



Beleg MdS

Dokumentation Praktika
SoSe19

Sebastian Otto

67721 16-EIK-AT

Inhaltsverzeichnis

1. P1: Modellierung eines Gleichstrommotors mit Simulink & Simscape.....	3
1.1. Vorbereitung	3
1.1.1. Aufgabe 1.....	3
1.1.2. Aufgabe 2.....	4
1.1.3. Aufgabe 3.....	5
1.2. Praktikumsaufgaben.....	7
1.2.1. 1. Aufgabe SM	7
1.2.2. 2. Aufgabe SM	8
1.2.3. 3. Aufgabe SM	10
1.3.1. 1. Aufgabe OM.....	12
1.3.2. 2. Aufgabe OM.....	13
1.3.3. 3. Aufgabe OM.....	15
1.3. Auswertung	17
1.3.1. Aufgabe 1.....	17
2. P2: Identifikation nichtparametrischer Modelle.....	18
2.1. Vorbereitung	18
2.1.1. Aufgabe 1.....	18
2.1.2. Aufgabe 2.....	18
2.1.3. Aufgabe 3.....	18
2.1.4. Aufgabe 4.....	18
2.1.5. Aufgabe 5.....	19
2.2. Praktikumsaufgaben.....	20
2.2.1. Aufgabe 2.....	20
2.2.2. Aufgabe 3a.....	23
2.2.3. Aufgabe 3b	24
2.2.4. Aufgabe 4a.....	25
2.2.5. Aufgabe 4b	26
2.2.6. Aufgabe 4c.....	27
2.3. Auswertung	29
2.3.1. Aufgabe 1.....	29
2.3.2. Aufgabe 2.....	29
2.3.3. Aufgabe 3.....	30
2.3.4. Aufgabe 4.....	30
3. P3: Identifikation parametrischer Modelle	31
3.1. Vorbereitung	31

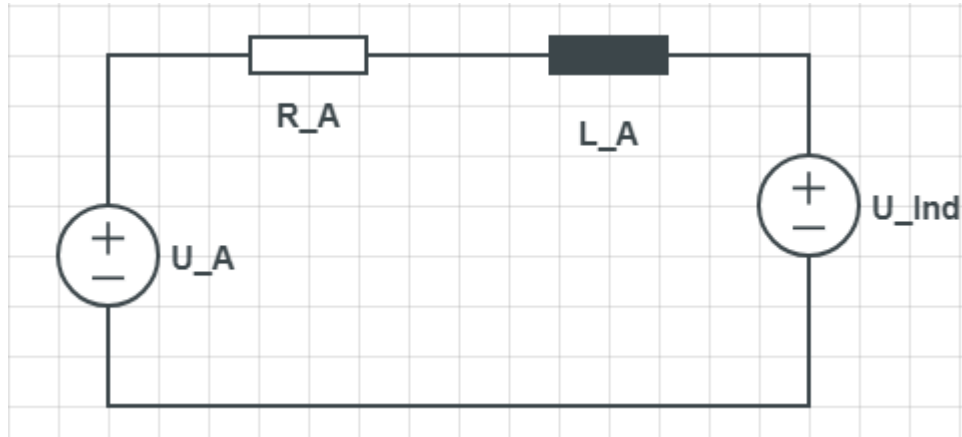
3.1.1. Aufgabe 1.....	31
3.1.2. Aufgabe 2.....	31
3.1.3. Aufgabe 3.....	31
3.2. Praktikumsaufgaben.....	32
3.2.1. Aufgabe 2a.....	32
3.2.2. Aufgabe 2b	32
3.2.3. Aufgabe 2c.....	33
3.2.4. Aufgabe 2d	34
3.2.5. Aufgabe 2e.....	35
3.2.6. Aufgabe 3b	35
3.2.7. Aufgabe 3c.....	36
3.2.8. Aufgabe 4a.....	37
3.2.9. Aufgabe 4b	38
3.2.10. Aufgabe 4c	39
3.3. Auswertung	43
3.3.1. Aufgabe 1	43
4. P4: Identifikation eines Gleichstrommotors	44
4.1. Vorbereitung	44
4.1.1. Aufgabe 1.....	44
4.1.2. Aufgabe 2.....	45
4.1.3. Aufgabe 3.....	45
4.1.4. Aufgabe 4.....	45

1. P1: Modellierung eines Gleichstrommotors mit Simulink & Simscape

1.1. Vorbereitung

1.1.1. Aufgabe 1

1. elektrisches Teilsystem:



$$L \frac{di_A}{dt} = U_A(t) - U_{RA}(t) - U_{IND}(t)$$

$$L \frac{di_A}{dt} = U_A(t) - i_A R_A - k_m \omega_m \quad \rightarrow U_{IND} = k_m \omega_m$$

$$L i_A = U_A(t) - i_A R_A - k_m i \omega_l \quad \rightarrow M_g = M_{g1} i; \omega_l = \frac{1}{i} \omega_m; \dot{\omega}_l = \frac{1}{i} \dot{\omega}_m \quad (1)$$

2. mechanisches Teilsystem:

vor Getriebe:

$$M_T = M_m - M_{g1}$$

$$J_m \dot{\omega}_m = \eta_m M_m - M_{g1}$$

$$J_m \dot{\omega}_m = \eta_m k_t i_A - M_{g1} \quad \rightarrow M_{g1} = -J_m \dot{\omega}_l + \eta_m k_t i_A \quad (2)$$

nach Getriebe:

$$M_T = M_g - M_R - M_l$$

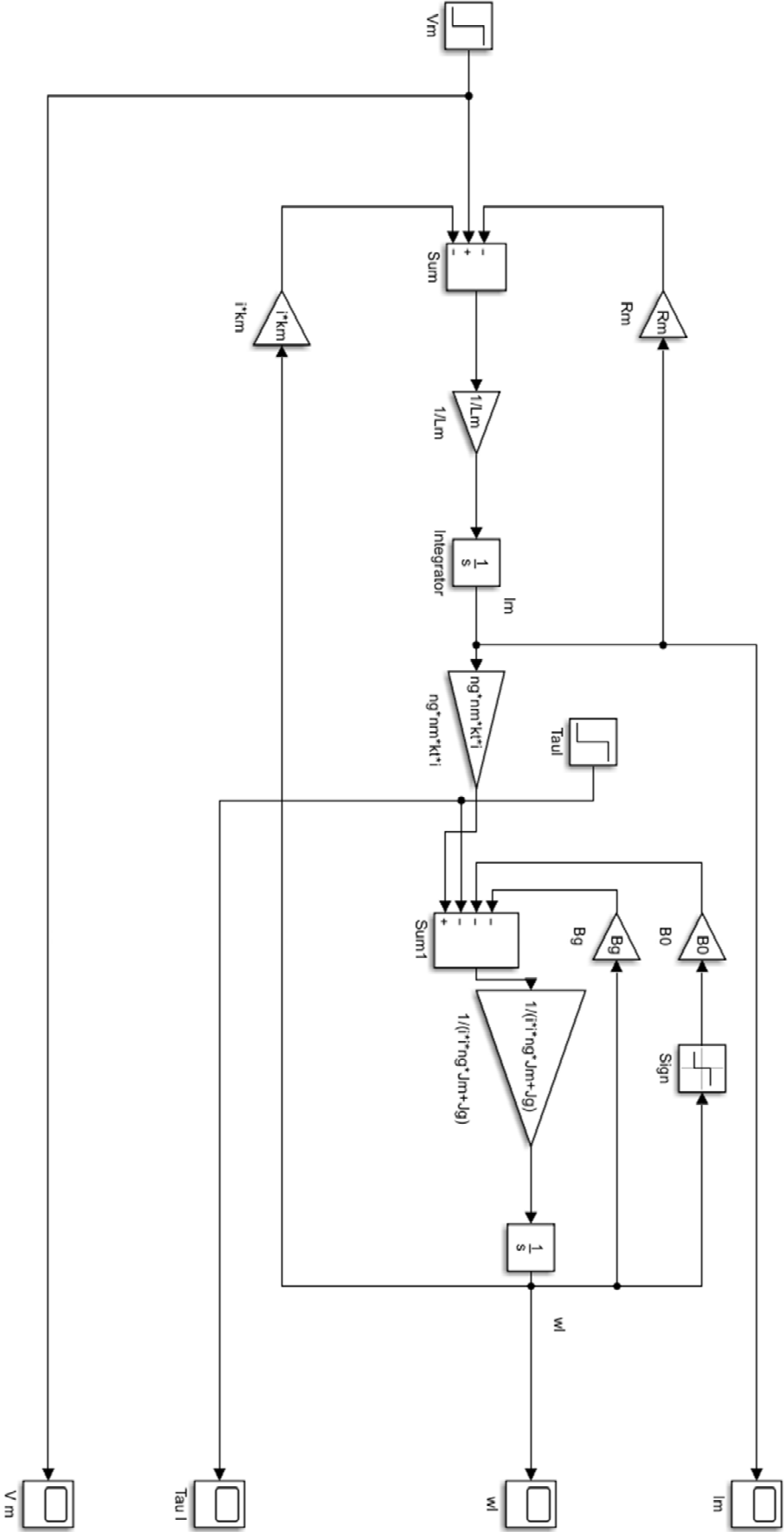
$$J_g \dot{\omega}_l = \eta_g M_{g1} i - B_0 \text{sign}(\omega_l) - B_g \omega_l - M_l \quad \rightarrow -M_R = -B_0 \text{sign}(\omega_l) - B_g \omega_l$$

$$J_g \dot{\omega}_l = i \eta_g (-J_m \dot{\omega}_m + \eta_m k_t i_A) - B_0 \text{sign}(\omega_l) - B_g \omega_l - M_l$$

$$J_g \dot{\omega}_l + i \eta_g J_m \dot{\omega}_m = i \eta_g \eta_m k_t i_A - B_0 \text{sign}(\omega_l) - B_g \omega_l - M_l$$

$$(J_g + i^2 \eta_g J_m) \dot{\omega}_l = i \eta_g \eta_m k_t i_A - B_0 \text{sign}(\omega_l) - B_g \omega_l - M_l \quad (3)$$

1.1.2. Aufgabe 2



1.1.3. Aufgabe 3

Ableitung Gleichung (3):

$$\begin{aligned} \rightarrow \tau_l &= M_l = \text{Lastmoment} \\ B_0 &= \text{const.} \rightarrow \frac{dB_0}{dt} = 0 \\ (J_g + i^2 \eta_g J_m) \dot{\omega}_l &= i_A k_t \eta_m \eta_g i - B_g \dot{\omega}_l - \dot{M}_l \end{aligned}$$

Laplace-Transformation der Gleichung (1) & der 1. Ableitung von Gleichung (3):

$$\begin{aligned} Li_A &= U_A(t) - i_A R_A - k_m i \omega_l : \\ sLi_A &= U_A - i_A R_A - k_m i \omega_l \end{aligned} \quad (1')$$

$$\begin{aligned} (J_g + i^2 \eta_g J_m) \ddot{\omega}_l &= i_A k_t \eta_m \eta_g i - B_g \dot{\omega}_l - \dot{M}_l : \\ s^2 \omega_l (J_g + i^2 \eta_g J_m) &= s i_A k_t \eta_m \eta_g i - s B_g \omega_l - s M_l \end{aligned} \quad (3')$$

Auflösen von Gleichung (1') nach i_A :

$$i_A = \frac{U_A - i k_m \omega_l}{sL + R_A} \quad (4)$$

Auflösen von Gleichung (3') nach ω_l :

$$\omega_l = \frac{i_A k_t \eta_m \eta_g i - M_l}{s(J_m \eta_g i^2 - J_g) B_g} \quad (5)$$

Herleitung U_A auf i_A , $M_l = 0$, Gleichung (5) in (4):

$$G_{U_A}^{i_A} |_{M_l=0} = \frac{s(i^2 \eta_g J_m + J_g) + B_g}{s^2 L(i^2 \eta_g J_m + J_g) + s(R_A(i^2 \eta_g J_m + J_g) + L B_g) + (R_A B_g + i^2 \eta_m \eta_g k_t k_m)}$$

Herleitung U_A auf ω_l , $M_l = 0$, Gleichung (4) in (5):

$$G_{U_A}^{\omega_l} |_{M_l=0} = \frac{i \eta_m \eta_g k_t}{s^2 L(i^2 \eta_g J_m + J_g) + s(R_A(i^2 \eta_g J_m + J_g) + L B_g) + (R_A B_g + i^2 \eta_m \eta_g k_t k_m)}$$

Herleitung M_l auf i_A , $U_A = 0$, Gleichung (5) in (4):

$$G_{M_l}^{i_A} |_{U_A=0} = \frac{i k_m}{s^2 L(i^2 \eta_g J_m + J_g) + s(R_A(i^2 \eta_g J_m + J_g) + L B_g) + (R_A B_g + i^2 \eta_m \eta_g k_t k_m)}$$

Herleitung M_1 auf ω_l , $U_A = 0$, Gleichung (4) in (5):

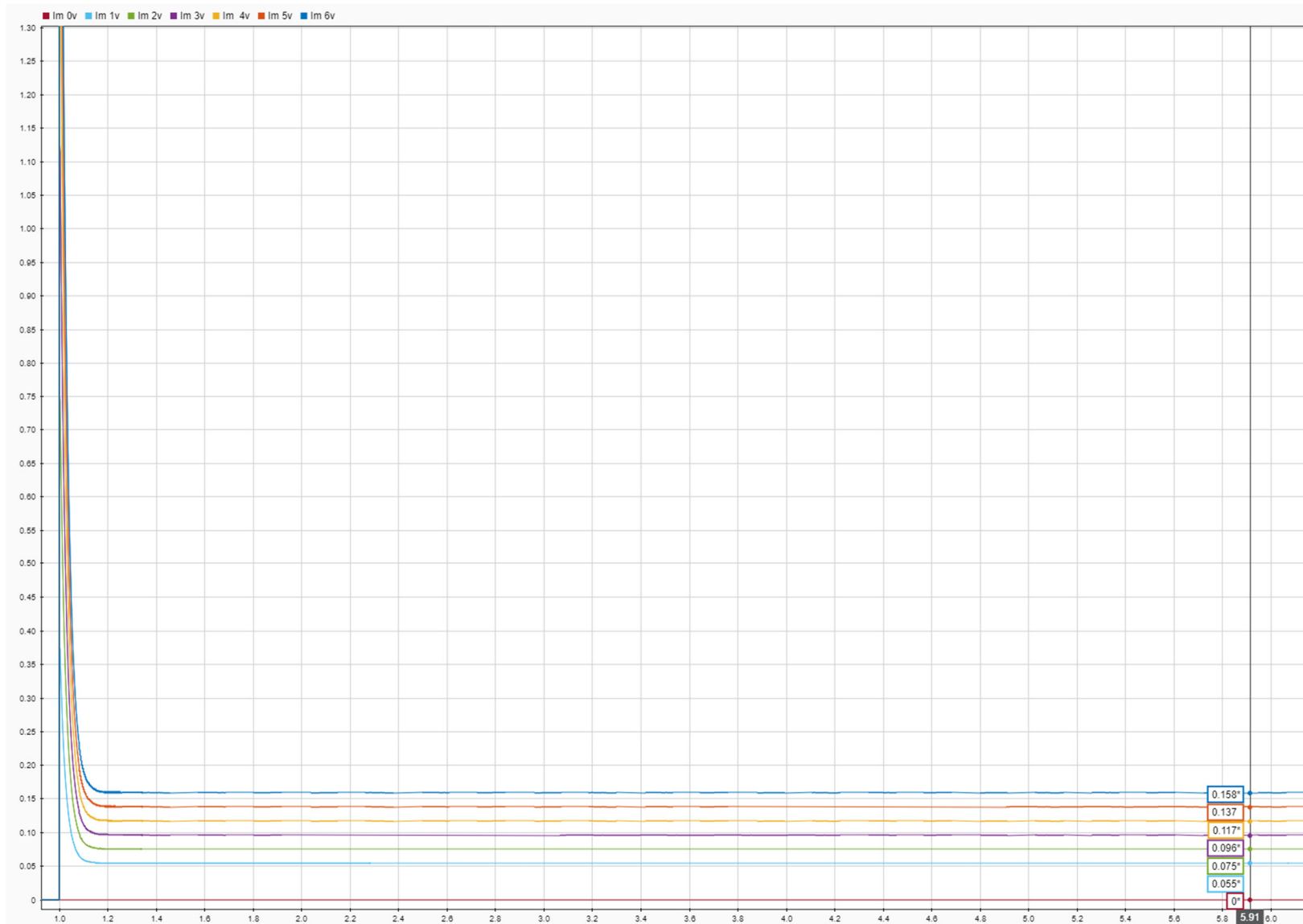
$$G_{M_l}^{\omega_l} |_{U_A=0} = \frac{-(sL + R_A)}{s^2L(i^2\eta_g J_m + J_g) + s(R_A(i^2\eta_g J_m + J_g) + LB_g) + (R_A B_g + i^2\eta_m \eta_g k_t k_m)}$$

1.2.2. 2. Aufgabe SM

Sprungantworten von ω_l für U_A 0V-6V:

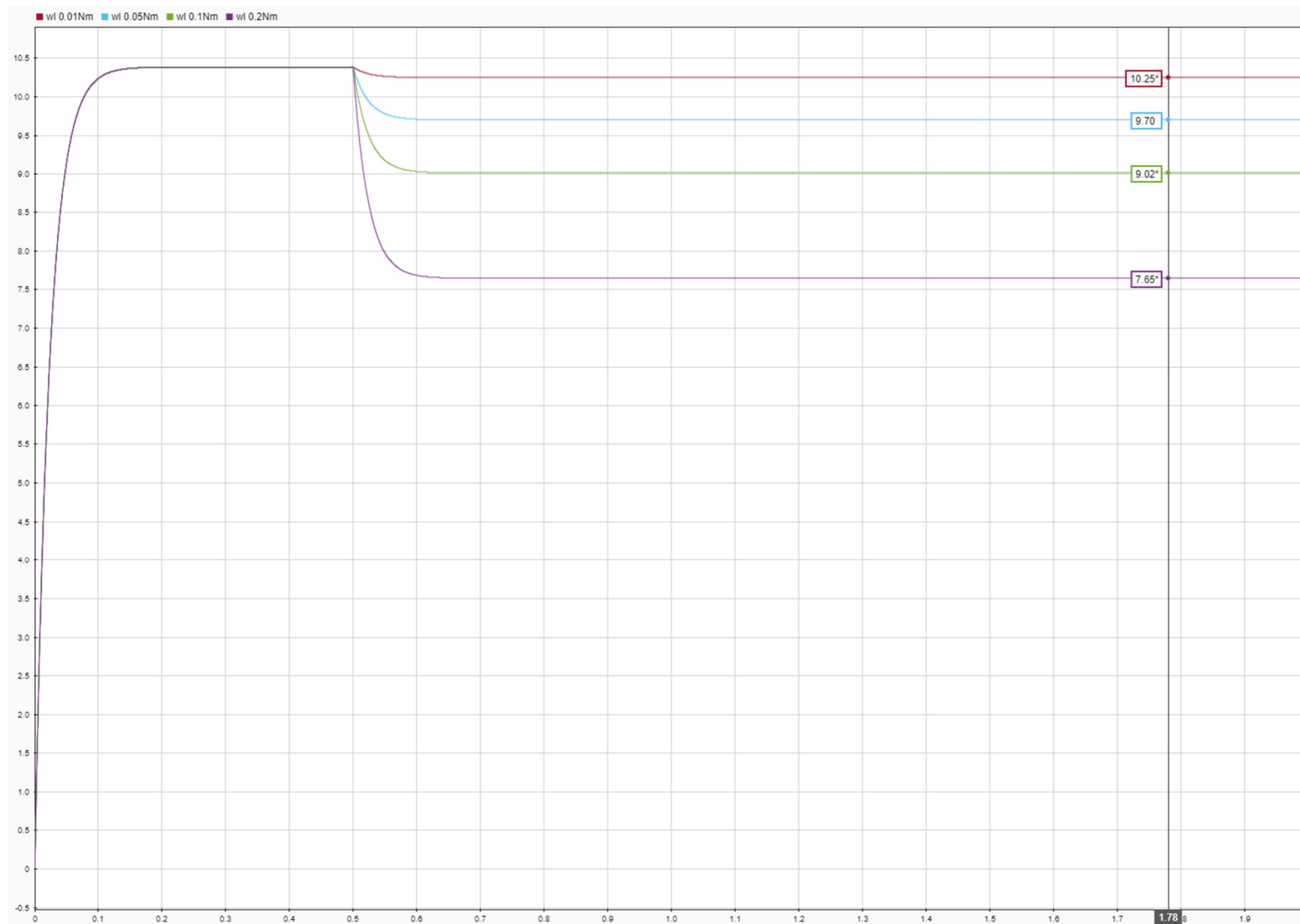


Sprungantworten von i_A für U_A 0V-6V:

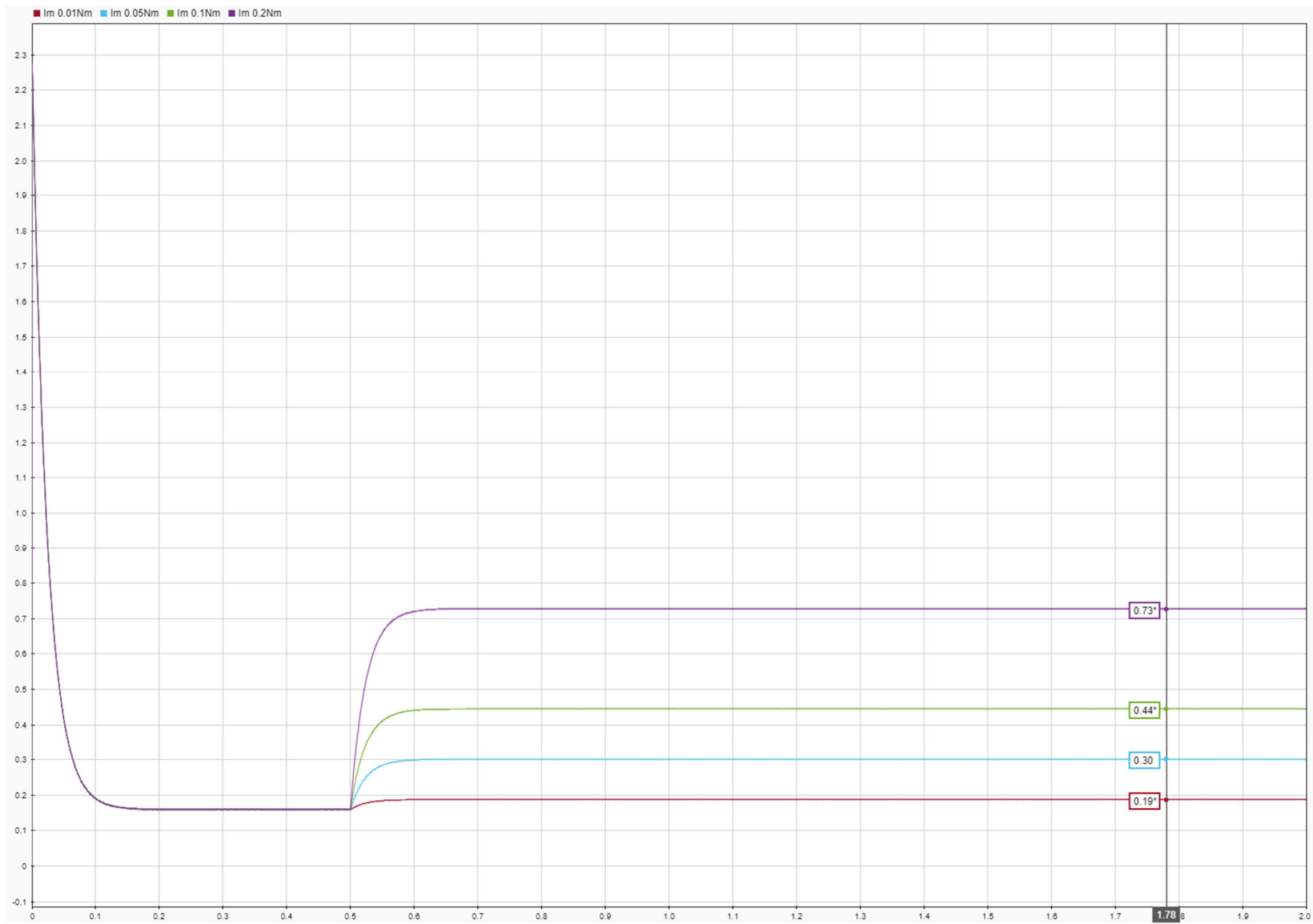


1.2.3. 3. Aufgabe SM

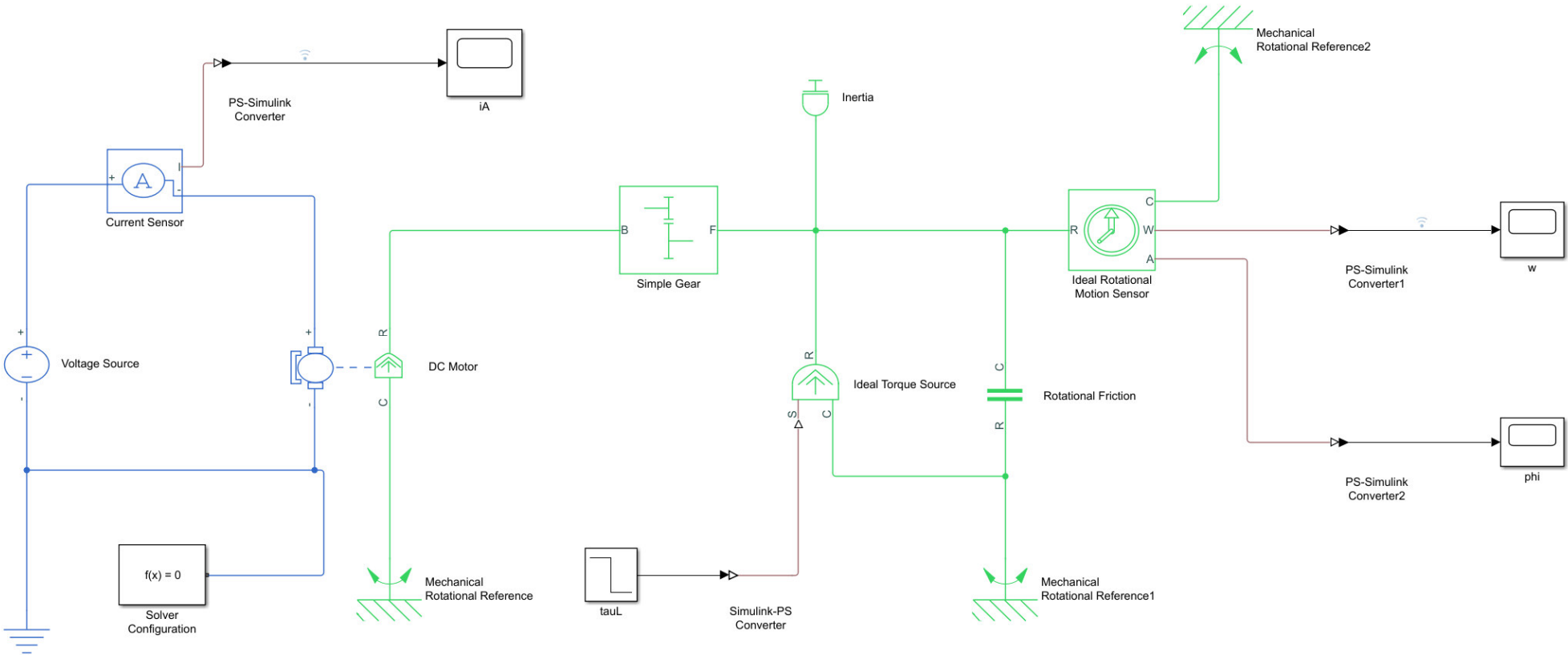
Sprungantworten von ω_l mit Lastmoment τ_l :



Sprungantworten von i_A mit Lastmoment τ_L :



1.3.1. 1. Aufgabe OM



1.3.2. 2. Aufgabe OM

Sprungantworten von ω_l für U_A 0V-6V:

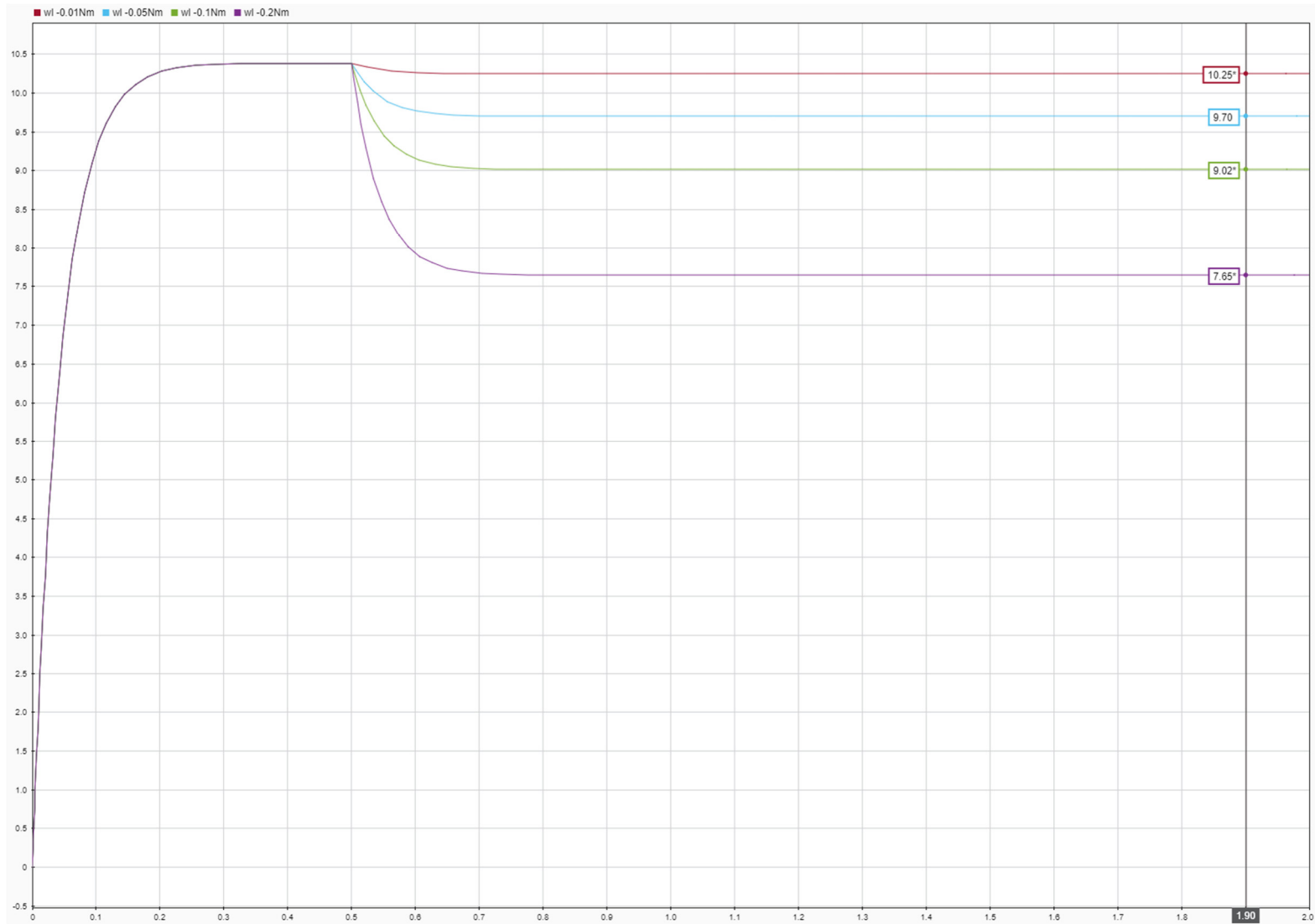


Sprungantworten von i_A für U_A 0V-6V:

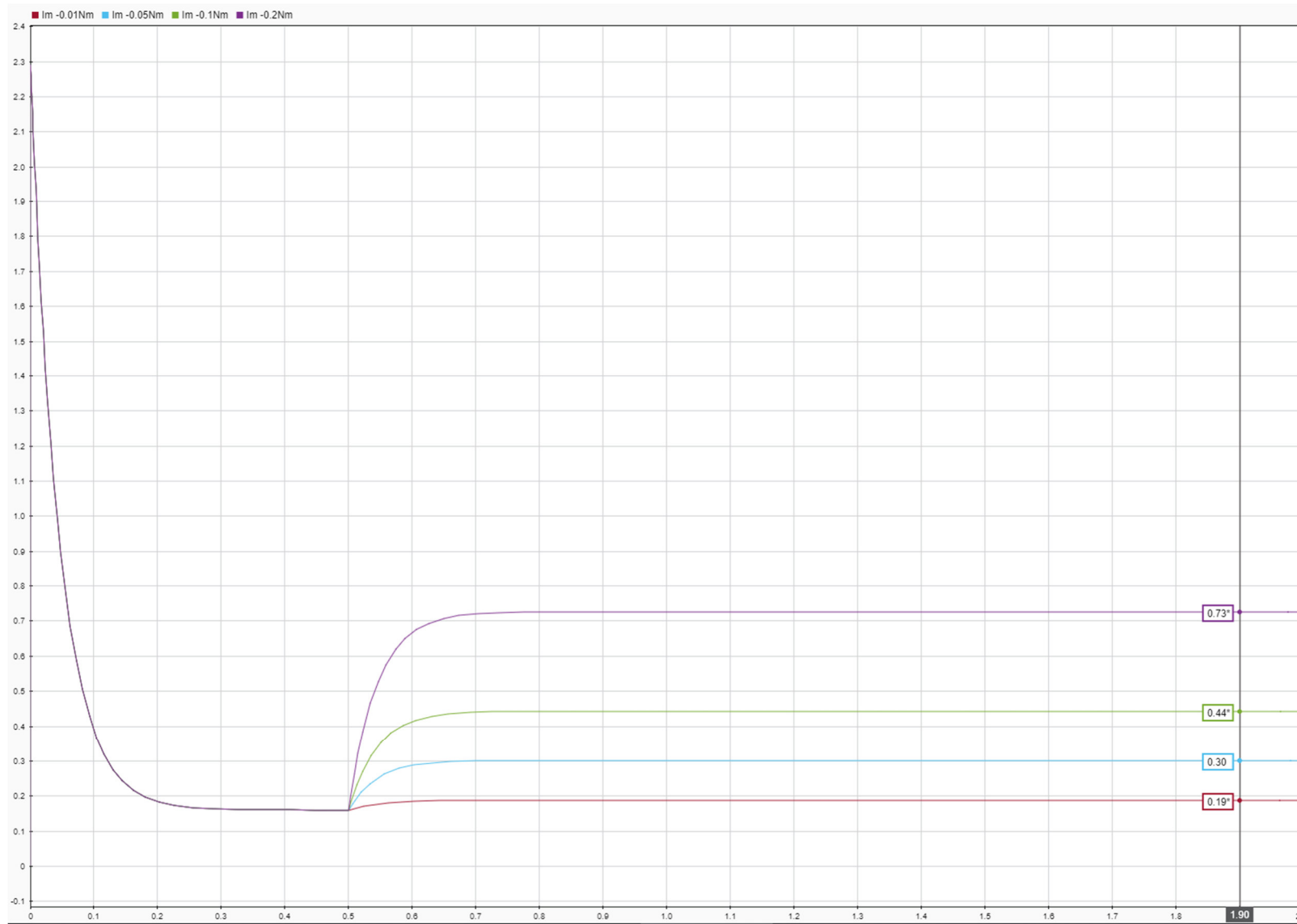


1.3.3. 3. Aufgabe OM

Sprungantworten von ω_l mit Lastmoment τ_l :



Sprungantworten von i_A mit Lastmoment τ_L :



1.3. Auswertung

1.3.1. Aufgabe 1

Beim Vergleich der beiden Modelle (Simulink & Simscape) stellt man fest, dass die Endwerte im eingeschwungenen Zustand der Sprungantworten nahezu identisch sind. Dies macht durchaus Sinn, da man im Endeffekt 2 identische Modelle besitzt, welche nur auf unterschiedliche Weise modelliert wurden.

Vergleicht man nun unsere ermittelten Sprungantworten mit den Sprungantworten der Übertragungsfunktionen aus der Vorbereitung, so kann man feststellen, dass die Coulombsche Reibung im theoretischen Modell durch Linearisierung vernachlässigbar ist, da sich unsere Übertragungsfunktionen nur sehr geringfügig unterscheiden.

2. P2: Identifikation nichtparametrischer Modelle

2.1. Vorbereitung

2.1.1. Aufgabe 1

Beide Größen stehen in einem Regelkreis in Wechselwirkung zueinander, da die Störgröße $v(t)$ durch den Regler auf die Eingangsgröße $u(t)$ wirkt. Dies führt zu einer Korrelation der beiden Größen und zur Verletzung des genannten Kriteriums.

2.1.2. Aufgabe 2

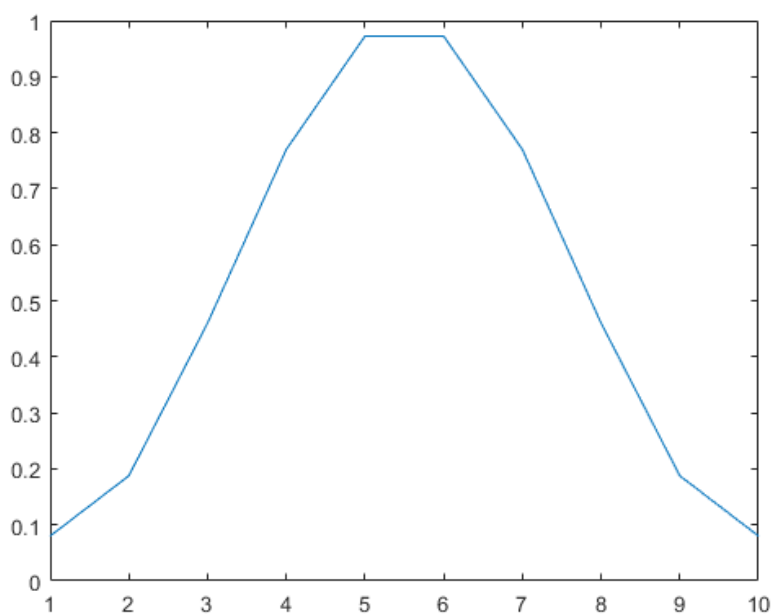
Es darf keine Korrelation von Eingangsgröße $u(t)$ und Störgröße $v(t)$ bestehen, außerdem sollte ein Prozess stationär sein.

2.1.3. Aufgabe 3

Im Vergleich zur Autokorrelationsfunktion, ist die Autokovarianzfunktion in der Lage, Mittelwerte zu enthalten. Man ist also gezwungen, die Mittelwerte abzuziehen, um die Autokorrelationsfunktion nutzen zu können.

2.1.4. Aufgabe 4

Hammingfenster für $M=10$:



2.1.5. Aufgabe 5

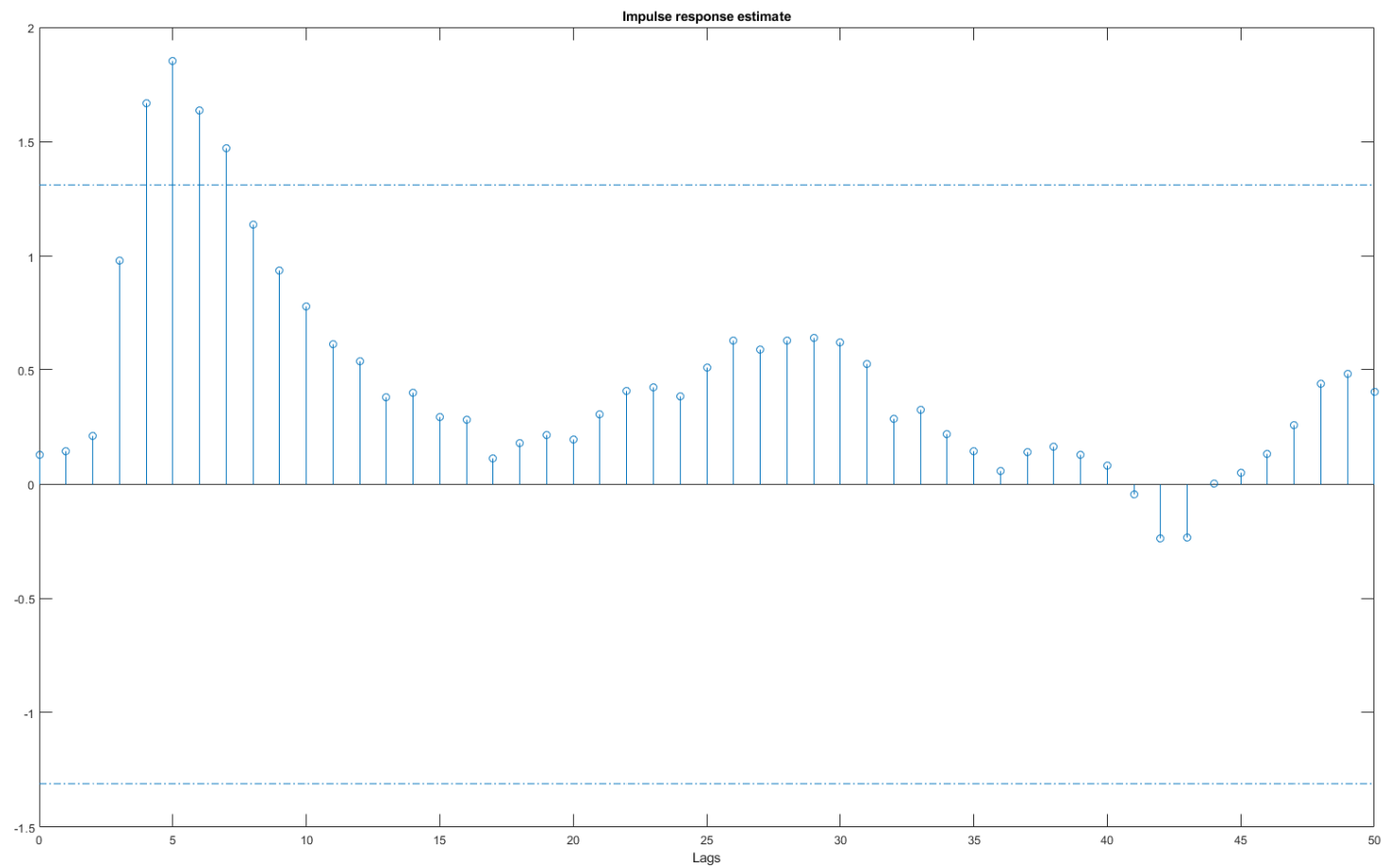
$$f_{Nyquist} = \frac{1}{2} f_{Abtast} = \frac{1}{2 * 0,08s} = 6,25Hz$$

Frequenzen unterhalb der Nyquist-Frequenz können abgeschätzt werden.

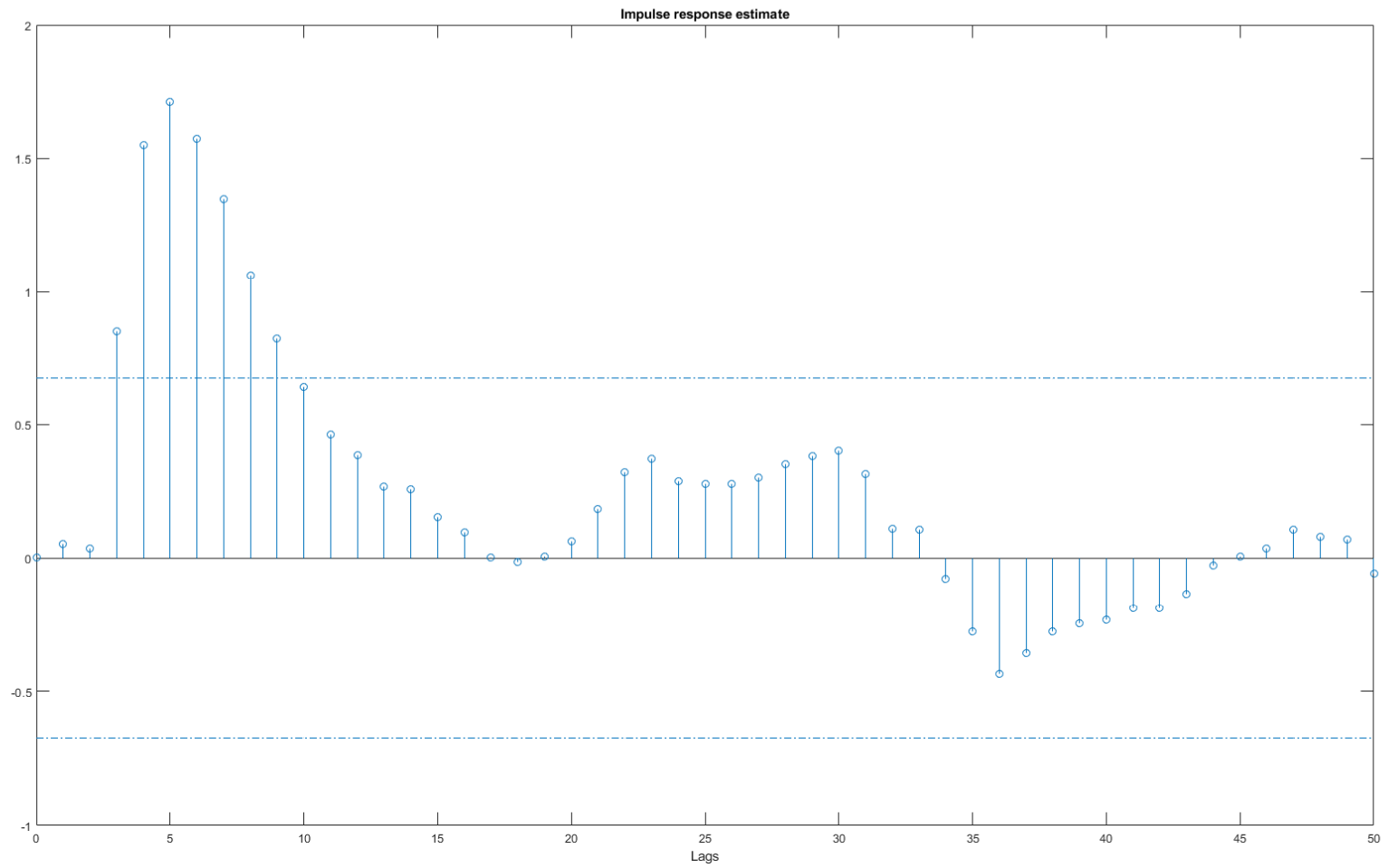
2.2. Praktikumsaufgaben

2.2.1. Aufgabe 2

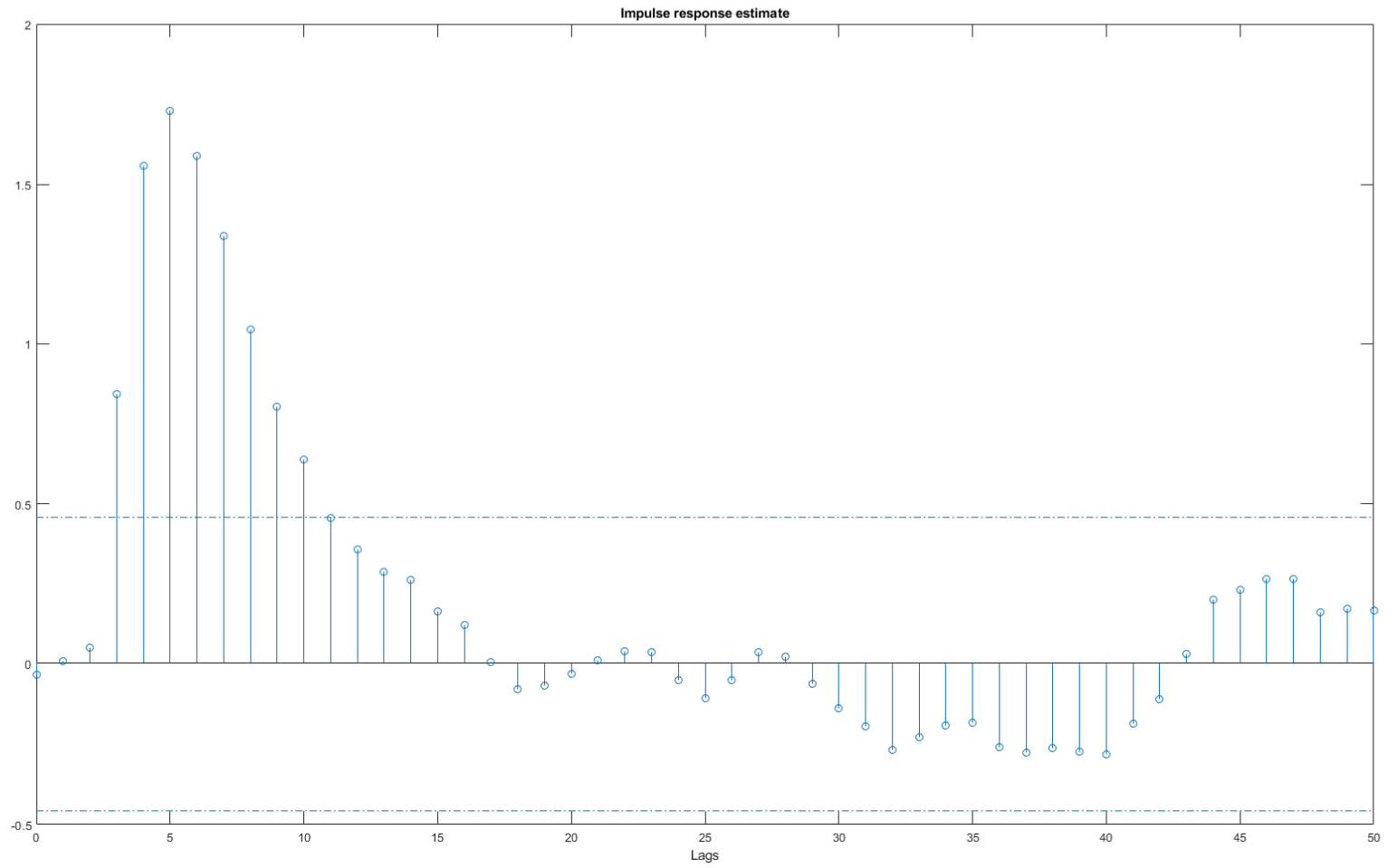
Gewichtfolge dry2de100:



Gewichtfolge dry2de250:

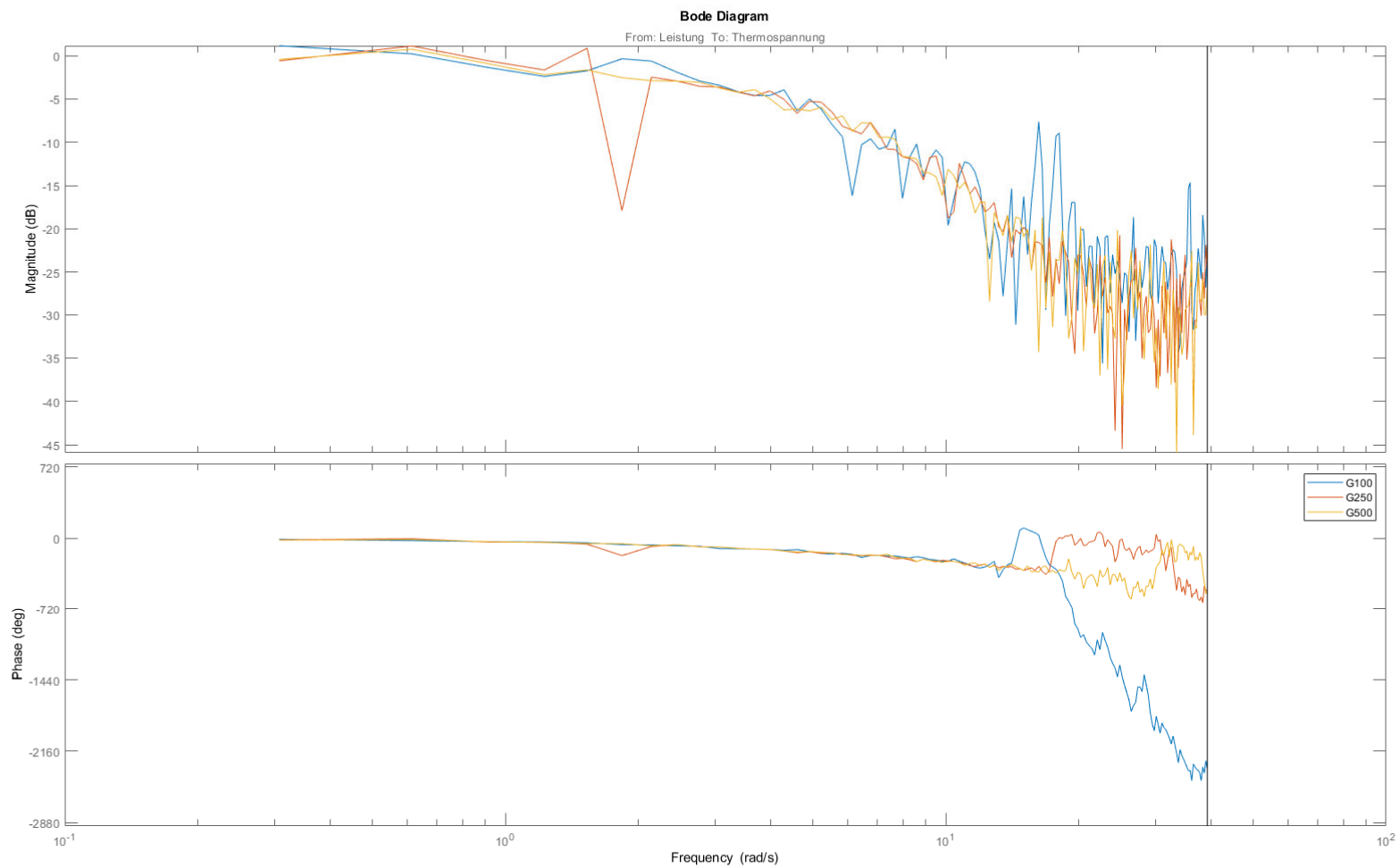


Gewichtfolge dry2de500:



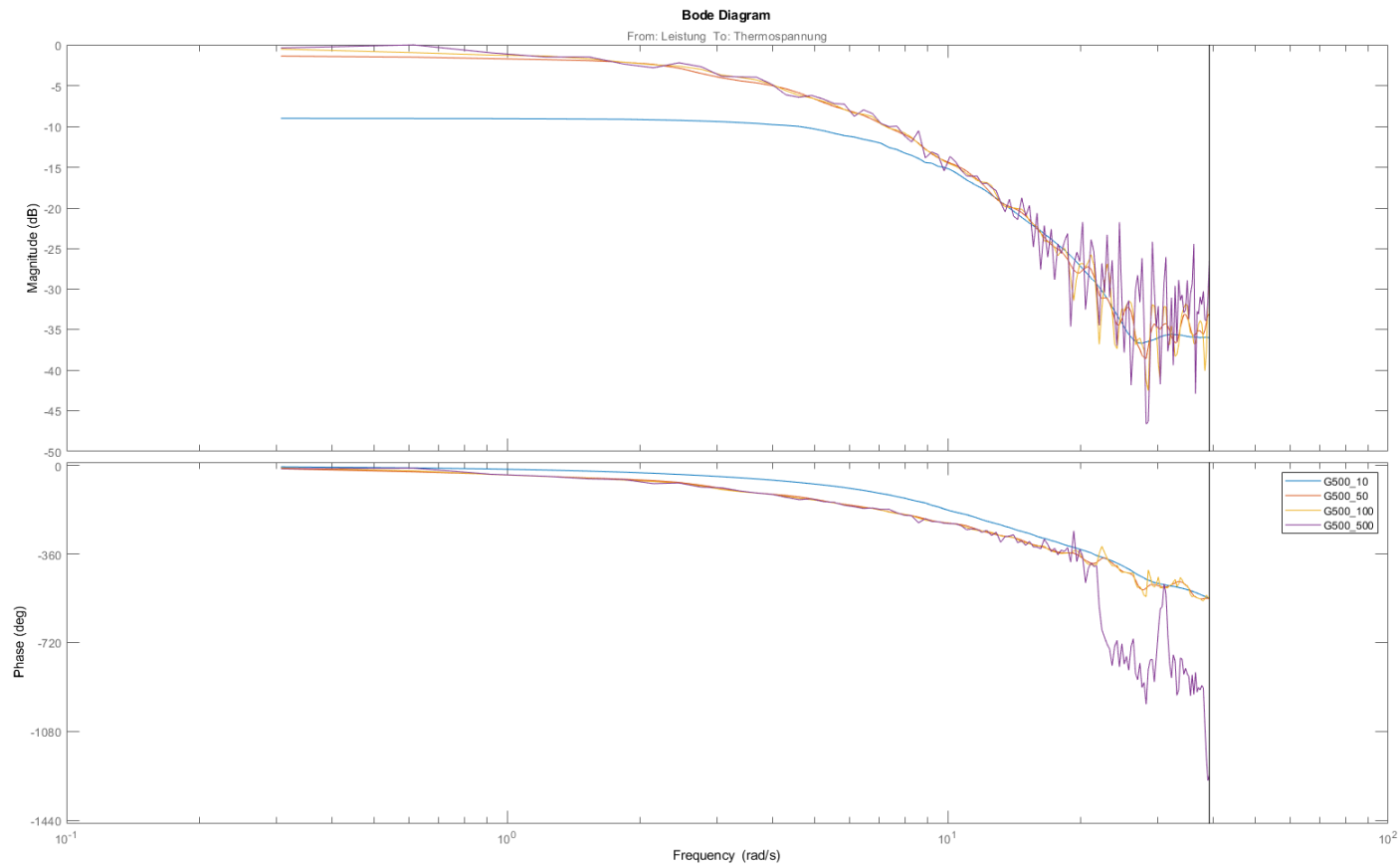
2.2.2. Aufgabe 3a

Frequenzgangschätzungen dry2de100,250,500 mit etfe Funktion:



2.2.3. Aufgabe 3b

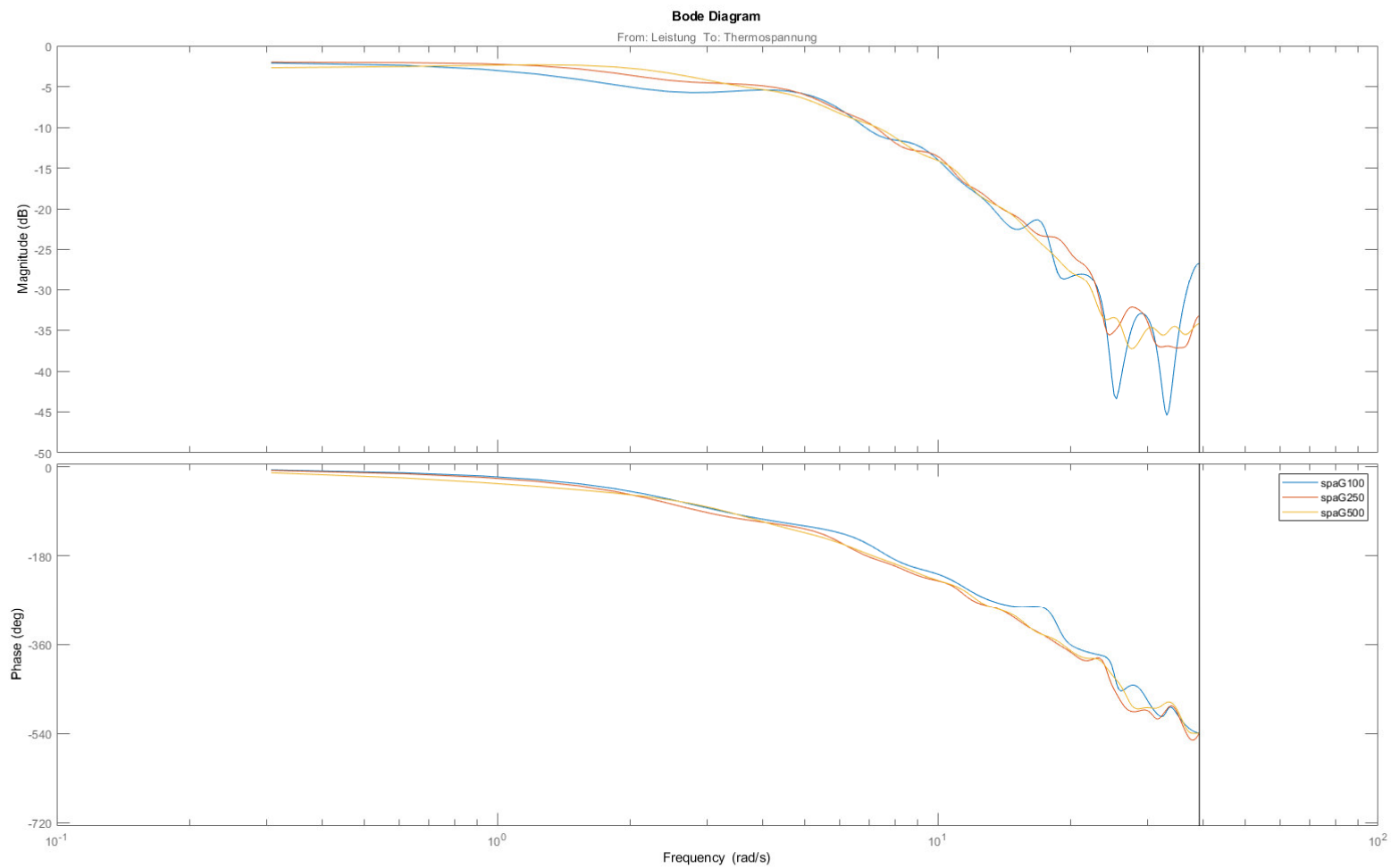
Frequenzgangschätzungen dry2de500 für M=10,50,100,500 mit etfe Funktion:



Ich würde die Fensterbreite M=50 wählen, da die Annäherung bei niedrigen Frequenzen gut ist und es kaum Offset zur Annäherung mit M=500 gibt. Bei höheren Frequenzen ist die Glättung des Frequenzganges ebenfalls gut.

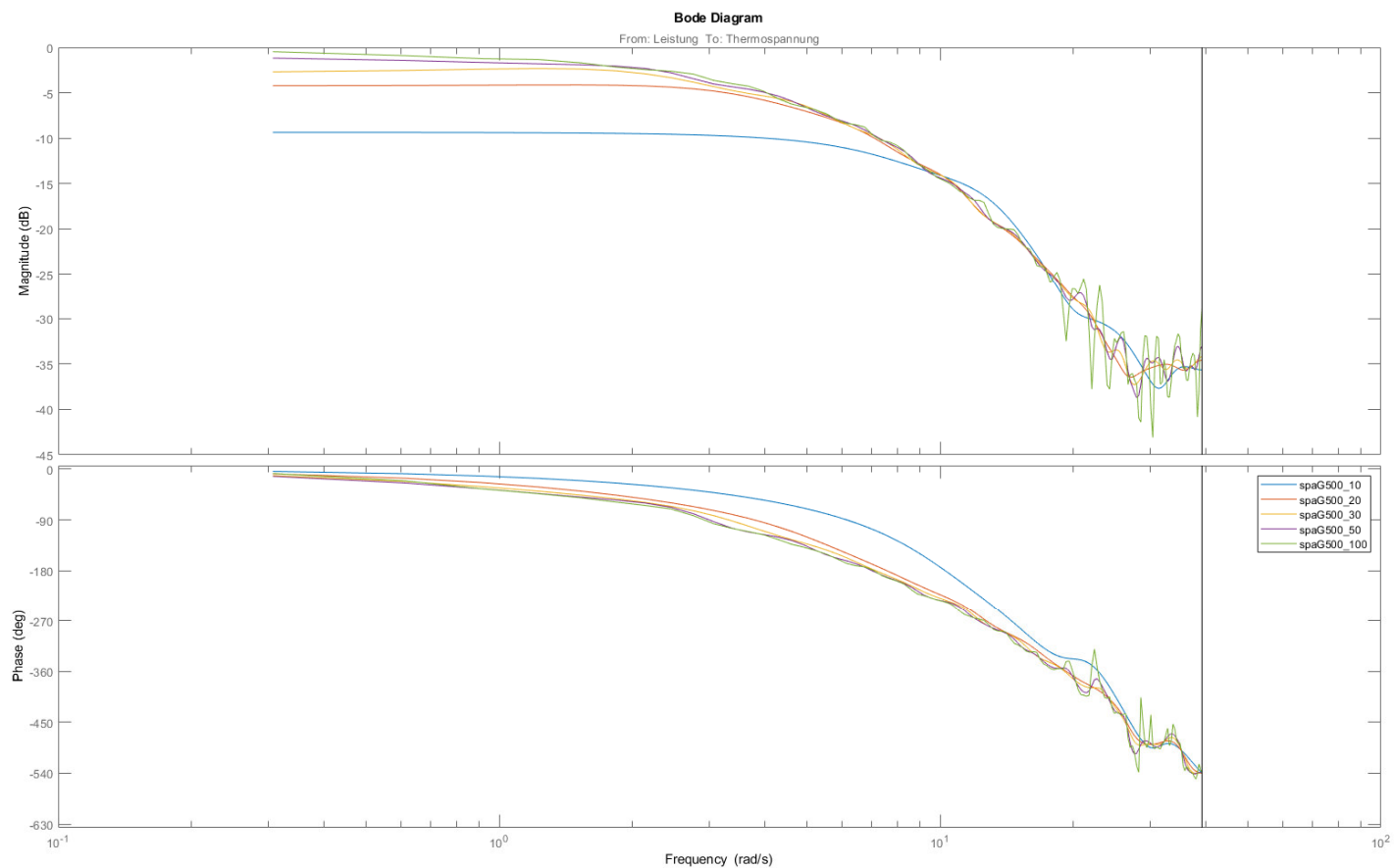
2.2.4. Aufgabe 4a

Frequenzgangschätzungen dry2de100,250,500 mit spa Funktion:



2.2.5. Aufgabe 4b

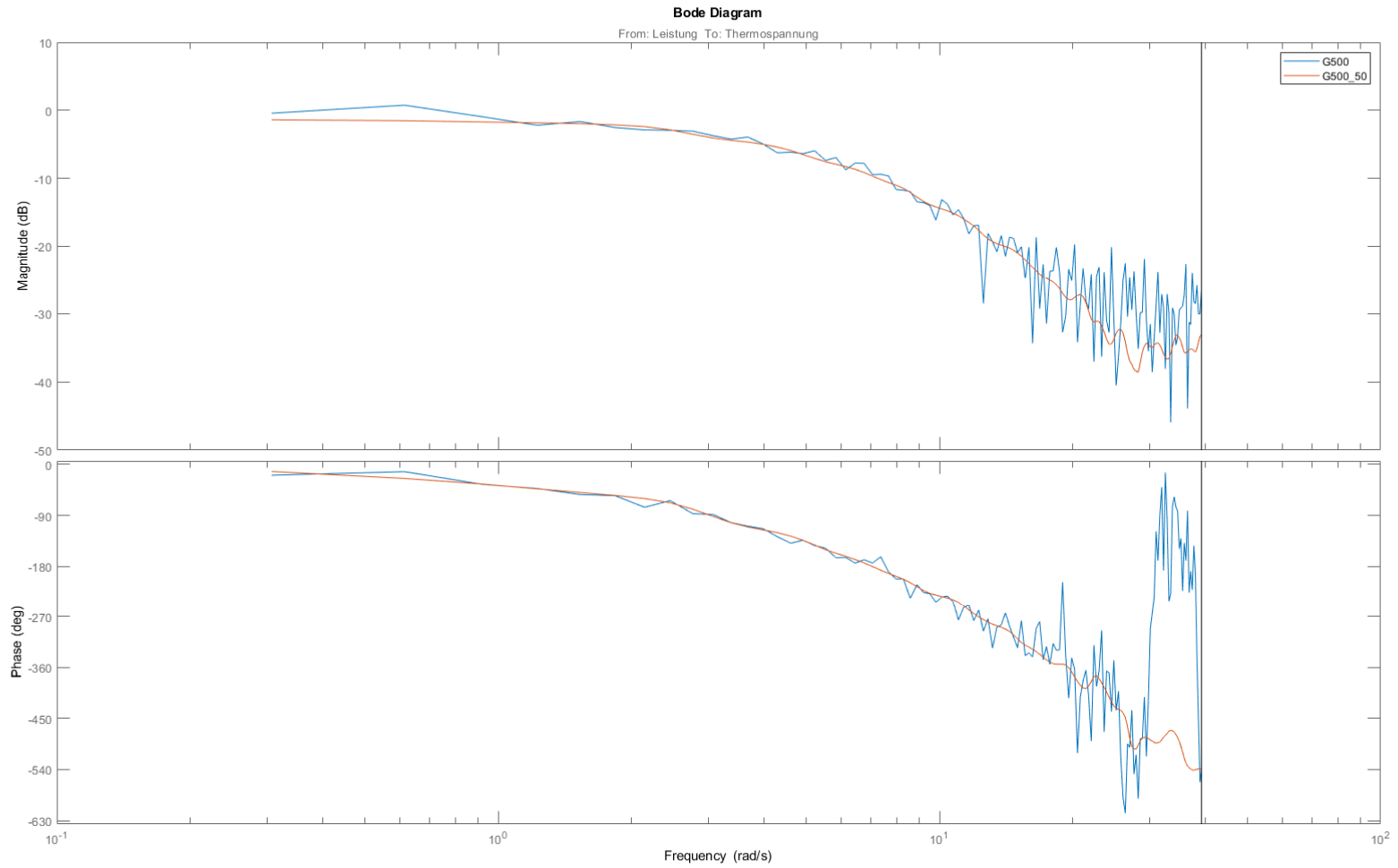
Frequenzgangschätzungen dry2de500 für $M=10,20,30,50,100$ mit spa Funktion:



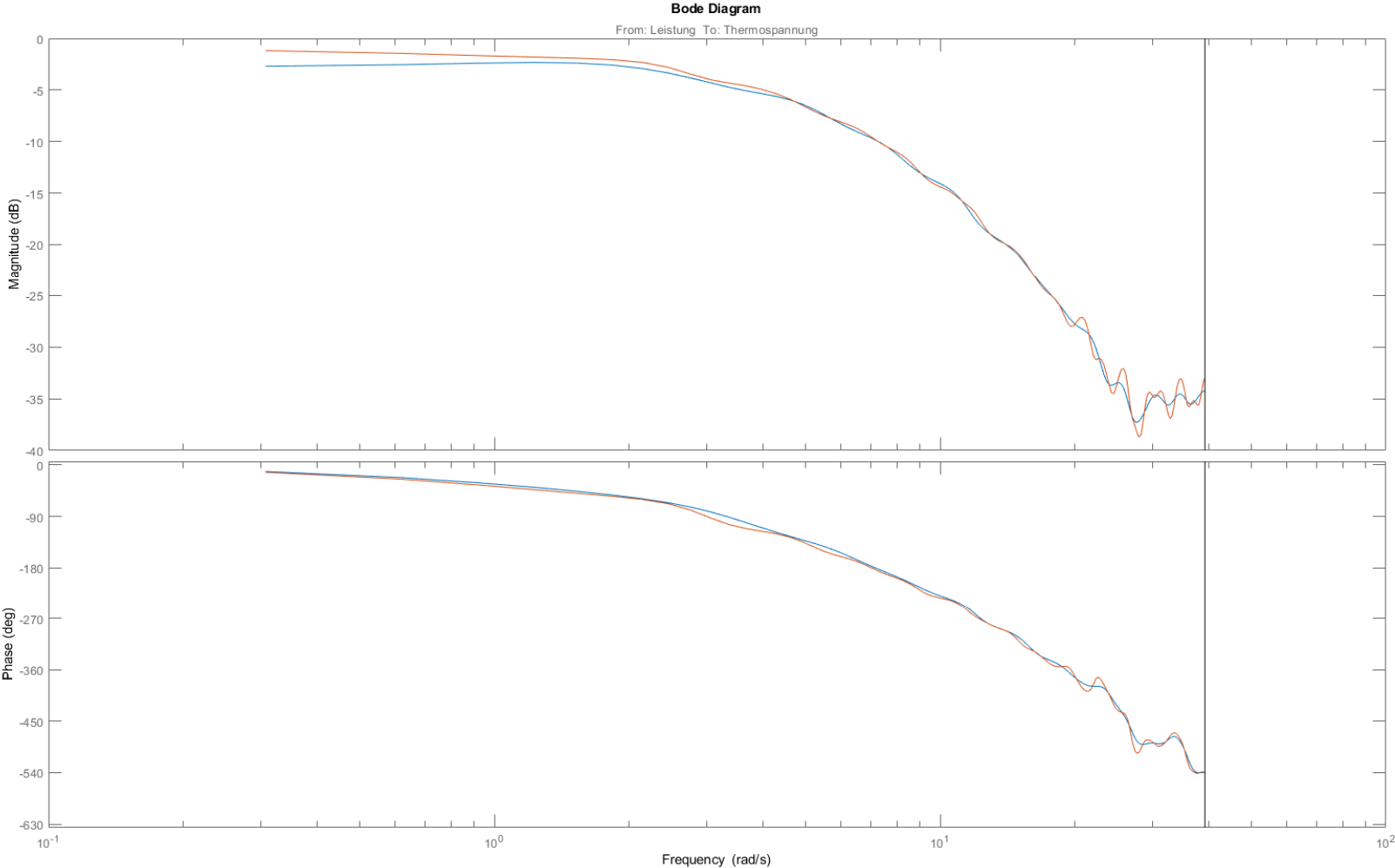
Ich würde wieder die Fensterbreite 50 wählen, da der Offset bei kleinen Frequenzen nur sehr gering ist zur Fensterbreite 500 (viel genauer angenäherter Frequenzgang). Außerdem ist der Frequenzgang bei höheren Frequenzen wieder schön geglättet.

2.2.6. Aufgabe 4c

Frequenzgangschätzung mit etfe Funktion, default-Fensterbreite und M=50:



Frequenzgangschätzung mit spa Funktion, default-Fensterbreite und M=50:



2.3. Auswertung

2.3.1. Aufgabe 1

Wenn man sich die geschätzte Gewichtsfolge des Datensatzes dry2de100 anschaut, kann man eine Totzeit von circa 0,24s ablesen. Vom Verlauf der Gewichtsfolge kann man außerdem erkennen, dass es sich um T2 Verhalten handelt. Außerdem lässt dieser die Vermutung zu, dass es sich um ein schwingungsfähiges System handelt. Da es bei unserem System jedoch um Temperaturänderungen geht, ist diese Annahme sehr wahrscheinlich nicht richtig. Zu erklären wäre das Verhalten durch Störgrößen wie zum Beispiel Luftverwirbelungen.

2.3.2. Aufgabe 2

Es ist deutlich zu sehen, dass die Änderung der Fensterbreiten zu einer Änderung der Frequenzgangschätzung führt. Dieser Effekt ist sowohl bei etfe als auch spa beobachtbar.

Je geringer die Fensterbreite gewählt wurde, desto besser war die Glättung der Frequenzgänge. Jedoch ließ mit erhöhter Glättung die Frequenzauflösung nach. Wurde die Fensterbreite jedoch erhöht, desto unstetiger verlief der Frequenzgang.

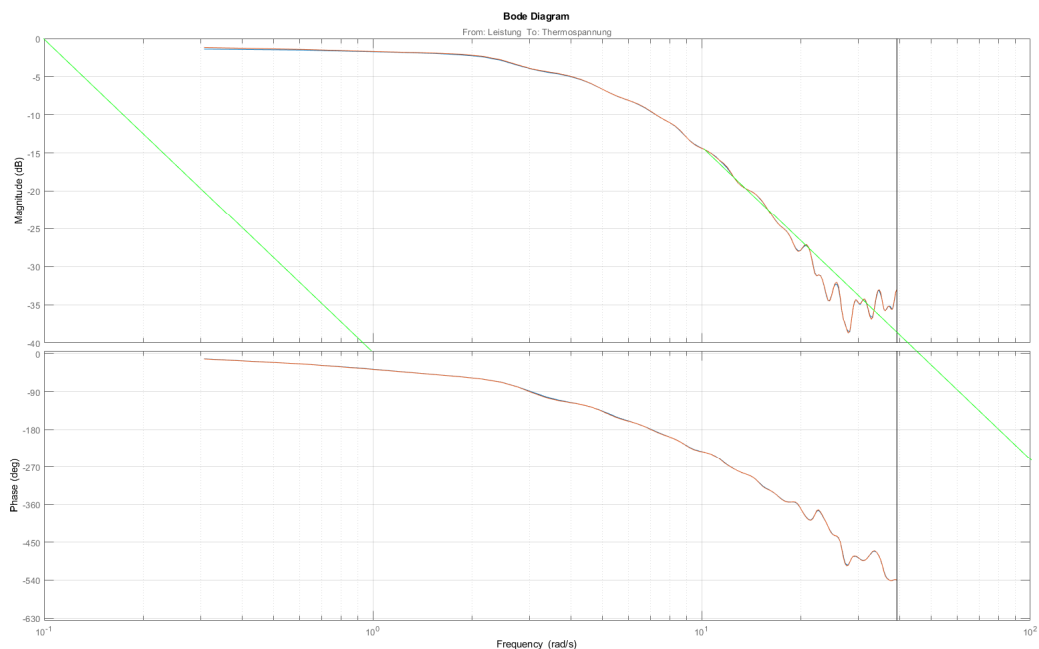
Dieser Effekt des unstetigen Verlaufes war bei der Funktion etfe mit default-Fensterbreite deutlich höher als bei der spa Funktion.

2.3.3. Aufgabe 3

Aus dem Bode-Diagramm lässt sich ein P-Verhalten im statischen Bereich erkennen, da der Phasengang zu Beginn bei 0 Grad liegt. Außerdem kann man eine Totzeit ablesen durch die hohe Phasenverschiebung.

Im Amplitudengang kann man ab ca. 10 Hz eine Dämpfung des Amplitudenganges mit $40 \frac{db}{dek}$ ablesen. Dies deutet auf T2 Verhalten des Systems hin. Dies habe ich noch einmal im nachfolgenden Bild versucht zu visualisieren.

Das System hat also ein PT_2T_T Verhalten.



2.3.4. Aufgabe 4

Bis zu einer Frequenz von ca. 20 Hz kann man vernünftige Werte ablesen. Dies entspricht ungefähr dem 3-fachen unserer berechneten Nyquist-Frequenz von 6,25 Hz.

3. P3: Identifikation parametrischer Modelle

3.1. Vorbereitung

3.1.1. Aufgabe 1

$$y = Ku$$

$$\bar{u} = 2,5; \bar{y} = 2,5$$

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2} = \frac{2,1 + 0,35 + 0,3 + 2,25}{2,25 + 0,25 + 0,25 + 2,25} = 1$$

3.1.2. Aufgabe 2

Unter der Anpassungsgüte versteht man ein Maß für die „Passgenauigkeit“ eines Modells. Das heißt, wie genau die vorhergesagten Werte mit den reellen Werten übereinstimmen.

3.1.3. Aufgabe 3

In einem PN-Diagramm macht sich eine zu hohe Modellordnung dadurch bemerkbar, dass die Polstellen sehr nah beieinander liegen. In einem solchen Falle bietet sich das Verringern der Modellordnung an, da man dadurch die Polstellen wegekürzt, welche sehr nah beieinander liegen. Dies führt zu kaum Informationsverlust und vereinfacht außerdem den Rechenaufwand des Systems.

3.2. Praktikumsaufgaben

3.2.1. Aufgabe 2a

ARX-Modell 4. Ordnung:

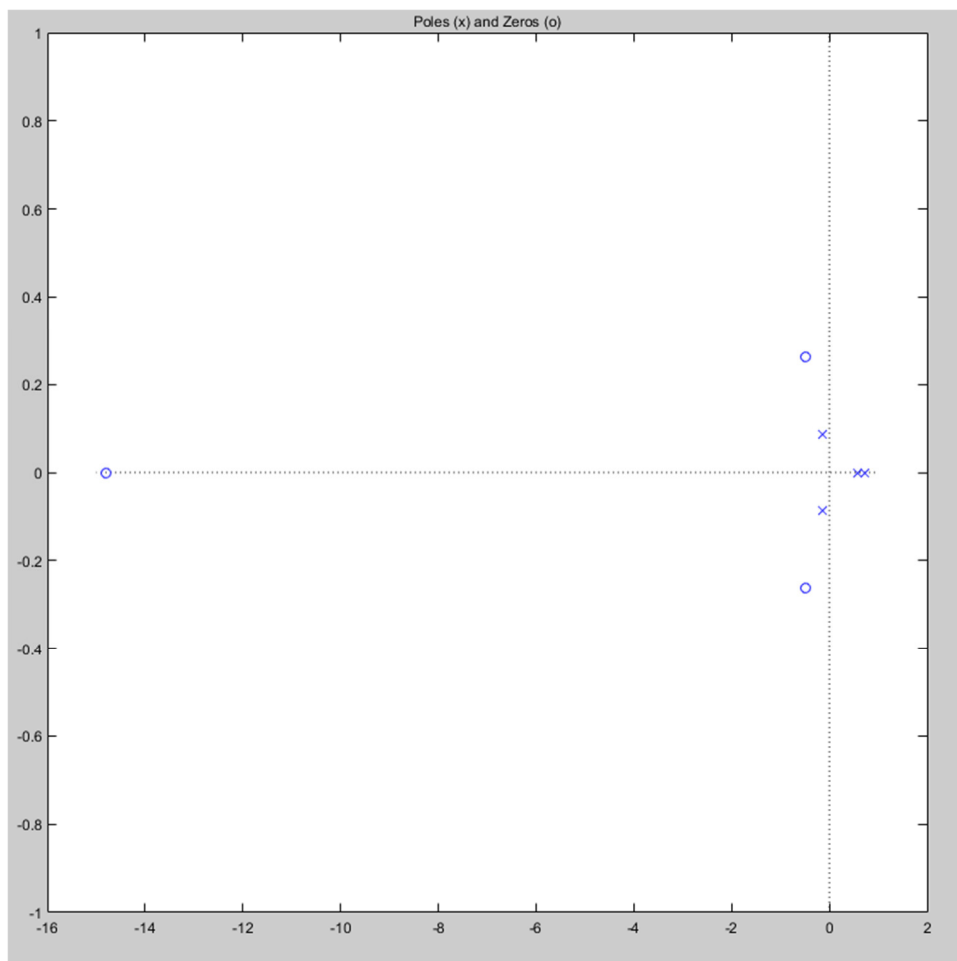
$$A(z) = 1 - 0.9958z^{-1} + 0.05798z^{-2} + 0.08369z^{-3} + 0.01201z^{-4}$$

$$B(z) = 0.004028 z^{-2} + 0.06358 z^{-3} + 0.06027 z^{-4} + 0.0187 z^{-5}$$

FPE: 0.001605

Best Fit: 89.64%

3.2.2. Aufgabe 2b



Die abgebildeten Polstellen liegen sehr nah beieinander. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Modellordnung zu hoch gewählt worden ist.

3.2.3. Aufgabe 2c

ARX-Modell 2. Ordnung:

$$A(z) = 1 - 1.492z^{-1} + 0.5837z^{-2}$$
$$B(z) = 0.003052z^{-2} + 0.07521z^{-3}$$

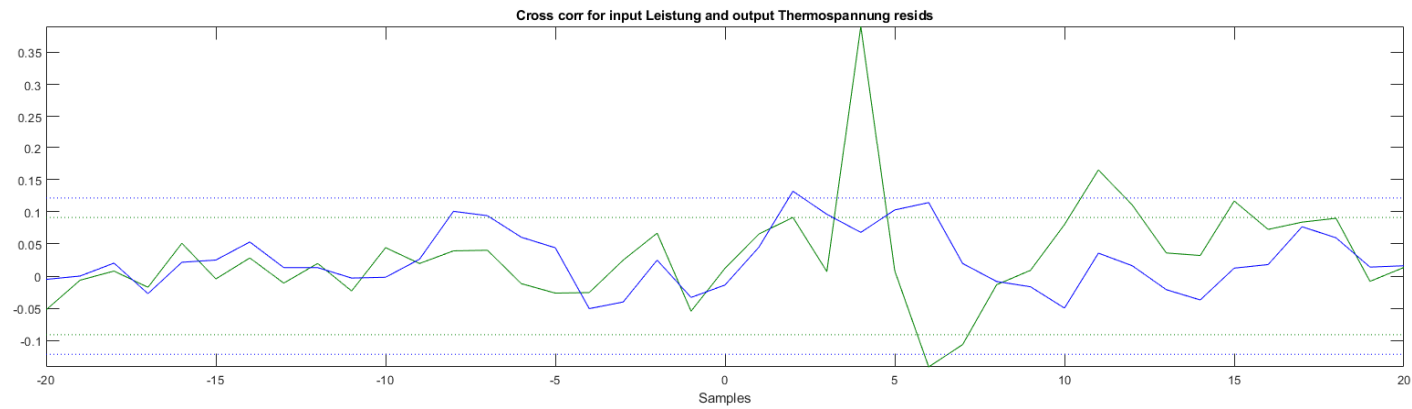
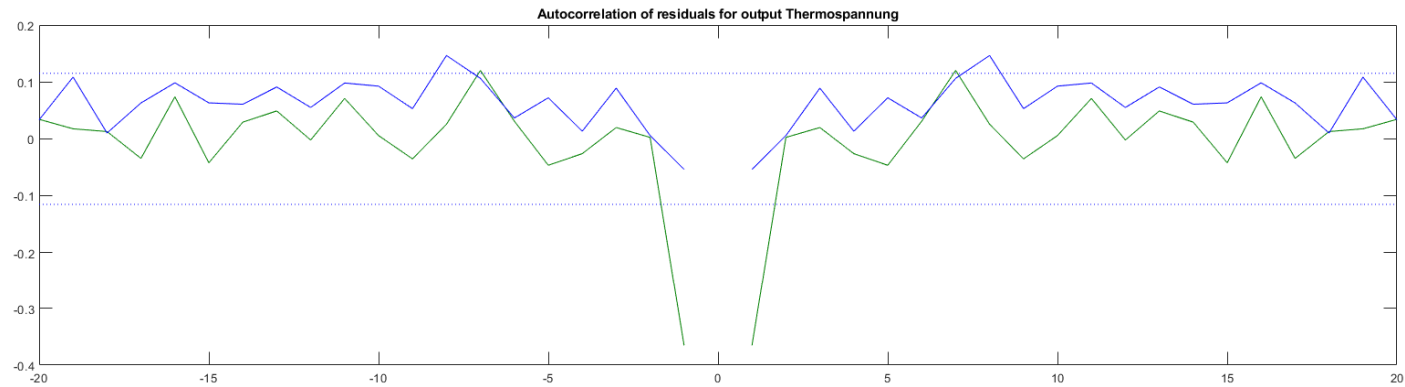
FPE: 0.002891
Best Fit: 86.56%

Vergleich der Modelle:

Die beiden Modelle sind in der Lage die Daten ähnlich gut darzustellen. Der Best Fit des Modells 2. Ordnung ist gerade einmal um 0,08% schlechter als der Best Fit des höherrangigen Modells. Jedoch ist der Rechenaufwand für das Modell 2. Ordnung deutlich geringer. Die minimal schlechtere Genauigkeit wiegt auf keinen Fall den verringerten Rechenaufwand auf, weshalb das einfachere Modell in diesem Falle die bessere Wahl ist.

3.2.4. Aufgabe 2d

Residuen:



Sowohl AKF als auch KKF erfüllen die gestellte Forderung nicht, denn sie verlassen beide das 1% Konfidenzband. Jedoch ist diese Abweichung bei dem **Modell 4. Ordnung** deutlich geringer.

3.2.5. Aufgabe 2e

MDL: $n_a = 3; n_b = 4; n_k = 2;$

AIC: $n_a = 5; n_b = 4; n_k = 2;$

Best Fit: $n_a = 6; n_b = 9; n_k = 2;$

3.2.6. Aufgabe 3b

ARMAX-Modell 2. Ordnung:

$$A(z) = 1 - 1.47z^{-1} + 0.563z^{-2}$$

$$B(z) = -0.002153z^{-2} + 0.0844z^{-3}$$

$$C(z) = 1 - 0.4916z^{-1} + 0.06411z^{-2}$$

$$FPE: 0.002462$$

$$Best Fit : 87.95\%$$

Box-Jenkins-Modell 2. Ordnung:

$$B(z) = -0.002115z^{-2} + 0.08531z^{-3}$$

$$C(z) = 1 + 0.5467z^{-1} - 0.0625z^{-2}$$

$$D(z) = 1 - 0.3906z^{-1} - 0.4963z^{-2}$$

$$F(z) = 1 - 1.463z^{-1} + 0.5608z^{-2}$$

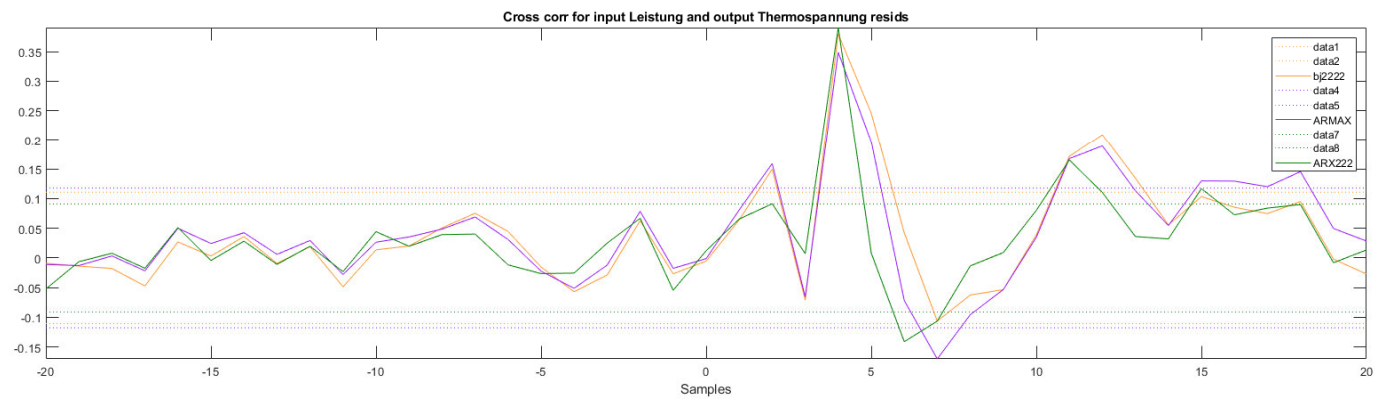
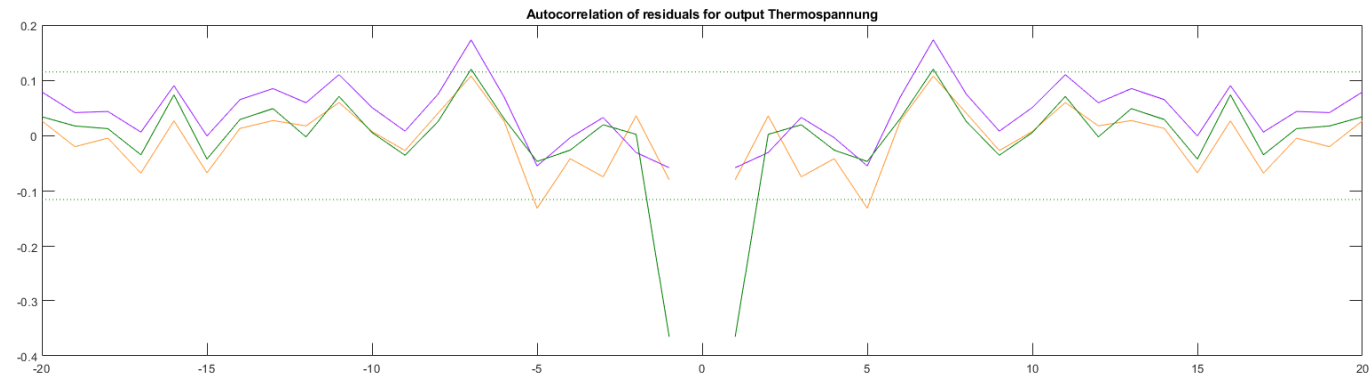
$$FPE: 0.002338$$

$$Best Fit: 86.97\%$$

Die beiden Modelle unterscheiden sich lediglich durch minimalste Abweichungen des FPE (0,000124) und des Best Fit (0,98%).

3.2.7. Aufgabe 3c

Residuen:



Bei Betrachtung des Verlaufes der AKF ist das **ARX-Modell 2. Ordnung** deutlich schlechter als das **BJ-Modell** und das **ARMAX-Modell**. Der Verlauf der KKF ist bei allen drei Modellen annähernd gleich.

3.2.8. Aufgabe 4a

PT_2T_t Modell ohne Störmodell:

$$G(s) = \frac{K_p}{(1 + T_{p1}s)(1 + T_{p2}s)} e^{(-T_d s)}$$

$$K_p = 0.92633$$

$$T_{p1} = 0.26738$$

$$T_{p2} = 0.12271$$

$$T_d = 0.15992$$

$$FPE: 0.01054 \quad \text{Best Fit: } 89.35\%$$

PT_2T_t Modell mit Störmodell:

$$G(s) = \frac{K_p}{(1 + T_{p1}s)(1 + T_{p2}s)} e^{(-T_d s)}$$

$$K_p = 0.89948$$

$$T_{p1} = 0.18862$$

$$T_{p2} = 0.18863$$

$$T_d = 0.15592$$

$$FPE: 0.00154 \quad \text{Best Fit: } 89.31\%$$

Störmodell:

$$y = Gu + \frac{s + 13.24}{s + 0.9772} e$$

$PT_3T_{D1}T_t$ Modell mit Störmodell:

$$G(s) = \frac{1 + T_z s}{(1 + T_{p1}s)(1 + T_{p2}s)(1 + T_{p3}s)} e^{(-T_d s)}$$

$$K_p = 0.92123$$

$$T_{p1} = 0.26064$$

$$T_{p2} = 0.054802$$

$$T_{p3} = 0.1077$$

$$T_d = 0.13296$$

$$T_z = 0.013782$$

FPE: 0.00152 *Best Fit*: 89.68

Störmodell:

$$y = Gu + \frac{s + 13.15}{s + 0.9782} e$$

Besonders auffällig ist die Ähnlichkeit der Verstärkungen K_p und der Totzeiten T_d . Außerdem sind die Werte für Best Fit und FPE nahezu identisch. Da jedoch das $PT_3T_{D1}T_t$ System deutlich komplexer in der Berechnung ist, würde ich mich für das PT_2T_t System mit Störmodell entscheiden.

3.2.9. Aufgabe 4b

PT_2T_t Modell ohne Störmodell:

Best Fit 1 Step: 89.35% Best Fit 20 Step: 89.35%

PT_2T_t Modell mit Störmodell:

Best Fit 1 Step: 95.55% Best Fit 20 Step: 90.12%

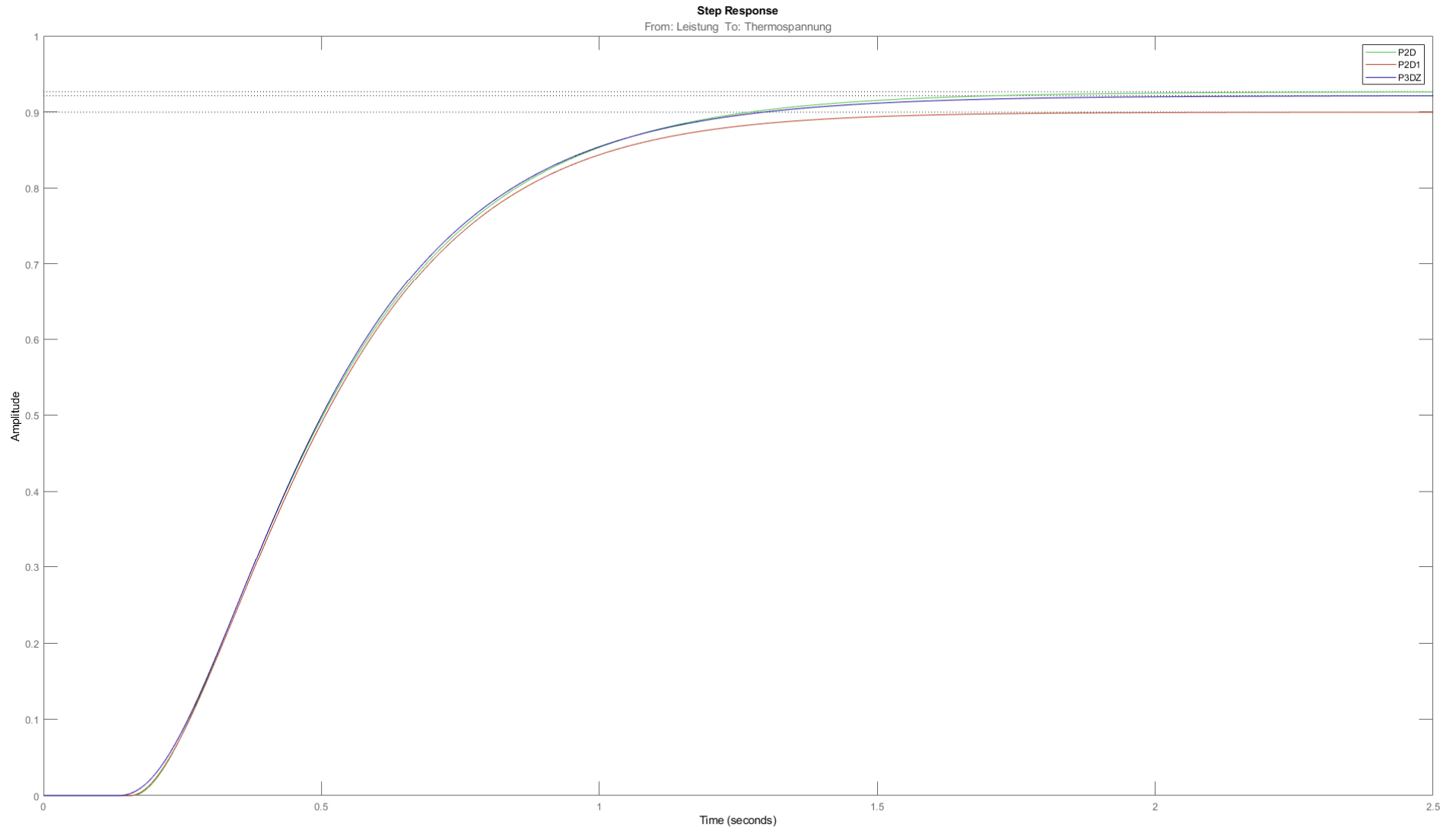
$PT_3T_{D1}T_t$ Modell mit Störmodell:

Best Fit 1 Step: 95.72% Best Fit 20 Step: 90.5%

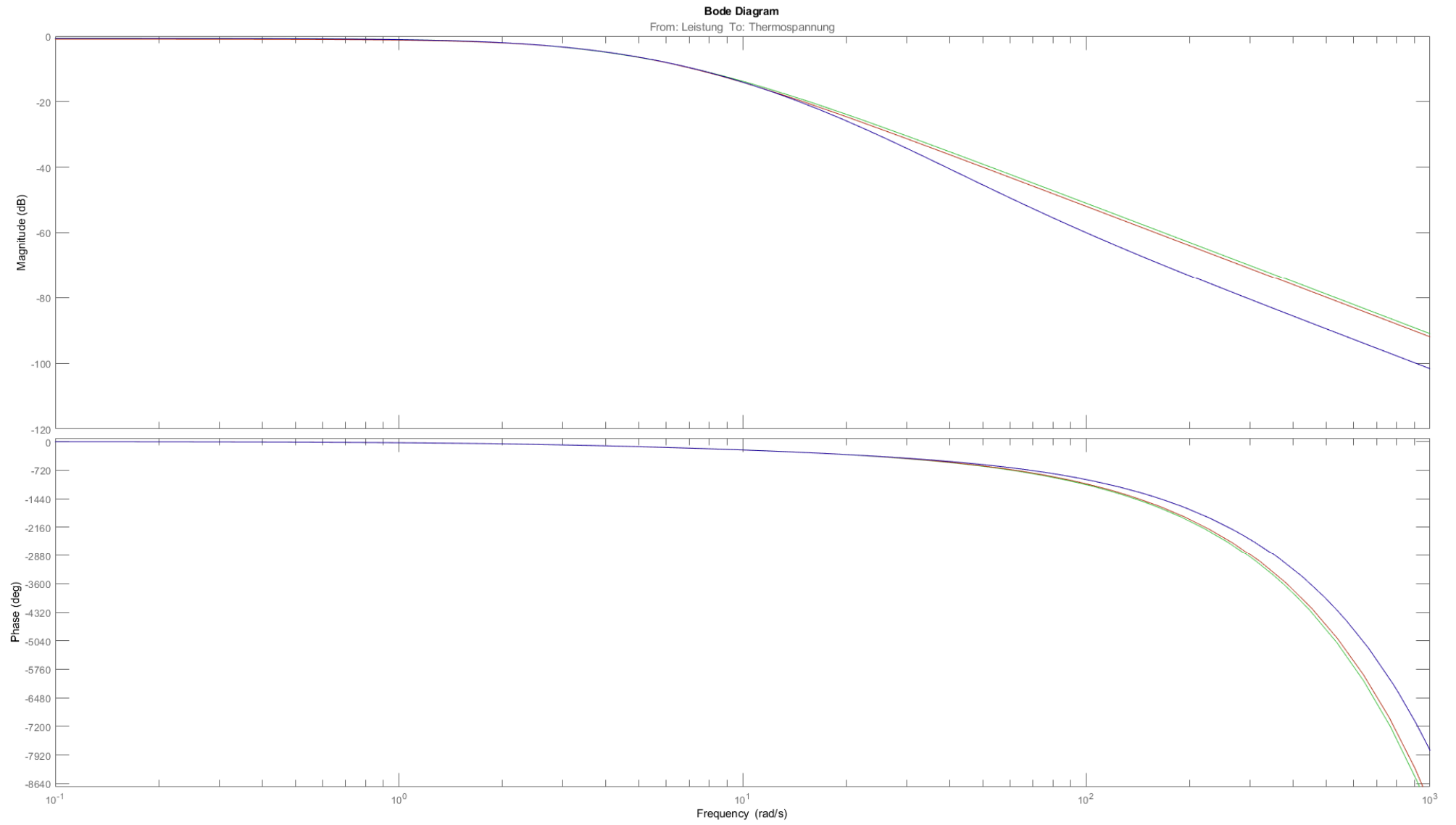
Im Vergleich fällt auf, dass der Best Fit bei zunehmender Schrittzahl sinkt. Dies liegt daran, dass System bei mehr als einem Schritt abdriften kann, was sich in einem niedrigeren Best Fit Wert widerspiegelt. Bei dem PT_2T_t System ohne Störmodell hat die Erhöhung der Schrittzahl jedoch keinen Einfluss.

3.2.10. Aufgabe 4c

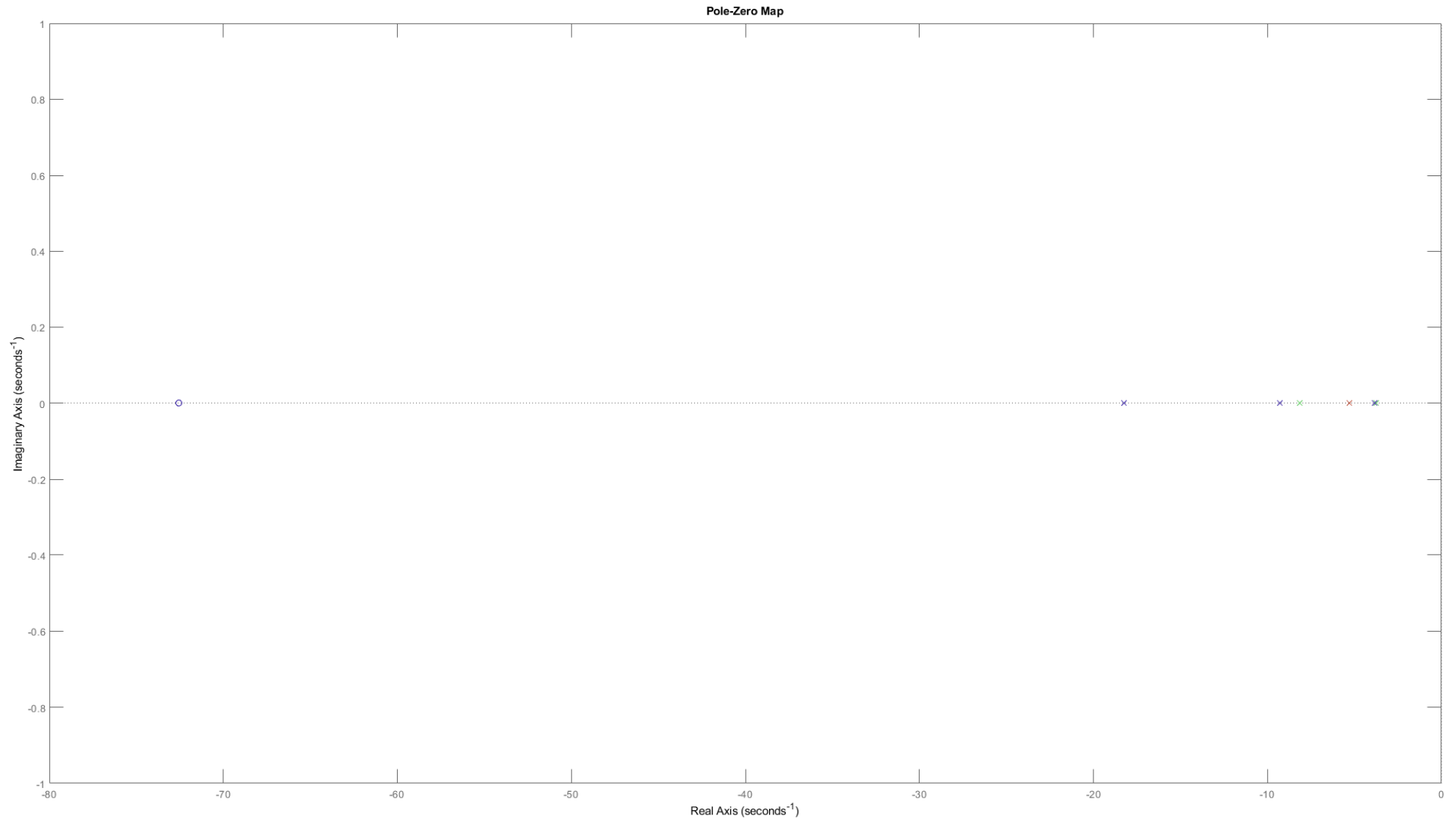
Übergangsfunktionen:



Frequenzgang:



Pol-Nullstellen Diagramm:



In den vorherigen 3 Diagrammen kann man gut beobachten, dass sich alle drei Systeme hier sehr ähnlich verhalten. Bei näherer Betrachtung der Autokorrelationsfunktion der 3 Graphen, welche hier nicht mit abgebildet ist, ließ sich jedoch erkennen, dass sich das PT_2T_t System dauerhaft weit außerhalb des Toleranzbandes bewegt hatte. Deshalb würde ich mich für das PT_2T_t System mit Störmodell entscheiden, da es fast identische Werte wie das $PT_3T_{D1}T_t$ System besitzt, bei deutlich geringerer Komplexität.

3.3. Auswertung

3.3.1. Aufgabe 1

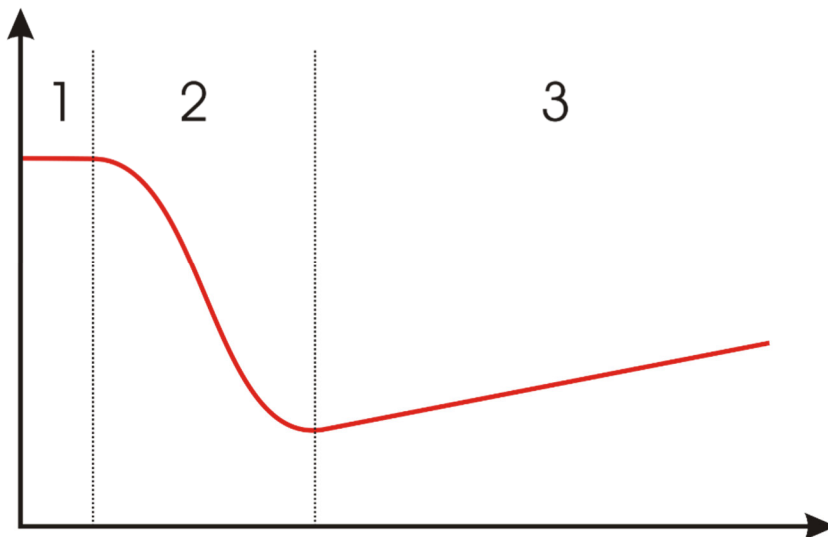
Im Praktikum P2 nahm ich ein PT_2T_t System an. Diese Annahme bestätigt sich nun nach Absolvierung des Praktikums P3.

4. P4: Identifikation eines Gleichstrommotors

4.1. Vorbereitung

4.1.1. Aufgabe 1

Stribeck-Kurve:



https://de.wikipedia.org/wiki/Stribeck-Kurve#/media/Datei:Curva_di_Stribeck.svg

- 1= Festkörperreibung: Reibung von zwei reinen idealen Kontaktflächen, keine Schmierung. Im Realteil treten Reaktionsschichten an der Oberfläche auf (Grenzreibung).
- 2= Mischreibung: Sie umfasst den Bereich zwischen Grenz- und Flüssigkeitsreibung. Hierbei liegen sowohl Reibungsflächen vor, welche direkten Kontakt haben und Reibungsflächen, welche durch einen Schmierfilm getrennt sind.
- 3= Flüssigkeitsreibung: Es besteht kein direkter Kontakt zwischen den Bauteilen. Dabei fungiert ein flüssiger Film als Trennmedium, welcher unter Druck steht und die gesamte Belastung überträgt.

<https://www.ingenieurkurse.de/fertigungslehre/umformen/tribologie/reibung.html>

4.1.2. Aufgabe 2

$$Li_A = U_A - i_A R_A - k_m i \omega_l$$

$$(J_g + i^2 \eta_g J_m) \dot{\omega}_l = i \eta_g \eta_m k_t i_A - B_0 \text{sign}(\omega_l) - B_g \omega_l - M_l$$

Aus den gegebenen Bedingungen: $i_A = \dot{\omega}_l = \tau_L = 0$, $B_0 \text{sign}(\omega_l) - B_g \omega_l = \tau_R$ erhält man folgende Gleichungen:

$$0 = U_A - i_A R_A - k_m i \omega_l \quad (1)$$

$$0 = i \eta_g \eta_m k_t i_A - \tau_R \quad (2)$$

Gleichsetzen der Gleichungen (1) & (2), Umstellen nach τ_R :

$$\tau_R = \frac{(U_A - k_m i_{ges} \omega_l) k_t i_{ges} \eta_m \eta_g}{R_m}$$

4.1.3. Aufgabe 3

Unser System sollte im statischen Bereich ein P-Verhalten aufweisen. Trotz der zwei Zeitkonstanten, gehe ich von T_1 -Verhalten aus, da die eine Zeitkonstante vernachlässigbar klein ist im Vergleich zur anderen sein sollte.

Folgende Werte wurden aus der Sprungantwort in P1 ermittelt:

$$T_t = 0$$

$$K_p = 1,7$$

$$T_1 = 0,04$$

4.1.4. Aufgabe 4

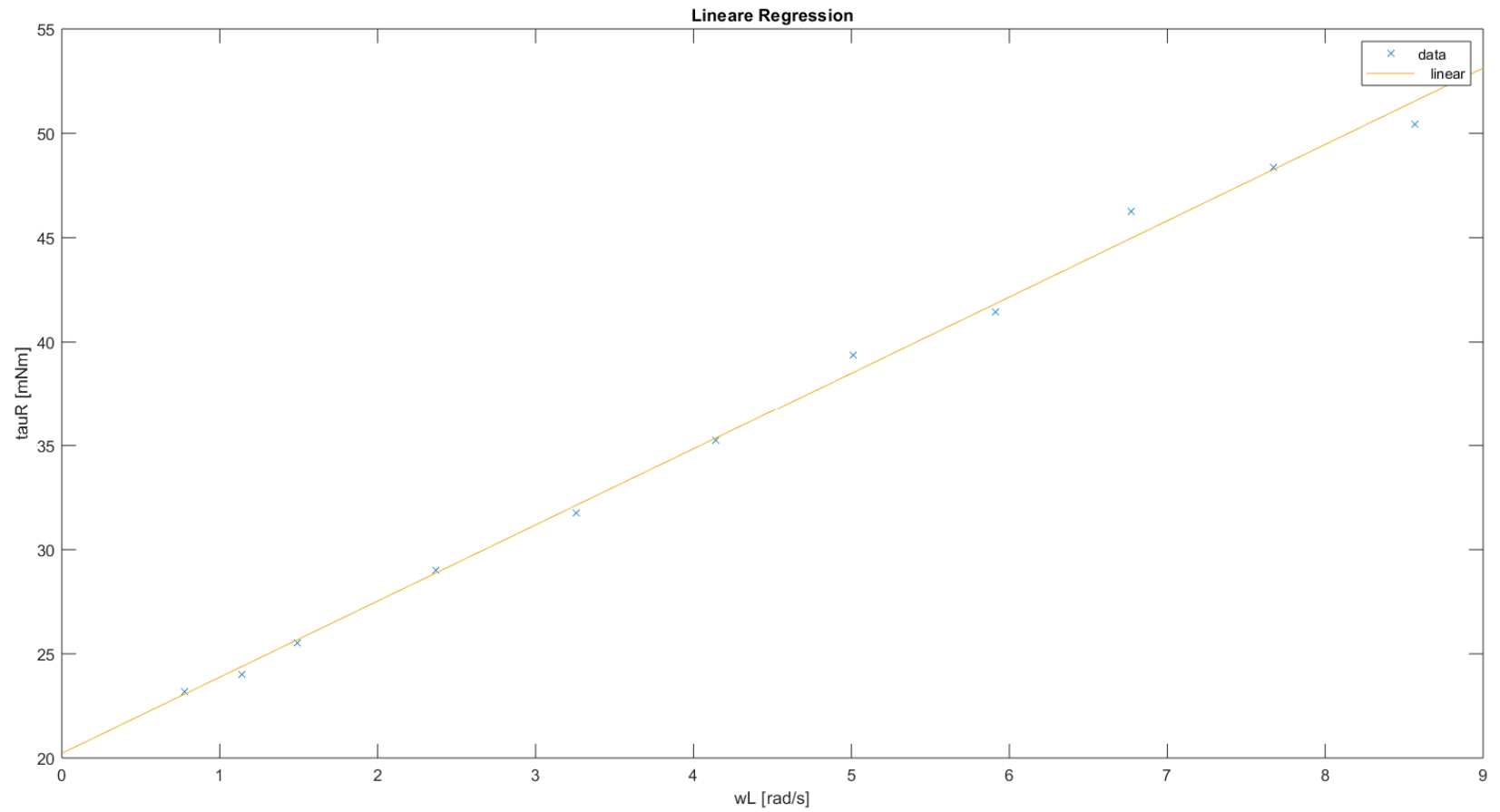
Die Abtastzeit T_A sollte 5%-20% der Einschwingzeit $T_{E0.95}$ betragen.

4.2. Auswertung

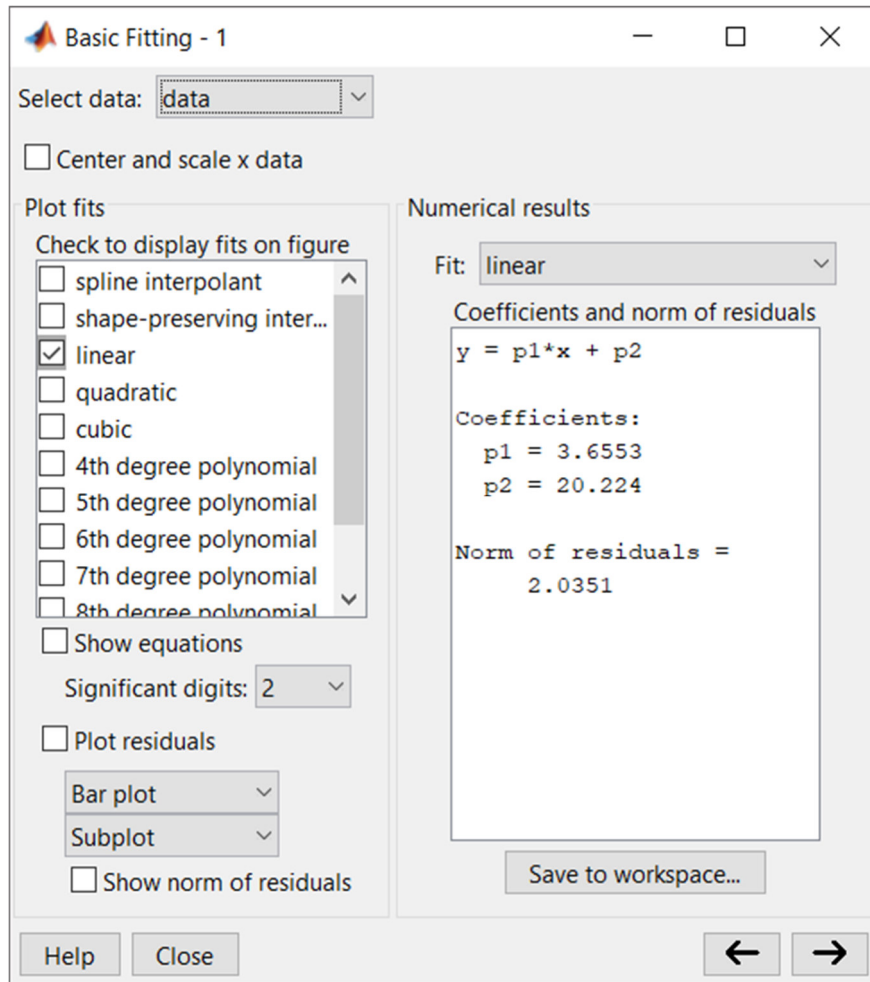
4.2.1. Versuch 1

U_A in V	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2	0
ω_l in $\frac{rad}{s}$	9.37	8.57	7.67	6.77	5.91	5.01	4.14	3.26	2.37	1.49	1.14	0.78	0.41	0.21	0	0
τ_R in mNm	59.41	50.43	48.36	46.28	41.45	39.37	35.23	31.77	29.0	25.55	24.03	23.2	23.06	24.0	0	0

Reibungsmoment τ_R in Abhängigkeit der Winkelgeschwindigkeit ω_l :



Parameterschätzung:

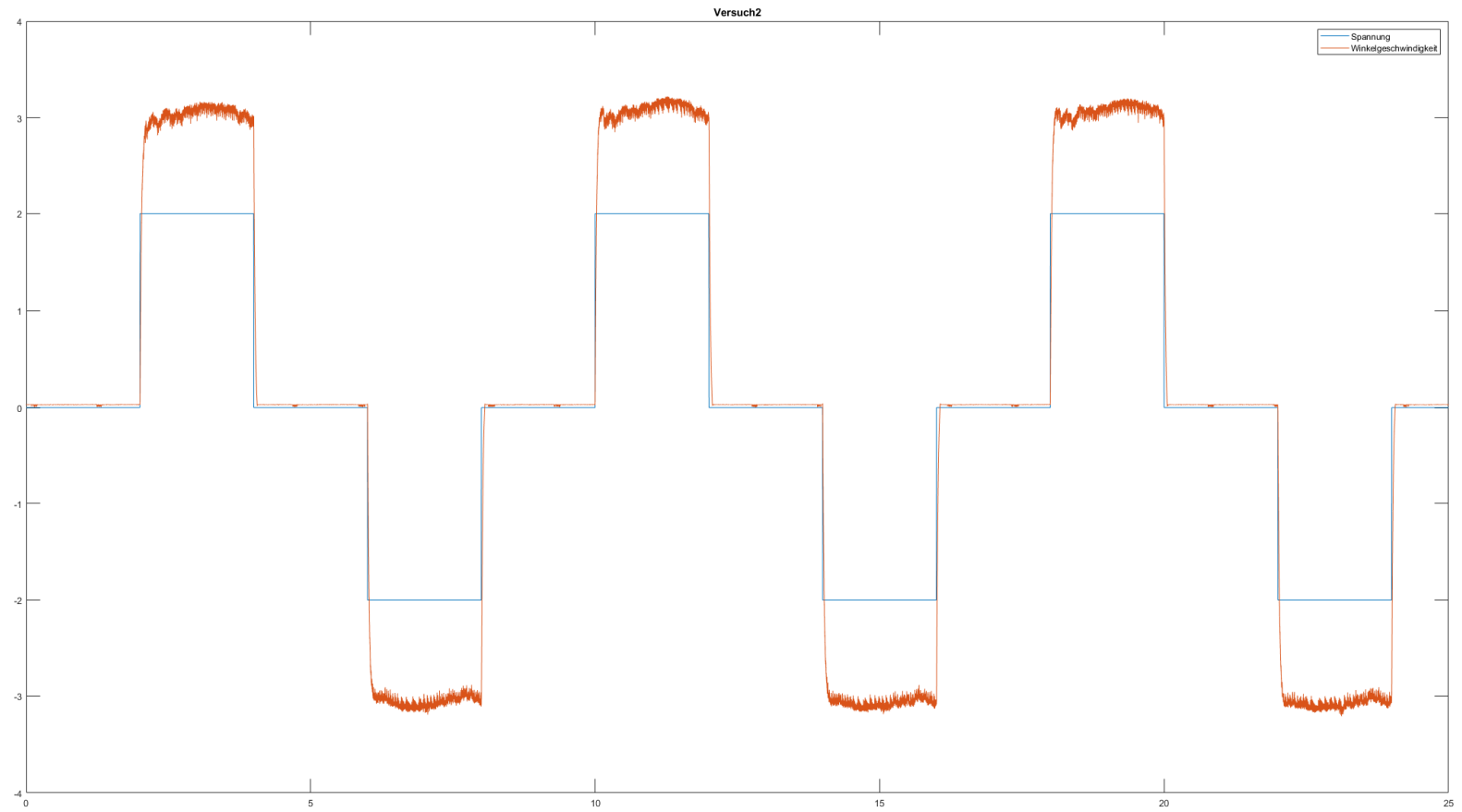


$$\tau_R = B_g * \omega_l + \tau_{R0}$$

$$\tau_R = 0.0036 * \omega_l + 0.020$$

Der ermittelte Wert von $B_g = 0.0036 \frac{Nm*s}{rad}$ ist fast identisch zum Wert von $B_g = 0.004 \frac{Nm*s}{rad}$ aus P1.

4.2.2. Versuch 2



Parameter für positive Spannungssprünge:

$$T_t = 0,002$$

$$K_p = 1,5$$

$$T1 = 0,022$$

Parameter für negative Spannungssprünge:

$$T_t = 0,002$$

$$K_p = -1,5$$

$$T1 = 0,024$$

Werte des Praktikums P1:

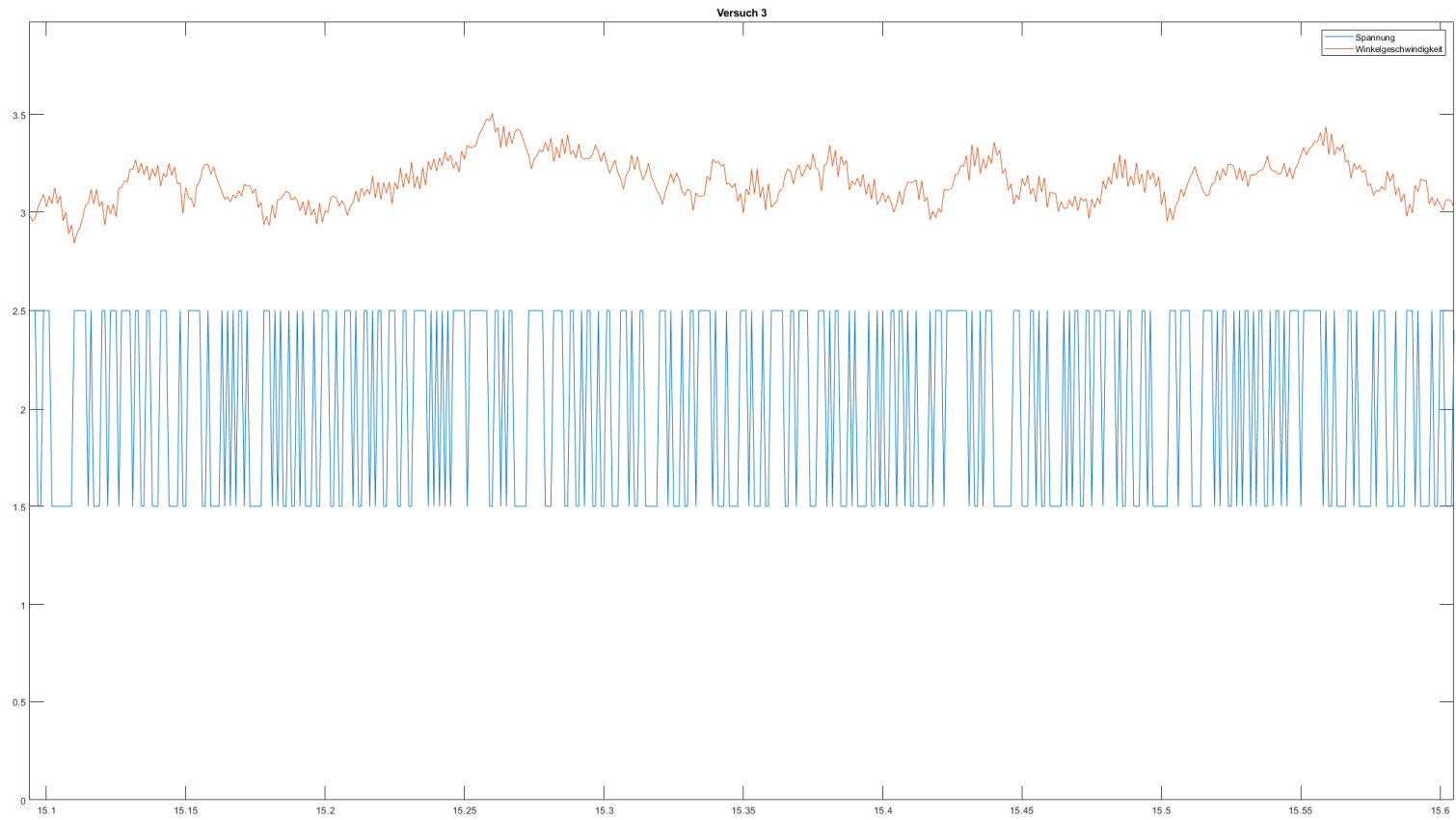
$$T_t = 0$$

$$K_p = 1,7$$

$$T1 = 0,04$$

Grundsätzlich sieht man beim Vergleich der Werte, dass die praktischen Werte relativ nah bei den Werten des theoretischen Modells liegen. Die vorhandenen Unterschiede kann man durch das Auftreten von Störungen und anderen Einflüssen erklären, welche bei dem praktischen Versuchsaufbau auftreten können.

4.2.3. Versuch 3



Identifizierte Prozessmodelle:

PT_1 - Modell:

$$G(s) = \frac{K_p}{1 + T_{P1} * s}$$

$$K_p = 1,563$$

$$T_{P1} = 0,026335$$

PT_2 - Modell:

$$G(s) = \frac{K_p}{(1 + T_{P1} * s)(1 + T_{P2} * s)}$$

$$K_p = 1,5409$$

$$T_{P1} = 0,023237$$

$$T_{P2} = 0,00097969$$

PT_2T_D - Modell:

$$G(s) = \frac{K_p}{(1 + T_{P1} * s)(1 + T_{P2} * s)} * e^{T_d s}$$

$$K_p = 1,5392$$

$$T_{P1} = 0,023736$$

$$T_{P2} = 0,0002085$$

$$T_d = 0,000704$$

Alle 3 Modelle unterscheiden sich lediglich marginal. Deshalb würde ich mich hier für ein PT_1 - Modell entscheiden.

Vergleicht man die Werte mit Versuch 2, so sieht man, dass sowohl K_p (Unterschied: 0,063) als auch T_{P1} (Unterschied: ca. 0.004) sehr ähnlich sind.