besitzt einen sehr hohen Eingangswiderstand und einen vernachlässigbaren Ausgangswiderstand. Somit kann ein niederohmiger Verbraucher an eine hochohmige Signalquelle angeschlossen werden, ohne dass die Quelle „zusammenbricht“.

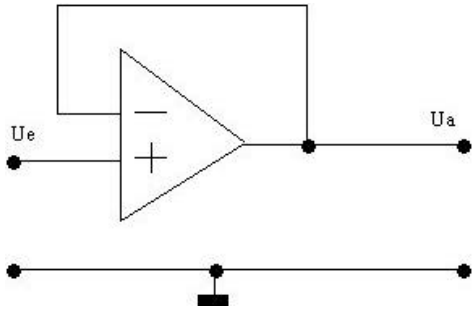


Abbildung 13: Impedanzwandler (aus [5])

1.7.2. Invertierender Verstärker

Beim invertierenden Verstärker wird das Signal am invertierenden Eingang verstärkt und das Vorzeichen geändert. Für die Verstärkung gilt:

$$U_a = -U_e \frac{R_2}{R_1} \tag{31}$$

Diese Dokumentation wurde vom Verein Physik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

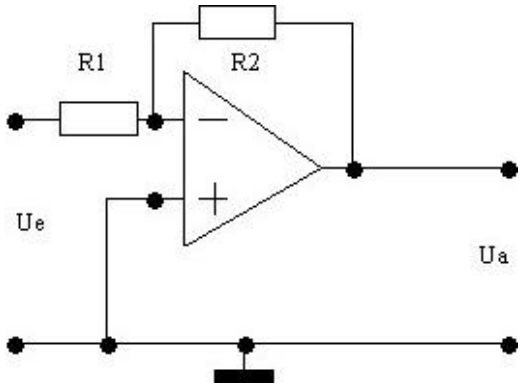


Abbildung 14: Invertierender Verstärker (aus [5])

1.7.3. Nichtinvertierender Verstärker

Beim Nichtinvertierenden Verstärker wird das Signal wiederum verstärkt, allerdings nicht invertiert. Die Verstärkung hängt wie beim nichtinvertierenden Verstärker vom Verhältnis der beiden Widerstände ab:

$$U_a = U_e \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \tag{32}$$

Wie man an (31) und (32) sieht, lässt sich sowohl mit invertierendem als auch mit nichtinvertierendem Verstärker ein Proportionalelement realisieren.

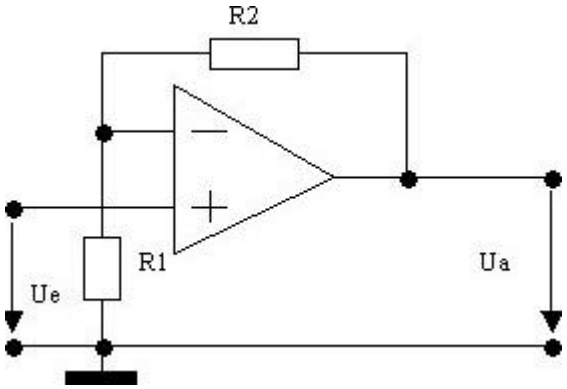


Abbildung 15: Nichtinvertierender Verstärker (aus [5])

1.7.4. Differenzverstärker

Der Operationsverstärker ist an sich ja schon ein Differenzverstärker. Durch seine hohe Verstärkung ließe er sich aber in keinen Schaltungen verwenden, da die Ausgangsspannung ja nicht höher als die Versorgungsspannung werden kann und somit „abgeschnitten“ werden würde.
Deshalb behilft man sich mit zwei Spannungsteilern. Damit die Symmetrie der Eingangssignale stimmt, muss $R_1 = R_2$ und $R_3 = R_4$ sein.
Die Ausgangsspannung beträgt dann

Diese Dokumentation wurde vom Verein Physik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

$$U_a = \frac{R_3}{R_1}\left(U_{e2} - U_{e1}\right) \tag{33}$$

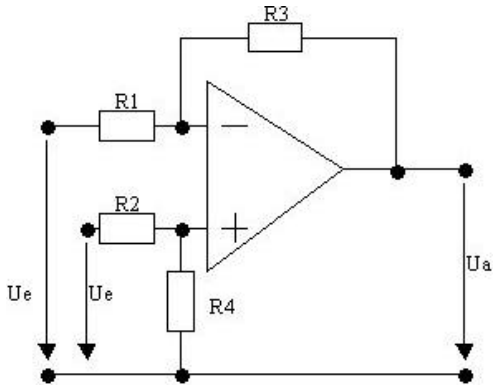


Abbildung 16: Differenzverstärker (aus [5])

1.7.5. Summierverstärker

Der Summierverstärker funktioniert ähnlich wie der invertierende Verstärker, allerdings kommt die Eingangsspannung aus zwei Quellen. Diese Signale werden addiert und verstärkt.

$$U_a = -R_3\left(\frac{U_{e2}}{R_1} + \frac{U_{e1}}{R_2}\right) \tag{34}$$

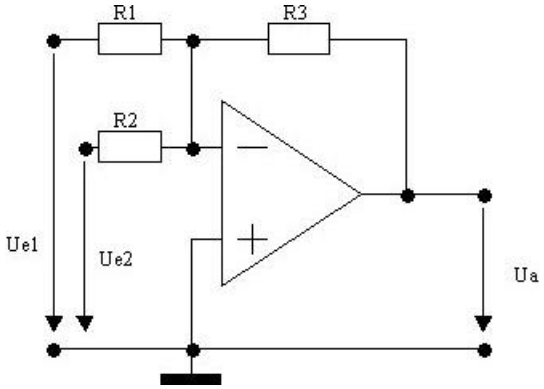


Abbildung 17: Summierverstärker (aus [5])

Diese Dokumentation wurde von Mitgliedern der Physik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

1.7.6. Differenzierer – Hochpass

Bei dieser Schaltung blockt der Eingangskondensator Gleichstrom und niedrige Frequenzen ab ($R_C = \frac{1}{wC}$), sie wirkt somit als Hochpass. Dies entspricht dem mathematischen Differenzieren.

Die Verstärkung hängt von der Frequenz ab:

$$U_a = -U_e R_1 C_1 w \tag{35}$$

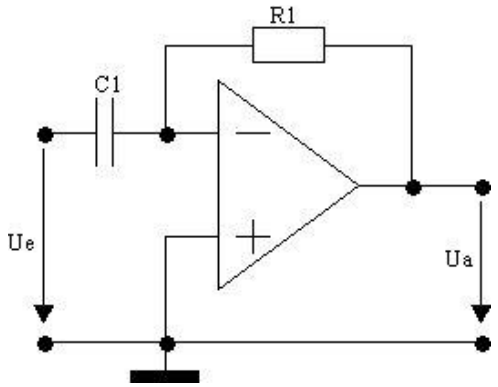


Abbildung 18: Differenzierer - Hochpass (aus [5])

1.7.7. Integrierer – Tiefpass

Auch bei dieser Schaltung hängt die Verstärkung von der Frequenz ab, außerdem natürlich vom Wert des Kondensators:

$$U_a = -U_e \frac{1}{wR_1C_1} \tag{36}$$

Die Integrationskonstante K_I berechnet sich hierbei zu $K_I = \frac{1}{R_1C_1}$.

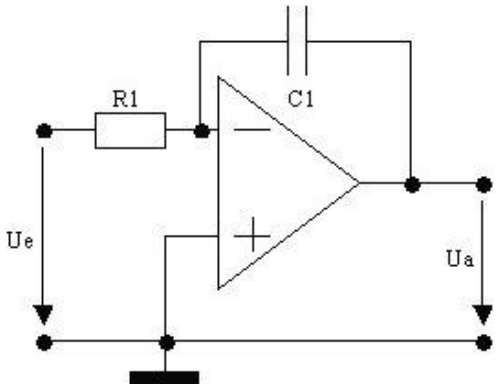


Abbildung 19: Integrierer - Tiefpass (aus [5])

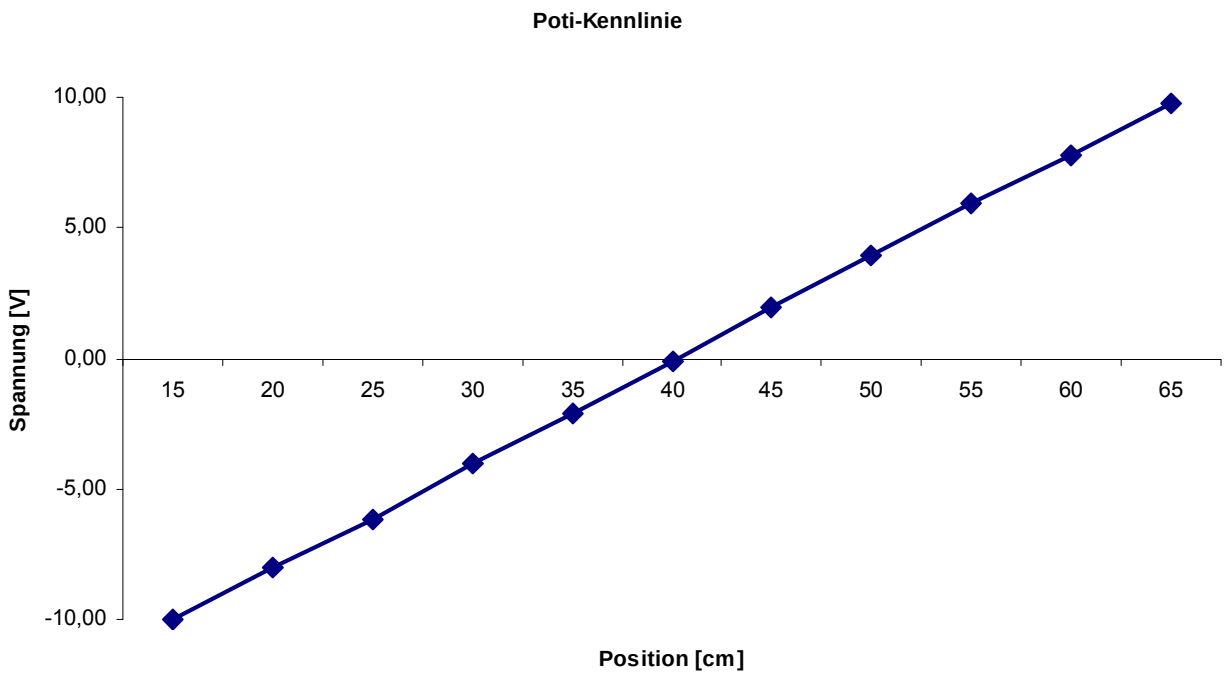
Dieses Dokument wurde am Institut für Wirtschaftsphysik zur Verfügung gestellt.

2. VERSUCHSBESCHREIBUNG & AUSWERTUNG I

Ziel des Versuches ist es, die Position eines Eisenbahnwagens auf einem geraden Gleisstück zu regeln. Der Wagen ist dazu über eine Schnur mit dem Motor verbunden. Die Position des Wagens ist über ein Potentiometer zu messen (Ist-Signal). Die Potentiometerspannung ist somit die Regelgröße, die Reglerausgangsgröße wird mit einen Leistungsverstärker verstärkt und als Stellgröße auf den Motor gegeben.
Die Spannung des Soll-Signals wird von einem Spannungsgenerator geliefert. Das Ist-Signal kann über ein Oszilloskop beobachtet werden.
Weiterhin werden sowohl Ist- als auch Soll-Signal über einen A/D-Wandler digital mit dem Computer aufgezeichnet. Die kontinuierlichen analogen Messwerte werden mit Hilfe des A/D-Wandlers in diskrete, digitale Werte umgewandelt, was bei höheren Frequenzen zu Problemen wegen der geringeren Datenpunktdichte führte.
Die Regelung erfolgt am ersten Versuchstag analog, am zweiten digital.

2.1. Potentiometerkennlinie

Als erstes muss die Potentiometerkennlinie bestimmt werden, damit die Position des Wagens durch die gemessen Poti-Spannung gemessen werden kann. In diesem Versuchsteil überprüften wir die Linearität zwischen der Wagenposition und der Spannung am Potentiometer.
Hierzu wird der Wagen über die Gleisstrecke bewegt, die Position durch ein angelegtes Lineal gemessen und die zugehörige Spannung gemessen.

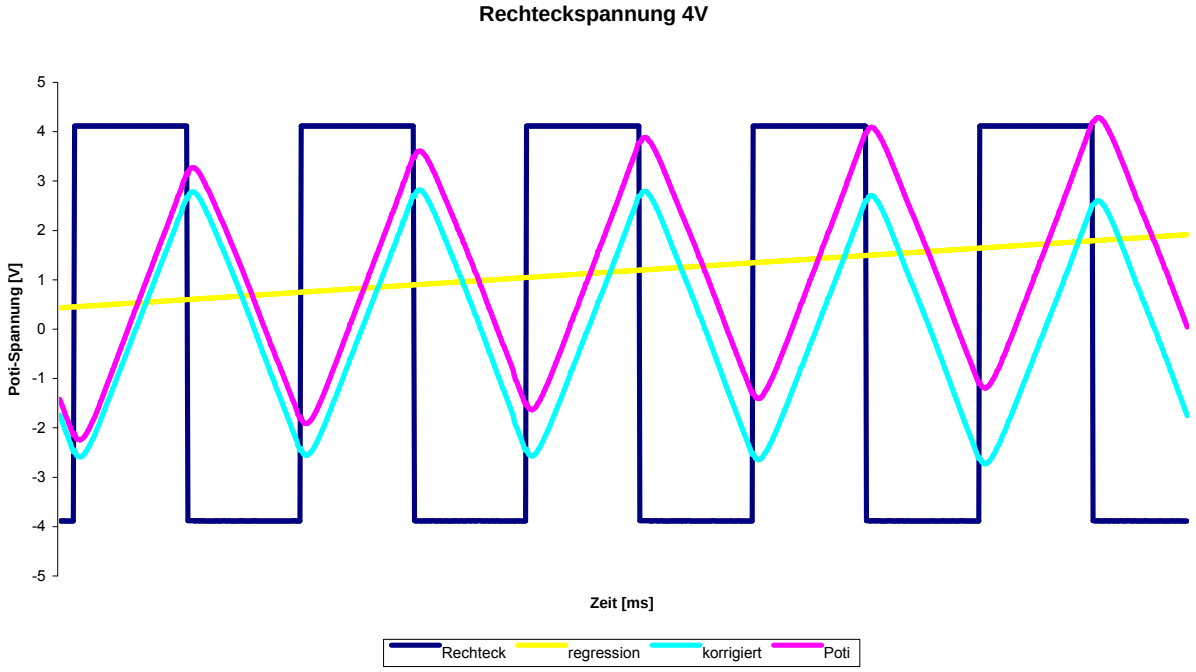


Man kann die Linearität sehr schön erkennen. Mittels linearer Regression haben wir die Steigung der Geraden bestimmt zu $K_{Pot} = 0{,}397 \frac{V}{cm}$.

Diese Unterlagen wurden von Physik-Studenten zur Verfügung gestellt.

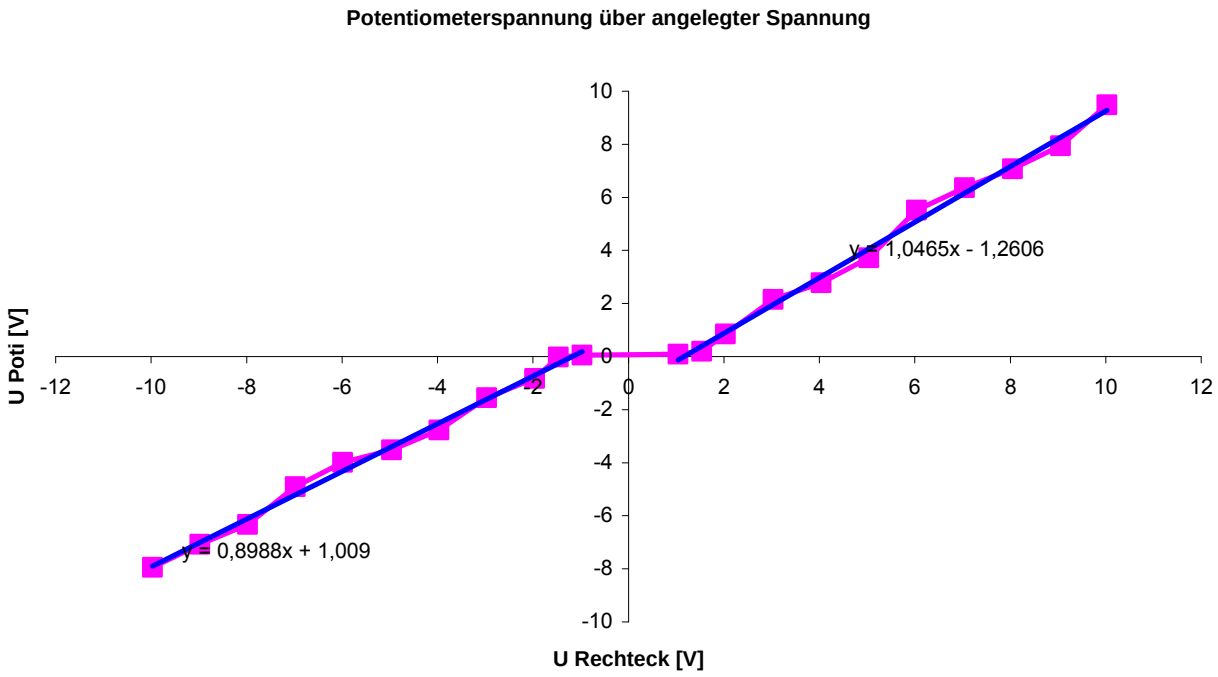
2.2. Motorkennlinie

In diesem Versuchsteil haben wir mit Hilfe von LabView und der Konfiguration „Data Logger“ die auf den Motor gegebene Rechteckspannung und die vom Potentiometer gelieferte Spannung (als ein Maß für die Strecke) aufgezeichnet. Dies machten wir bei einer ganzen Reihe von verschiedenen Spannungsamplituden. Das nachfolgende Diagramm zeigt z.B. den Verlauf der Potentiometerspannung bei einer angelegten Rechteckspannung von 4V:



An diesem Beispiel möchte ich kurz verdeutlichen, wie wir die Diagramme ausgewertet haben.
Man sieht sehr schön, dass der Wagen bzw. der Potentiometer auf die Rechteckspannung mit einer Art Sinus-Verlauf reagiert. Nur leider oszilliert diese Kurve nicht um die x-Achse, sondern ist versetzt und weißt zusätzlich noch eine Art Drift auf. Um brauchbare Werte zu erhalten, haben wir mittels Regression die Regressionsgerade bestimmt und eine korrigierte, um die x-Achse oszillierende Kurve erhalten. Diese Arbeit mussten wir uns leider bei allen Messungen machen, da immer ein gewisser Drift auftrat.
Tragen wir nun in einem zweiten Diagramm die maximalen, bzw. minimalen Werte der Potentiometerspannung über den Werten der angelegten Rechteckspannung auf, so erhalten wir folgendes Diagramm:

Dieses Dokument wurde am Institut für Physik zur Verfügung gestellt.

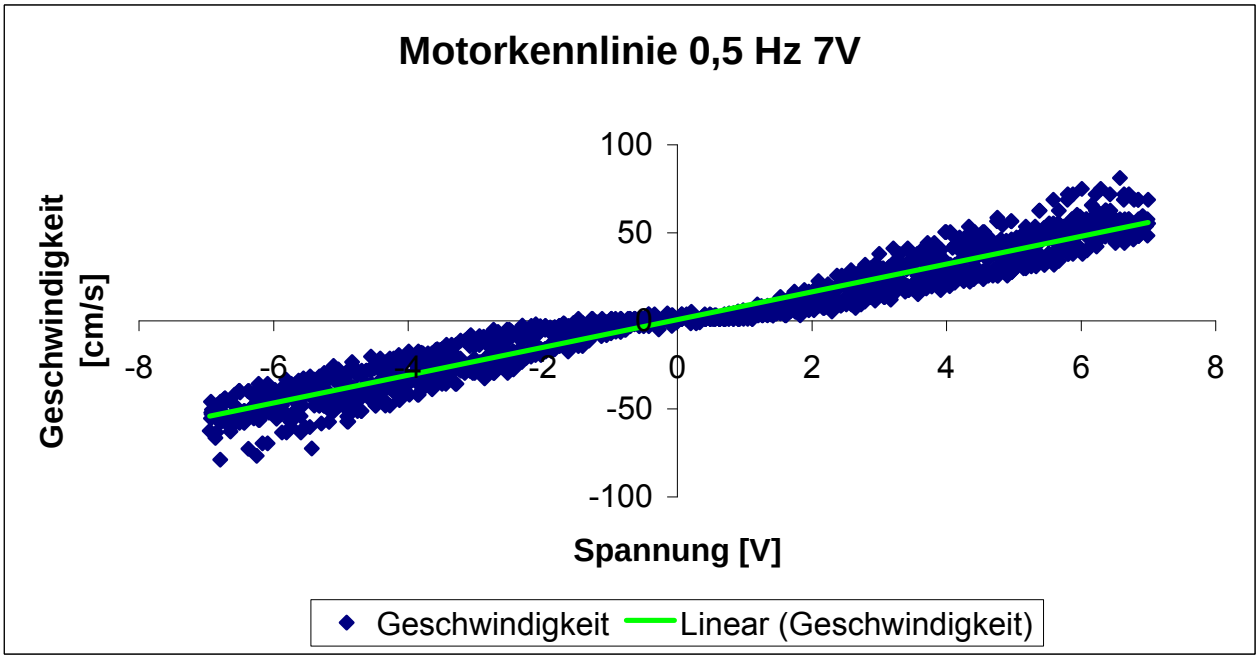


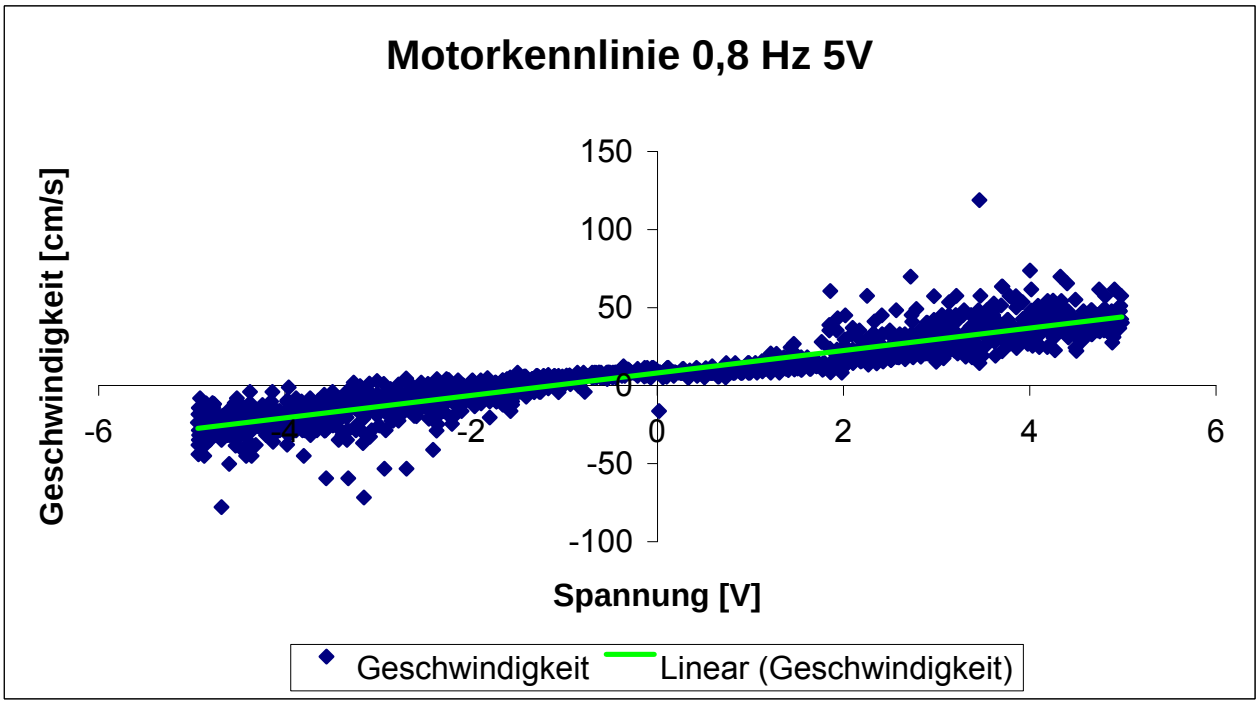
Man erkennt am Diagramm sehr deutlich, dass sich der Wagen bei einer angelegten Spannung im Bereich von –1V bis 1V praktisch nicht bewegt. Man erkennt darüber hinaus noch, dass wenn sich der Wagen erst einmal bewegt, es einen linearen Zusammengang zwischen seiner Position und der angelegten Spannung gibt. Bestimmen wir mittels linearer Regression die beiden Steigungen in den Teilästen, so fällt auf, dass sie sich unterscheiden. Die beiden Steigungen unterscheiden sich um ca. 14%. Das ist schon ziemlich viel, wobei ein Teil sicherlich durch die Messengenauigkeit zu erklären ist. Der nicht wegdiskutierte Teil ist für das Driften des Wagens nach links verantwortlich und dieses erklärt.

Als nächstes wurde die Motorkennlinie bestimmt, d.h. die Geschwindigkeit in Abhängigkeit der am Motor anliegenden Spannung. Hierzu wurde an den Motor eine Dreieckspannung bei verschiedenen Frequenzen und Amplituden angelegt und wieder mittels des „Data Loggers“ aufgezeichnet. Mit diesen Daten bestimmten wir die Geschwindigkeits-Spannungs-Kennlinie.
Die Geschwindigkeit des Wagens berechnet sich über:

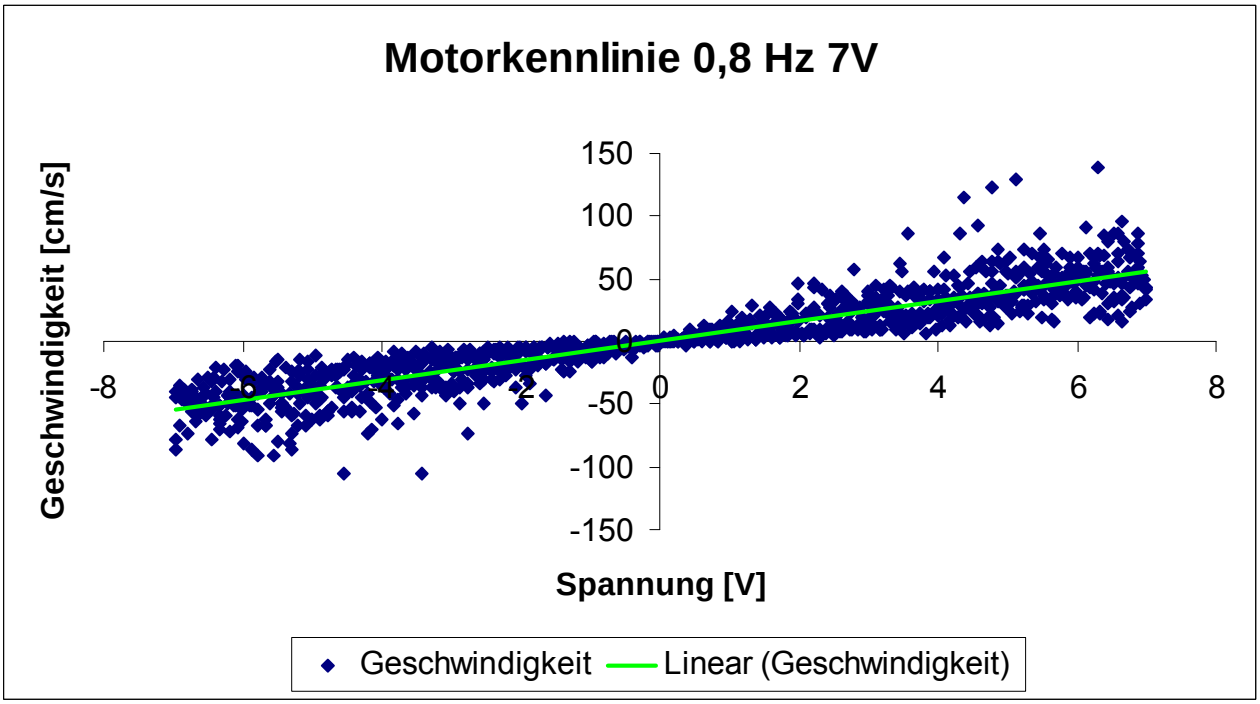
$$v(U_{angelegt}) = \frac{\Delta U_{Poti}}{K_{Pot} \cdot \Delta t} \tag{37}$$

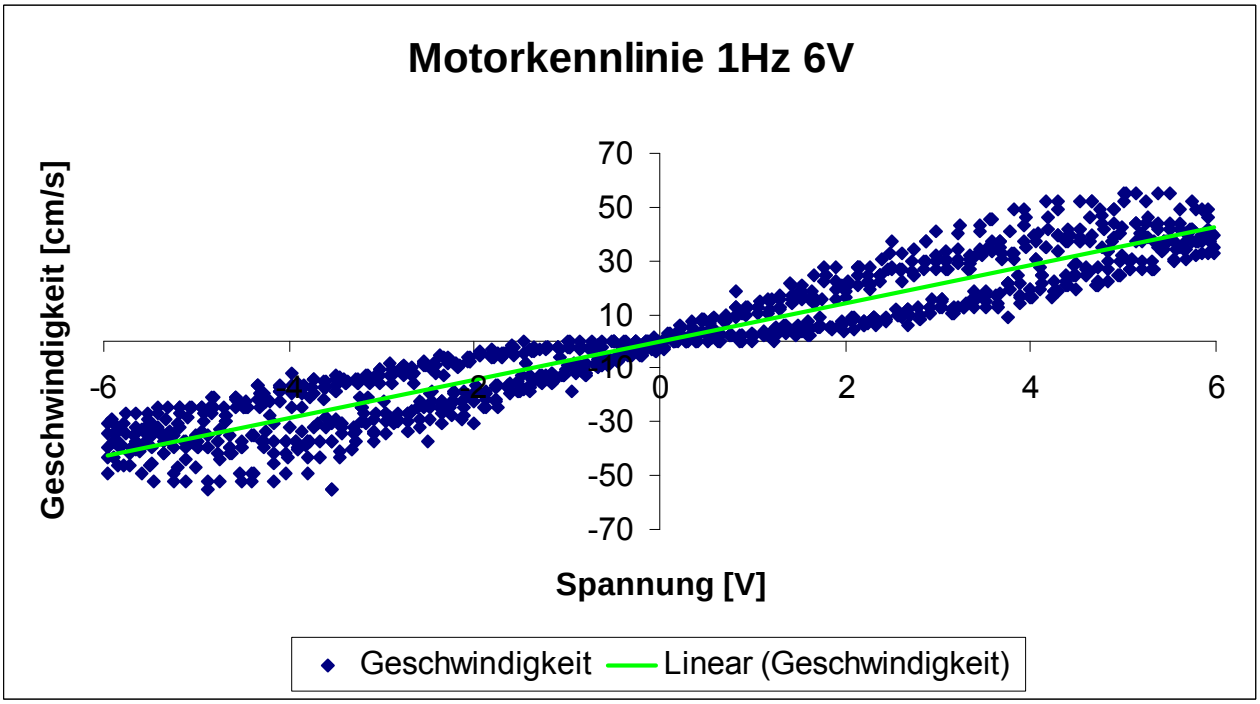
Diese Unterlage wurde der Fachschaft Physik zur Verfügung gestellt.



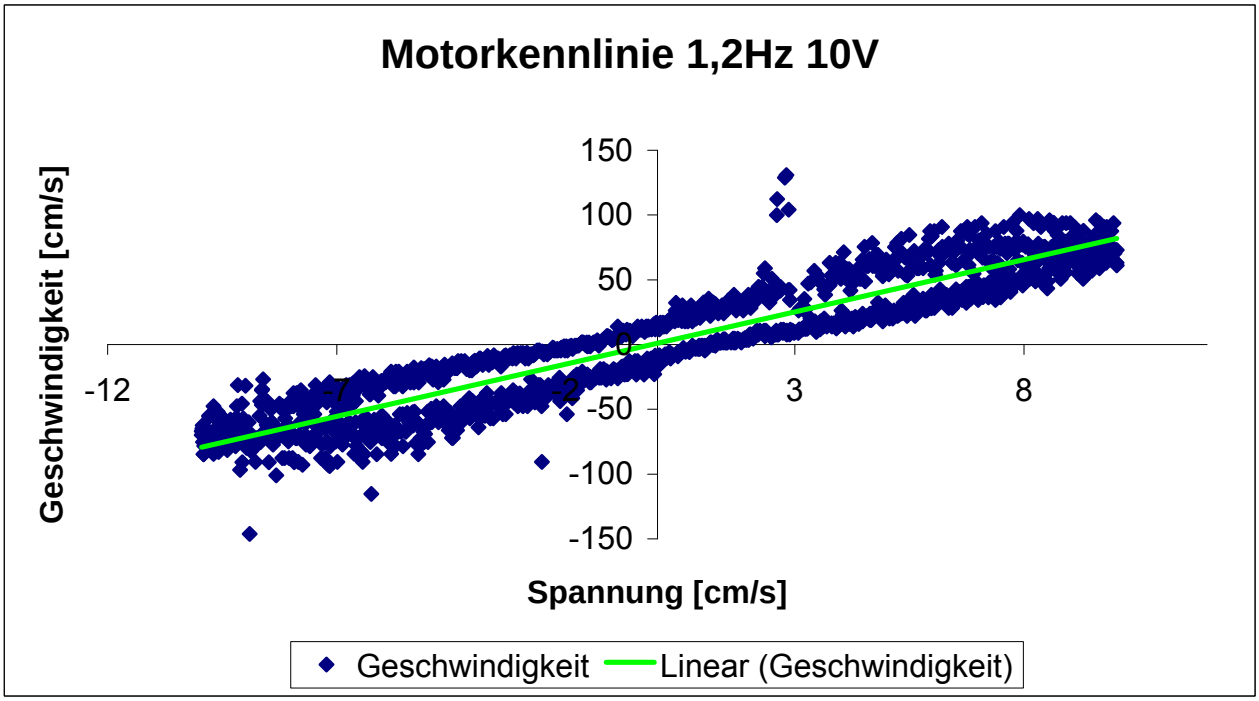


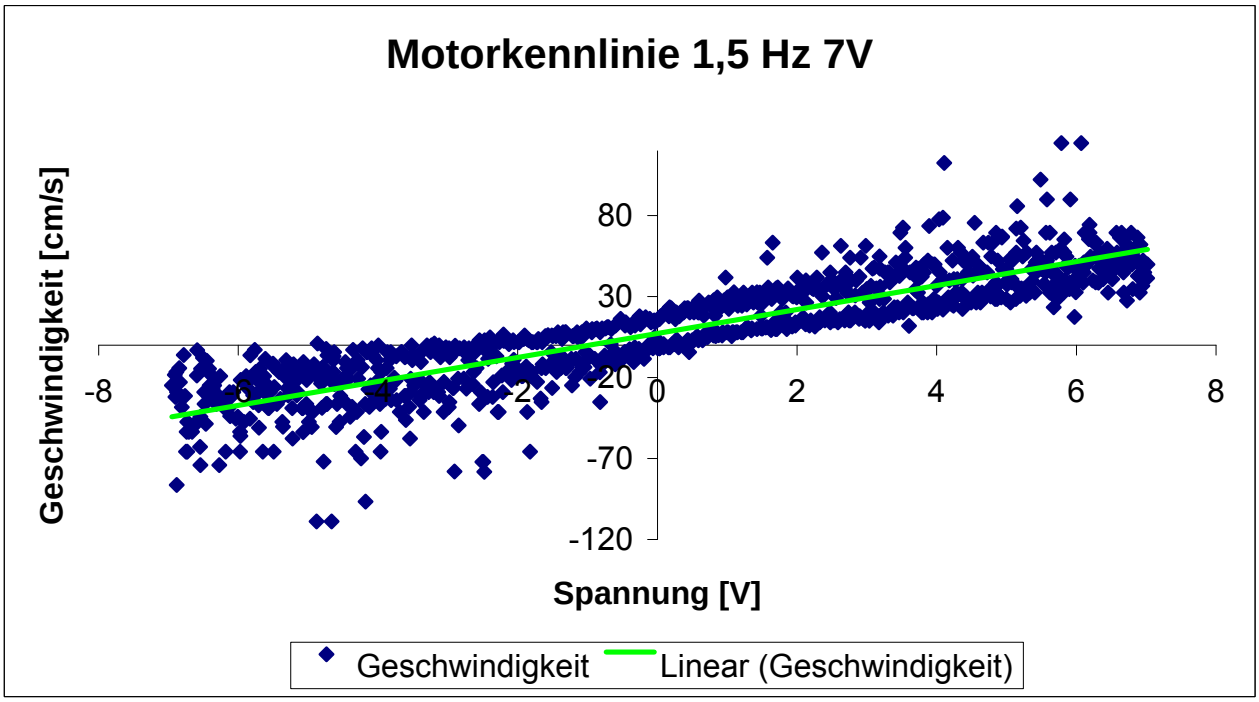
Dieses Dokument wurde am Institut für Physik der Universität Ulm zur Verfügung gestellt.



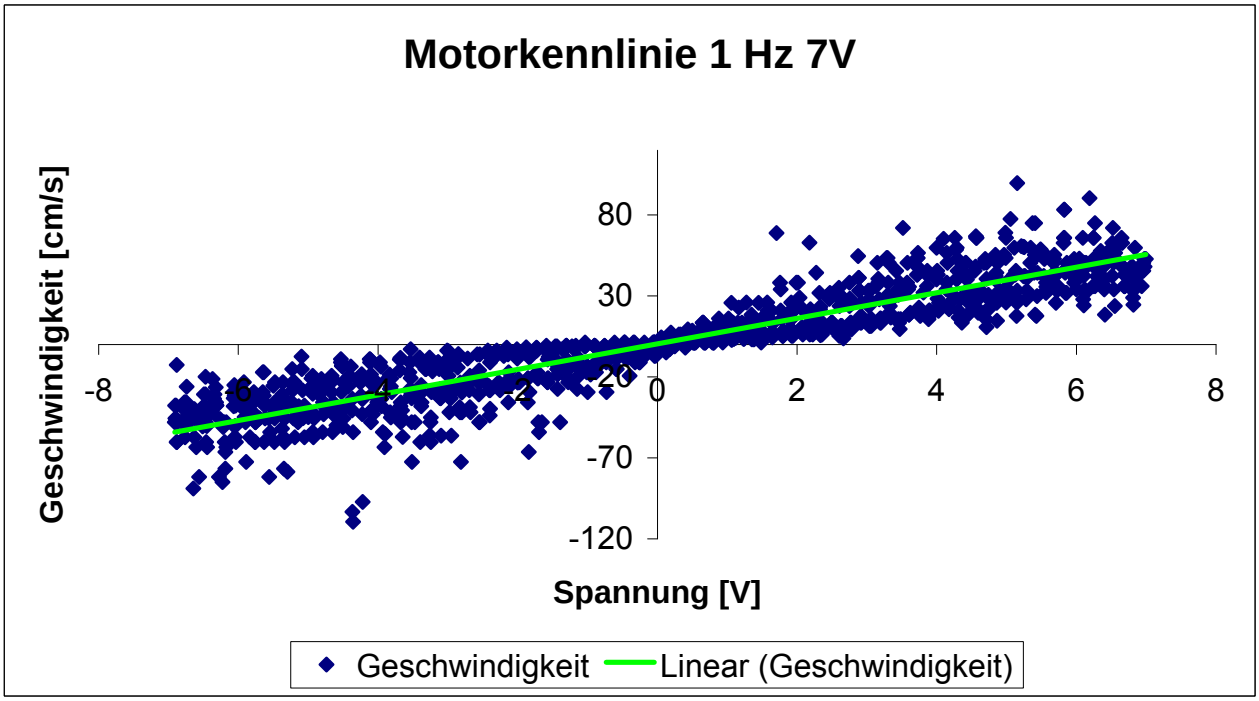


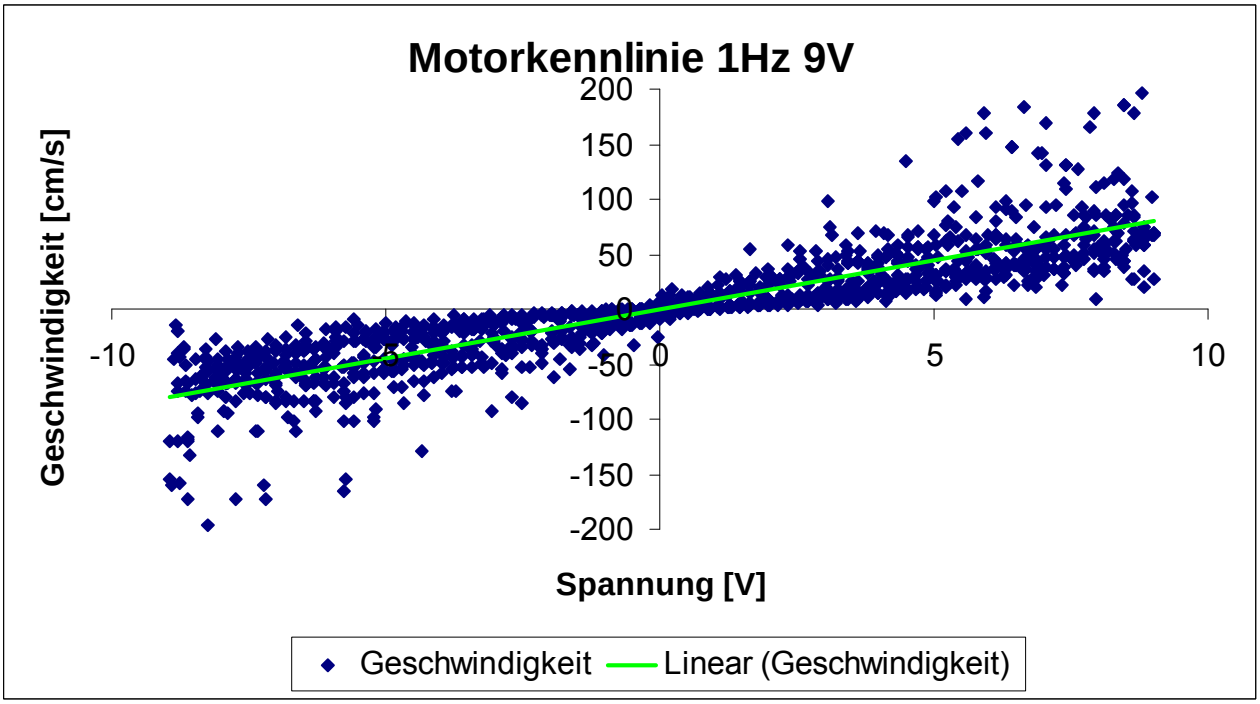
Dieses Dokument wurde durch Studentischer Physik Tutorium zur Verfügung gestellt.





Diese Unterlage wurde der Fachschaft Physik zur Verfügung gestellt.





Diese Unterlage ist ausschließlich für den Unterricht am Institut für Physik der Universität Duisburg bestimmt und darf nicht weitergegeben werden. Sie wird Ihnen zur Verfügung gestellt.

Der Motor verhält sich wie ein Integrationselement (bei hohen Frequenzen bewegt sich der Wagen nicht mehr). Dieser Versuchsteil war daher nötig, um die Integrationskonstante des Motors zu bestimmen. Diese haben wir ermittelt aus dem Mittelwert des Steigungen der Geraden zu: $K_{Motor} = 7,6989$ bei einer Standardabweichung von 0,615.
Jede nachfolgend betrachtete Schaltung setzt sich zusammen aus der jeweiligen Eigenheit der Schaltung und einer Reihenschaltung von Motor und Potentiometer.
Für den Zusammenhang zwischen Eingangsspannung und Ausgangsspannung gilt:

$$x_a(t) = K_{Poti} \cdot K_{Motor} \cdot \int x_e(t)dt = K_1 \cdot \int x_e(t)dt \qquad (38)$$

Mit den von uns bestimmten Werten folgt für K_1:

$$K_1 = 0,397 \cdot 7,6989 = 3,056.$$

2.3. Analoge Regelung

Ziel war es, den Wagen gemäß einer Sinusspannung bei verschiedenen Frequenzen zu regeln, und zwar bei optimalem, zu schnellem und zu langsamem Eingreifen der Regeleinheit. Außerdem sowohl bei offenem als auch geschlossenem Regelkreis. Der Regler wurde mit einem Rechtecksignal eingestellt (zu langsam, optimal, zu schnell), für die Messung wurde auf Sinusspannung umgeschaltet.
Es wurde einmal ein P-Regler verwendet, dann die Messung mit einem PI-Regler wiederholt. Die entsprechenden Schaltpläne zeigen Abbildung 20 und Abbildung 21. Der P-Anteil wurde durch ein Potentiometer variiert, der I-Anteil (falls vorhanden) konstant gehalten.
Zuerst wurde als Eingangsglied der Schaltung ein Differenzverstärker verwendet. Jedoch konnte damit kein optimales Regelergebnis erzielt werden. Mit dem im Schaltplan eingezeichneten Summierverstärker wurde dies erreicht. Warum die Schaltung mit Differenzverstärker nicht zufriedenstellend funktionierte, war nicht festzustellen.

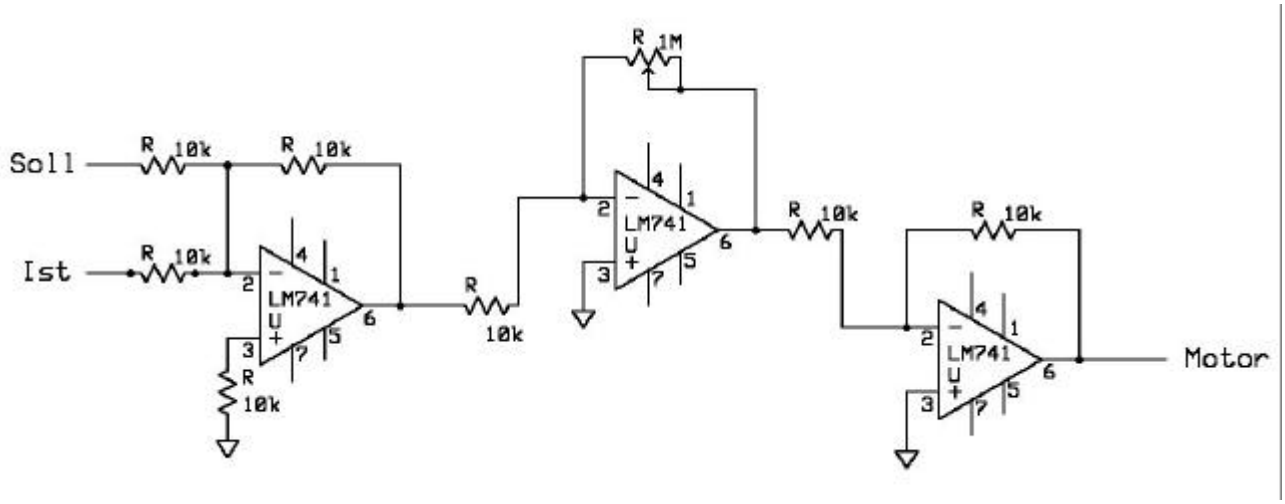


Abbildung 20: Schaltplan des P-Reglers

Diese Unterlagen wurden vom Fachschaft Physik/Mathematik zur Verfügung gestellt.

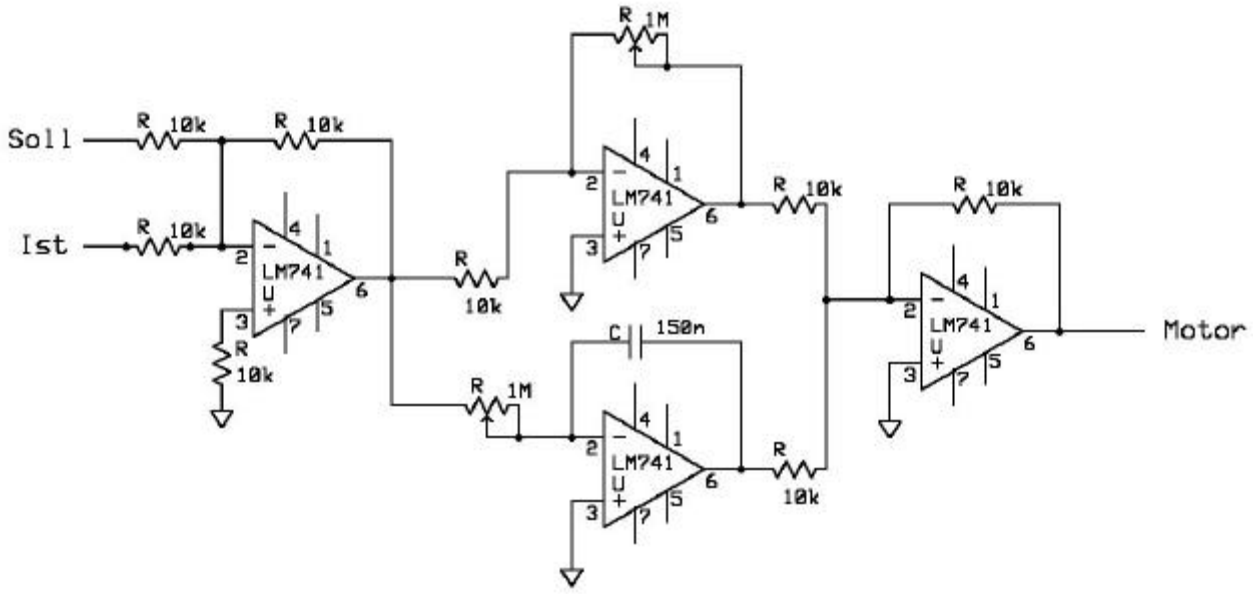


Abbildung 21: Schaltplan des PI-Reglers

2.4. Digitale Regelung

Am zweiten Versuchstag wurde der Zug digital geregelt. Hierbei wurde die Reglerausgangsgröße über einen D/A-Wandler auf den Leistungsverstärker gegeben und damit der Motor gesteuert.
Die digitale Regelung an sich geschah mit dem Programm Lab View. Gemessen wurde wieder mit P- und PI-Regler, bei zu langsamer, optimaler und zu schneller Regelung. Allerdings beschränkten sich die Messungen auf den geschlossenen Regelkreis.
Den Aufbau der „Schaltung“ in Lab View zeigt Abbildung 22.
Zum Schluss wurde die Schaltung zu einer Positionsregelung modifiziert. Es wird eine Schienenposition vorgegeben, der Wagen wird auf diese Position geregelt.

Diese Unterlage wurde der Fachschaft Physik zur Verfügung gestellt.

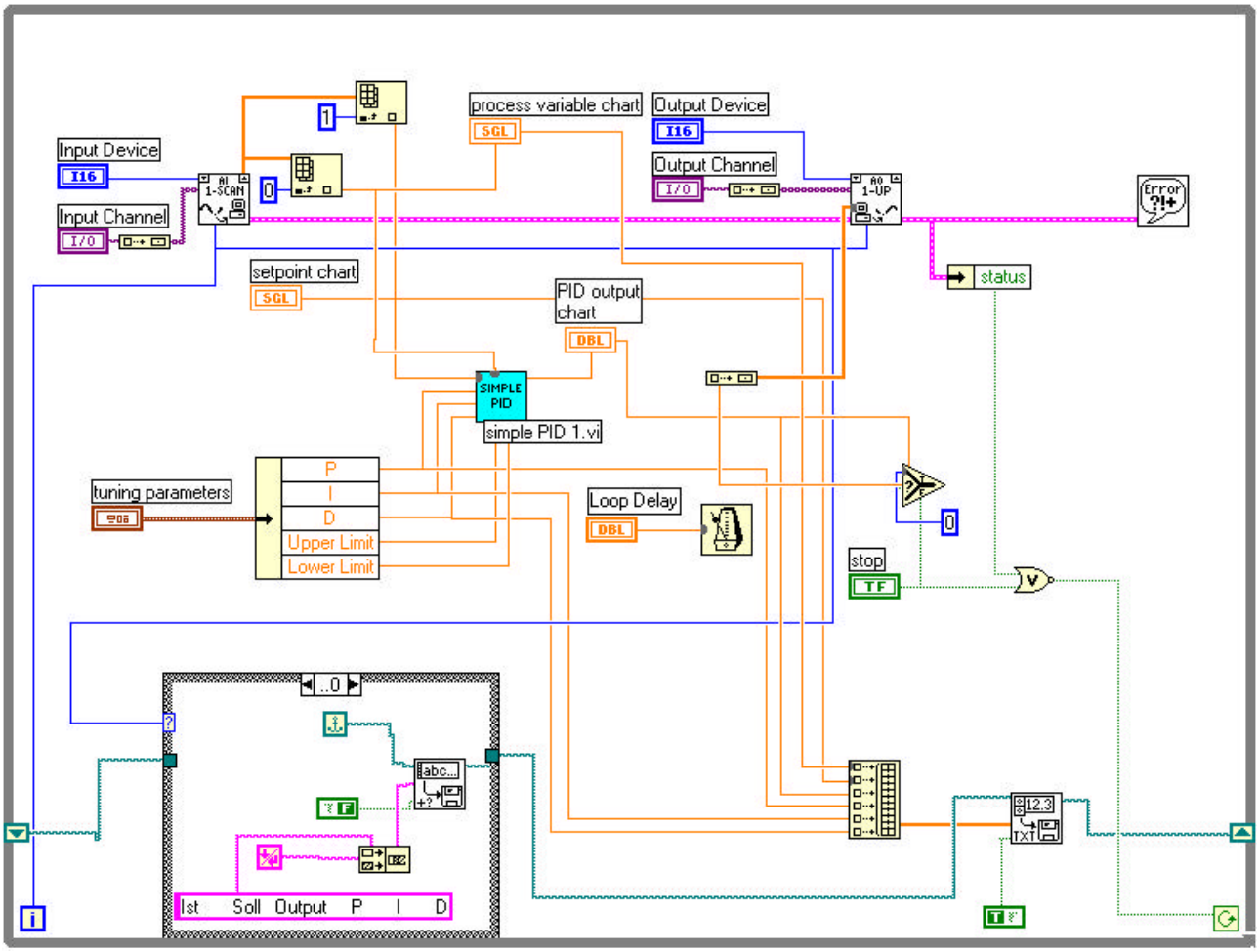


Abbildung 22: Digitale Regelung mittels Lav View - "Schaltplan"

Diese Publikation wurde von der Fachschaft Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

3. AUSWERTUNG DER REGELUNGEN

3.1. Analoge Regelung

Bei den Bode-Diagrammen der Phase bei der analogen Regelung wurden alle Messwerte um p nach oben korrigiert, damit sie mit der Theorie übereinstimmen. Es ist anzunehmen, dass ein systematischer Fehler vorlag und die Phasedifferenz um p verschoben gemessen wurde. Vermutlich wurde eine Spannung phasenverkehrt aufgenommen.
Auch bei diesem Versuchsteil hatten wir wieder das Problem, dass das vom Potentiometer zurückgelieferte Sinus-Signal nicht symmetrisch um die x-Achse oszillierte, sondern auch einen Drift aufwies. Dieser wurde von uns beim P-Regler wie in Abschnitt 2.2 bereits erläutert mittels Regression erfasst und korrigiert. So ließ sich sehr leicht das Maximum und das Minimum der Amplitude ermitteln. Über geeignete Bereiche (3-10 Perioden) gemittelt, konnten wir daraus das Amplitudenverhältnis bestimmen. Die Phasenverhältnisse, sowie die Amplitudenverhältnisse des PI-Reglers wurden von Hand bestimmt.
Zur Ermittlung der Phasenverhältnisse betrachteten wir die Nulldurchgänge von äquivalenten Perioden des Poti-Signals und des Soll-Signals. Diese wurden gemessen und in Beziehung zu einer vollen Periode des Soll-Signals gesetzt.
In den Bode-Diagrammen tragen wir dann jeweils den Quotienten aus Ist- und Sollwert über der Kreisfrequenz auf. Bzw. genauer gesagt tragen wir 20 Mal den Logarithmus vom Quotienten auf. In das selbe Diagramm zeichnen wir noch die Theoriekurve ein. Dabei sind wir für die Theoriekurve durchgängig davon ausgegangen, dass es sich um einen reinen P- bzw. PI-Regler handelt. In Wirklichkeit hätten wir aber ein PT1 oder sogar PT2 Element. Dazu kommt dann auch noch ein Totzeitelement, was der Sache keine neue Erkenntnis verleiht, sondern nur zu allgemeinen Verwirrung beiträgt. Wir haben also die Realität gegen die Verständlichkeit und damit auch durch nicht ganz so passende Theoriekurven eingetauscht.

3.1.1. P-Regler

Im ersten größeren Versuchsteil betrachten wir ein reines Proportionalelement. Das analoge Regelglied wird aus drei Operationsverstärkern und diversen Widerständen gemäß Abbildung 20 auf einer Stecktafel aufgebaut.
Betrachten wir uns zunächst den offenen Regelkreis.
Unter Einbeziehung des Motors als Integralelement und des Potentiometers als P-Element erhalten wir:

$$F_{offen}(iw) = \frac{K_p K_1}{iw} \tag{39}$$

Für den Betrag der Übertragungsfunktion gilt:

$$\left|F_{offen}(iw)\right| = \frac{K_p K_1}{w} \tag{40}$$

Daraus errechnet sich die Theoriekurve zu:

$$20 \cdot \log\left|F_{offen}(iw)\right| = 20 \cdot \log \frac{K_p K_1}{w} \tag{41}$$

Der Proportionalitätsfaktor K_p der Regelung erhalten wir aus der Division des Widerstandes des Potentiometers durch 10kOhm, also:

$$K_p = \frac{R_{Poti}}{10k\Omega}.$$

Die Phase des offenen Regelkreises bleibt theoretisch konstant bei –90°.

Für den geschlossenen Regelkreis erhalten wir:

Diese Ausarbeitung ist Eigentum der Fachschaft Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

$$F_{geschlossen}(iw) = \frac{F_{offen}(iw)}{1 + F_{offen}(iw)} \tag{42}$$

und damit für den Betrag der Übertragungsfunktion:

$$\left|F_{geschlossen}(w)\right| = \frac{\left|F_{offen}(w)\right|}{\sqrt{1 + \left|F_{offen}(iw)\right|^2}} = \frac{\left|\frac{K_p K_1}{w}\right|}{\sqrt{1 + \left|\frac{K_p K_1}{w}\right|^2}} \tag{43}$$

Die Phase des geschlossenen Regelkreises errechnet sich ja aus:

$$j_{geschlossen} = \arctan\left(\frac{\mathrm{Im}\left(F_{geschlossen}(iw)\right)}{\mathrm{Re}\left(F_{geschlossen}(iw)\right)}\right) \tag{44}$$

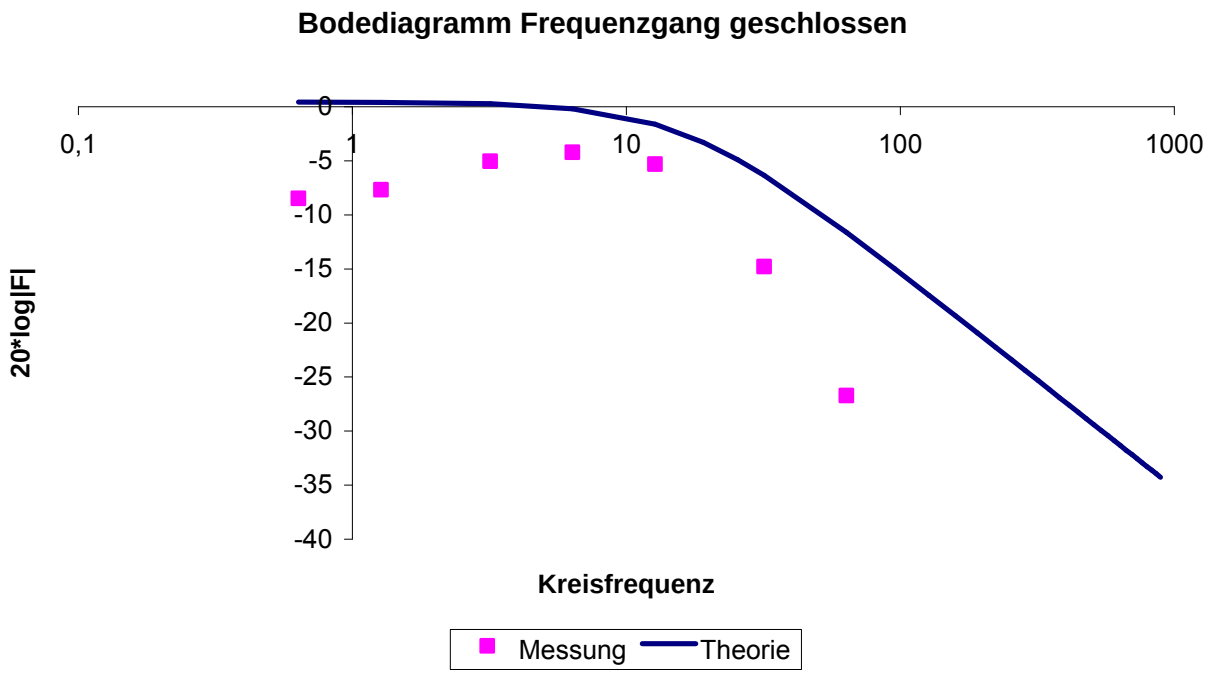
Dies haben wir uns mit Maple errechnen lassen. Die theoretische Phase lautet:

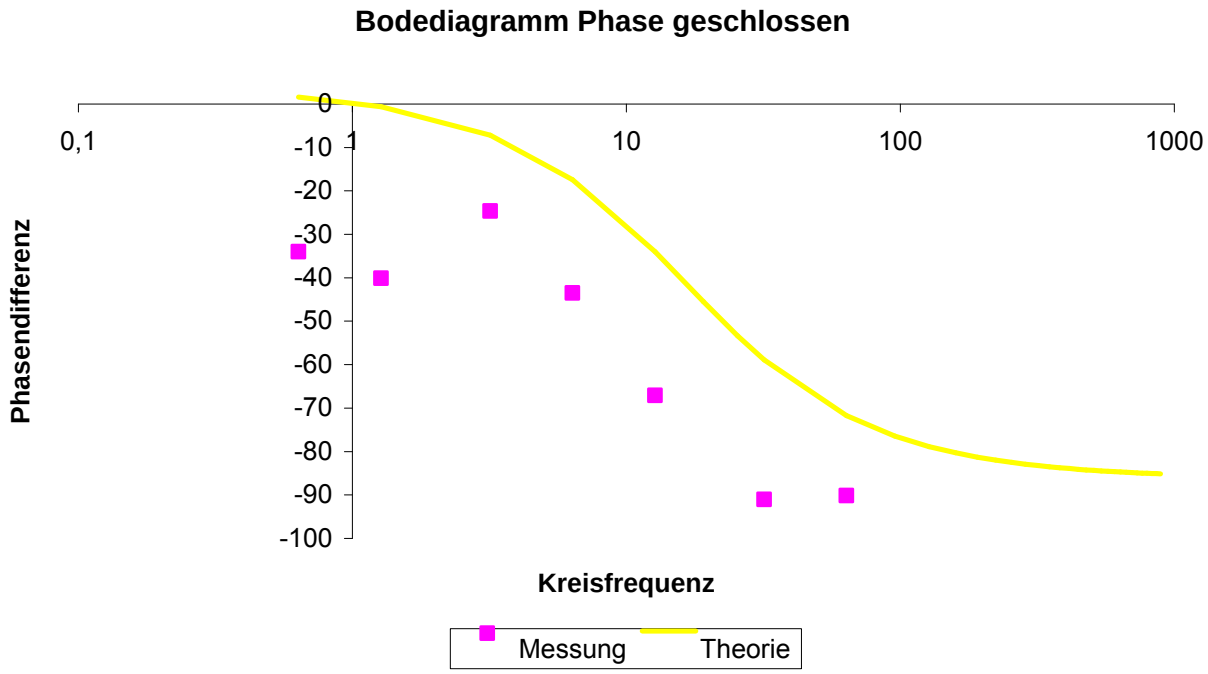
$$j_{geschlossen} = -\arctan\left(\frac{w}{K_p K_1}\right) \tag{45}$$

Diese Ausarbeitung ist von FTWN Naturwissenschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

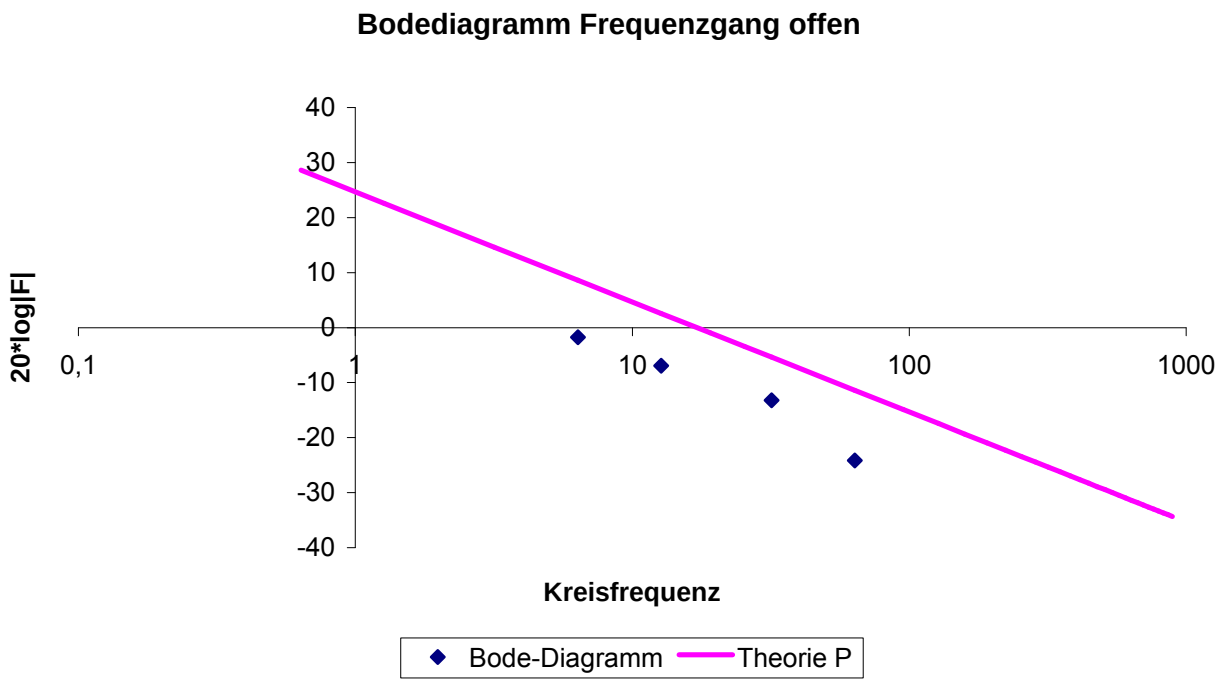
zu langsame Regelung

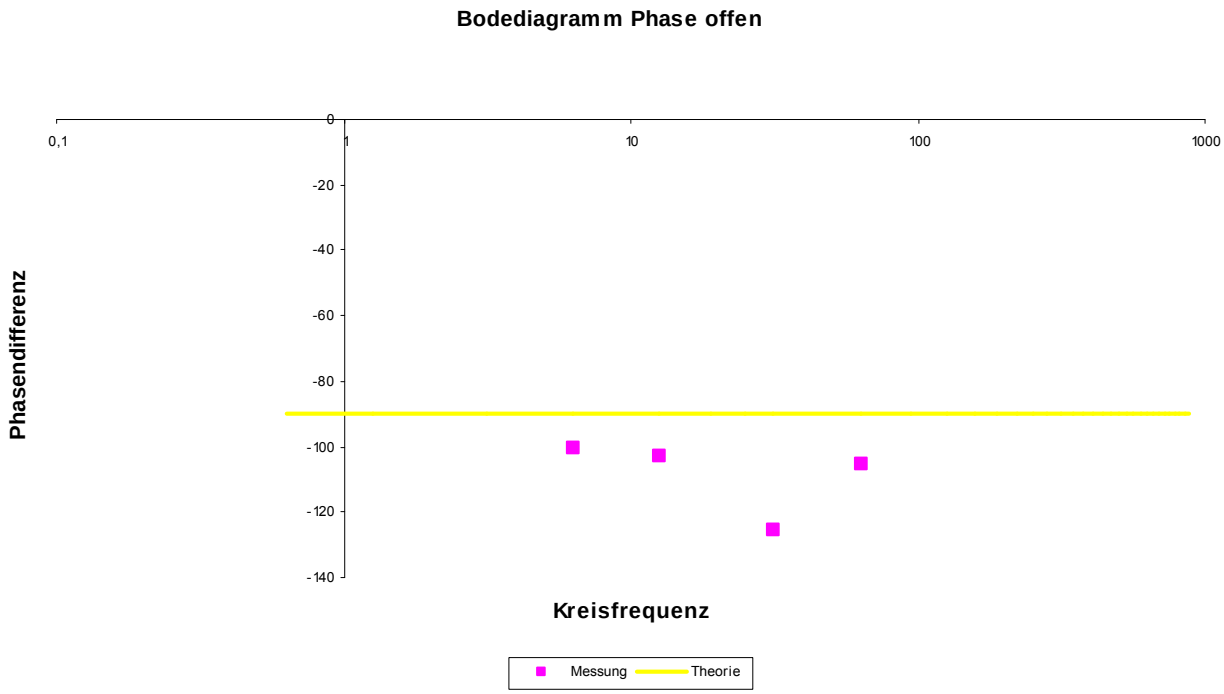
hier hatten wir einen Potentiometerwiderstand von 53 kOhm, also ist $K_p = \frac{R_{Poti}}{10k\Omega} = 5,3$





Dieses Dokument ist Eigentum der Fachschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

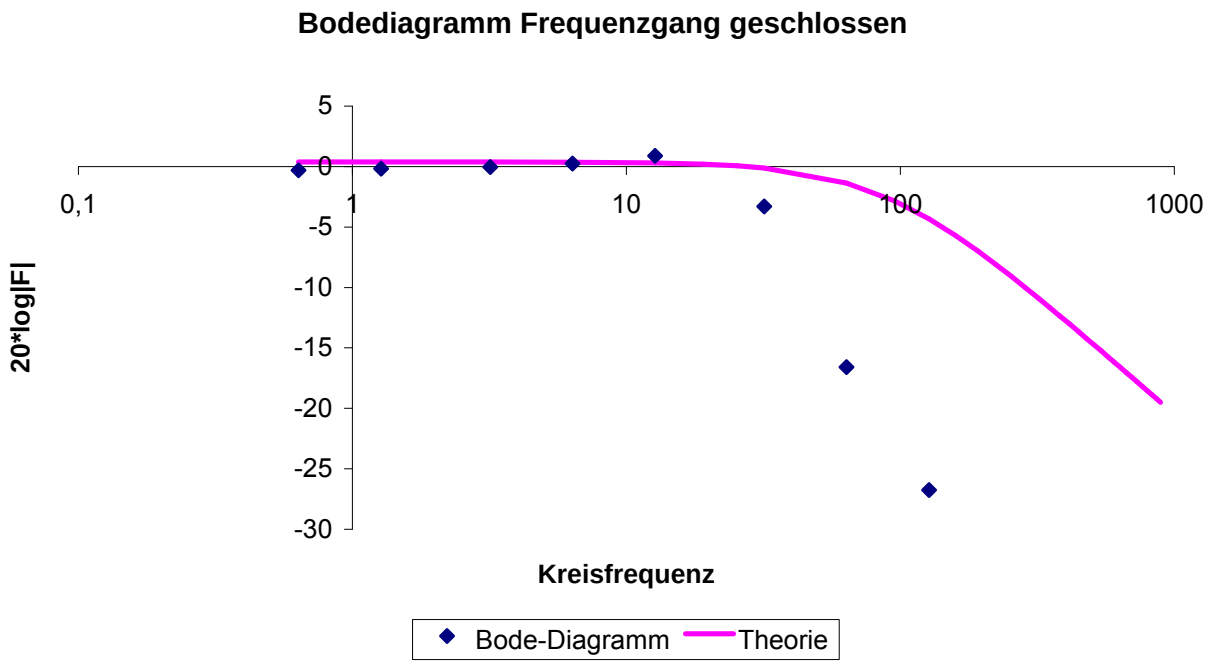


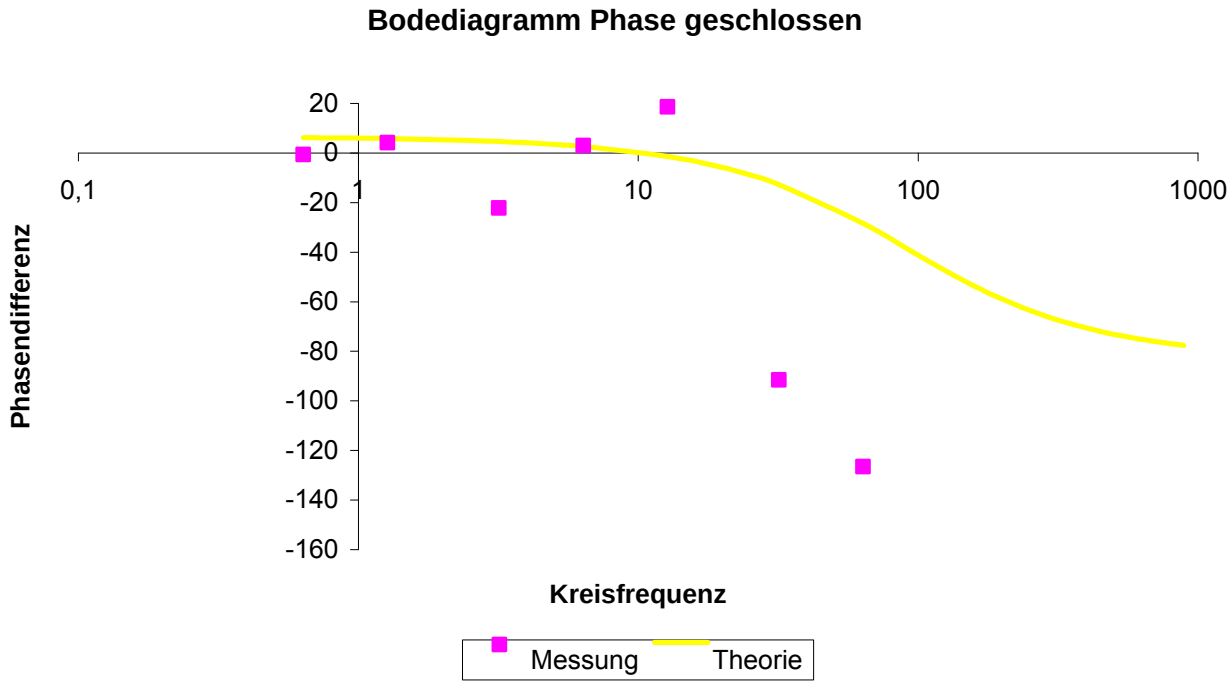


Diese Ausarbeitung ist Eigentum der Fachschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

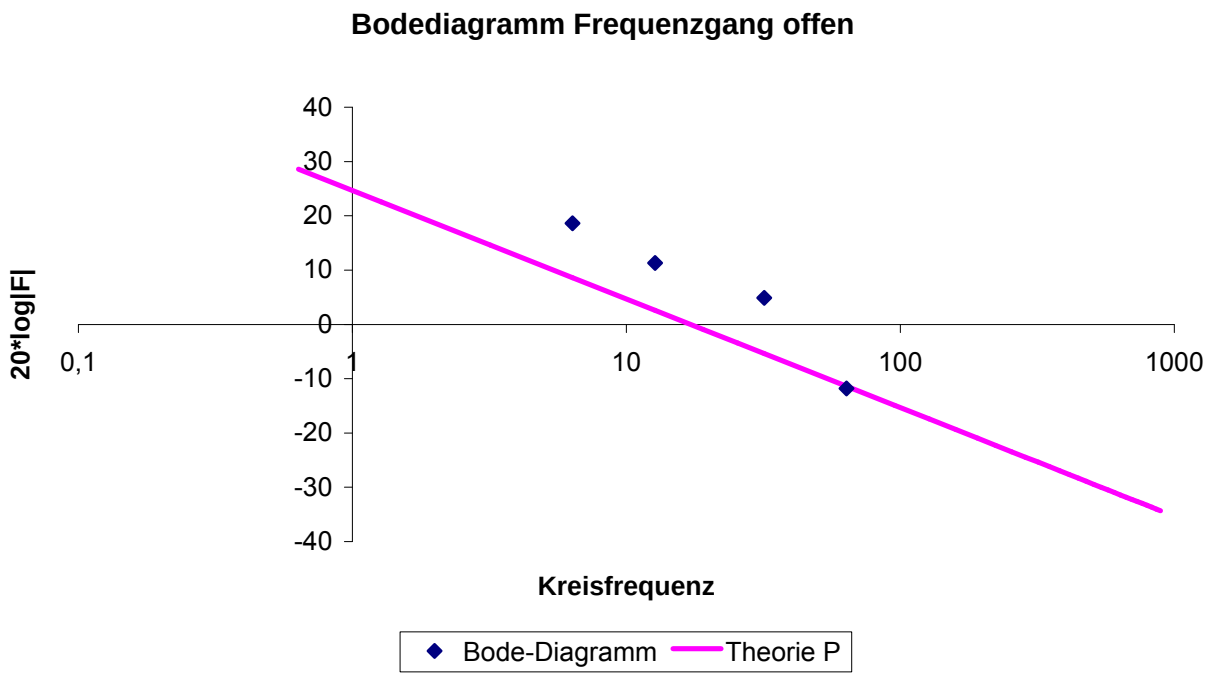
optimale Regelung

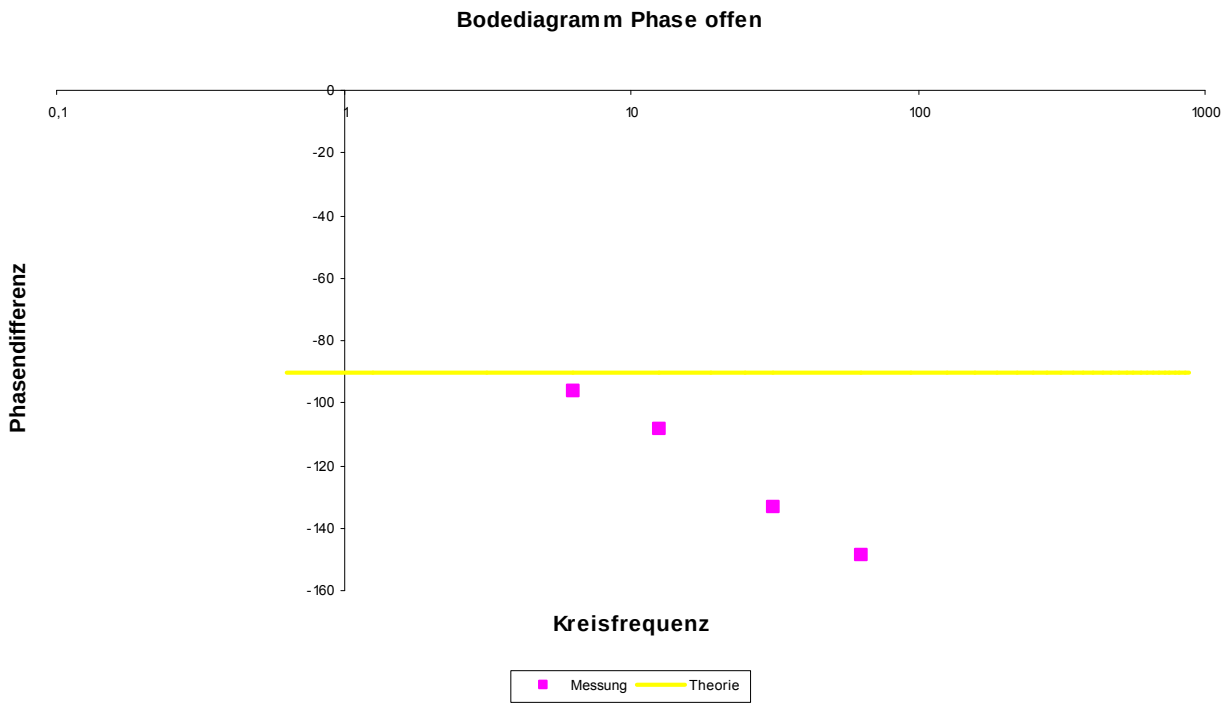
hier hatten wir einen Potentiometerwiderstand von 293 kOhm, also ist $K_p = \frac{R_{Poti}}{10k\Omega} = 29,3$





Diese Ausarbeitung ist Eigentum der Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

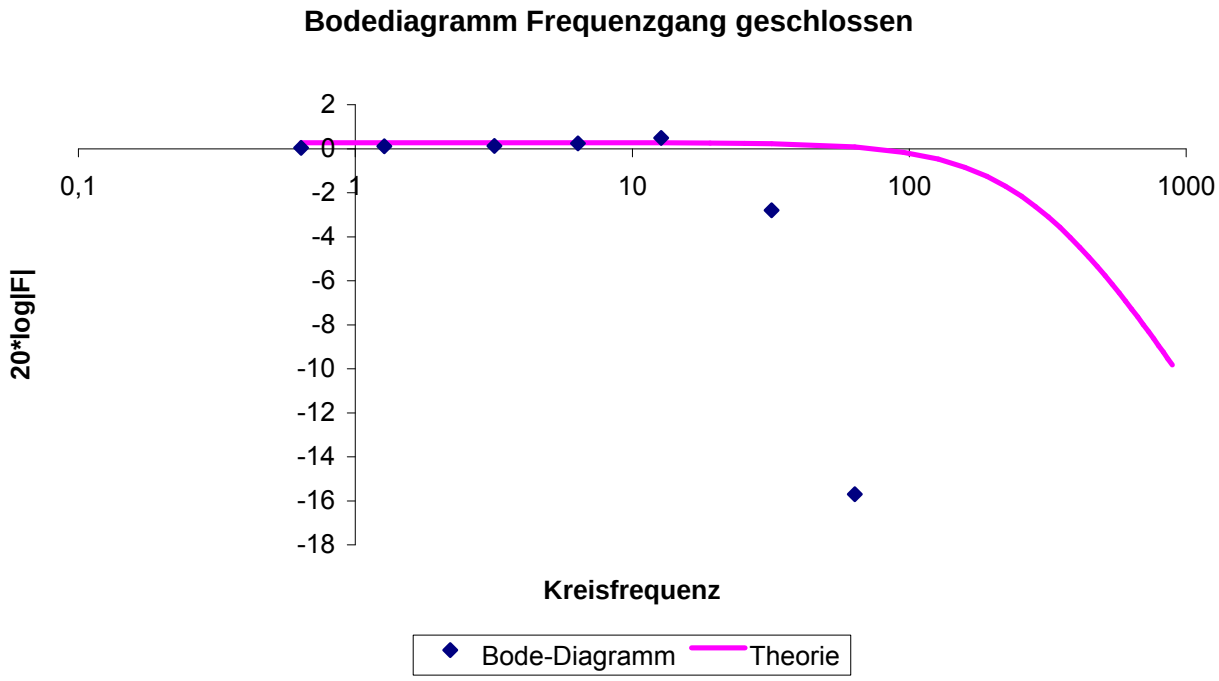


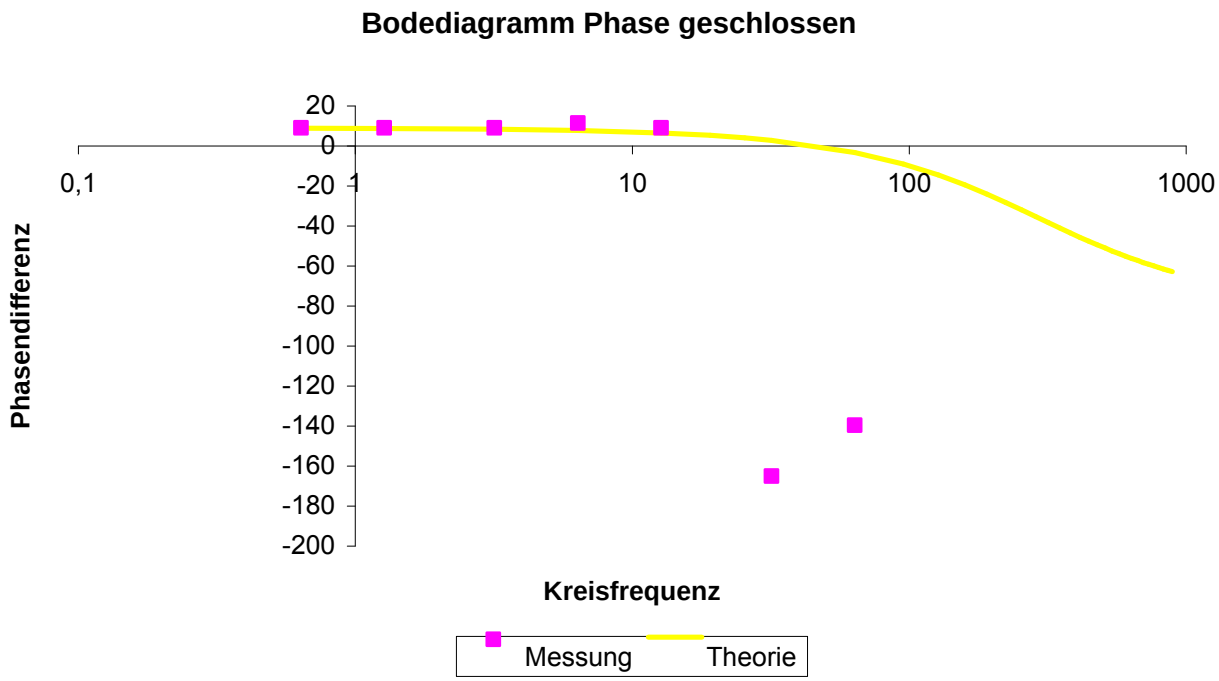


Diese Ausarbeitung ist von FTWG Naturwissenschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

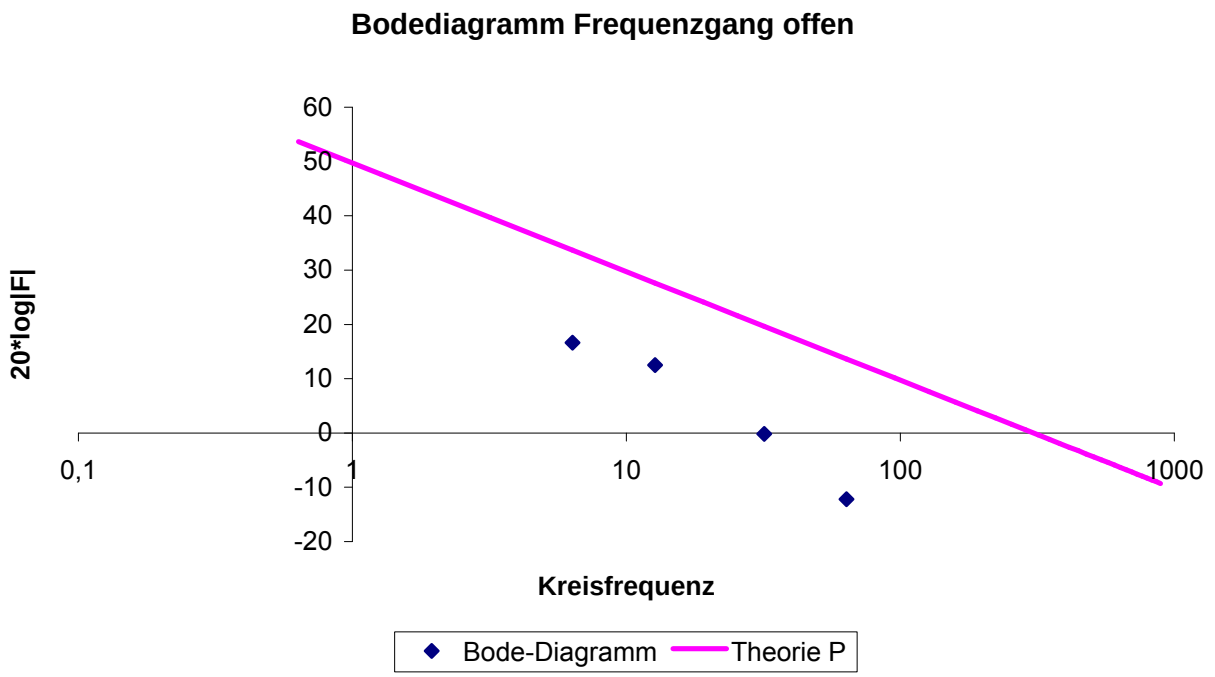
zu schnelle Regelung

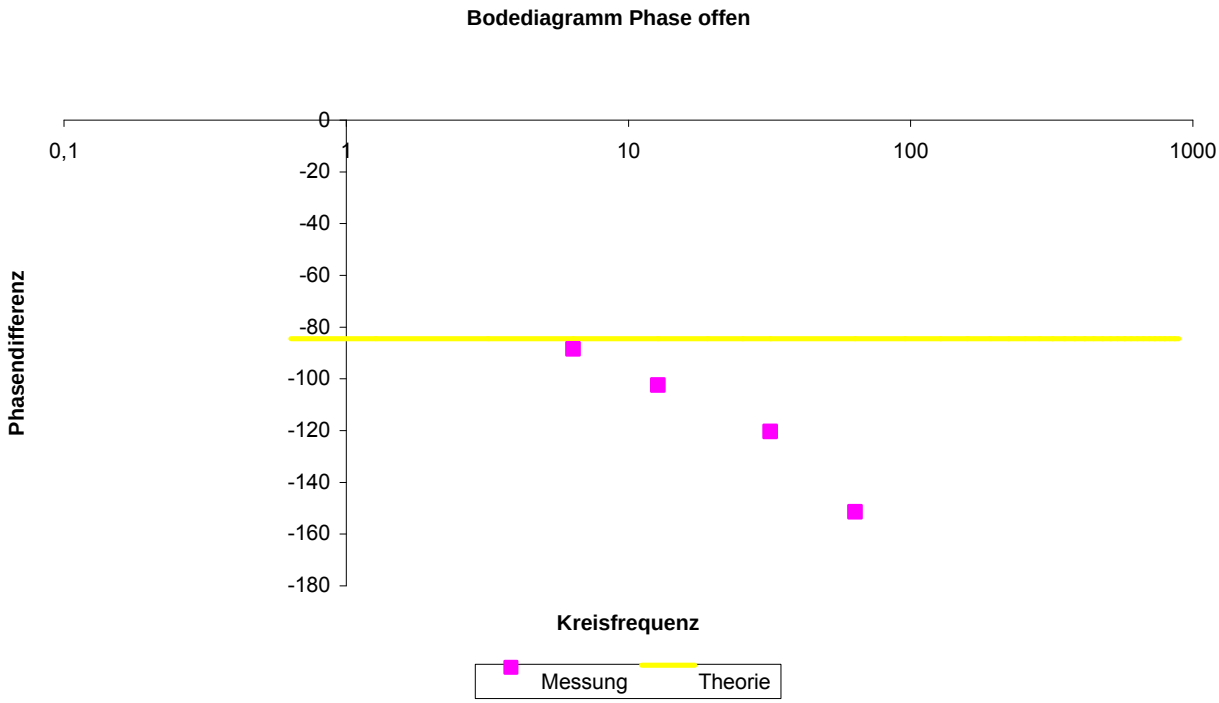
hier hatten wir einen Potentiometerwiderstand von 947 kOhm, also ist $K_p = \frac{R_{Poti}}{10k\Omega} = 94,7$





Dieses Dokument ist der Fachschaft Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.





Diese Ausarbeitung ist Eigentum des Fachschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

3.1.2. PI-Regler

Bei den Messungen mit dem PI-Regler wurde der I-Anteil konstant gehalten, mit dem P-Regler wurde eine zu langsame, optimale und zu schnelle Regelung eingestellt.
Für das I-Element wurde ein Kondensator mit $150nF$ verwendet, der eingestellte Potentiometerwiderstand betrug $315k\Omega$. Die Integrationskonstante beträgt somit $K_I = \frac{1}{RC} = 21{,}16$.

Für die Theoriekurven gilt:
Die Frequenzgangfunktion des offenen Regelkreises beim PI-Element berechnet sich unter Berücksichtigung des I-Anteils des Motors K_1 nach

$$F(iw) = \left(K_P + \frac{K_I}{iw}\right)\frac{K_1}{iw}$$

zu

$$F(iw) = -\frac{K_I K_1}{w^2} - i\frac{K_P K_1}{w}$$

Somit ergibt sich für Amplitude und Phase

$$|F(iw)| = \sqrt{\left(\frac{K_I K_1}{w^2}\right)^2 + \left(\frac{K_P K_1}{w}\right)^2}$$

$$\Delta j = \arctan\frac{K_P w}{K_I}$$

Die Frequenzgangfunktion des geschlossenen Kreises berechnet sich aus der Frequenzgangfunktion des offenen Kreises nach folgender Formel:

$$F_{geschlossen}\frac{F_{offen}}{1+F_{offen}}$$

Hier ergibt sich damit für Amplitude und Phase des geschlossenen Kreises (berechnet mit Maple):

$$|F(iw)| = K_1\sqrt{K_P^2 w^2 + K_I^2}\,\frac{1}{\sqrt{w^4 - 2w^2 K_1 K_I + K_1^2 K_I^2 + K_1^2 K_P^2 w^2}}$$

$$\Delta j = \arctan\frac{w^3 K_P}{K_P^2 w^2 K_1 - K_I w^2 + K_1 K_I^2}$$

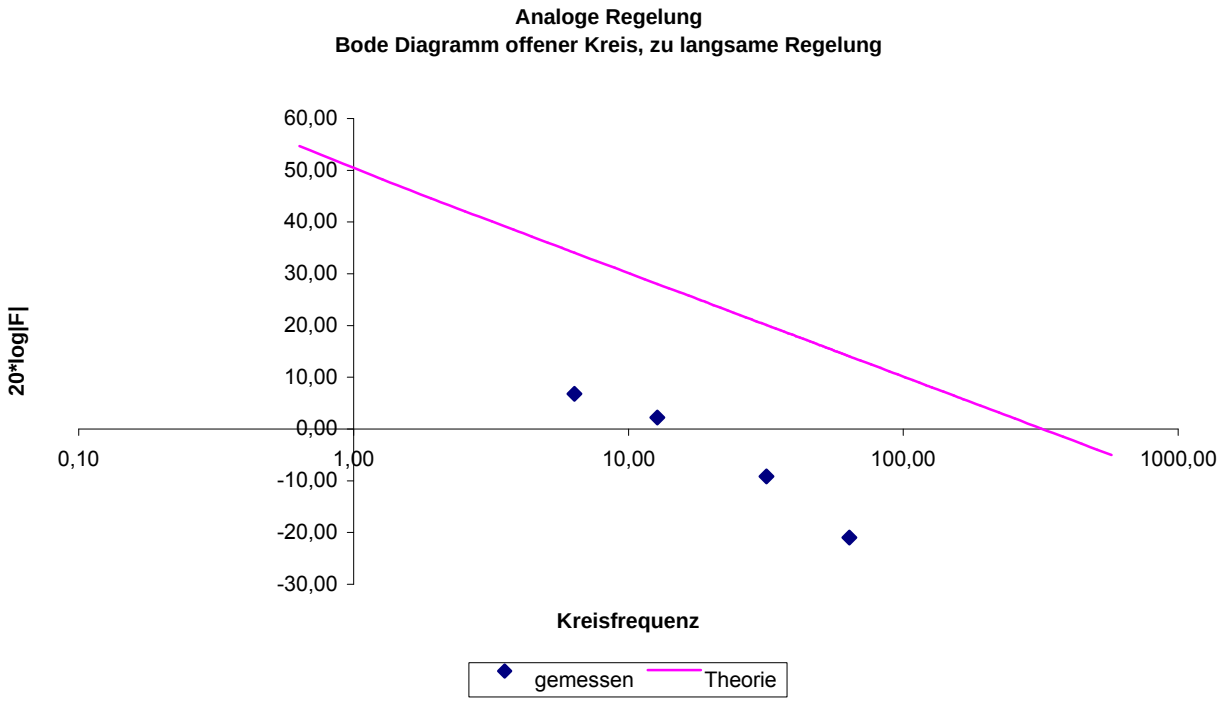
Dieses Dokument wurde vom Fachschaftsrat Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

zu langsam

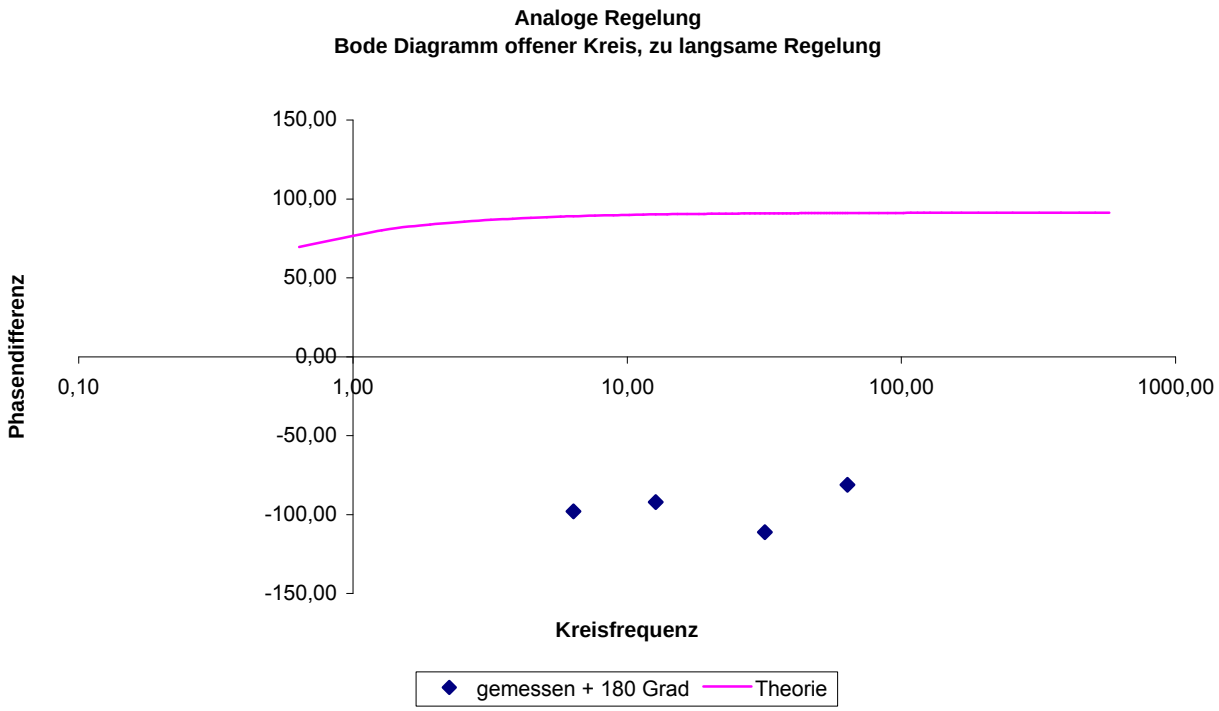
Hierbei betrug der Potiwiderstand des P-Reglers $68k\Omega$, mit dem Vorwiderstand von $10k\Omega$ ergibt sich somit $K_P = 6,8$.

offener Regelkreis

Frequenz [Hz]	Kreis-frequenz	Amplitude Soll	Amplitude Ist	20*log(Ist/ Soll)	"Länge" Schwingung Soll	Abstand Schwingungs-maxima	Δj [rad]	Δj [Grad]	Δj + 180 Grad
1	6,28	1,8	3,2	5,00	5,8	4,5	-4,87	-279,31	-99,31
2	12,57	2,1	2,2	0,40	5,4	4,1	-4,77	-273,33	-93,33
5	31,42	5,3	1,5	-10,96	3,2	2,6	-5,11	-292,50	-112,50
10	62,83	9,6	0,7	-22,74	4,8	3,5	-4,58	-262,50	-82,50



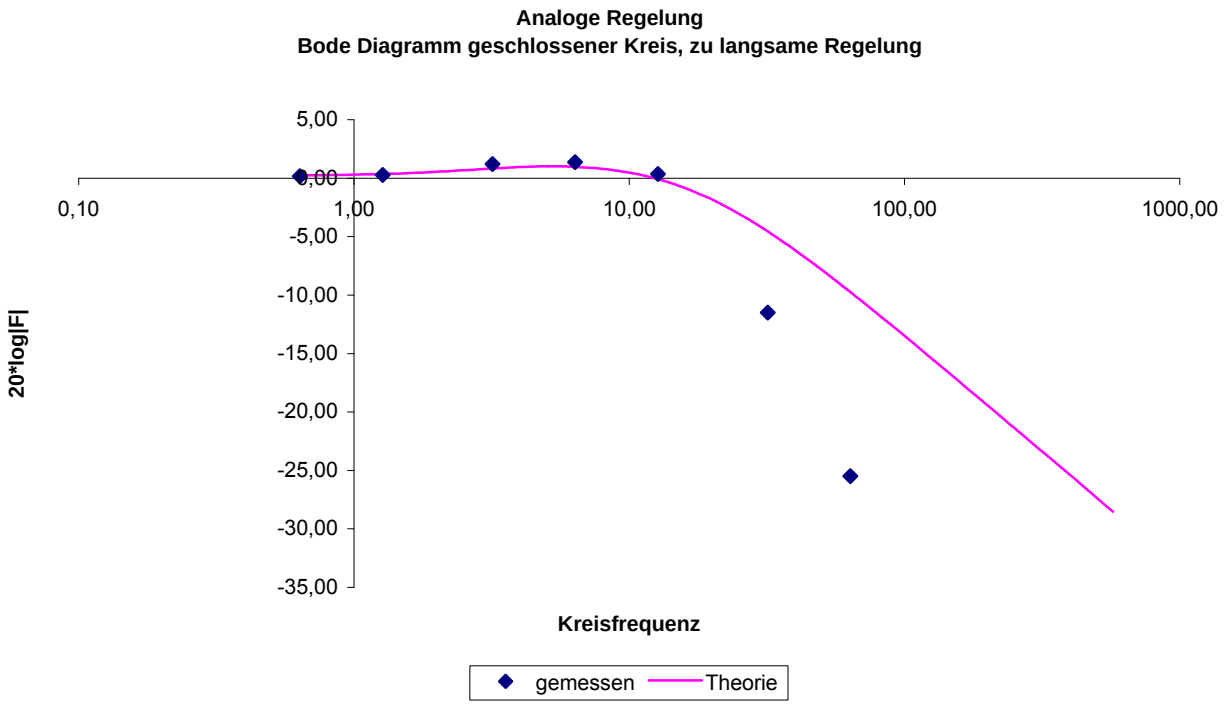
Dieses Dokument ist Eigentum der Fachschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

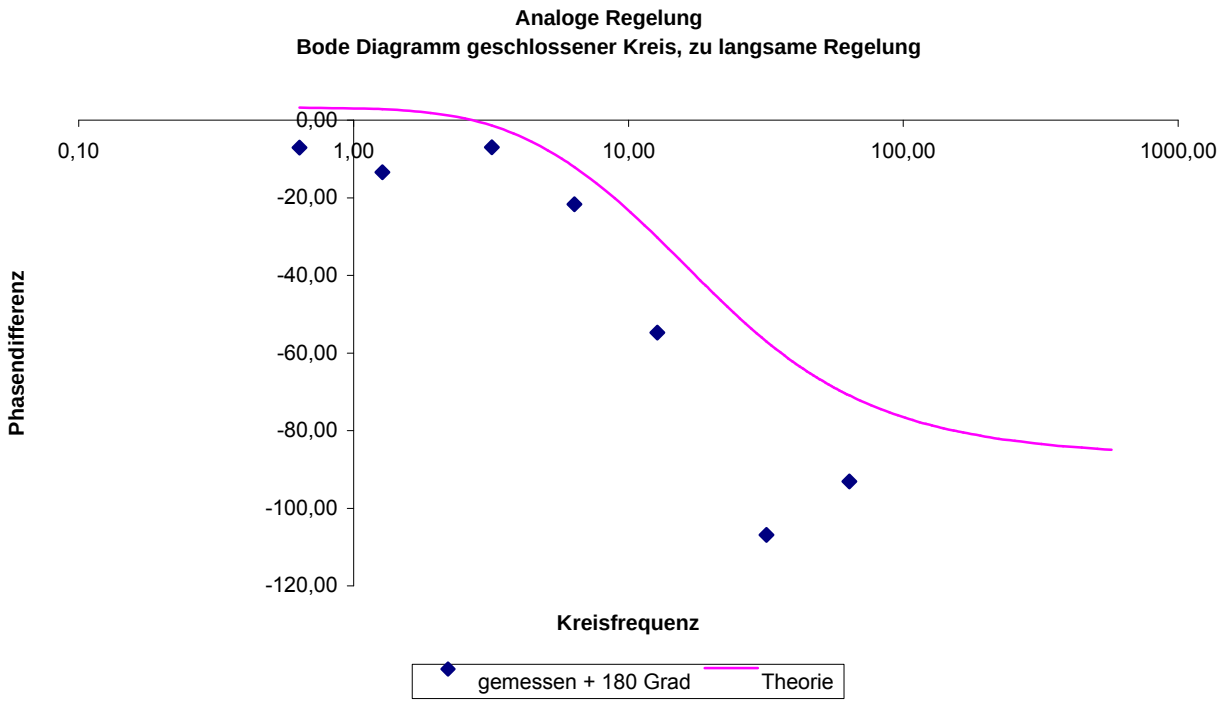


geschlossener Regelkreis

Frequenz [Hz]	Kreis-frequenz	Amplitude Soll	Amplitude Ist	20*log(Ist/ Soll)	"Länge" Schwingung Soll	Abstand Schwingungs-maxima	Δj [rad]	Δj [Grad]	Δj + 180 Grad
0,1	0,63	9,6	9,6	0,00	10,4	5,5	-3,32	-190,38	-10,38
0,2	1,26	9,6	9,7	0,09	8,6	4,7	-3,43	-196,74	-16,74
0,5	3,14	9,6	10,8	1,02	8,7	4,6	-3,32	-190,34	-10,34
1	6,28	9,6	11,0	1,18	7,2	4,1	-3,58	-205,00	-25,00
2	12,57	9,6	9,8	0,18	6,2	4,1	-4,16	-238,06	-58,06
5	31,42	9,6	2,5	-11,69	6,7	5,4	-5,06	-290,15	-110,15
10	62,83	9,6	0,5	-25,67	5,6	4,3	-4,82	-276,43	-96,43

Dieses Dokument ist Eigentum der Wissenschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.





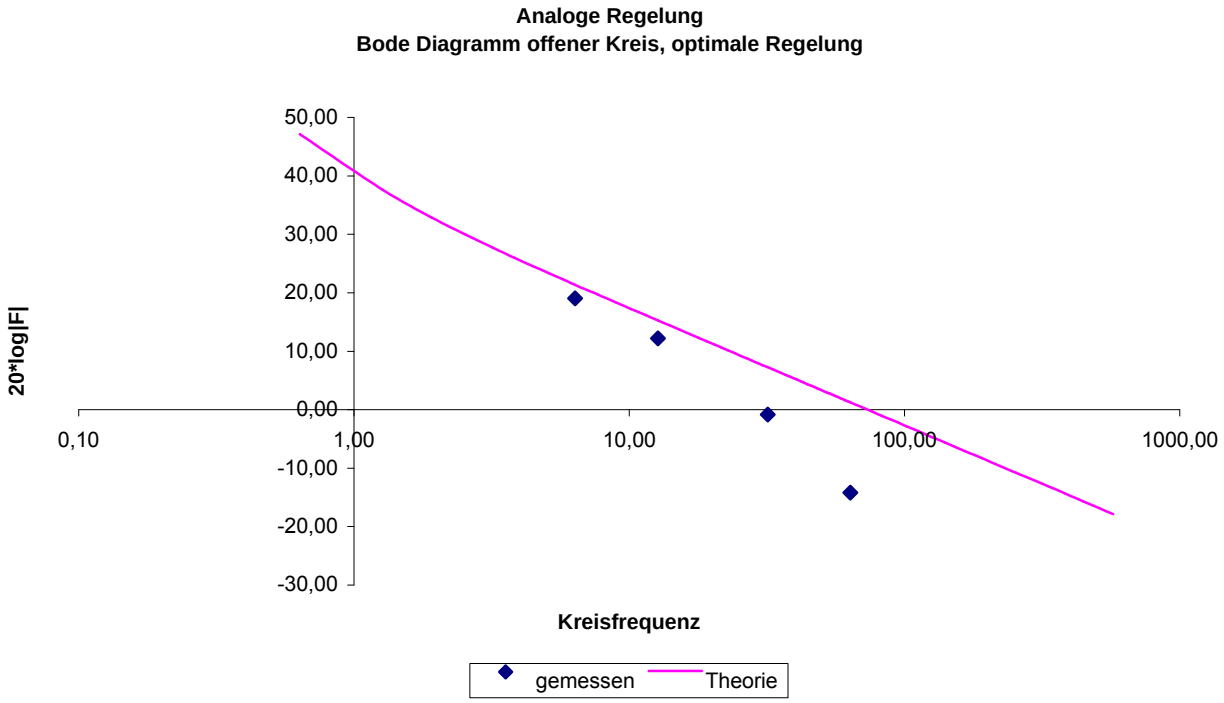
Diese Ausarbeitung ist von der Fachschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

optimal

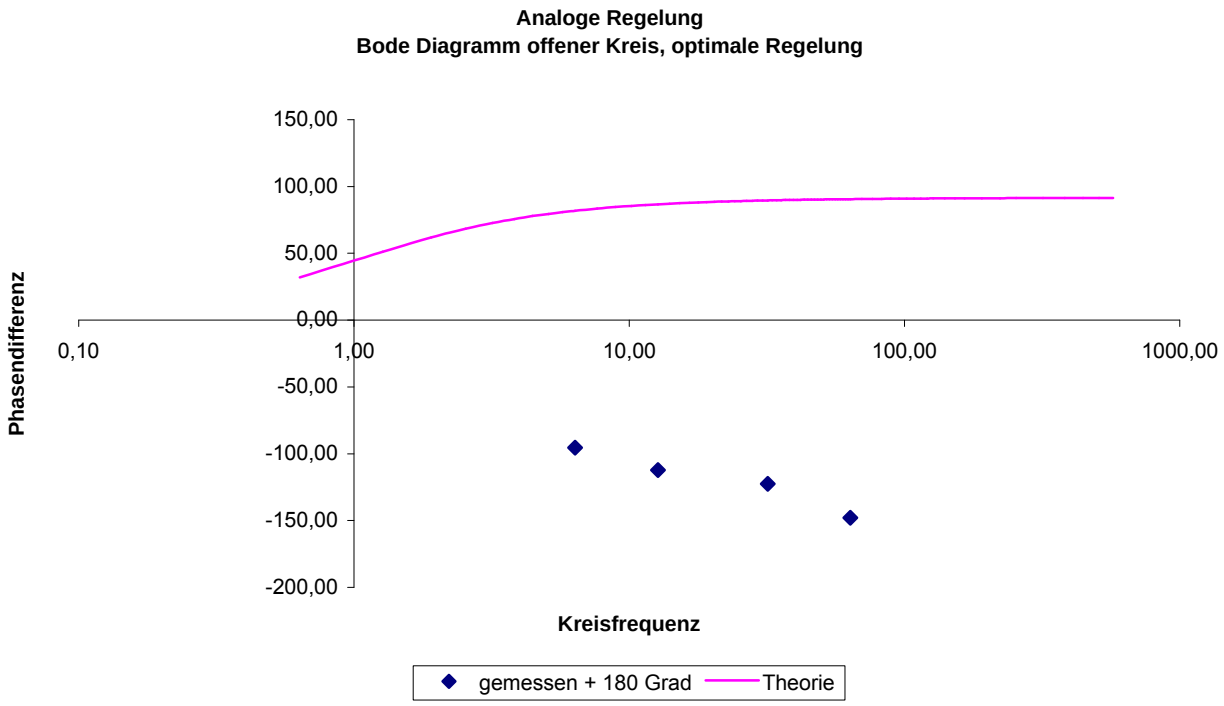
Hierbei betrug der Potiwiderstand des P-Reglers $198k\Omega$, mit dem Vorwiderstand von $10k\Omega$ ergibt sich somit $K_P = 19,8$.

offener Regelkreis

Frequenz [Hz]	Kreis-frequenz	Amplitude Soll	Amplitude Ist	20*log(Ist/ Soll)	"Länge" Schwingung Soll	Abstand Schwingungs-maxima	Δj [rad]	Δj [Grad]	Δj + 180 Grad
1	6,28	1,3	9,7	17,46	7,8	6,0	-4,83	-276,92	-96,92
2	12,57	1,5	5,1	10,63	3,8	3,1	-5,13	-293,68	-113,68
5	31,42	7,9	6,0	-2,39	5,8	4,9	-5,31	-304,14	-124,14
10	62,83	9,2	1,5	-15,75	4,7	4,3	-5,75	-329,36	-149,36



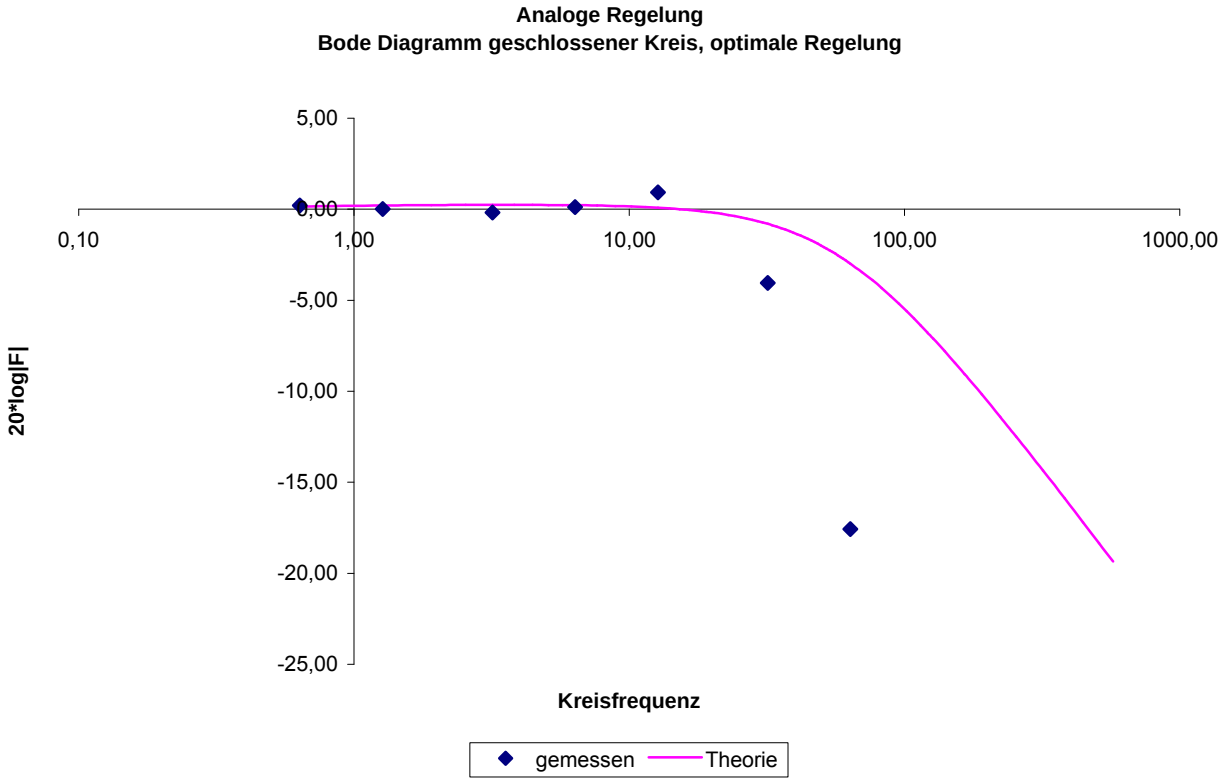
Diese Ausarbeitung ist Eigentum der Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

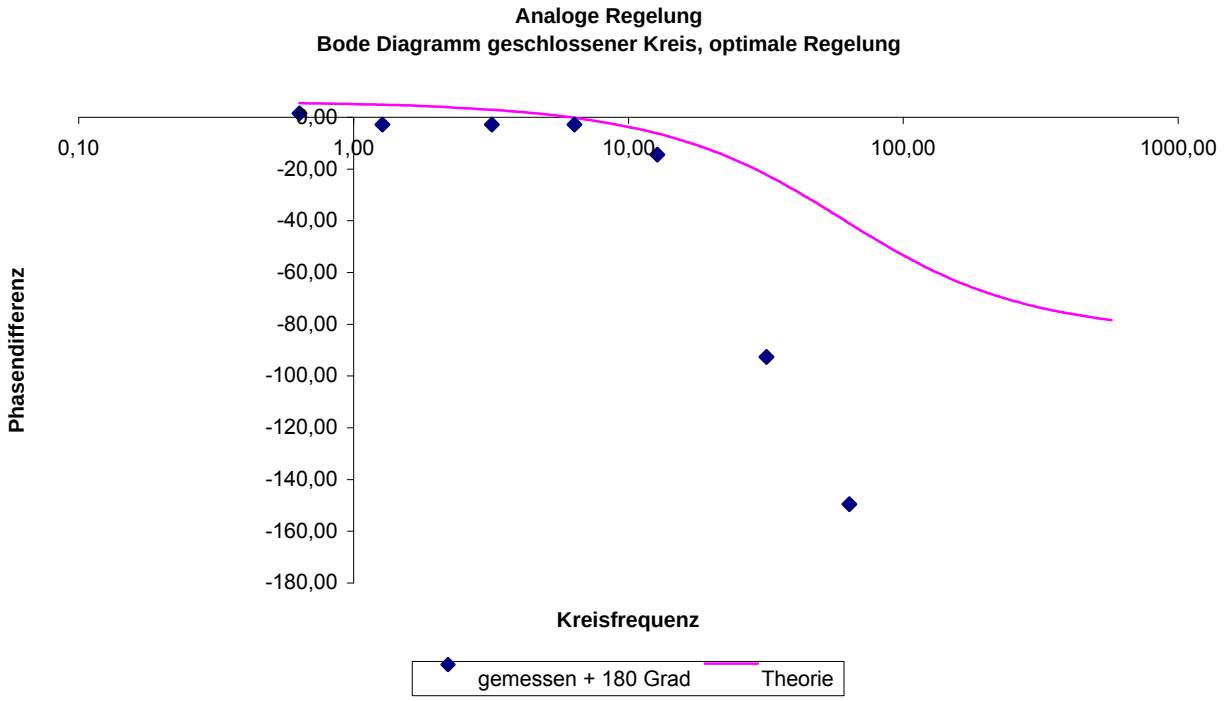


geschlossener Regelkreis

Frequenz [Hz]	Kreis-frequenz	Amplitude Soll	Amplitude Ist	20*log(Ist/ Soll)	"Länge" Schwingung Soll	Abstand Schwingungs-maxima	Δj [rad]	Δj [Grad]	Δj + 180 Grad
0,1	0,63	9,2	9,3	0,09	8,8	4,5	-3,21	-184,09	-4,09
0,2	1,26	9,2	9,1	-0,09	8,6	4,5	-3,29	-188,37	-8,37
0,5	3,14	9,2	8,9	-0,29	8,6	4,5	-3,29	-188,37	-8,37
1	6,28	9,2	9,2	0,00	8,6	4,5	-3,29	-188,37	-8,37
2	12,57	9,2	10,1	0,81	7,2	4,0	-3,49	-200,00	-20,00
5	31,42	9,2	5,7	-4,16	4,4	3,4	-4,86	-278,18	-98,18
10	62,83	9,2	1,2	-17,69	2,9	2,7	-5,85	-335,17	-155,17

Diese Ausarbeitung ist Eigentum der Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.





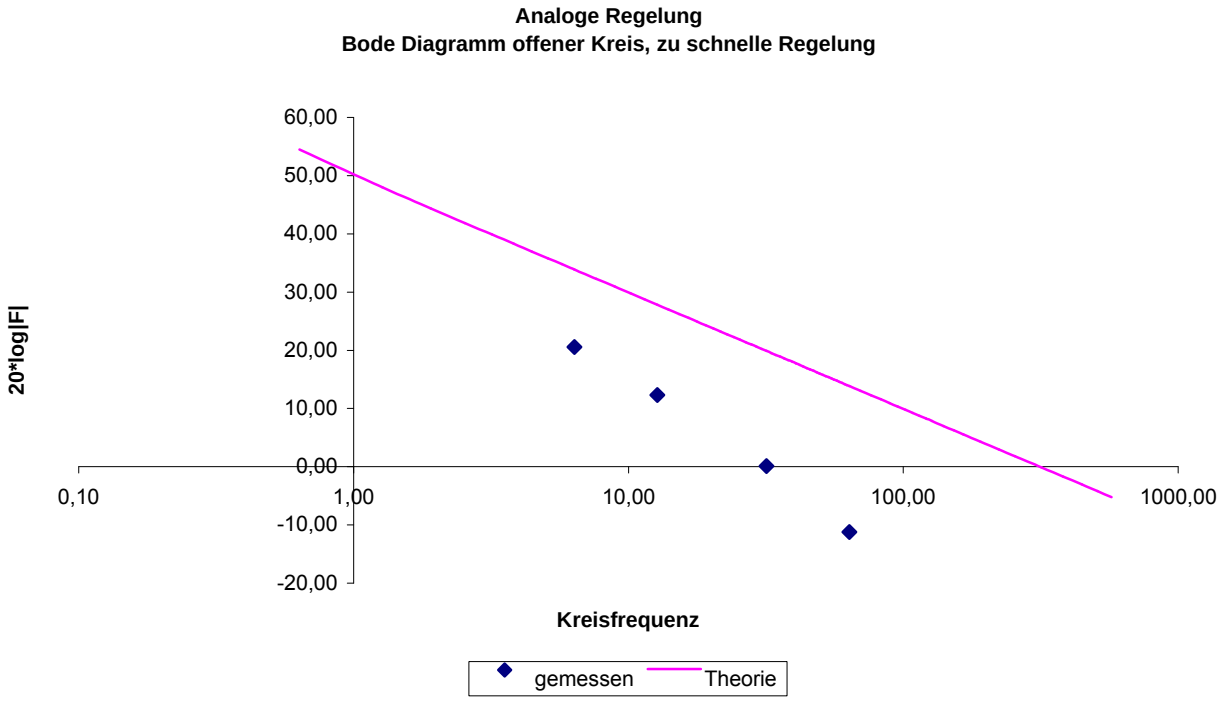
Dieses Dokument ist Eigentum der Fachschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

zu schnell

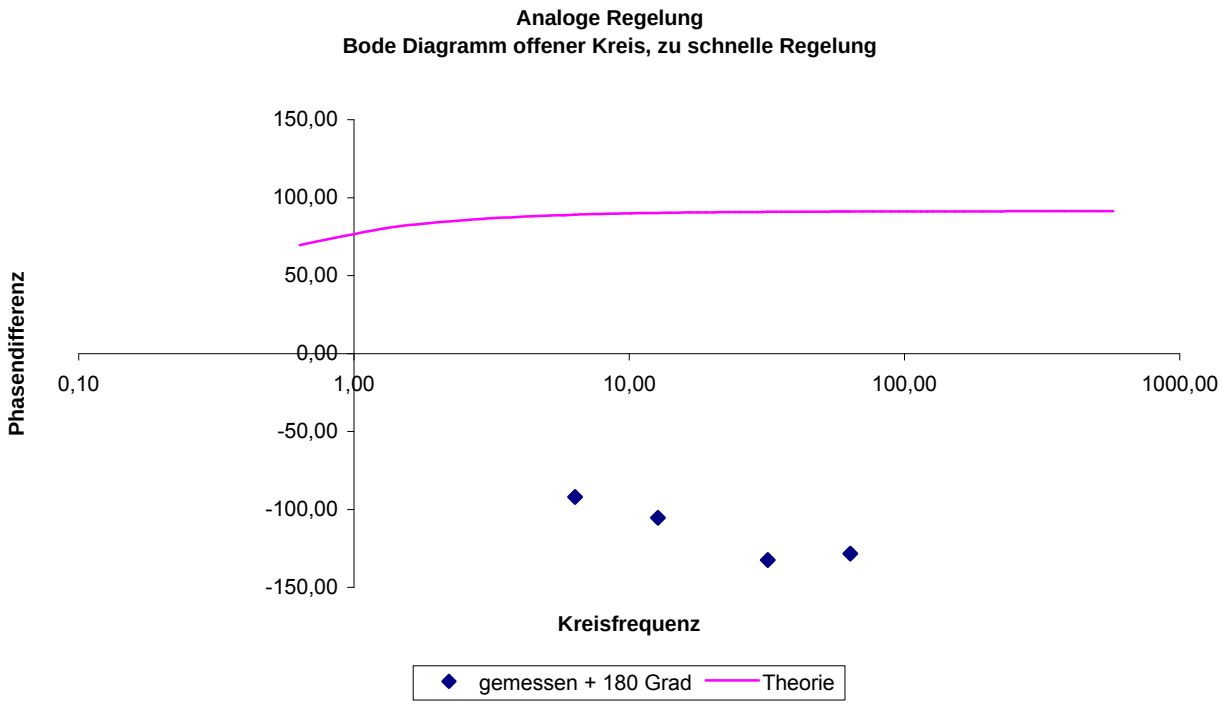
Hierbei betrug der Potiwiderstand des P-Reglers $845k\Omega$, mit dem Vorwiderstand von $10k\Omega$ ergibt sich somit $K_P = 84,5$.

offener Regelkreis

Frequenz [Hz]	Kreis-frequenz	Amplitude Soll	Amplitude Ist	20*log(Ist/ Soll)	„Länge“ Schwingung Soll	Abstand Schwingungs-maxima	Δj [rad]	Δj [Grad]	Δj + 180 Grad
1	6,28	0,9	8,0	18,98	5,4	4,1	-4,77	-273,33	-93,33
2	12,57	1,8	6,2	10,74	5,4	4,3	-5,00	-286,67	-106,67
5	31,42	5,8	4,9	-1,46	3,9	3,4	-5,48	-313,85	-133,85
10	62,83	9,6	2,2	-12,80	4,3	3,7	-5,41	-309,77	-129,77



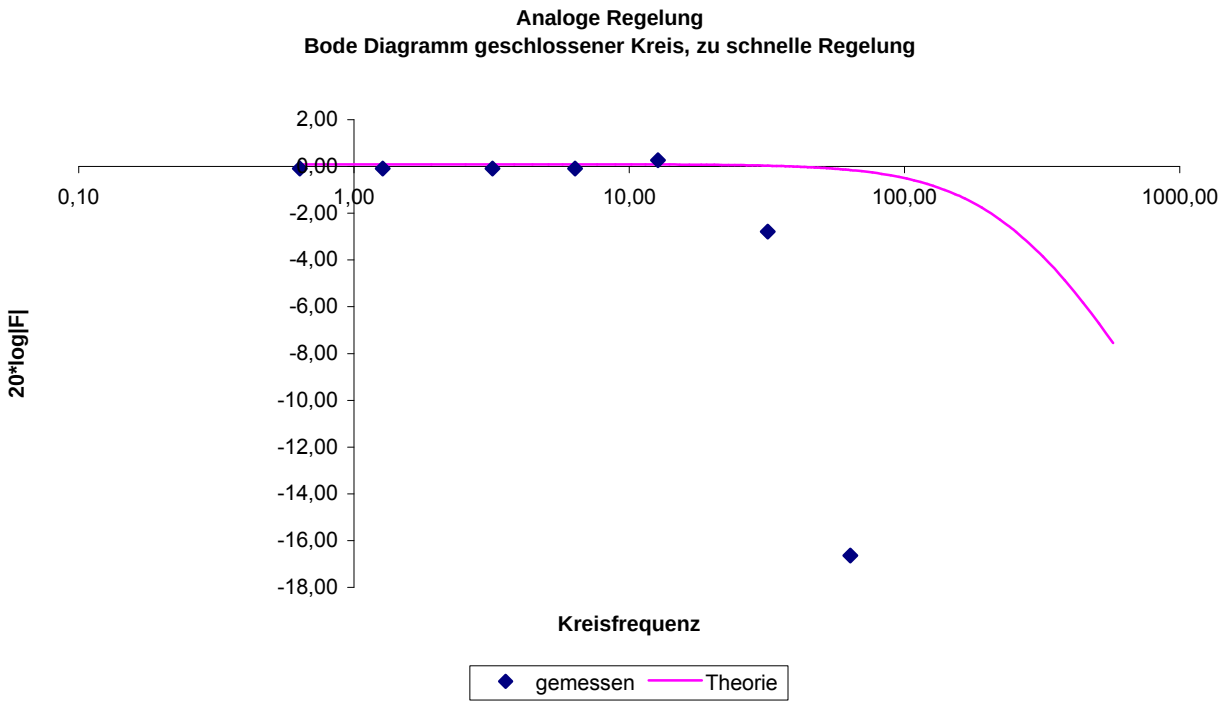
Dieses Dokument ist Eigentum der Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

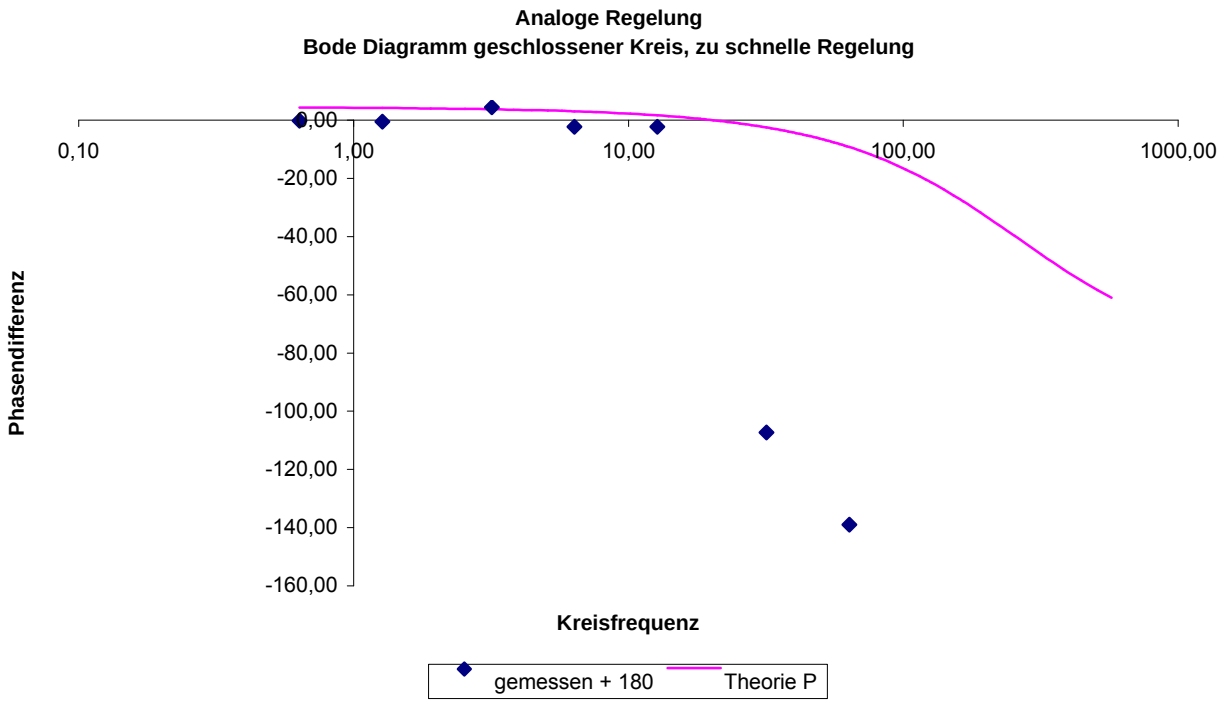


geschlossener Regelkreis

Frequenz [Hz]	Kreis-frequenz	Amplitude Soll	Amplitude Ist	20*log(Ist/ Soll)	"Länge" Schwingung Soll	Abstand Schwingungs-maxima	Δj [rad]	Δj [Grad]	Δj + 180 Grad
0,1	0,63	9,6	9,4	-0,18	7,8	4,0	-3,22	-184,62	-4,62
0,2	1,26	9,6	9,4	-0,18	7,2	3,7	-3,23	-185,00	-5,00
0,5	3,14	9,6	9,4	-0,18	5,8	2,9	-3,14	-180,00	0,00
1	6,28	9,6	9,4	-0,18	5,4	2,8	-3,26	-186,67	-6,67
2	12,57	9,6	9,8	0,18	5,4	2,8	-3,26	-186,67	-6,67
5	31,42	9,6	6,9	-2,87	5,8	4,7	-5,09	-291,72	-111,72
10	62,83	9,6	1,4	-16,72	5,9	5,3	-5,64	-323,39	-143,39

Dieses Dokument ist Eigentum der Fachschaft Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.





Diese Ausarbeitung ist Eigentum der Fachschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

3.2. Diskussion der analogen Regelung

Ein Problem, das wir schon zuvor angesprochen haben ist sicherlich der A/D-Wandler, der uns bei hohen Frequenzen nicht mehr genügend Messwerte zu Verfügung stellen konnte.
Bei niedrigen Frequenzen und dem offenen Regelkreis hatten wir das Problem, dass die Amplitude des Wagens sehr groß wurde und spätestens nach 2 Perioden außerhalb des Messebereichs lag. Somit haben sie Werte, die wir bei niedrigen Frequenzen (<1Hz) ermittelt haben, nur bedingte Aussagekraft.
Analog zu kleinen Frequenzen hatten wir auch mit den großen Frequenzen so unsere Probleme. Bei hohen Frequenzen wurde nämlich die Amplitude der Poti-Spannung sehr klein und war darüber hinaus auch nicht mehr sinusförmig. Zusätzlich machte sich noch ein Schwebungsphänomen bemerkbar, welche unsere Messreihe dann zusätzlich noch verfälscht hatte. Diese Schwebung resultierte aus der Trägheit des Wagens und der Reibung desselben. Deshalb war eine Auswertung der Messungen >20Hz gar nicht möglich.

Tendenziell stimmen die Messwerte jedoch mit den Theoriewerten überein. Beim offenen Regelkreis und bei höheren Frequenzen treten aber aus oben genannten Gründen teilweise große Abweichungen auf. In Anbetracht der ungenauen Auswertung (Abmessen der Längenverhältnisse mit dem Lineal) und der Nichtberücksichtigung einer Dämpfung für die Theoriekurve können die Messungen aber als gelungen betrachtet werden.

Es hat sich auch ein Unterschied zwischen P-Regelkreis und PI-Regelkreis gezeigt. Beim PI-Regler tendenziell eine bessere Übereinstimmung der Messwerte mit den Theoriewerten. Dies gilt vor allem bei niedrigen Frequenzen. Die Messungen beim geschlossenen PI-Regelkreis entsprechen praktisch völlig den Theoriewerten.

3.3. Digitale Regelung

Am zweiten Versuchstag mussten wir zu aller erst den optimalen P-Regler nochmals nachmessen, da wir bei der Durchsicht der Daten feststellten, dass sich die Einstellungen der Potentiometerwiederstände zwischen der optimalen und der zu schnellen Regelung kaum unterschieden.
Aber Hauptaufgabe an diesem Tag war dann die Abänderung der Aufgabenstellung, nämlich dass wir die Schaltung mittels LabView aufzubauen hatten und diesmal nur noch die geschlossenen Regelkreise maßen.

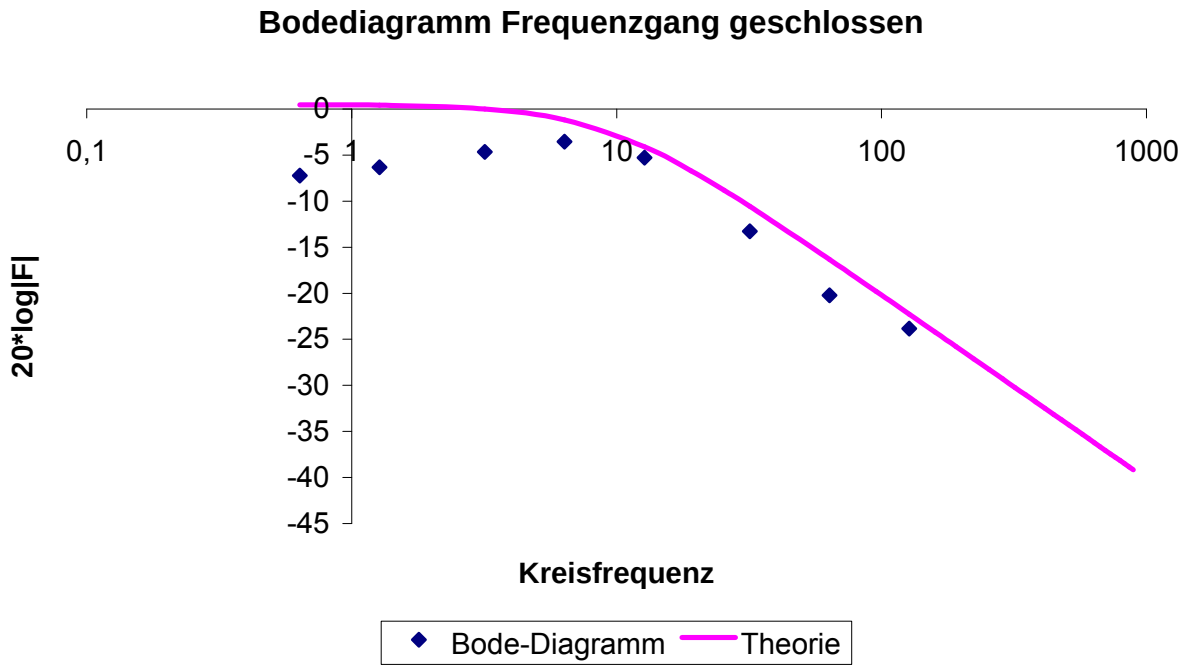
3.3.1. P-Regler

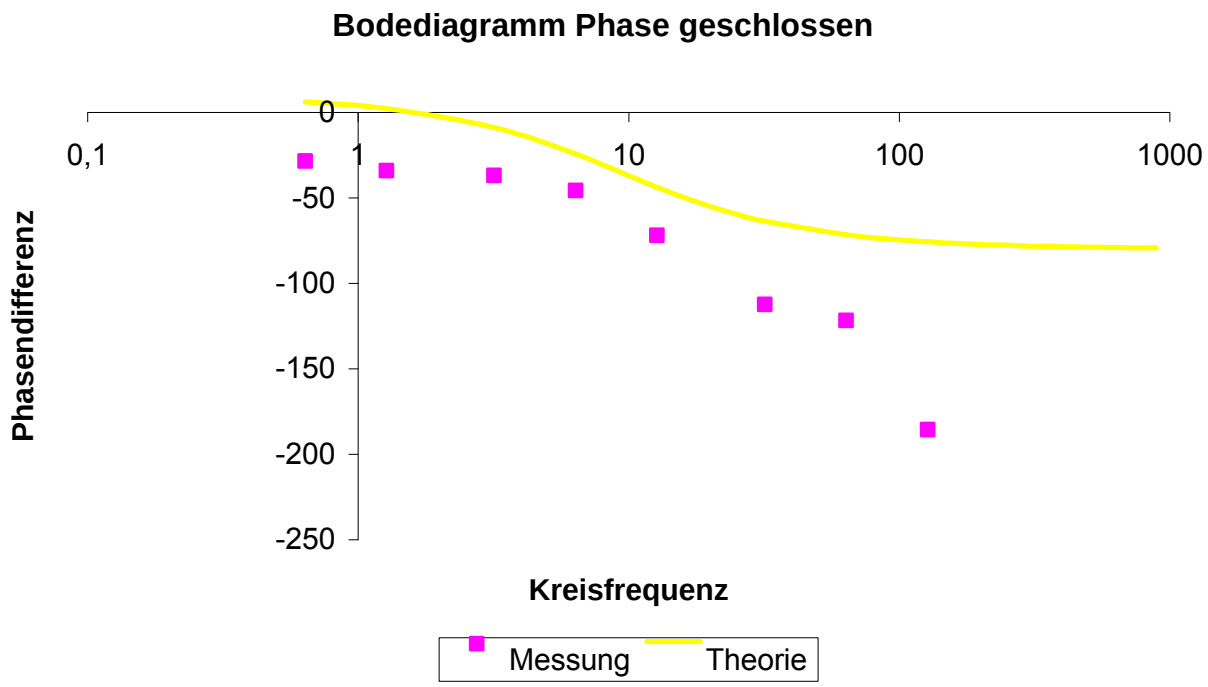
Wie bei der analogen Regelung haben wir auch hier wieder den Off-Set des Ist-Signals (diesmal nicht mittels Regression, sondern über Bestimmung der Maxima und Minima und geeignete Subtraktion) herausgerechnet und eine korrigierte Ist-Sinus-Schwingung ermittelt, welche dann anschließend vermessen wurde, um die Phasendifferenz zu erhalten. Dank der Verschiebung des Ist-Signals, was diesmal möglich war, da kein Drift der Kurve auftrat, konnten wir die Amplitudenverhältnisse von Excel bestimmen lassen.

Diese Ausarbeitung ist von der Fachschaft Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

zu langsame Regelung

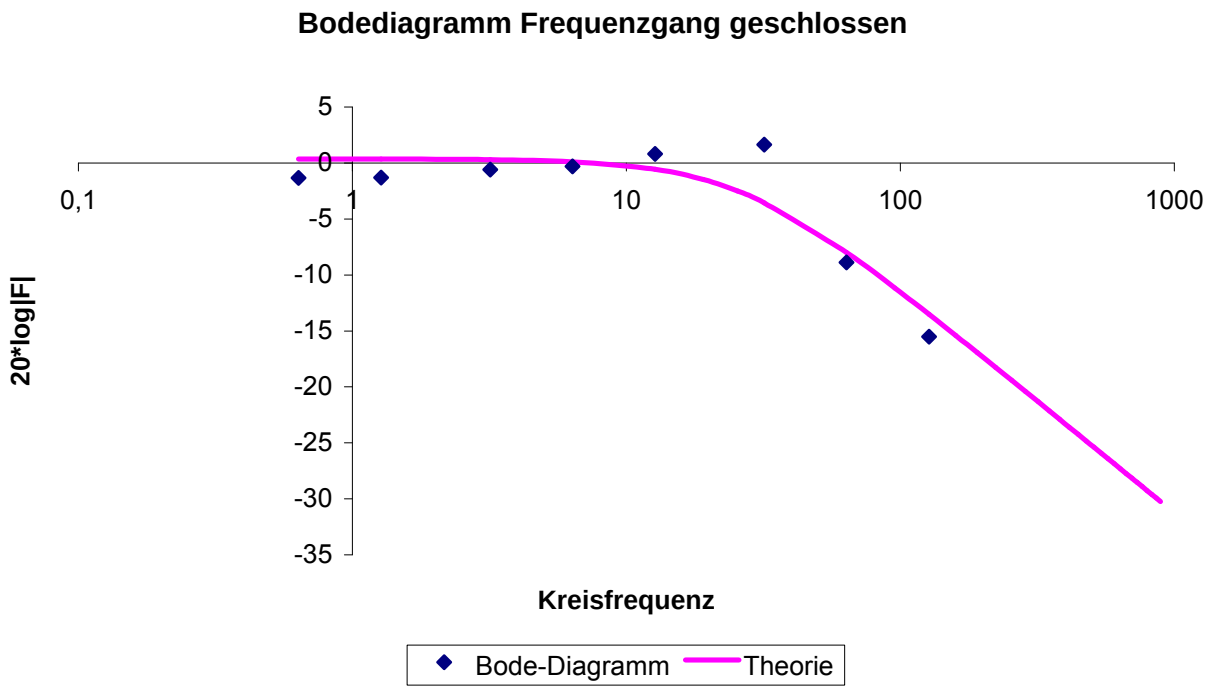
wir gaben LabView folgende Werte vor: p=3; i=0; d=0

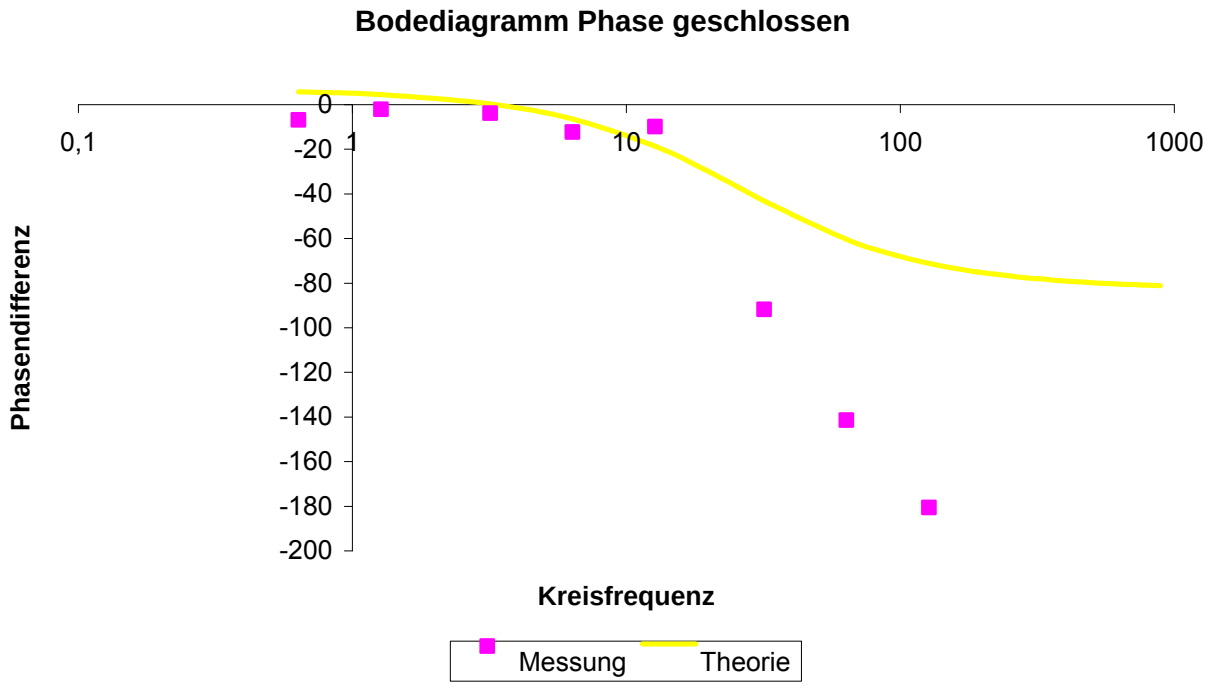




Dieses Dokument ist Eigentum der Fachschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

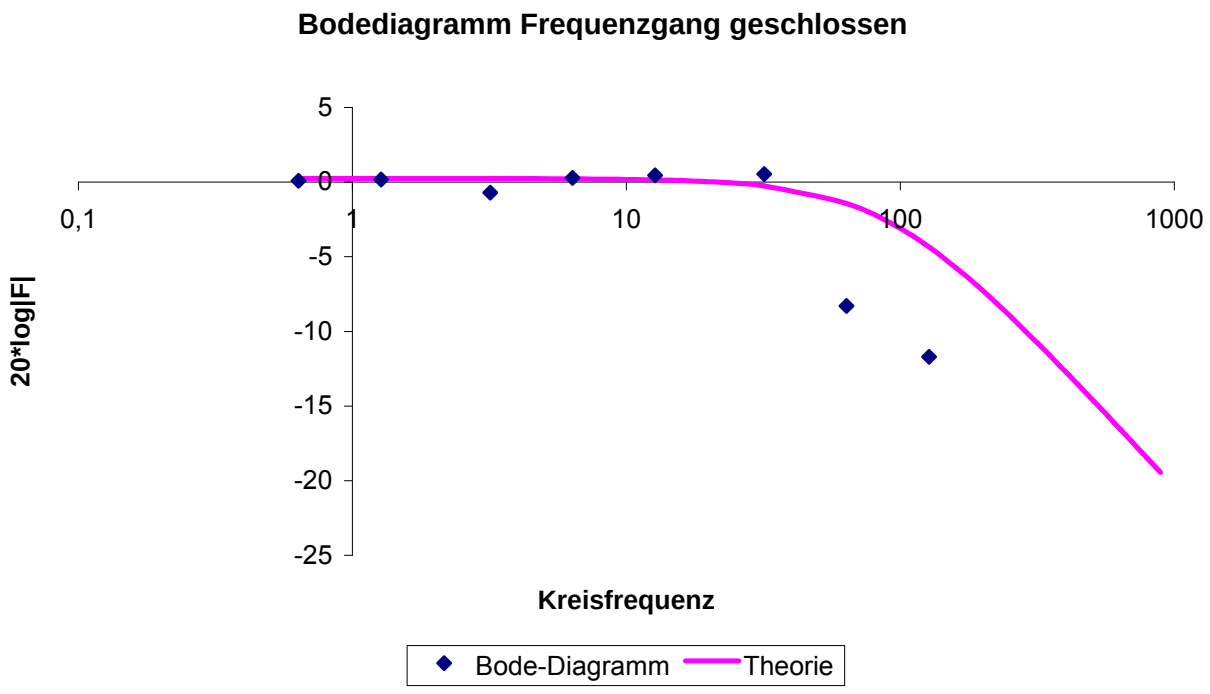
optimal
wir gaben LabView folgende Werte vor: p=8,5; i=0; d=0

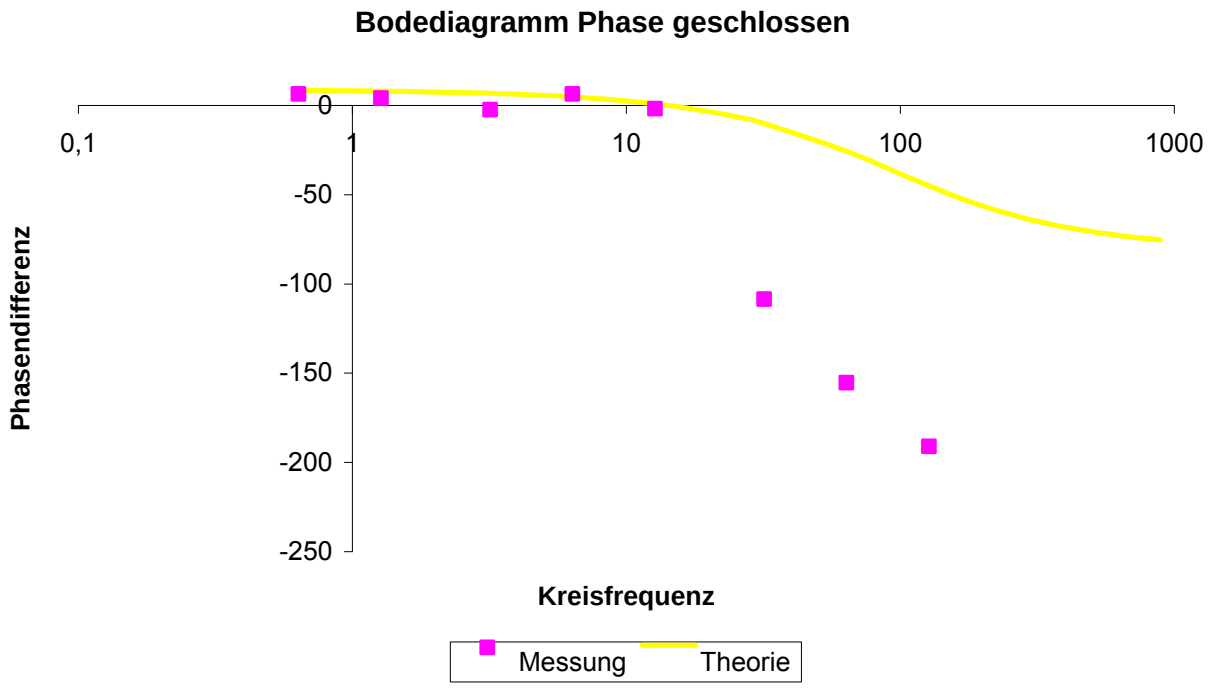




Diese Ausarbeitung ist der Fachschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

zu schnell
wir gaben LabView folgende Werte vor: p=30; i=0; d=0





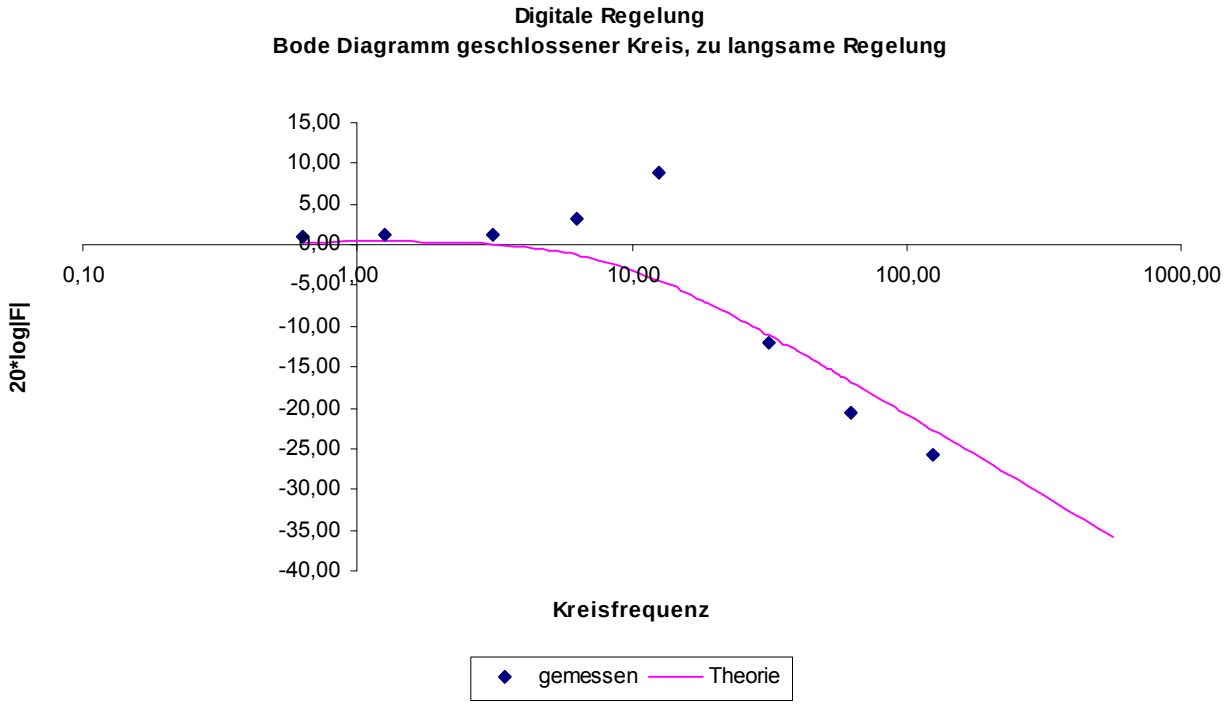
Dieses Dokument ist Eigentum der Wissenschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

3.3.2. PI-Regler

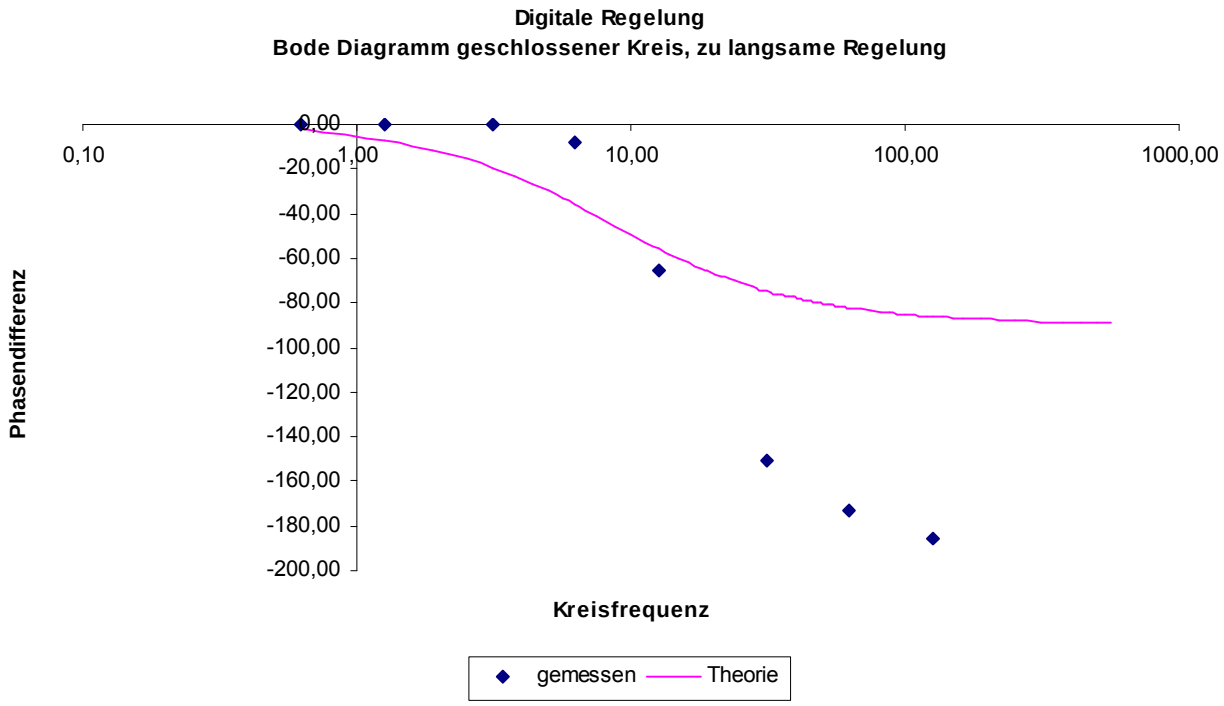
Der I-Anteil betrug bei allen Messungen *1,75*.
Die Theoriekurven wurden wie in 3.1.2 beschrieben berechnet.

zu langsam
Der P-Anteil betrug *3*.

Frequenz [Hz]	Kreis-frequenz	Amplitude Soll	Amplitude Ist	20*log(Ist/ Soll)	"Länge" Schwingung Soll	Abstand Schwingungs-maxima	Δj [rad]	Δj [Grad]
0,1	0,63	9,7	10,9	1,01	8,3	0,0	0,00	0,00
0,2	1,26	9,7	11,2	1,25	6,8	0,0	0,00	0,00
0,5	3,14	9,7	11,2	1,25	5,8	0,0	0,00	0,00
1	6,28	7,3	10,7	3,32	4,3	0,1	-0,15	-8,37
2	12,57	4,1	11,3	8,81	4,4	0,8	-1,14	-65,45
5	31,42	9,7	2,4	-12,13	3,1	1,3	-2,63	-150,97
10	62,83	9,7	0,9	-20,65	2,7	1,3	-3,03	-173,33
20	125,66	9,7	0,5	-25,76	3,1	1,6	-3,24	-185,81



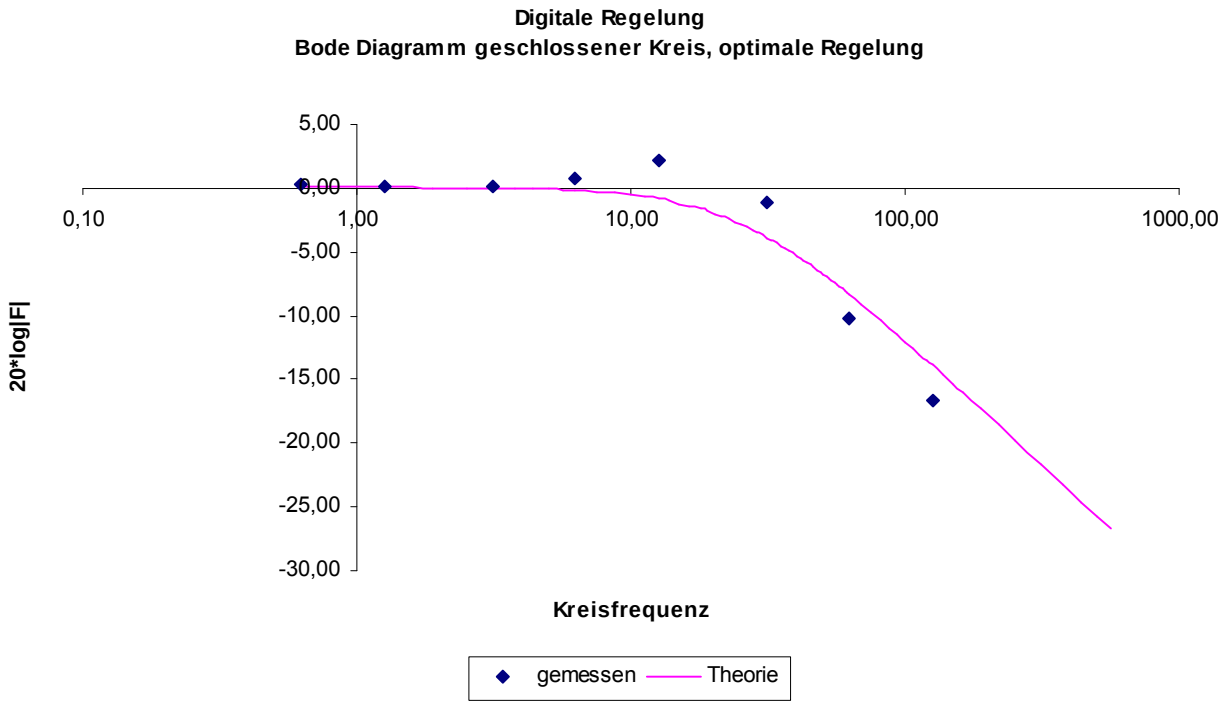
Diese Ausarbeitung wurde vom Fachschaftsrat Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

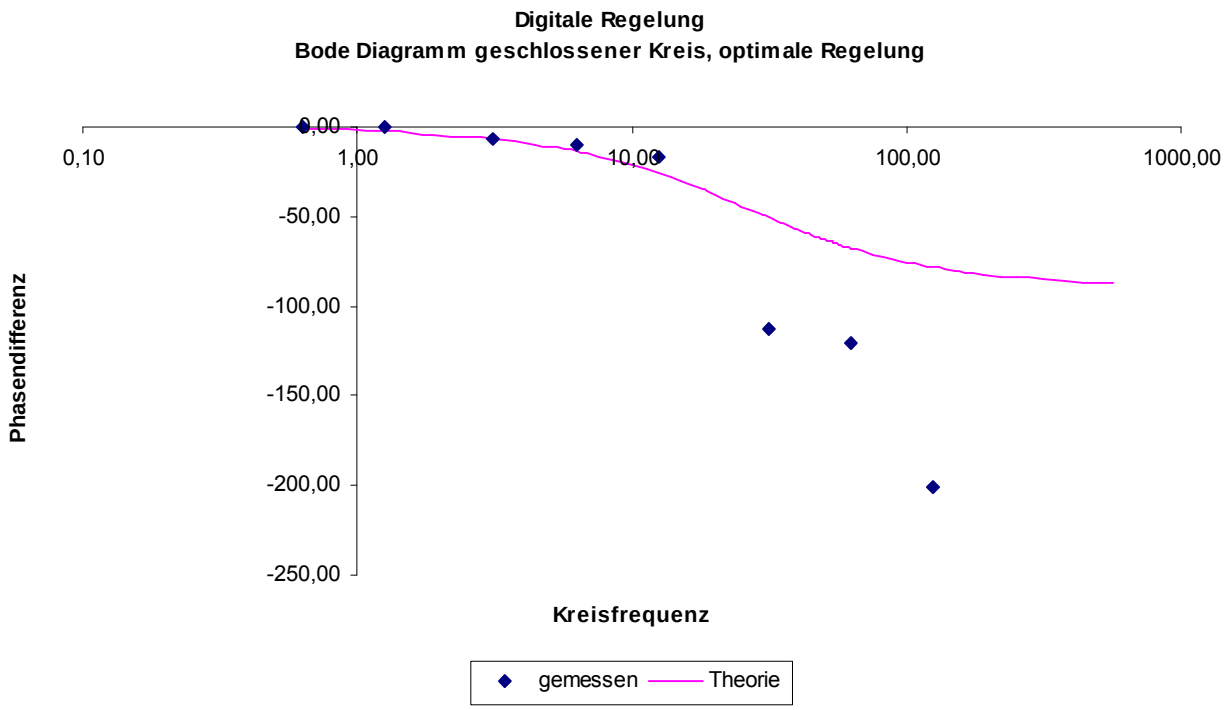


optimal
Der P-Anteil betrug *8,5*.

Frequenz [Hz]	Kreis-frequenz	Amplitude Soll	Amplitude Ist	20*log(Ist/ Soll)	"Länge" Schwingung Soll	Abstand Schwingungs-maxima	Δj [rad]	Δj [Grad]
0,1	0,63	9,7	10	0,26	5,1	0,0	0,00	0,00
0,2	1,26	9,7	9,8	0,09	5,1	0,0	0,00	0,00
0,5	3,14	9,7	9,9	0,18	5,1	0,1	-0,12	-7,06
1	6,28	9,7	10,5	0,69	3,6	0,1	-0,17	-10,00
2	12,57	9,7	12,5	2,20	4,3	0,2	-0,29	-16,74
5	31,42	9,7	8,6	-1,05	4,8	1,5	-1,96	-112,50
10	62,83	9,7	3,0	-10,19	3,9	1,3	-2,09	-120,00
20	125,66	9,6	1,4	-16,72	4,3	2,4	-3,51	-200,93

Diese Ausarbeitung ist Eigentum der Fachschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

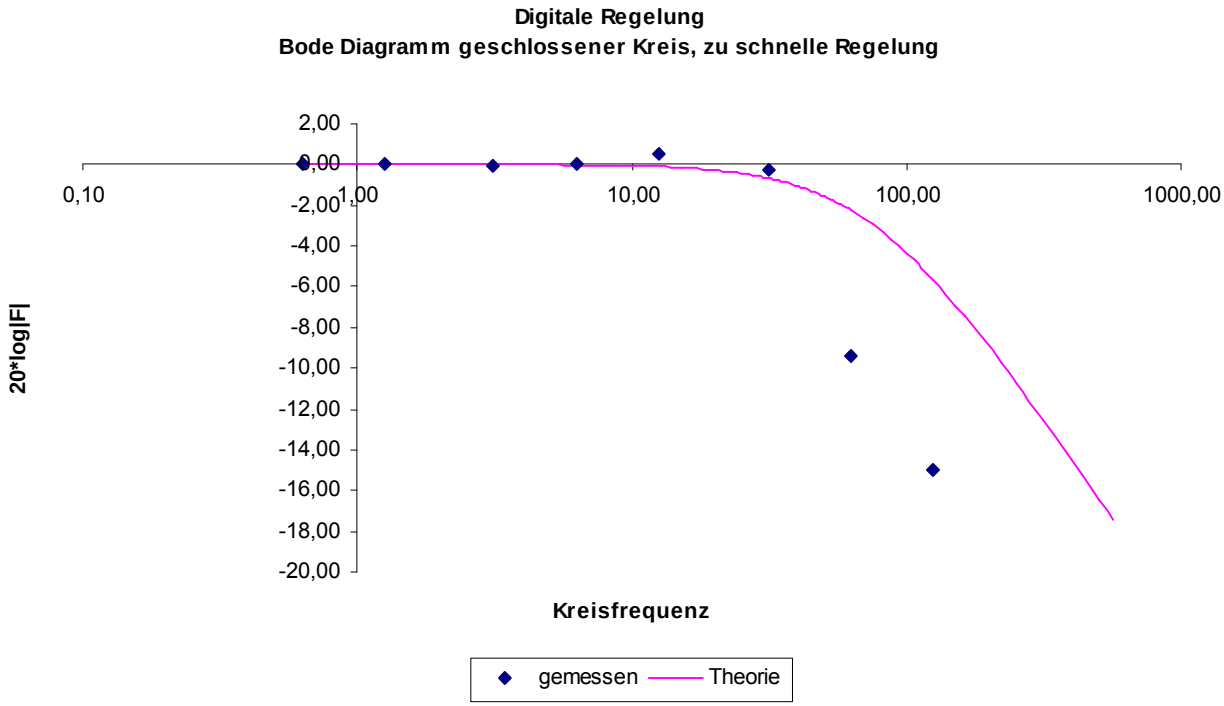




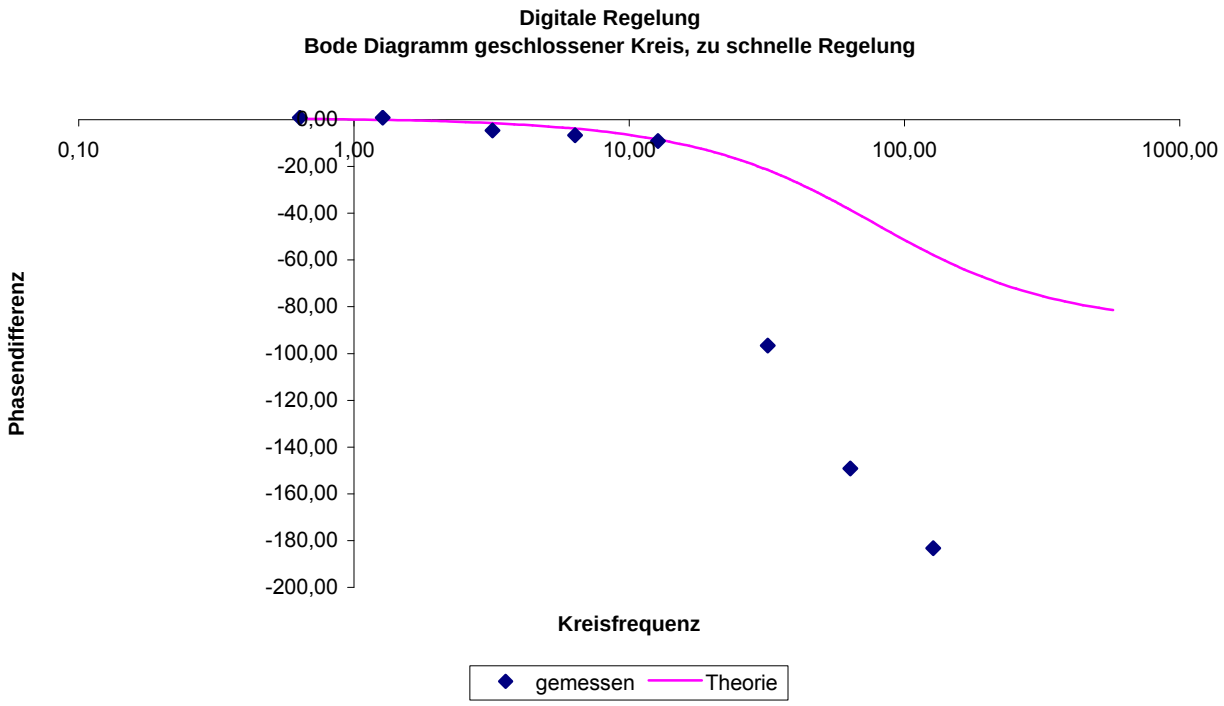
Dieses Dokument ist Eigentum des Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

zu schnell
Der P-Anteil betrug *25*.

Frequenz [Hz]	Kreis-frequenz	Amplitude Soll	Amplitude Ist	20*log(Ist/ Soll)	"Länge" Schwingung Soll	Abstand Schwingungs-maxima	Δj [rad]	Δj [Grad]
0,1	0,63	9,6	9,6	0,00			0,00	0,00
0,2	1,26	9,6	9,6	0,00	5,3	0,0	0,00	0,00
0,5	3,14	9,6	9,5	-0,09	6,6	0,1	-0,10	-5,45
1	6,28	9,7	9,7	0,00	4,8	0,1	-0,13	-7,50
2	12,57	9,7	10,3	0,52	3,6	0,1	-0,17	-10,00
5	31,42	9,7	9,4	-0,27	4,8	1,3	-1,70	-97,50
10	62,83	9,7	3,3	-9,37	4,8	2,0	-2,62	-150,00
20	125,66	9,6	1,7	-15,04	4,3	2,2	-3,21	-184,19



Diese Ausarbeitung ist von FTWG Naturwissenschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.



Auch bei der digitalen Regelung ergaben sich ähnliche Ergebnisse wie analog: Die Messwerte stimmen tendenziell mit der Theorie überein. Bei der zu langsamen Regelung zeigt sich hier ein Resonanzphänomen, ein deutlicher Hinweis auf Dämpfung, die bei der Theoriekurve hätte berücksichtigt werden müssen. Da die Resonanzfrequenz und die Dämpfungskonstante aber unbekannt sind, ergaben sich mit einer solchen Theoriekurve keine besseren Ergebnisse.

3.3.3. Positionsregelung

Zum Abschluss des Versuchs bastelten wir uns noch einen Wagen-Positionsregler. Das Schaltbild, welches wir dabei entwarfen zeigt Abbildung 23.
Hier war es möglich über ein Feld einen Zahlenwert einzugeben und der PC veranlasste den Eisenbahnwagen die dieser eingegebenen Zahl zugeordneten Streckenposition einzunehmen.
Es ist wahrlich eine denkbar einfach Anwendung der Regelung, aber so einfach diese Aufgabenstellung auch gewesen sein mag, sie zeigte uns die Mächtigkeit des Programms LabView auf und illustrierte uns sehr eindrücklich was wir bei diesem FP-Versuch für die Praxis lernen konnten.

Diese Publikation wurde vom Verein Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

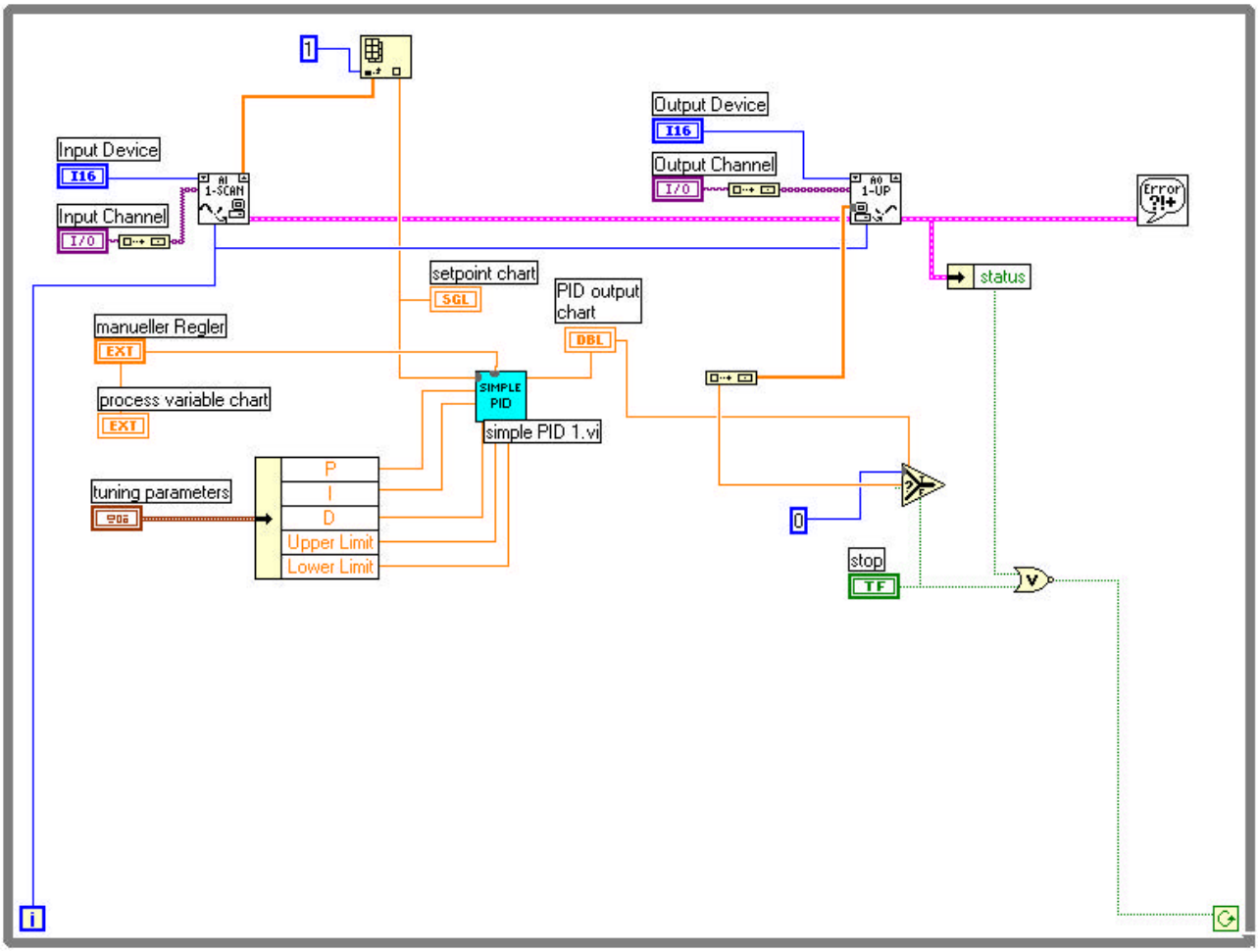


Abbildung 23: Positionsregelung des Wagens mittels Lab View

Diese Diplomarbeit wurde vom VDC Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

LITERATURVERZEICHNIS

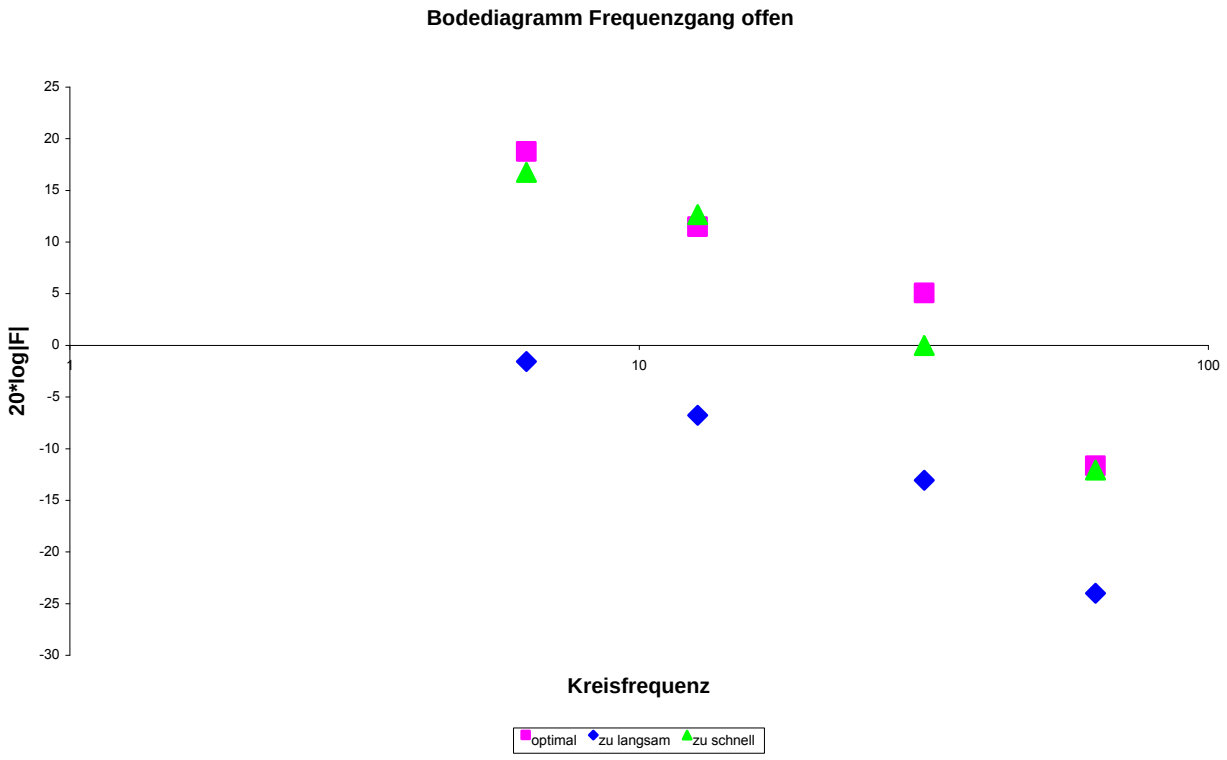
[1] Unger: Einführung in die Regelungstechnik; Teubner Studienskripten, 1990
[2] Xander, Enders: Regelungstechnik mit elektronischen Bauelementen; Werner-Verlag, 1987
[3] Samal, Becker: Grundriß der praktischen Regelungstechnik; Oldenbourg Verlag, 1993
[4] Birnesser, Wagner: Versuchsprotokoll Regelungstechnik, 2002
[5] http://batronix.com/elektronik/know-how/op-amp.shtml
[6] http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/175000-199999/175927-da-01-en-lm741cn_to_dip.pdf
[7] Lutz, Wendt: Taschenbuch der Regelungstechnik; Verlag Harri Deutsch, 2002

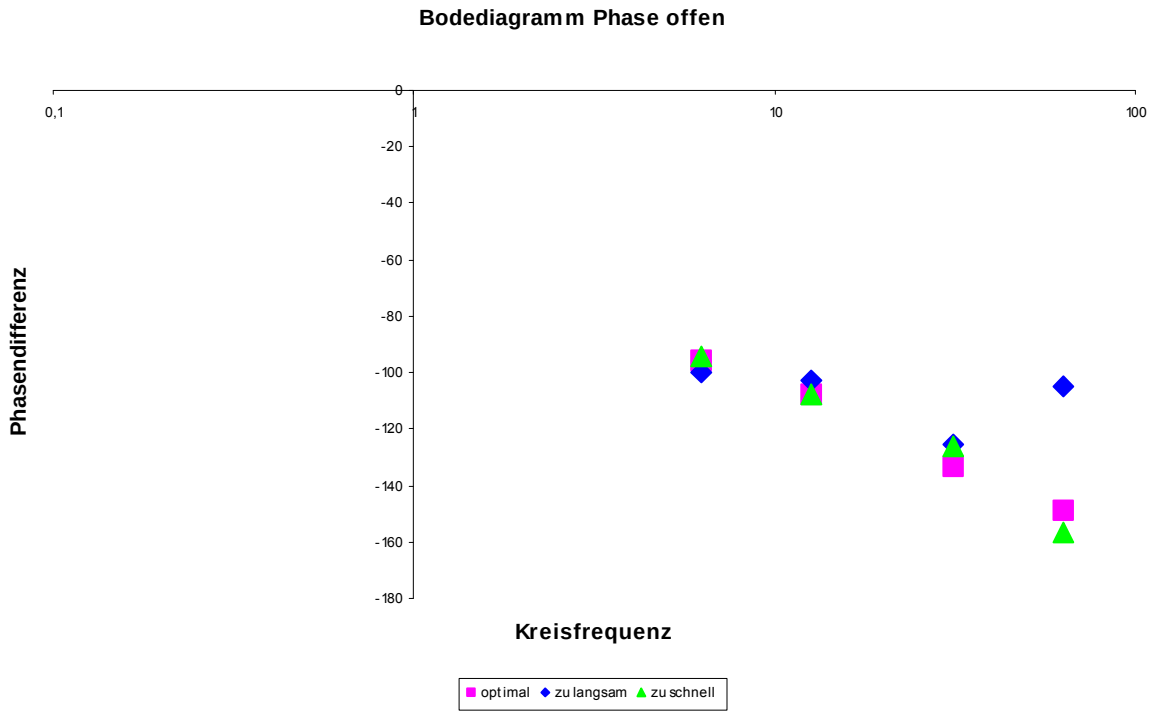
Dieses Dokument wird Ihnen vom Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

Analoge Regelung

P-Regler

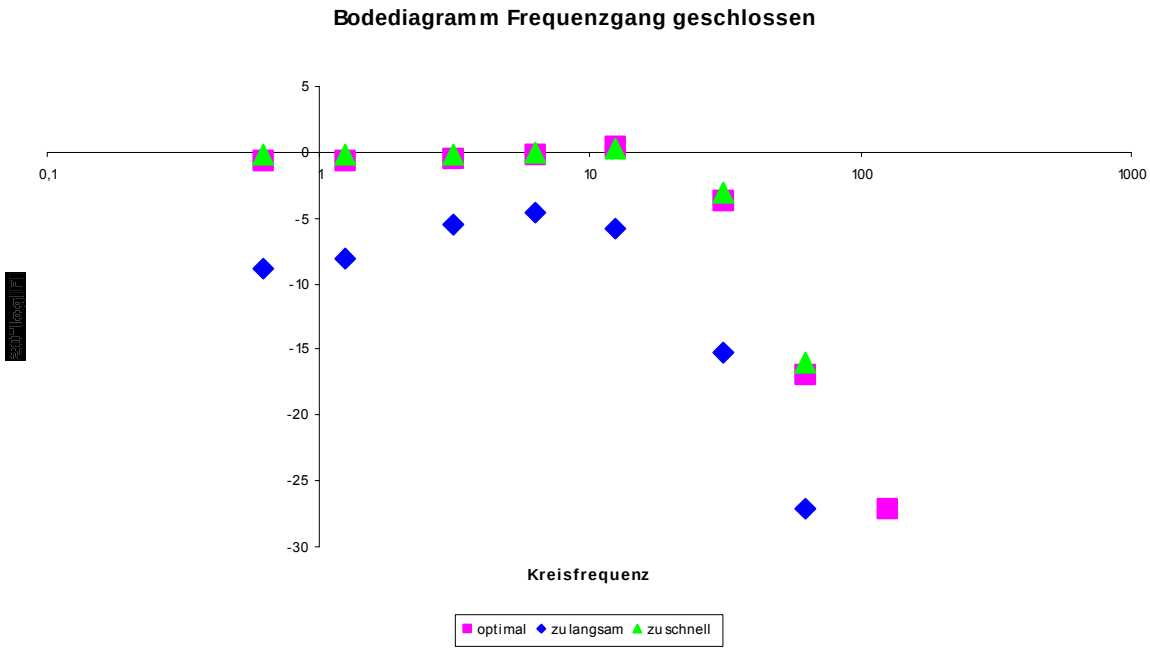
offen

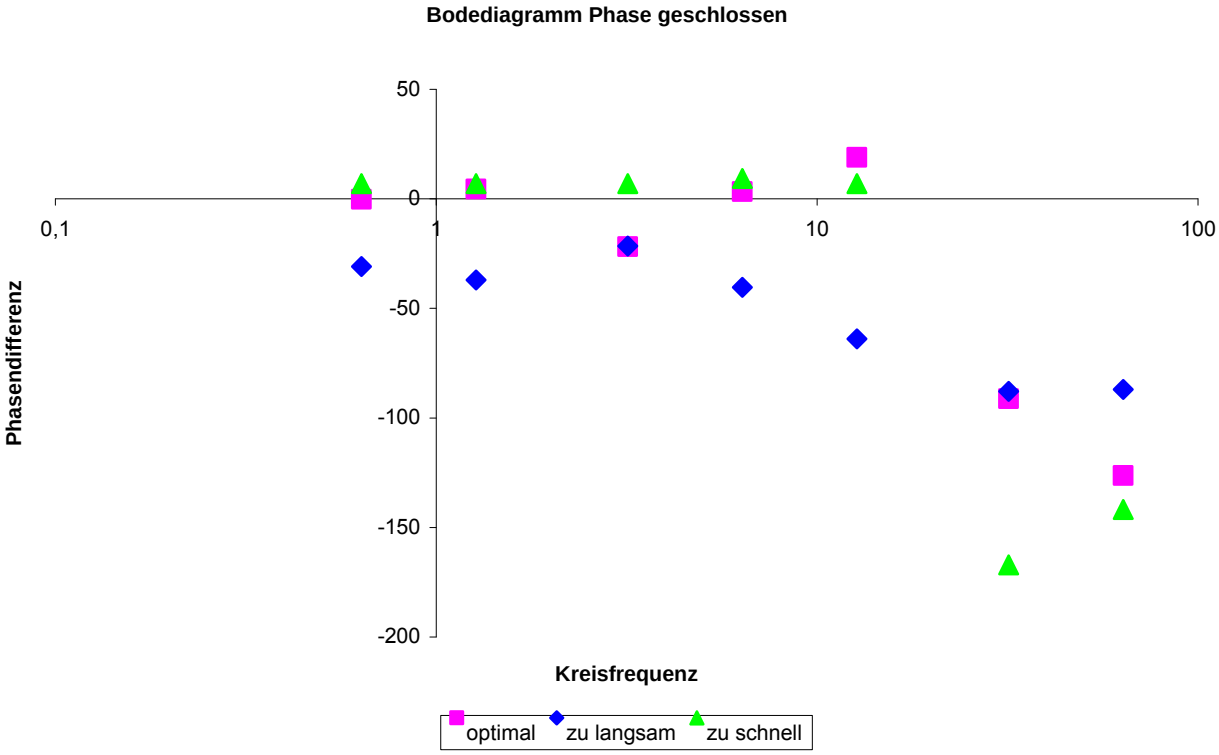




Dieses Dokument wird Ihnen vom Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

geschlossen

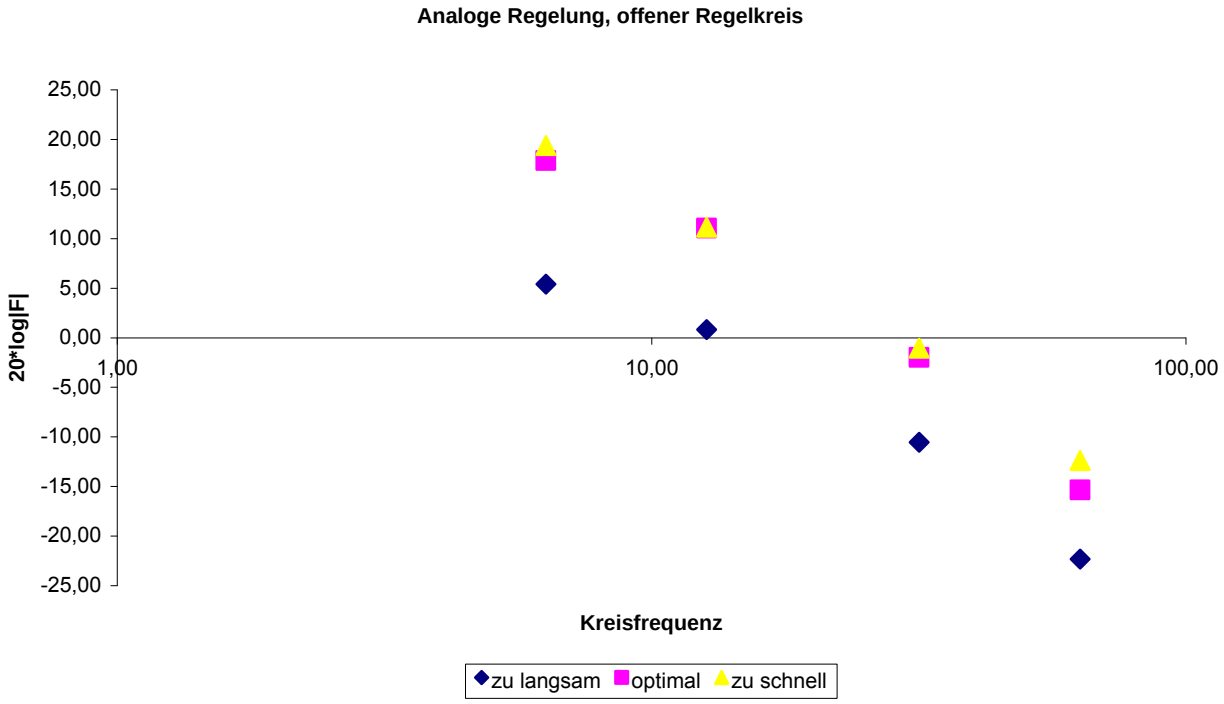


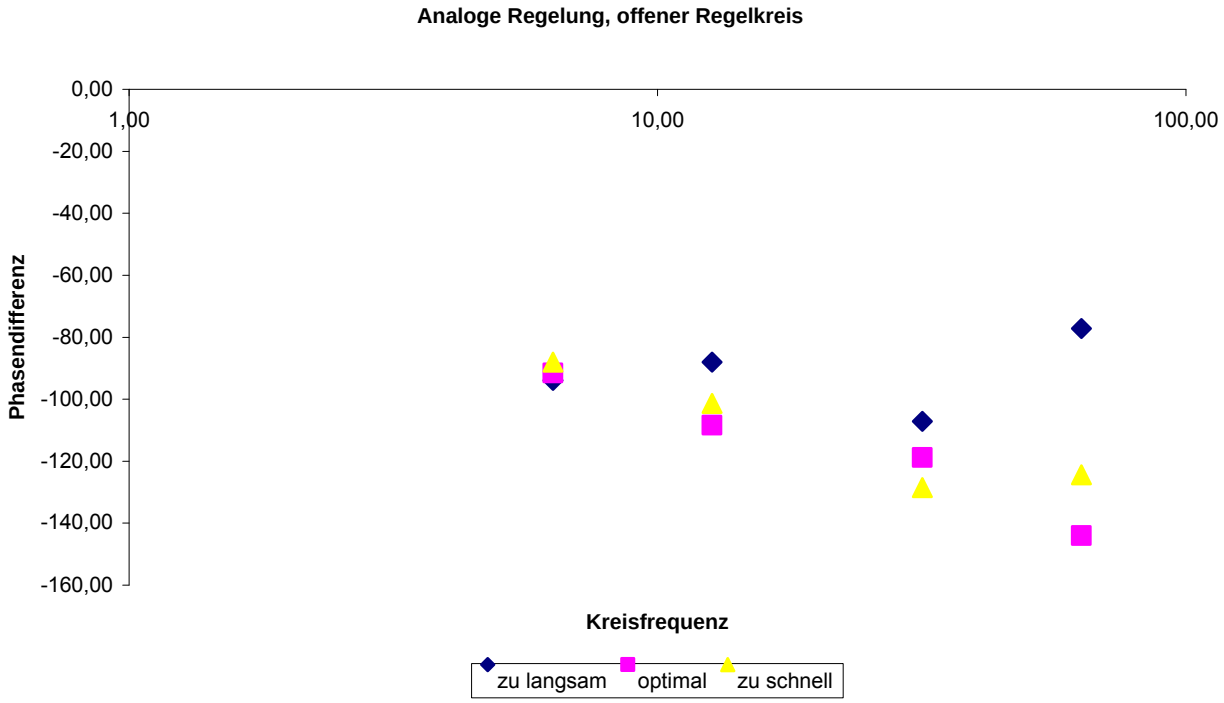


Dieses Dokument wird Ihnen vom Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

PI-Regler

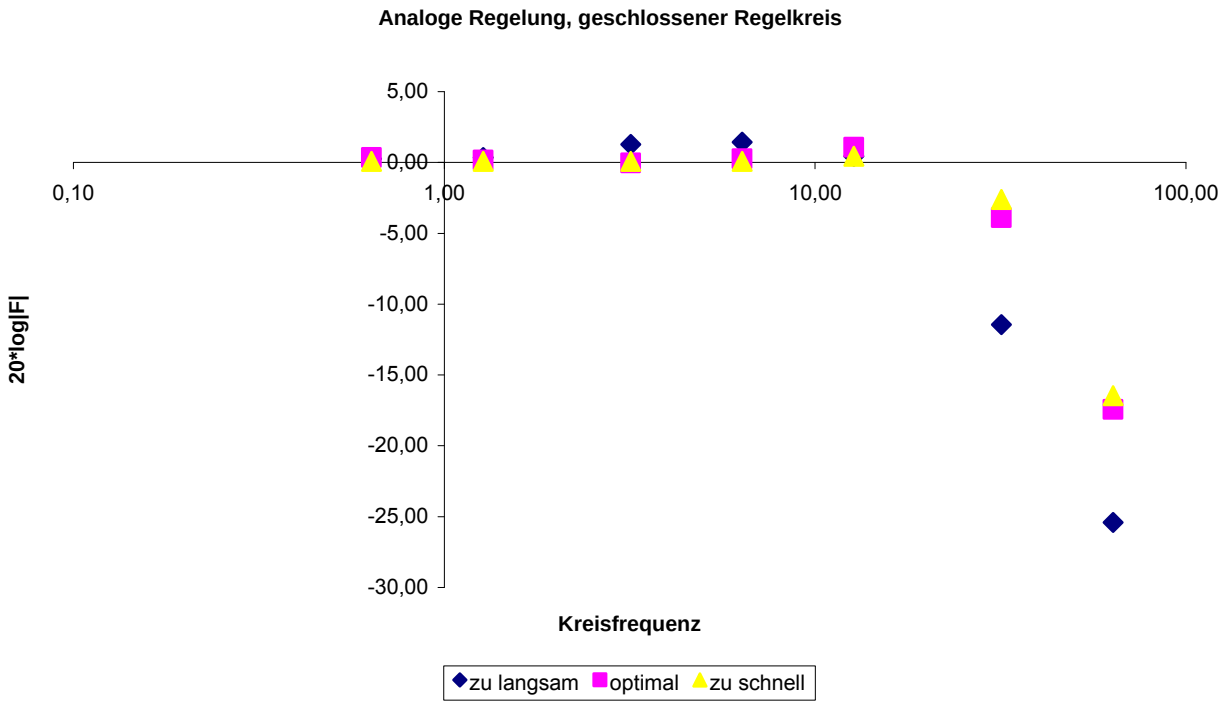
offen

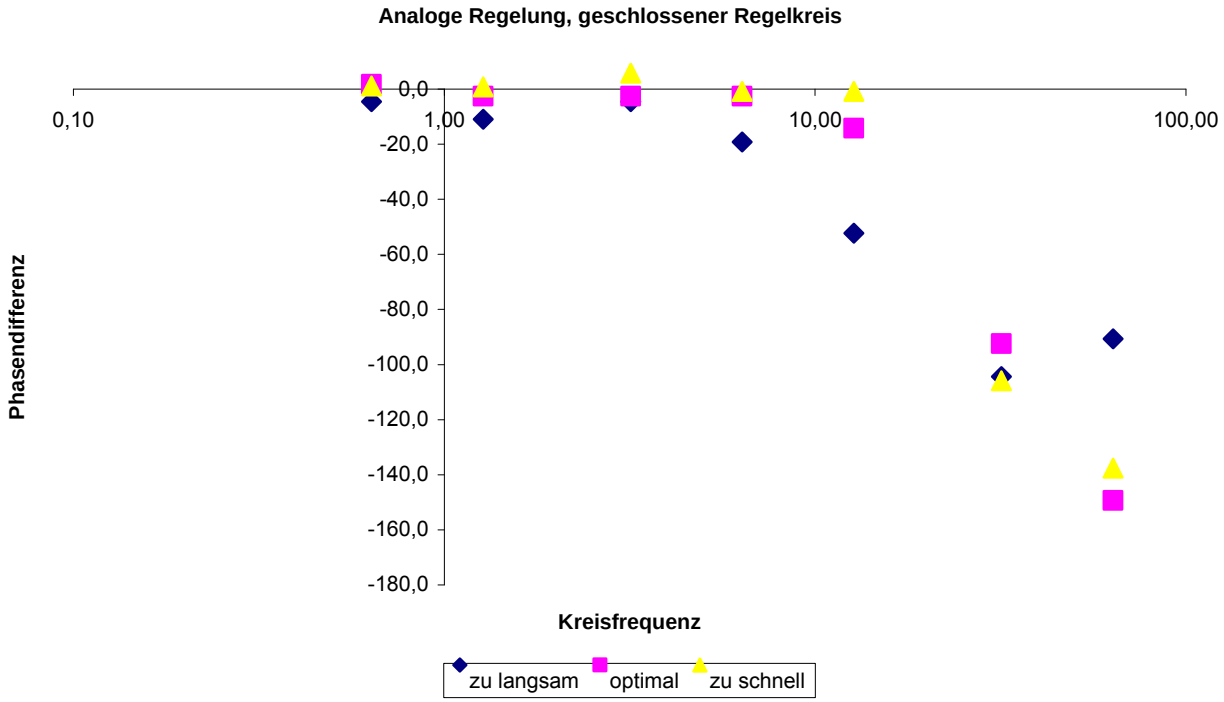




Dieses Dokument wird Ihnen vom Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

geschlossen

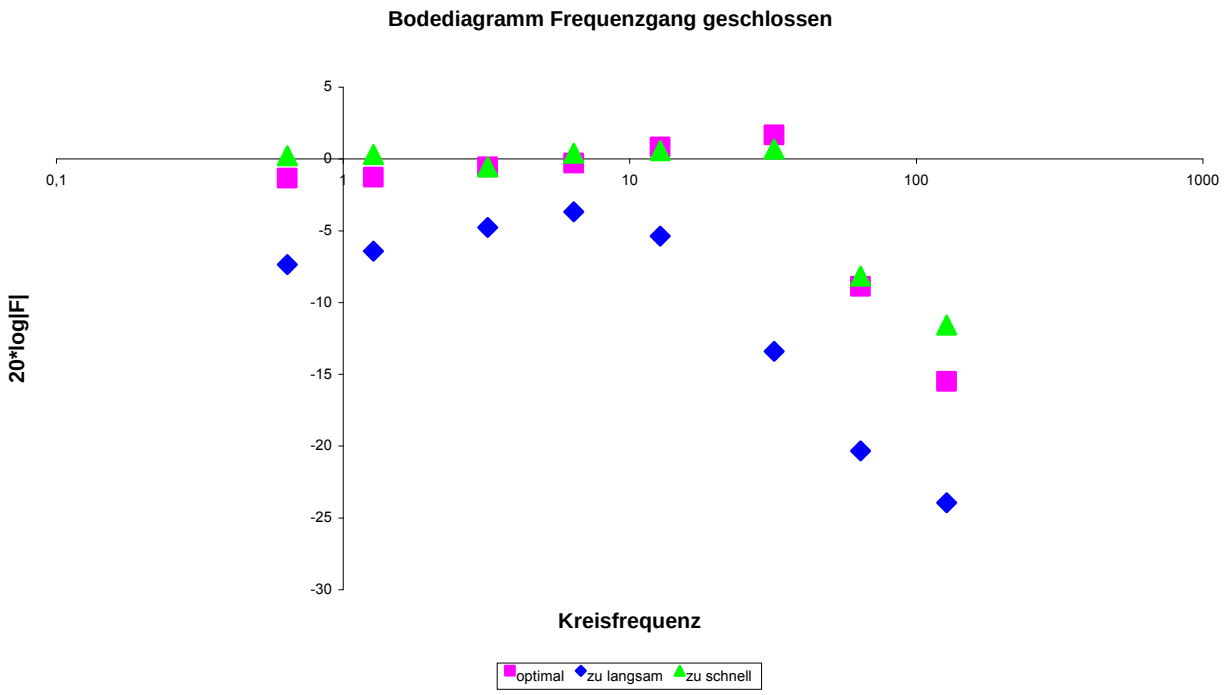


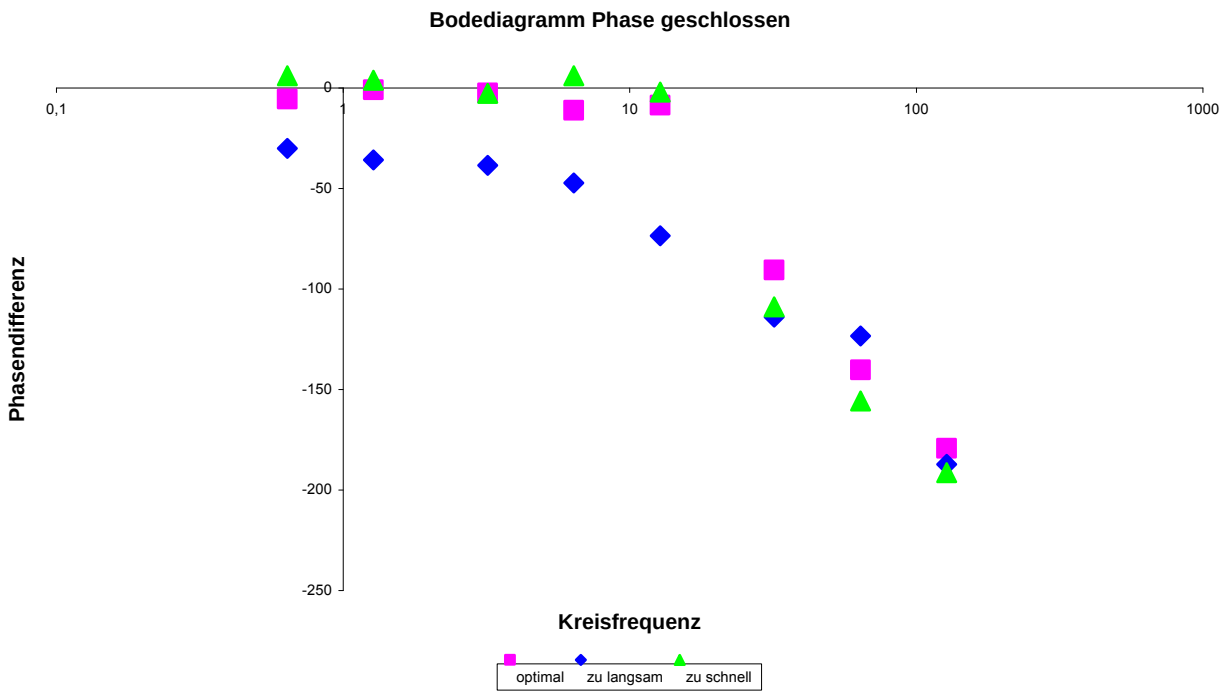


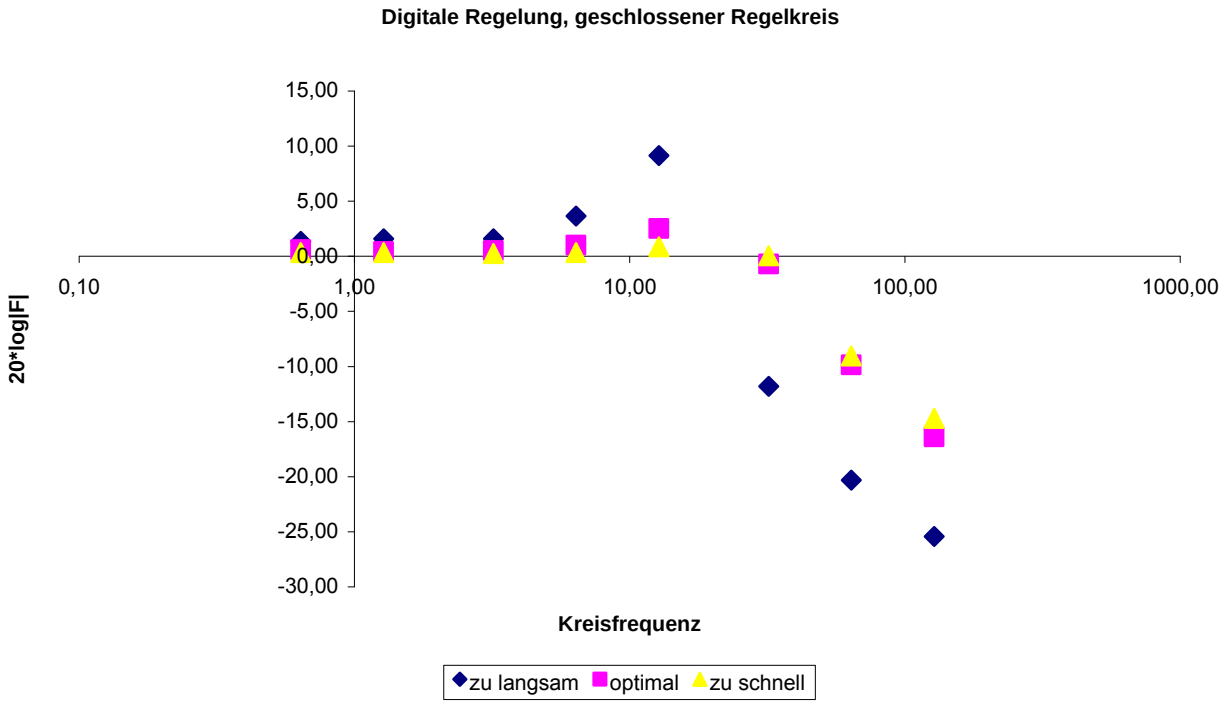
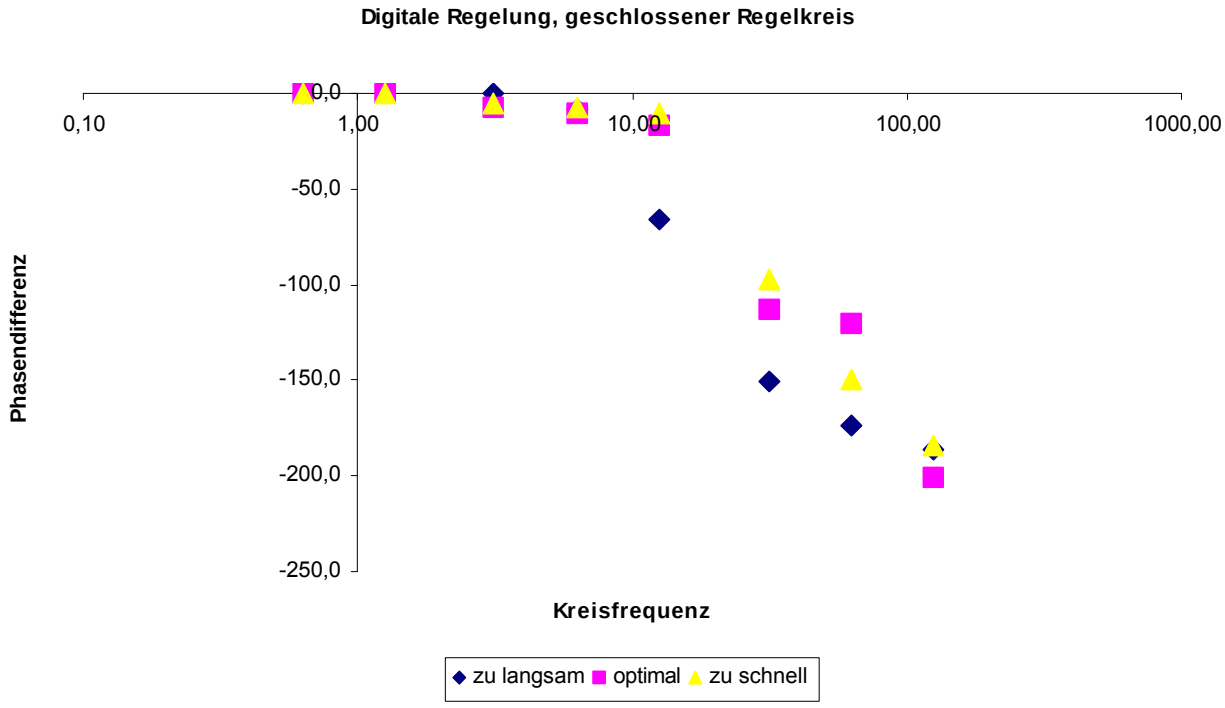
Dieses Dokument wird Ihnen vom Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

Digitale Regelung

P-Regler





Dieses Dokument wird Ihnen vom Wirtschaftsphysik Alumni e.V. zur Verfügung gestellt.

PI-Regler