

FACHHOCHSCHULE MANNHEIM

Hochschule für Technik und Gestaltung

Institut für Regelungstechnik

Versuch Nr.: 4.3/5.3

Labortermin:

Abgabetermin:

Versuchstitel:

Untersuchungen an Regelstrecken und Reglern

Namen:

Eingang:

Testat:

FACHHOCHSCHULE MANNHEIM
Hochschule für Technik und Gestaltung
Institut für Regelungstechnik

Semester:

Gruppe:

23. JAN 2004

Korrekturhinweise:

- Rückführschaltung: Disk. fehlt

Ermittlung von Sprungantworten und Kennlinien bei Regelstrecken und Reglern

1. Versuchsgrundlagen

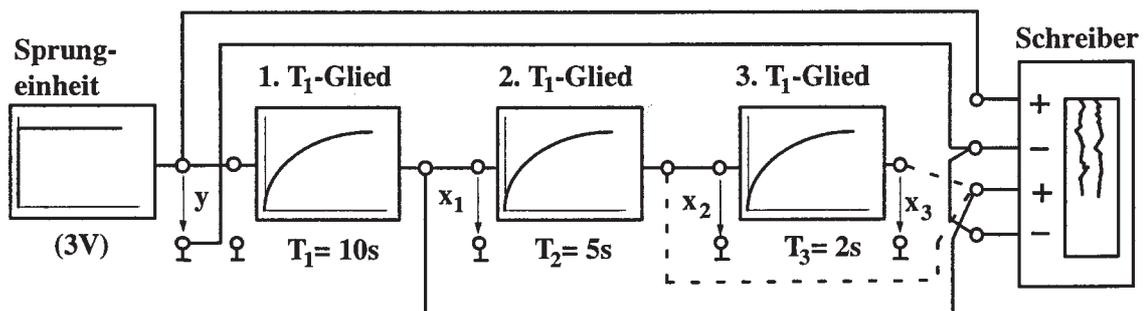
Der Versuch wird am "Simulationsgerät" (siehe Beschreibung BR 9) durchgeführt.
Kenntnis der Beschreibung BR 9 erforderlich!

2. Aufgabenstellung

2.1 Aufnahme der Sprungantworten von Strecken mit Ausgleich

Die Sprungantworten von drei verschiedenen Strecken mit Ausgleich sind aufzunehmen. Dazu sind drei Verzögerungsglieder 1. Ordnung ($K_{S1}=K_{S2}=K_{S3}=1$) in Reihe zu schalten.

Schaltungsaufbau und Vorbereitung



Die unter den Blöcken angegebenen Zeitkonstanten einstellen!

Schreibereinstellungen

- Meßbereich: 5V "kalibriert"
- Nullpunkteinstellung: 20%
- Papiervorschub: 12cm/min
- ZVK (Zeitversatzkompensation) einschalten!

Durchführung der Messungen

Vor Beginn jeder Messung sind die T_1 -Regelkreisglieder zu entladen (Schalterstellung 0 bei der Sprungfunktion und $T_1 = 0,2s$ bei allen Verzögerungsgliedern!).

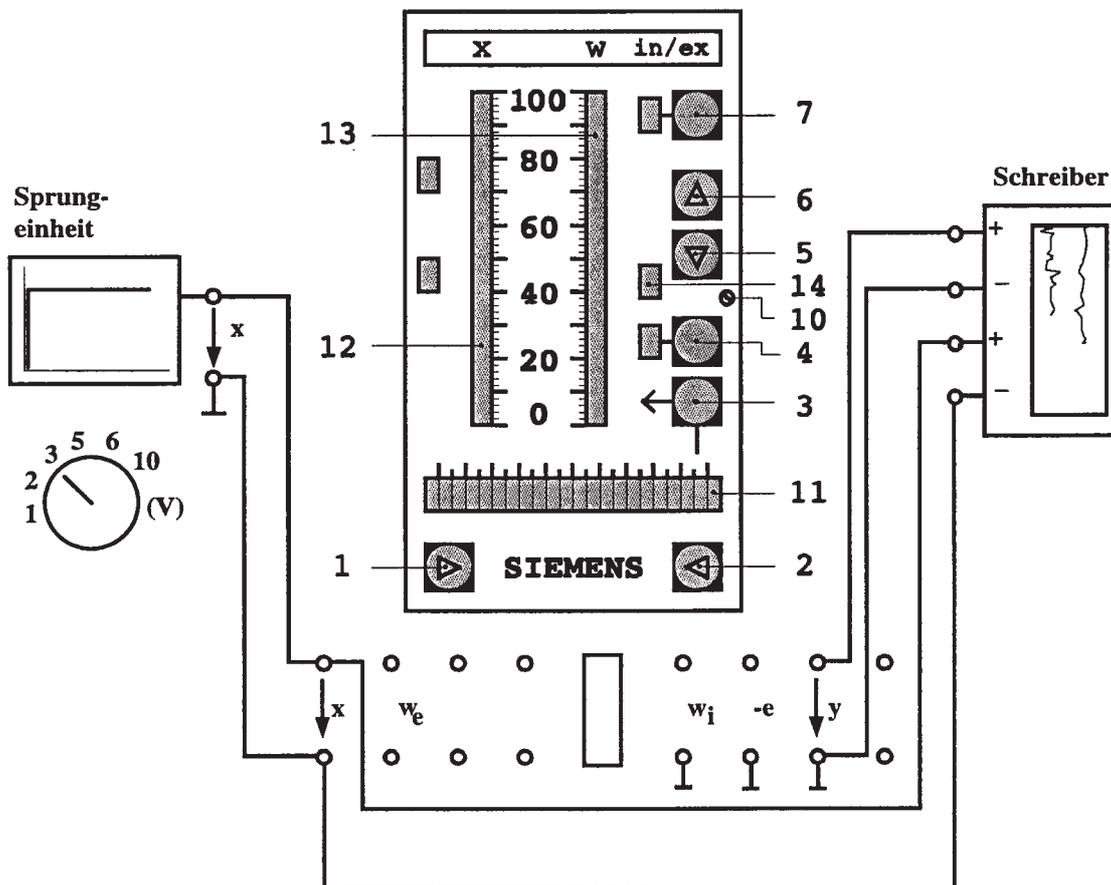
Zur Durchführung der Messungen ist jeweils mittels Sprungfunktion die Sprungfunktion (ca. 3V) aufzuschalten.

1. Messung: Strecke mit Verzögerung 1. Ordnung; Signalabgriff an x_1
2. Messung: Strecke mit Verzögerung 2. Ordnung; Signalabgriff an x_2
3. Messung: Strecke mit Verzögerung 3. Ordnung; Signalabgriff an x_3

2.2 Aufnahme der Kennlinien und Sprungantworten von Reglern bei verschiedenen Einstellungen

Versuchsvorbereitungen

Für die Aufnahme der Kennlinien und Sprungantworten ist die in untenstehender Abbildung dargestellte Schaltung aufzubauen.



2.2.1 Aufnahme statischer Kennlinien eines P Reglers

Schreibereinstellungen

- Meßbereich: 20V "kalibriert"
- Nullpunkteinstellung: 20%
- Papiervorschub: 12cm/min
- ZVK Kontrolle!

Einstellungen am Regler

1. Parametrierung (Reglertür offen!)

Um den PID-T1 Regler als P Regler zu strukturieren, sind T_n so groß als möglich ($T_n = 10000s$) und T_v so klein als möglich einzustellen.
Mit Ausnahme von K_p dürfen keine sonstigen Verstellungen vorgenommen werden!

Hinweise: Parameterwahl erfolgt über Taste 1 bzw. 2,
die Parametereinstellung über Taste 5 bzw. 6

2. Prozeßbedienung (Reglertür geschlossen!)

Es ist ein Arbeitspunkt $y_0 = 50\%$ (5V) einzustellen.

- Hinweise:
- Regler auf Handbetrieb (Taste 4)
 - $x = 5V$ einstellen (mittels Sprungeinheit)
 - $w = x$ einstellen (Taste 5 bzw. 6)
 - $y_0 = 50\% \hat{=} 5V$ (Taste 1 bzw. 2)
 - Regler auf Automatik (Taste 4)

Durchführung der Messungen

Für $w = 50\%$ (5V) und einem Arbeitspunkt $y_0 = 50\%$ (5V) sind zwei Meßreihen (mit $K_{p1} = 1$ und $K_{p2} = 2$) mittels Schreiber aufzunehmen.
Die verschiedenen Werte für x sind an der Sprungeinheit einzustellen.
Festlegung: Für $y < 0V$ ist $y = 0V$ zu setzen,
für $y > 10V$ ist $y = 10V$ zu setzen.

	0V	≈1V	≈2V	≈3V	≈5V	≈6V	≈10V
y (bei $K_{p1} = 1$)							
y (bei $K_{p2} = 2$)							

2.2.2 Aufnahme von Sprungantworten eines P Reglers

Einstellungen am Regler

Parametrierung siehe 2.2.1

Prozeßbedienung (Reglertür geschlossen!)

Der Arbeitspunkt ist auf $y_0 = 1V$ einzustellen.

Hinweise: w (Anzeige 13) auf 10% einstellen (Taste 5 bzw. 6)
vor jeder Messung nach Neuparametrierung:

- Regler auf Handbetrieb (Taste 4)
- e = 0 einstellen, d.h. w=x= 1V (x an Sprungeinheit zuschalten)
- $y_0 = 10\%$ realisieren (Taste 1 bzw. 2)
- Regler auf Automatik

Schreibereinstellungen

- Meßbereich: 10V "kalibriert"
- bei e = 0 (w=x= 1V) und $y_0 = 10\%$
Schreibfeder für Regelgröße x auf 80% und
Schreibfeder für Stellgröße y auf 20% einstellen.
- Papiervorschub: 12cm/min
- ZVK Kontrolle!

Durchführung der Messungen

Jeweils nach Zuschalten des Schreibervorschubes die Regelgröße x mittels Sprungeinheit um ca. 1V (Schalterstellung 1 auf 0) verringern, d.h. ein e ≈ 1V aufschalten.

	K_p	y_0
Messung 1	5	10%
Messung 2	2	10%
Messung 3	1	10%

2.2.3 Aufnahme von Sprungantworten eines PI Reglers

Einstellungen am Regler

Jeweils geforderte Werte für K_p und T_n einstellen.

Hinweis: Beim PI Regler muß nach jeder Messung der Arbeitspunkt auf $y_0 \approx 10\%$ zurückgestellt werden; $w=x=1V$.

Schreibereinstellungen

Meßbereich: 20V "kalibriert", sonst wie bei 2.2.2.

Durchführung der Messungen

Jeweils nach Einschalten des Schreibervorschubes Regelgröße x mittels Sprungeneinheit um ca. 1V (Schalterstellung 1 auf 0) verringern, d.h. ein $e \approx 1V$ aufschalten.

	K_p	T_n / s	$y_0 / \%$
Messung 1	2	10	10
Messung 2	2	20	10
Messung 3	1	10	10

Hinweis:

Um die nach jeder Messung erforderliche Rückstellung des Arbeitspunktes zu vermeiden, kann alternativ wie folgt verfahren werden:

Durchführung der Messungen

Jeweils nach Einschalten des Schreibervorschubes ist die Regelgröße x mittels Sprungeneinheit um ca. -1V bzw. +1V zu ändern.

Bei den Aufnahmen der Sprungantworten ist die Spannung an der Sprungeneinheit alternierend von

1 Volt auf 0 Volt und von
1 Volt auf 2 Volt zu ändern.

Zur Beendigung einer Messung muß jeweils auf die Spannung 1 Volt geschaltet werden.

2.2.3a Aufnahme von Sprungantworten eines PID-T₁ Reglers

Einstellungen am Regler

Jeweils geforderte Werte für K_p , T_n und T_v einstellen.
Vorhaltverstärkung (V_v) fest auf 5 eingestellt.

Hinweis: Beim PID-T₁ Regler muß nach jeder Messung der Arbeitspunkt auf $y_0 = 10\%$ zurückgestellt werden; $w=x=1V$.
Achtung: Nur D-Anteil verzögert !

Schreibereinstellungen

Meßbereich: 20V "kalibriert", sonst wie bei 2.2.2.

Durchführung der Messungen

Jeweils nach Einschalten des Schreibervorschubes Regelgröße x mittels Sprungseinheit um ca. 1V (Schalterstellung 1 auf 0) verringern, d.h. ein $e \approx 1V$ aufschalten.

	einstellen				feste Werte	
	K_p	T_n	T_v	$y_0 / \%$	V_v	$T_i = T_v / V_v$
Messung 1	1	20	4	10	5	0.8
Messung 2	1.5	20	4	10	5	0.8
Messung 3	1.5	10	4	10	5	0.8
Messung 4	1.5	10	2	10	5	0.4

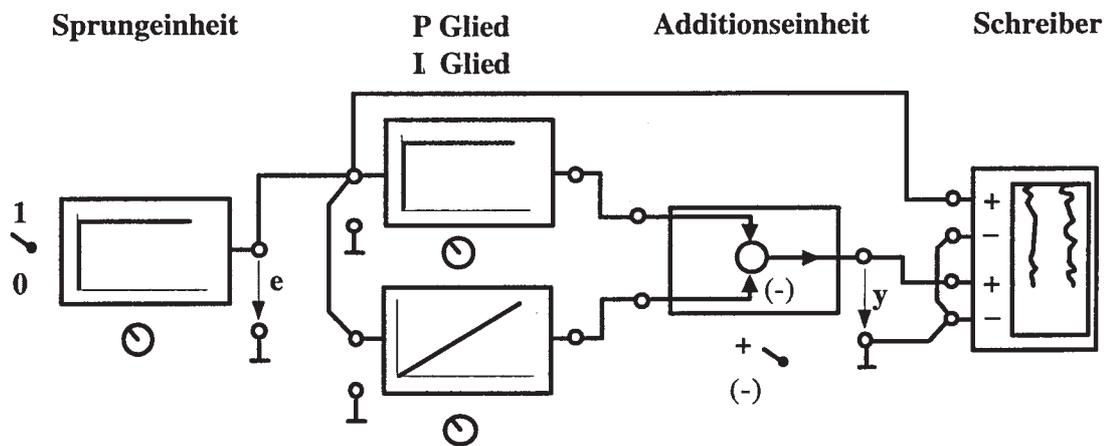
2.2.4

Realisierung verschiedener Übertragungsverhalten von
Reglern durch Parallelschaltungen und Rückführungen

Für folgende Kombinationen sind die Sprungantworten sowie bei 3.) zusätzlich die Anstiegsantworten aufzunehmen.

1. Parallelschaltung von P Glied und I Glied

Schaltungsaufbau am Simulationsgerät



Einstellungen am Simulationsgerät und Schreiber

- An der Sprungeneinheit Wahlschalter auf Stellung "1" für $e = 1V$ einstellen, Kippschalter auf "0" stellen
- Schalter an der Additionseinheit auf Stellung "+" stellen
- Taste "Entladen" beim I Glied drücken
- Meßbereich: 5V "kalibriert"
- Nullpunkteinstellung: 20%
- weitere Schreibereinstellungen siehe 2.2.2

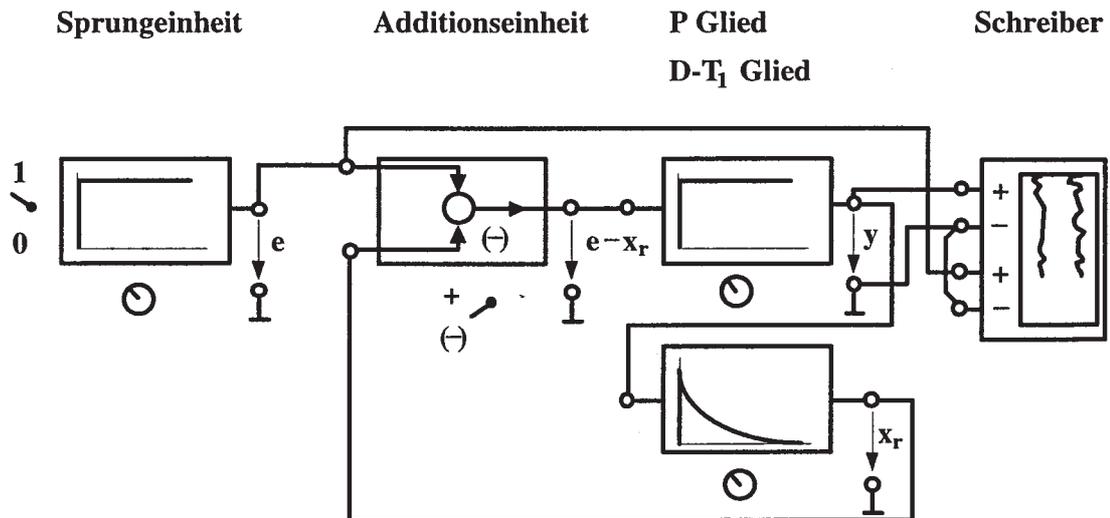
Durchführung der Messungen

- K_p und K_I einstellen
- vor jeder Messung Taste "Entladen" beim I Glied drücken
- Schreibervorschub einschalten
- Regeldifferenz $e = 1V$ an der Sprungeneinheit zuschalten
- Sprungantwort aufnehmen

	K_p	$K_I \text{ s}$
Messung 1	1	0,05
Messung 2	0,5	0,05

2. Rückführschaltung mit P Glied (Vorwärtsglied) und D-T₁ Glied (Rückführglied)

Schaltungsaufbau am Simulationsgerät



Einstellungen am Schreiber

- Meßbereich: 10V "kalibriert"
- sonst wie unter 1.

Einstellungen am Simulationsgerät

- an Sprungeneinheit Wahlschalter auf Stellung "1" für $e = 1V$ einstellen, Kippschalter auf "0" stellen
- an Additionseinheit Kippschalter auf "-"
- am D-T₁ Glied Kippschalter auf "1"
- zum Entladen der Rückführschaltung K_D und K_p vor jeder Messung auf kleinsten Wert einstellen

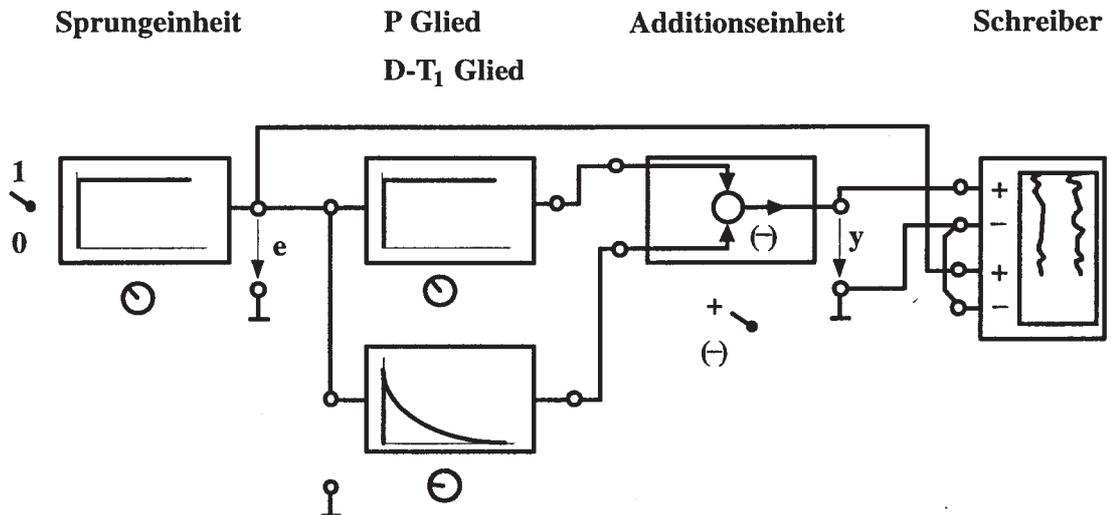
Durchführung der Messungen

- erst K_D , dann K_p einstellen
- Schreibervorschub einschalten
- Regeldifferenz $e = 1V$ an Sprungeneinheit zuschalten
- Sprungantwort aufnehmen

	K_p	K_D / s
Messung 1	∞	10
Messung 2	∞	5

3. Parallelschaltung von P Glied und D-T₁ Glied

Schaltungsaufbau am Simulationsgerät



Einstellungen am Schreiber

- Meßbereich: 20V "kalibriert"
- sonst wie unter 2.

Einstellungen am Simulationsgerät

- an der Sprungeneinheit Wahlschalter auf Stellung "1" für $e = 1V$ einstellen, Kippschalter auf "0"
- an Additionseinheit Kippschalter auf "+"
- am D-T₁ Glied Kippschalter: "20"

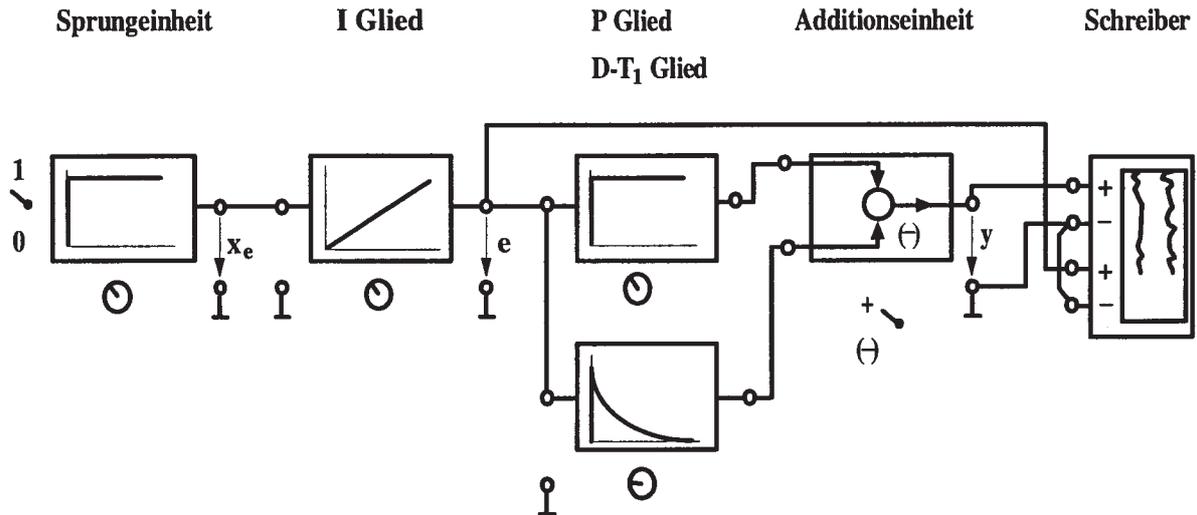
Durchführung der Messungen

- vor jeder Messung zwecks Entladung kleinstes K_D einstellen
- K_D und K_p einstellen
- Schreibervorschub einschalten
- Regeldifferenz $e = 1V$ aufschalten
- Sprungantwort aufnehmen

	K_p	K_D / s
Messung 1	2	10
Messung 2	1	10

Zur Aufnahme der Anstiegsantworten ist die Schaltung unter 3. folgendermaßen zu erweitern

Schaltungsaufbau am Simulationsgerät



Einstellungen am Schreiber

- wie unter 3., Seite 8

Einstellungen am Simulationsgerät

- wie unter 3., Seite 8

Durchführungen der Messungen

- K_p , K_D und K_I einstellen
- vor jeder Messung Entladetaste am I Glied betätigen
- Schreibervorschub einschalten
- Regeldifferenz von 1V auf I Glied schalten
- Anstiegsantwort aufnehmen

	K_p	K_D / s	$K_I \cdot s$
Messung 3	2	10	0,1
Messung 4	1	10	0,1

3. Auswertung

Meßprotokolle, Auswertungen, Berechnungen und Diskussionen der Ergebnisse sind in der nachstehend angegebenen Reihenfolge anzuordnen bzw. durchzuführen.
Die Ergebnisse sind in die entsprechenden Tabellen auf Seite 11 und Seite 12 einzutragen.

3.1

In die Aufzeichnungen von 2.1 sind einzutragen bzw. aus ihnen zu ermitteln:

- T_1 , T_u , T_g und T_u / T_g .
- In die Sprungantwort der P- T_3 Strecke ist die Ersatzsprungantwort einer P- T_1 - T_1 Strecke einzutragen. Dazu sollen mit $T_1=T_u$ und $T_1=T_g$ ca. 6 Werte berechnet werden.

3.2.1

Aus den Aufnahmen der statischen Reglerkennlinien sind zu berechnen bzw. darzustellen:

- Proportionalbereich X_p sowie x_p in Prozenten
- die aus den aufgenommenen Kennlinien ermittelten Proportionalbeiwerte K_p
- die Gleichungen der Kennlinien mit den ermittelten Werten von K_p , w und y_0
- Die Kennlinien des P Reglers $y = f(x, w, y_0)$ mit K_p als Parameter sind im Diagramm 3.2.1 auf Seite 11 einzutragen.

3.2.2

Aus den Sprungantworten von 2.2.2 sind zu ermitteln:

- K_p , X_p , y sowie x_p in Prozenten

3.2.3

In die Sprungantworten von 2.2.3 und 2.2.3a sind einzutragen bzw. daraus zu ermitteln:

- K_p und T_n bzw. K_p , T_n , T_1 , V_v , T_v und K_D

3.2.4

Auswertung der Messungen von 2.2.4

Aus den Sprungantworten von 1. Parallelschaltung und 2. Rückführschaltung sind zu ermitteln:

- die Kenngrößen der Regler: K_p , K_I und T_n
- die Abhängigkeit der Kenngrößen voneinander

Der Einfluß des Vorwärtsgrades bei 2. für $K_p = \infty$ und $K_p \neq \infty$ ist anhand der Frequenzgänge zu diskutieren.

Aus den Anstiegsantworten von 3. sind zu ermitteln:

- die Reglerkenngrößen: K_p , K_D und T_v .

Ergebnisse der Auswertung

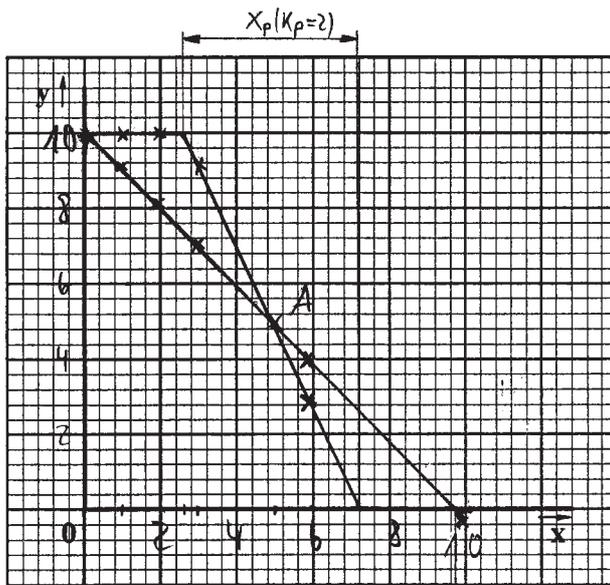
Die geforderten Angaben sind einzutragen und der Ausarbeitung als letzte Blätter beizufügen.

3.1

					Auswertung			
	T ₁ /s	T ₂ /s	T ₃ /s	K _s	T ₁ /s	T _g /s	T _u /s	T _u /T _g
P-T ₁	10	-	-	1	12,5	-	-	-
P-T ₂	10	5	-	1	-	23,75	2,1	0,088
P-T ₃	10	5	2	1	-	24,5	3,5	0,143

3.2.1

	x / V - eingeben	0	1	2	3	5	6	10
w=5V y ₀ =5V (50%)	x / V - gemessen	0	1	2	3	5	5,92	9,92
	e / V	5	4	3	2	0	-0,92	-4,92
für K _p =1	y / V	9,92	9,2	8,16	7,12	5,0	4,0	-0,24
für K _p =2	y / V	9,96	9,96	9,96	9,2	5,0	2,92	-0,48



$$\begin{aligned}
 X_h &= 10V \\
 Y_h &= 10V \\
 K_p(1) &= 1,03 \\
 K_p(2) &= 2,17 \\
 X_p(K_p=1) &= 9,7V \\
 X_p(K_p=2) &= 4,6V \\
 x_p / \% (K_p=1) &= 97\% \\
 x_p / \% (K_p=2) &= 46\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - K_p &= 1 \\
 - K_p &= 2
 \end{aligned}$$

Reglergleichungen:

$$\text{allgemein: } y = -K_p \cdot x + y_0 + K_p \cdot x_0$$

$$1) K_p = 1$$

$$y = -1,03 \cdot x + 5 + 1,03 \cdot 5$$

$$\rightarrow y_1 = -1,03 \cdot x + 10,15$$

$$2) K_p = 2$$

$$y = -2,17 \cdot x + 5 + 2,17 \cdot 5$$

$$\rightarrow y_2 = -2,17 \cdot x + 15,85$$

3.2.2

		Auswertung			
e / V	K _p	K _p	X _p / V	x _p / %	y / V
1	5	5	2,0	20%	5,0
1	2	2	5,0	50%	2,0
1	1	1	10,0	100%	1,0

3.2.3

		Auswertung	
K _p	T _n / s	K _p	T _n / s
2	10	2,24	10,75
2	20	2,16	20
1	10	1,12	10,5

3.2.3a

			Auswertung					
K _p	T _n / s	T _v / s	K _p	T _n / s	T ₁ / s	V _v	T _v / s	K _D / s
1	20	4	1,28	22	2	3,25	6,5	8,32
1.5	20	4	1,84	22	2	3,37	6,74	12,4
1.5	10	4	1,88	10	1,5	3,32	4,98	9,36
1.5	10	2	1,8	10,5	1,0	3,2	3,2	5,76

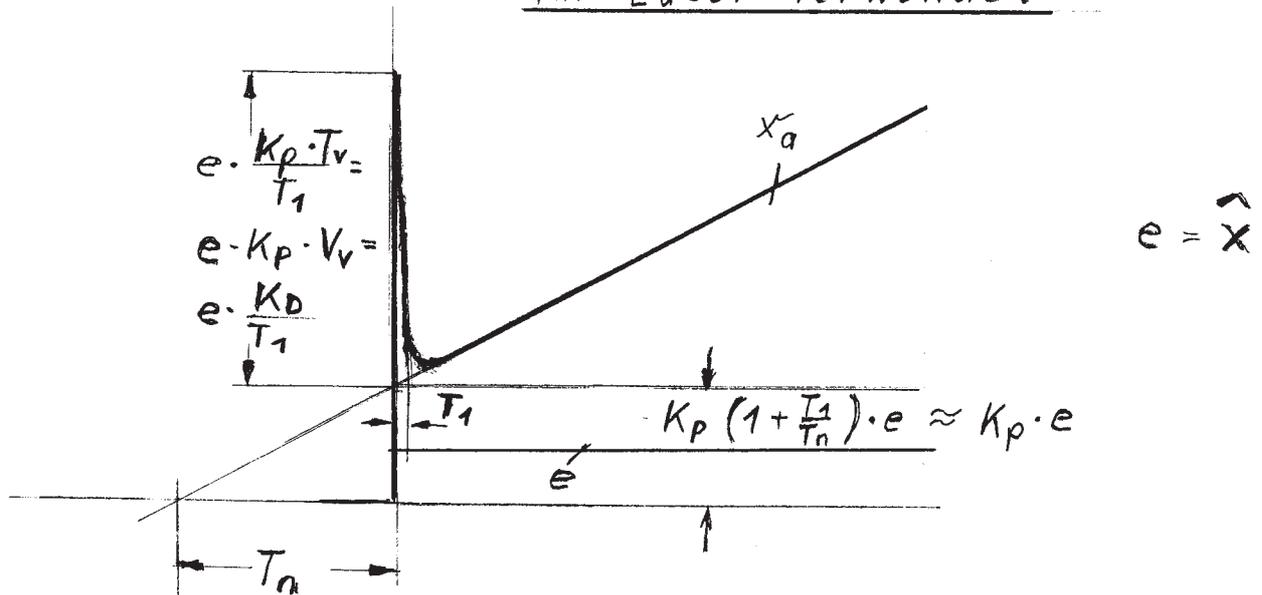
3.2.4

		Auswertung				
		K _p	K _I / s	K _D / s	T _n / s	T _v / s
1. Parallelschaltung K _I =0,05s ⁻¹	↗ K _p = 1	0,98	0,049	-	20	-
	↘ K _p =0,5	0,5	0,052	-	9,5	-
2. Rückführschaltung K _p =∞	↗ K _D =10s	1,05	0,1	-	10,5	-
	↘ K _D = 5 s	1	0,2	-	5	-
3. Parallelschaltung- Anstiegsantworten K _D =10s	↗ K _p = 2	2	-	12,6	-	6,3
	↘ K _p = 1	1	-	10,79	-	10,79

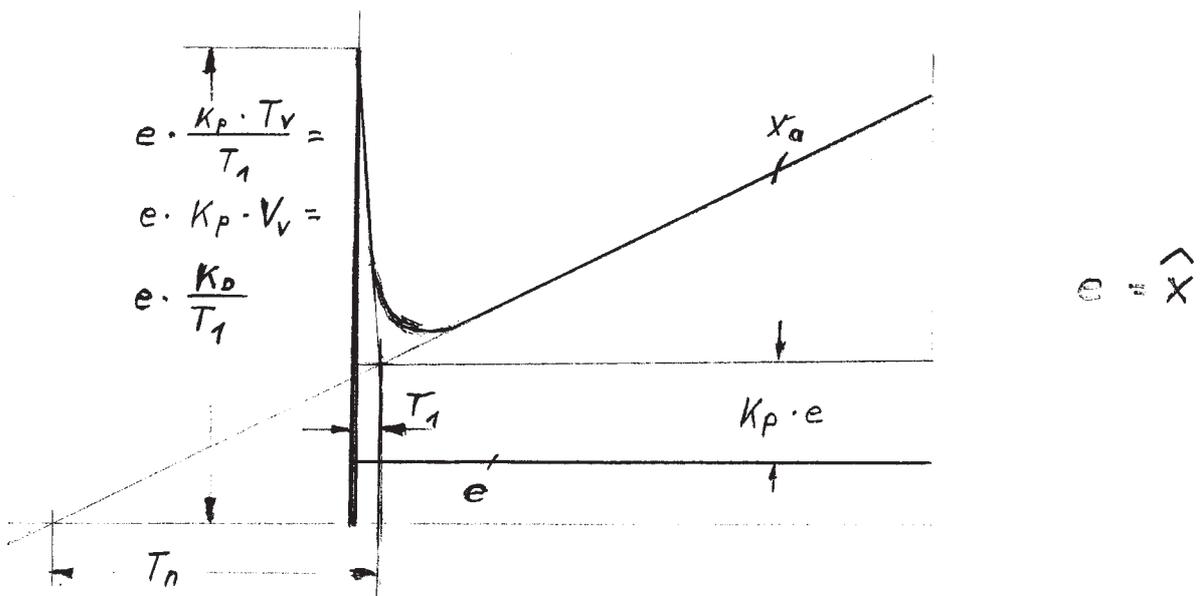
auswerten! aber richtig!

Auswertungshilfe zu 3.2.3 / 2.2.3a

PID- T_1 Regler nur D Anteil verzögert, wird hier im Labor verwendet



PID- T_1 Regler ges. Regler verzögert (Literatur), nicht zur Auswertung benutzen



$$\underline{1} \quad T_A = \cancel{10,25} \quad 20 = 10s$$

$$25 = x$$

$$x = 12,5s = T_A$$

$$\underline{2} \quad T_u = 2,1s \quad \checkmark \quad 4,2 \text{ mm}$$

$$T_g = \underline{23,75s} \quad 47,5 \text{ mm}$$

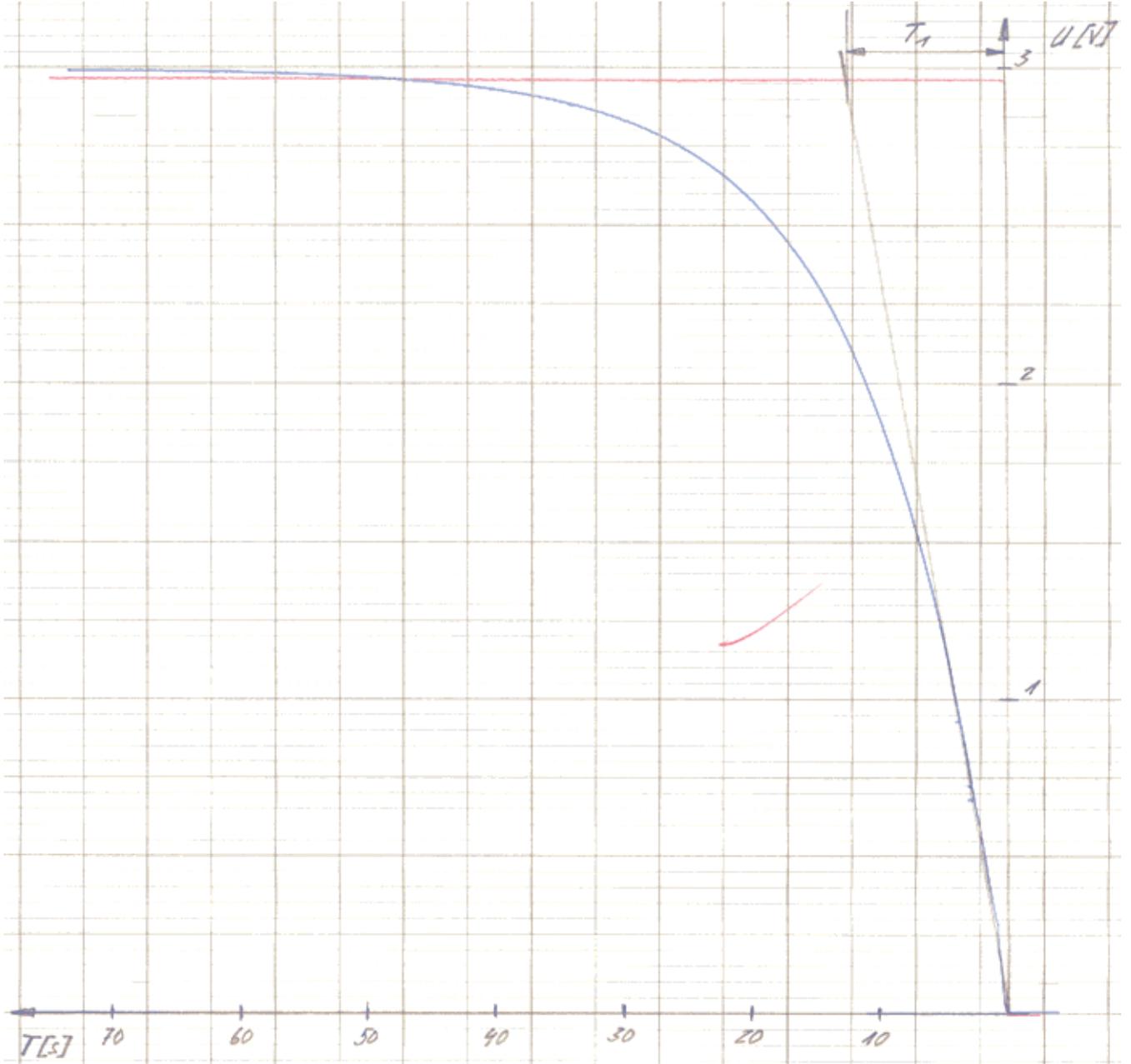
$$\frac{T_u}{T_g} = \underline{0,088}$$

$$\underline{3} \quad T_u = 3,5s \quad \checkmark \quad 7 \text{ mm}$$

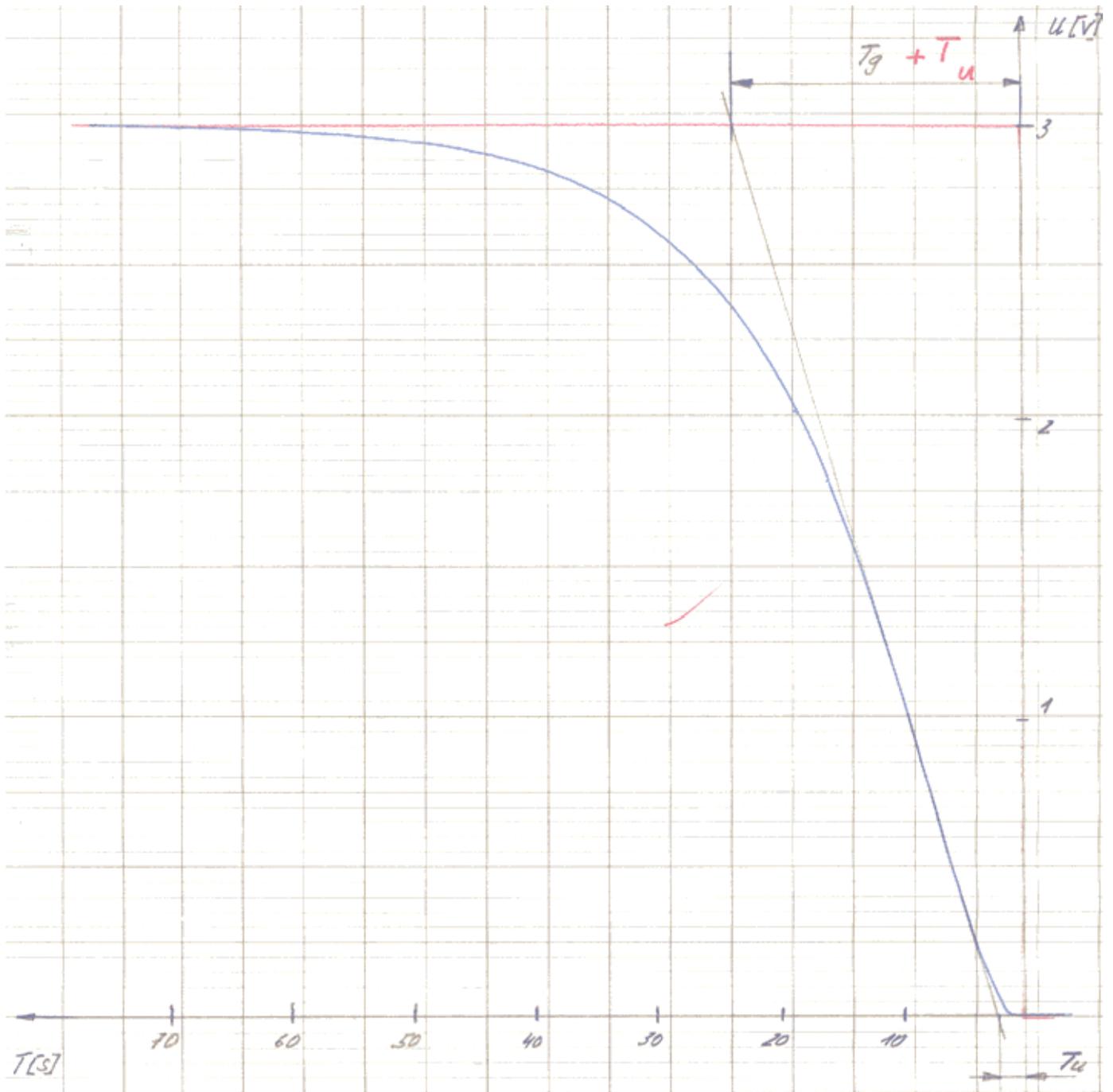
$$T_g = \underline{24,5s} \quad 49 \text{ mm}$$

$$\frac{T_u}{T_g} = \underline{0,143}$$

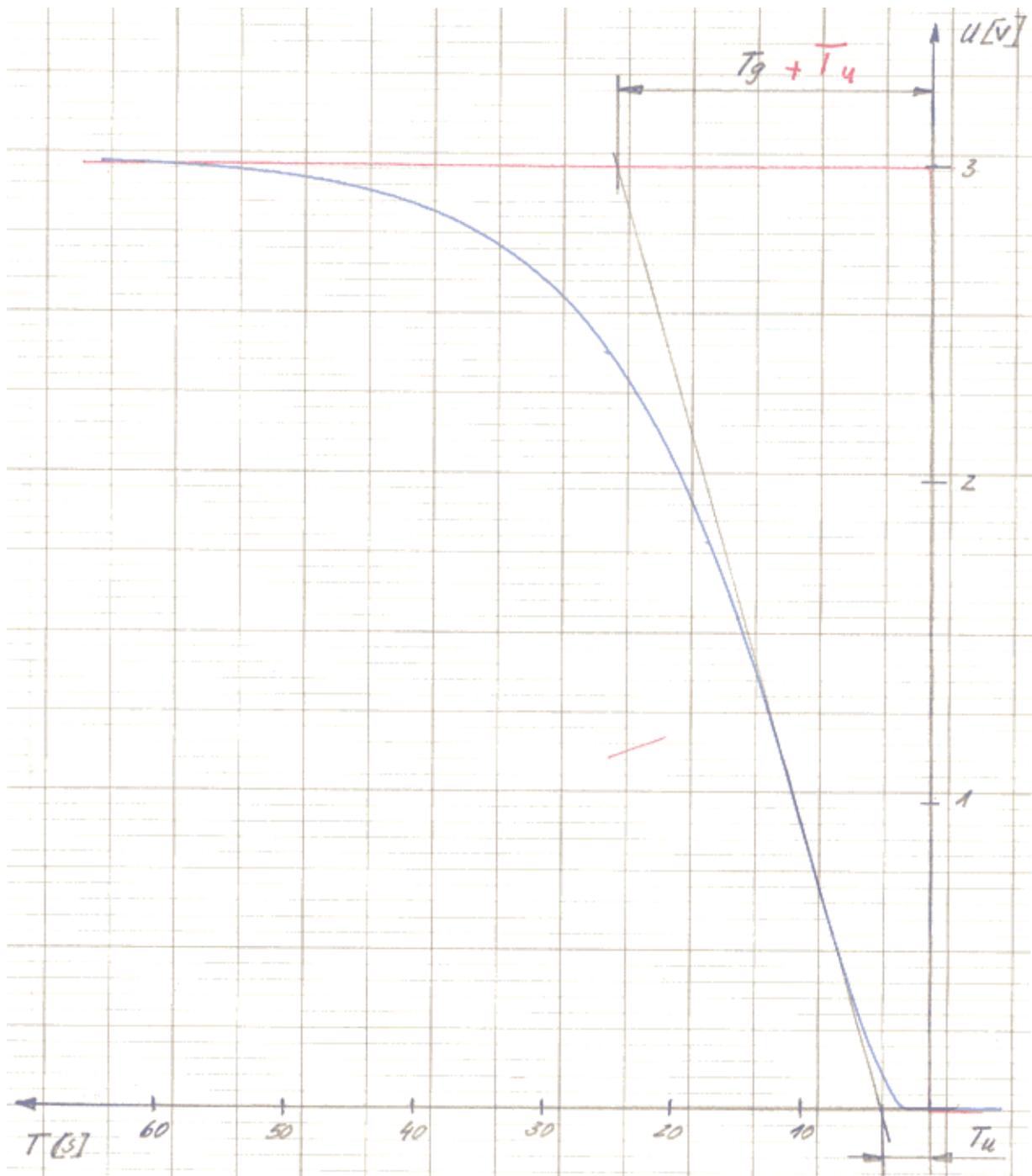
1. Messung (2.1)



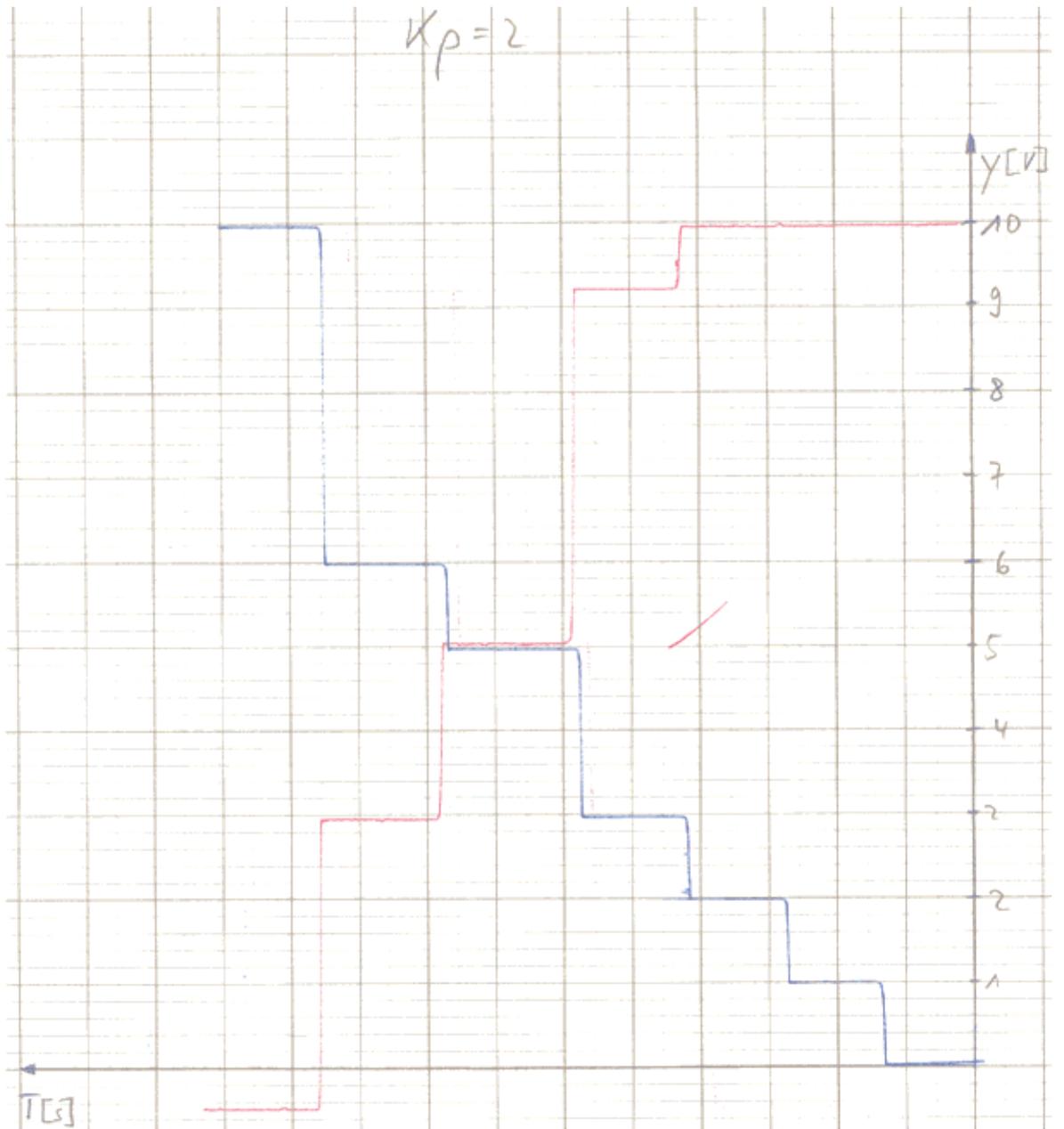
2. Messung (2.1)



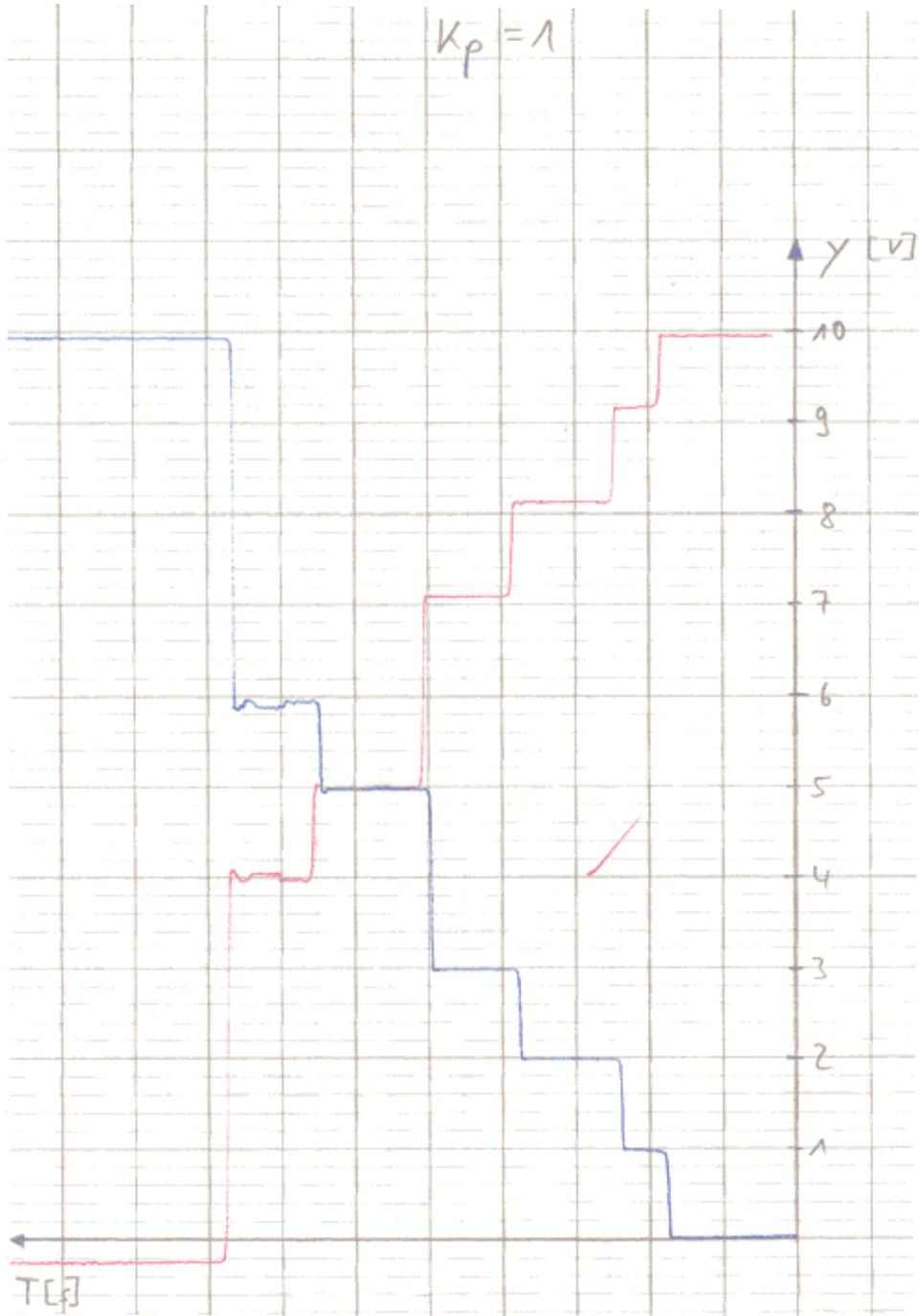
3. Messung (2.1)



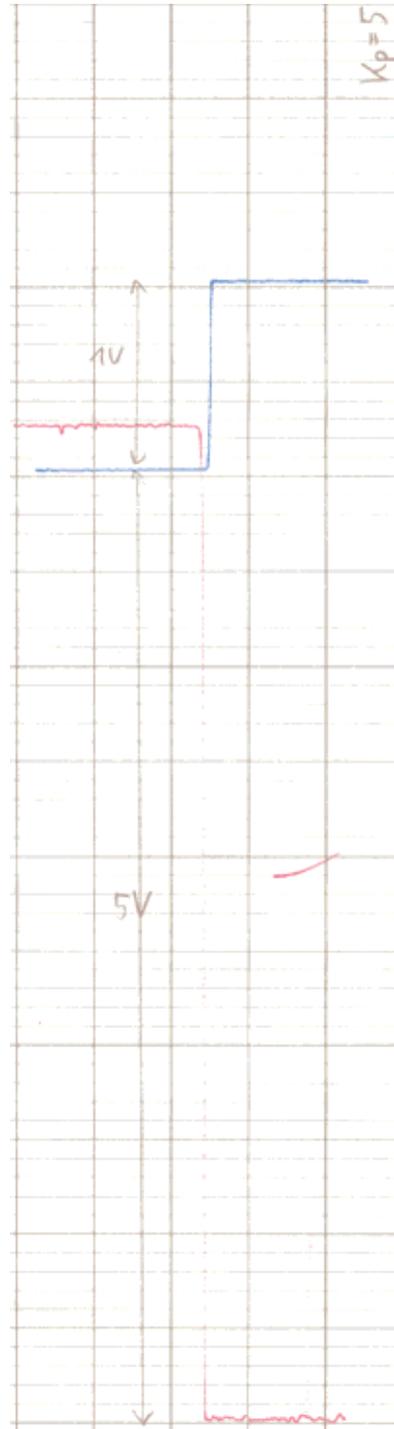
2.2.1 $K_p = 2$



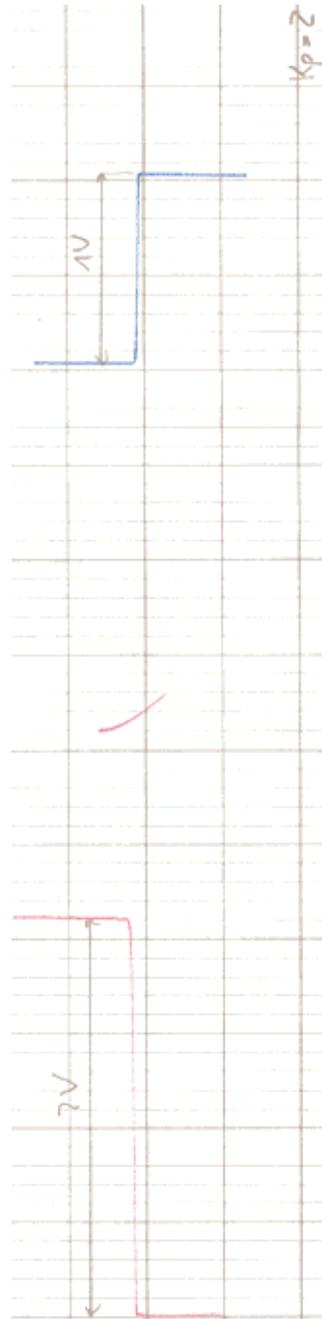
2.2.1 $K_p = 1$



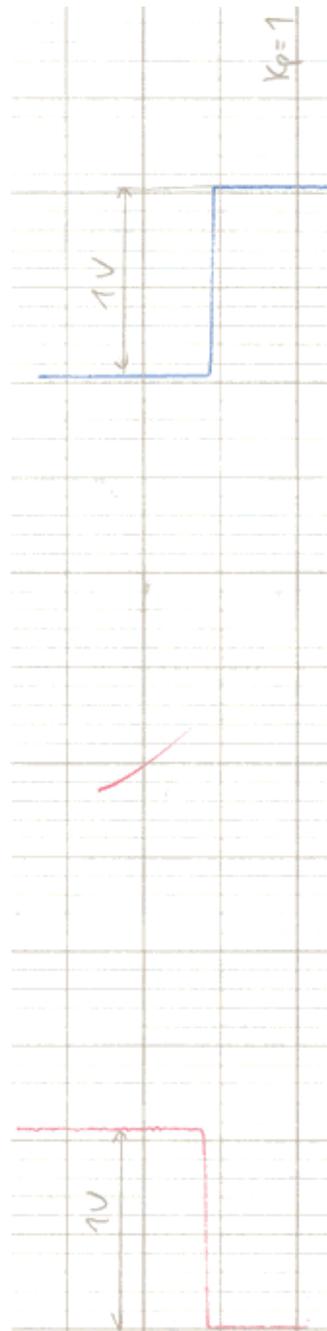
2.2.2 Messung 1



2.2.2 Messung 2



2.2.2 Messung 3



3.2.3) Ermittlung von K_p und T_n aus Sprungantworten:

Papiervorschub: $M_t' = \frac{12 \text{ cm}}{\text{min}} = 0,2 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$

Zeitmaßstab: $M_t = \frac{60 \text{ s}}{120 \text{ mm}} = \frac{5 \text{ s}}{10 \text{ mm}} = 0,5 \frac{\text{s}}{\text{mm}}$

y - Maßstab: $M_y = \frac{1}{12,5 \text{ mm}}$

Messung 1:

$$T_n = \bar{T}_n \cdot M_t = 21,5 \text{ mm} \cdot 0,5 \frac{\text{s}}{\text{mm}} = 10,75 \text{ s}$$

$$K_p = \bar{K}_p \cdot M_y = 28 \text{ mm} \cdot \frac{1}{12,5 \text{ mm}} = 2,24$$

Messung 2:

$$T_n = \bar{T}_n \cdot M_t = 40 \text{ mm} \cdot 0,5 \frac{\text{s}}{\text{mm}} = 20,0 \text{ s}$$

$$K_p = \bar{K}_p \cdot M_y = 27 \text{ mm} \cdot \frac{1}{12,5 \text{ mm}} = 2,16$$

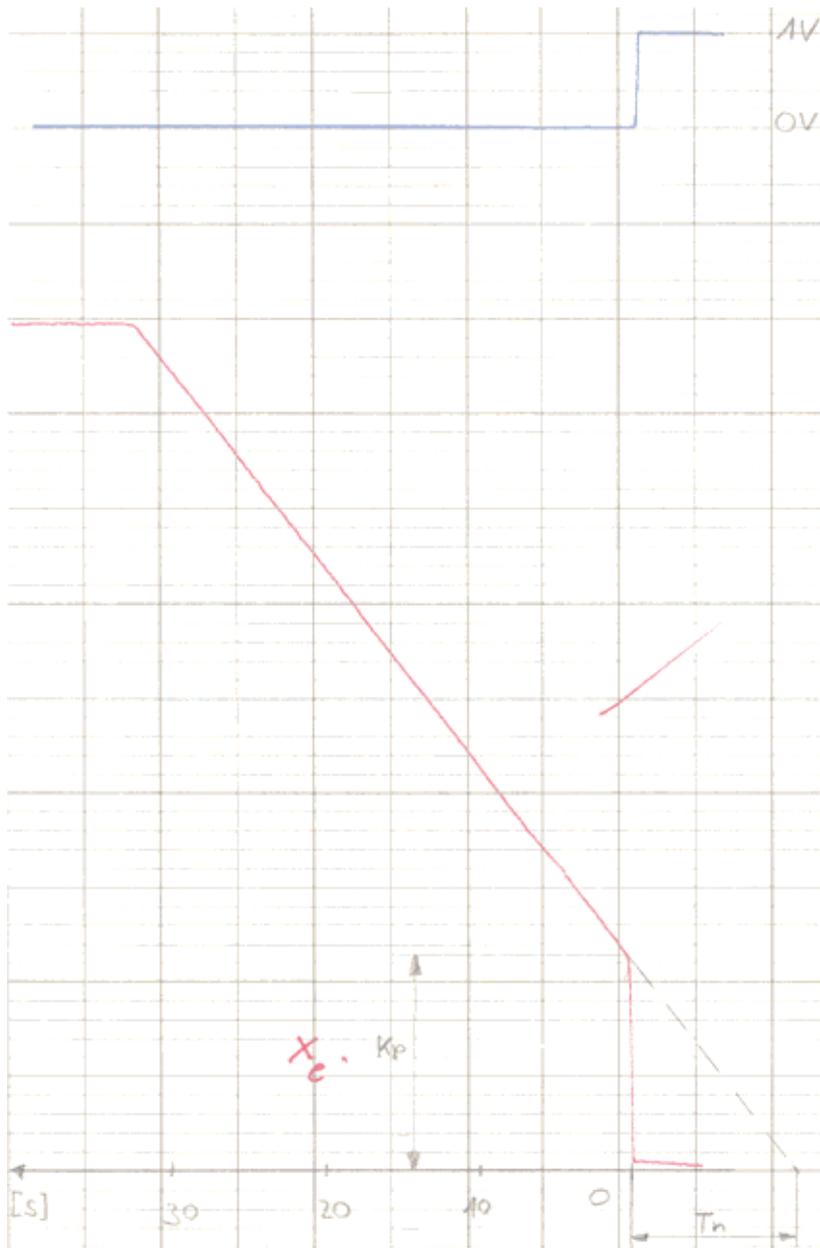
Messung 3:

$$T_n = \bar{T}_n \cdot M_t = 21 \text{ mm} \cdot 0,5 \frac{\text{s}}{\text{mm}} = 10,5 \text{ s}$$

$$K_p = \bar{K}_p \cdot M_y = 14 \text{ mm} \cdot \frac{1}{12,5 \text{ mm}} = 1,12$$

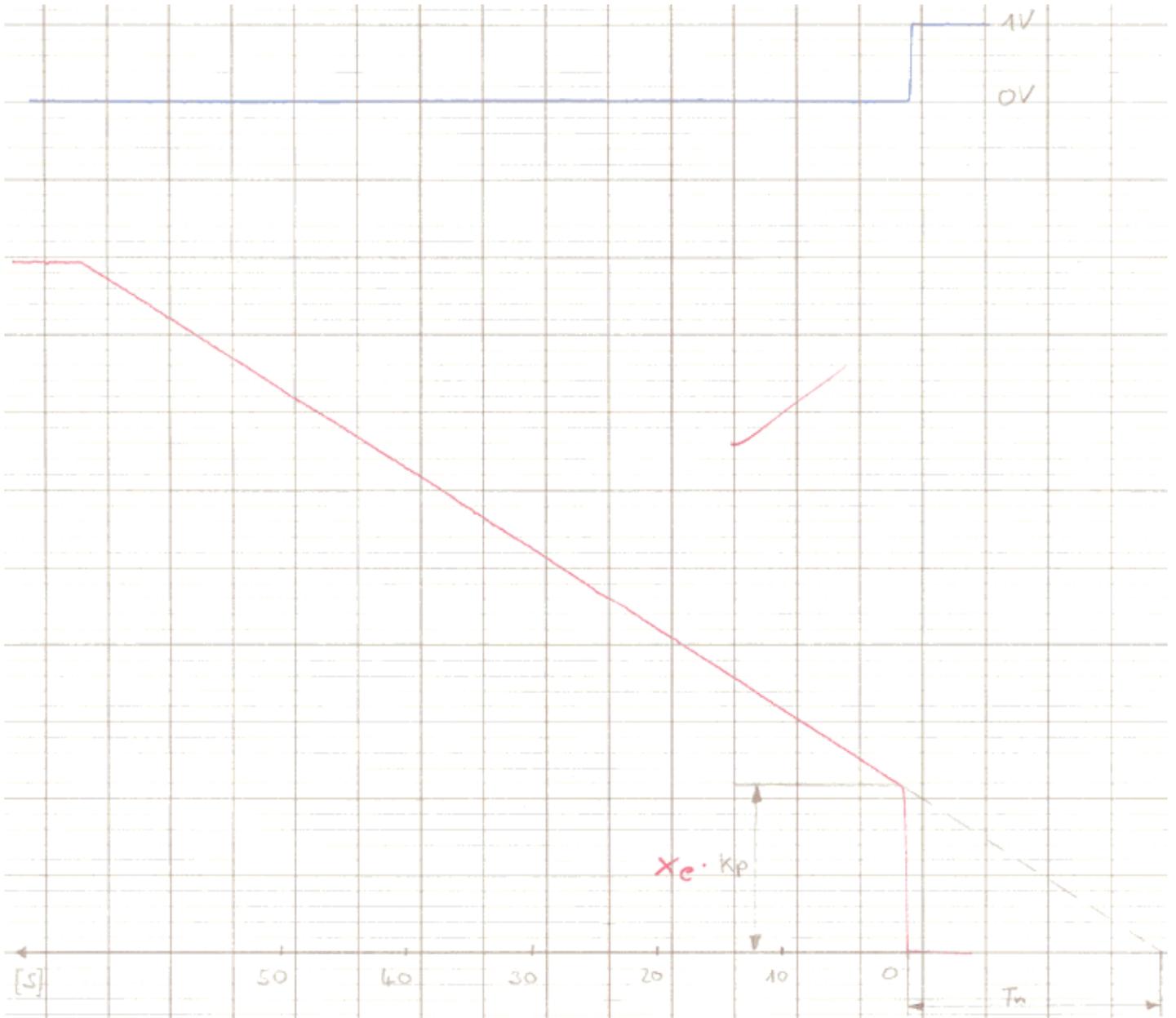
2.2.3) Aufnahme der Sprungantwort eines PI-Reglers:

- **Messung 1**
- **Proportionalbeiwert: $K_{PI} = 2$;**
- **Nachstellzeit: $T_n = 10$ s;**
- **Vorschub: 12 cm/min;**



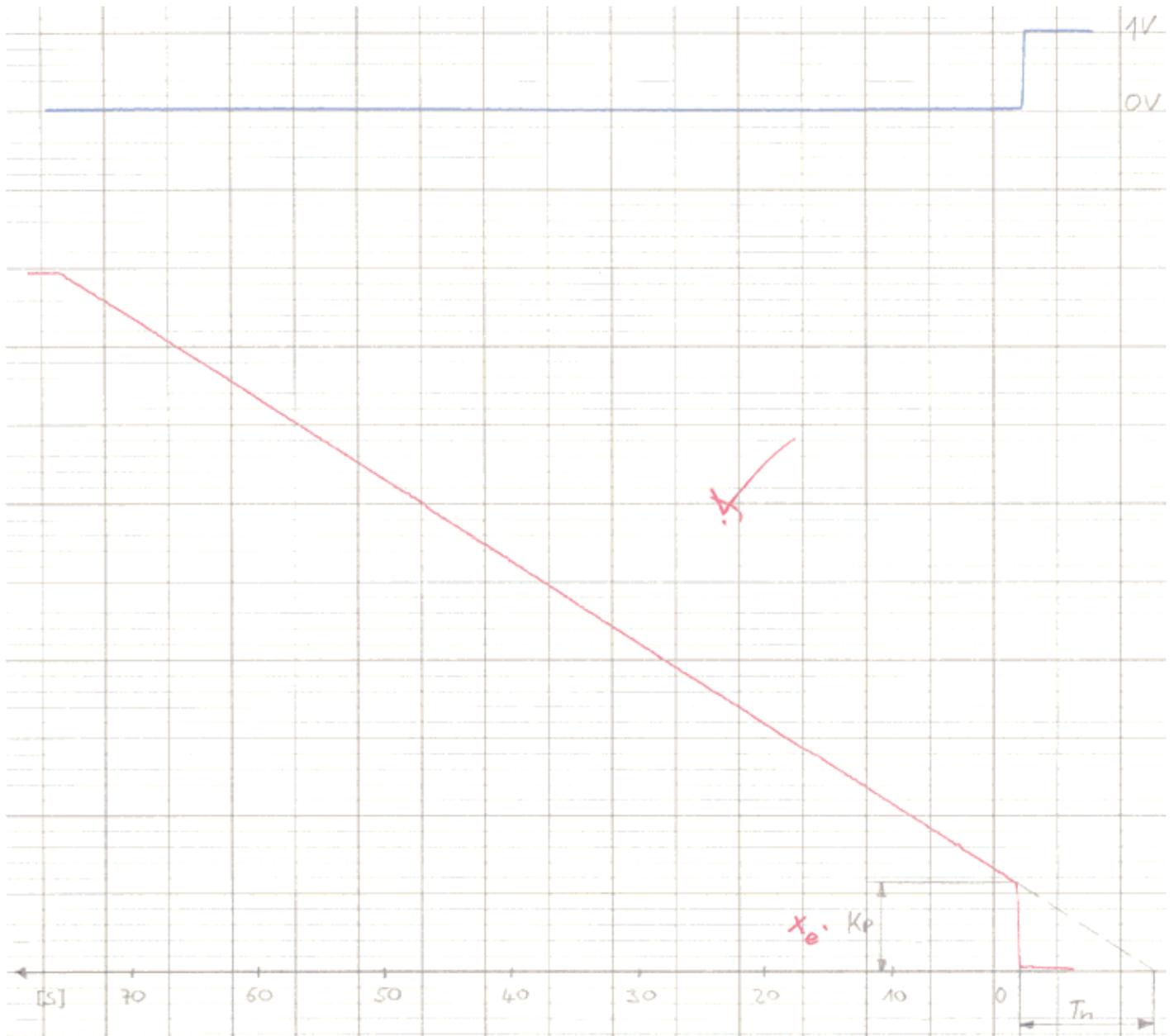
2.2.3) Aufnahme der Sprungantwort eines PI-Reglers:

- Messung 2
- Proportionalbeiwert: $K_{p2} = 2$;
- Nachstellzeit: $T_n = 20$ s;
- Vorschub: 12 cm/min;



2.2.3) Aufnahme der Sprungantwort eines PI-Reglers:

- Messung 3
- Proportionalbeiwert: $K_{p3} = 1$;
- Nachstellzeit: $T_n = 10$ s;
- Vorschub: 12 cm/min;



3.2.3a) Ermittlung von K_p, T_n, T_1, V_v, T_v und K_D aus Sprungantworten:

Papiervorschub: $M_t' = \frac{12 \text{ cm}}{\text{min}} = 0,2 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$

Zeitmaßstab: $M_t = \frac{60 \text{ s}}{120 \text{ mm}} = \frac{5 \text{ s}}{10 \text{ mm}} = 0,5 \frac{\text{s}}{\text{mm}}$

y – Maßstab: $M_y = \frac{1}{12,5 \text{ mm}}$

Formeln:

$$e \cdot \frac{K_p \cdot T_v}{T_1} = e \cdot K_p \cdot V_v = e \cdot \frac{K_D}{T_1} = \delta$$

$$K_p \cdot e \approx K_p \cdot \left(1 + \frac{T_1}{T_n}\right) \cdot e$$

Messung 1:

$$T_n = \bar{T}_n \cdot M_t = 44 \text{ mm} \cdot 0,5 \frac{\text{s}}{\text{mm}} = 22 \text{ s}$$

$$K_p = \bar{K}_p \cdot M_y = 16 \text{ mm} \cdot \frac{1}{12,5 \text{ mm}} = 1,28$$

$$T_1 = \bar{T}_1 \cdot M_t = 4 \text{ mm} \cdot 0,5 \frac{\text{s}}{\text{mm}} = 2,0 \text{ s}$$

$$\delta = \bar{\delta} \cdot M_y = 52 \text{ mm} \cdot \frac{1}{12,5 \text{ mm}} = 4,16$$

$$V_v = \frac{\delta}{K_p} = \frac{4,16}{1,28} = 3,25$$

$$T_v = T_1 \cdot V_v = 2,0 \text{ s} \cdot 3,25 = 6,5 \text{ s}$$

$$K_D = K_p \cdot T_v = 1,28 \cdot 6,5 \text{ s} = 8,32 \text{ s};$$

2.2.3a) Aufnahme der Sprungantwort eines PID-T₁-Reglers:

- **Messung 1**
- **Proportionalbeiwert: $K_p = 1$;**
- **Nachstellzeit: $T_n = 20$ s;**
- **Vorhaltzeit: $T_v = 4$ s;**
- **Vorschub: 12 cm/min;**



Messung 2:

$$T_n = \bar{T}_n \cdot M_t = 44 \text{ mm} \cdot 0,5 \frac{\text{s}}{\text{mm}} = 22 \text{ s}$$

$$K_p = \bar{K}_p \cdot M_y = 23 \text{ mm} \cdot \frac{1}{12,5 \text{ mm}} = 1,84$$

$$T_1 = \bar{T}_1 \cdot M_t = 4 \text{ mm} \cdot 0,5 \frac{\text{s}}{\text{mm}} = 2,0 \text{ s}$$

$$\delta = \bar{\delta} \cdot M_y = 77,5 \text{ mm} \cdot \frac{1}{12,5 \text{ mm}} = 6,2$$

$$V_v = \frac{\delta}{K_p} = \frac{6,2}{1,84} = 3,37$$

$$T_v = T_1 \cdot V_v = 2,0 \text{ s} \cdot 3,37 = 6,74 \text{ s}$$

$$K_D = K_p \cdot T_v = 1,84 \cdot 6,74 \text{ s} = 12,4 \text{ s}$$

Messung 3:

$$T_n = \bar{T}_n \cdot M_t = 20 \text{ mm} \cdot 0,5 \frac{\text{s}}{\text{mm}} = 10 \text{ s}$$

$$K_p = \bar{K}_p \cdot M_y = 23,5 \text{ mm} \cdot \frac{1}{12,5 \text{ mm}} = 1,88$$

$$T_1 = \bar{T}_1 \cdot M_t = 3,0 \text{ mm} \cdot 0,5 \frac{\text{s}}{\text{mm}} = 1,5 \text{ s}$$

$$\delta = \bar{\delta} \cdot M_y = 78 \text{ mm} \cdot \frac{1}{12,5 \text{ mm}} = 6,24$$

$$V_v = \frac{\delta}{K_p} = \frac{6,24}{1,88} = 3,32$$

$$T_v = T_1 \cdot V_v = 1,5 \text{ s} \cdot 3,32 = 4,98 \text{ s}$$

$$K_D = K_p \cdot T_v = 1,88 \cdot 4,98 \text{ s} = 9,36 \text{ s}$$

Messung 4:

$$T_n = \bar{T}_n \cdot M_t = 21 \text{ mm} \cdot 0,5 \frac{\text{s}}{\text{mm}} = 10,5 \text{ s}$$

$$K_p = \bar{K}_p \cdot M_y = 22,5 \text{ mm} \cdot \frac{1}{12,5 \text{ mm}} = 1,8$$

$$T_1 = \bar{T}_1 \cdot M_t = 2 \text{ mm} \cdot 0,5 \frac{\text{s}}{\text{mm}} = 1,0 \text{ s}$$

$$\delta = \bar{\delta} \cdot M_y = 72 \text{ mm} \cdot \frac{1}{12,5 \text{ mm}} = 5,76$$

$$V_v = \frac{\delta}{K_p} = \frac{5,76}{1,8} = 3,2$$

$$T_v = T_1 \cdot V_v = 1,0 \text{ s} \cdot 3,2 = 3,2 \text{ s}$$

$$K_D = K_p \cdot T_v = 1,8 \cdot 3,2 \text{ s} = 5,76 \text{ s}$$

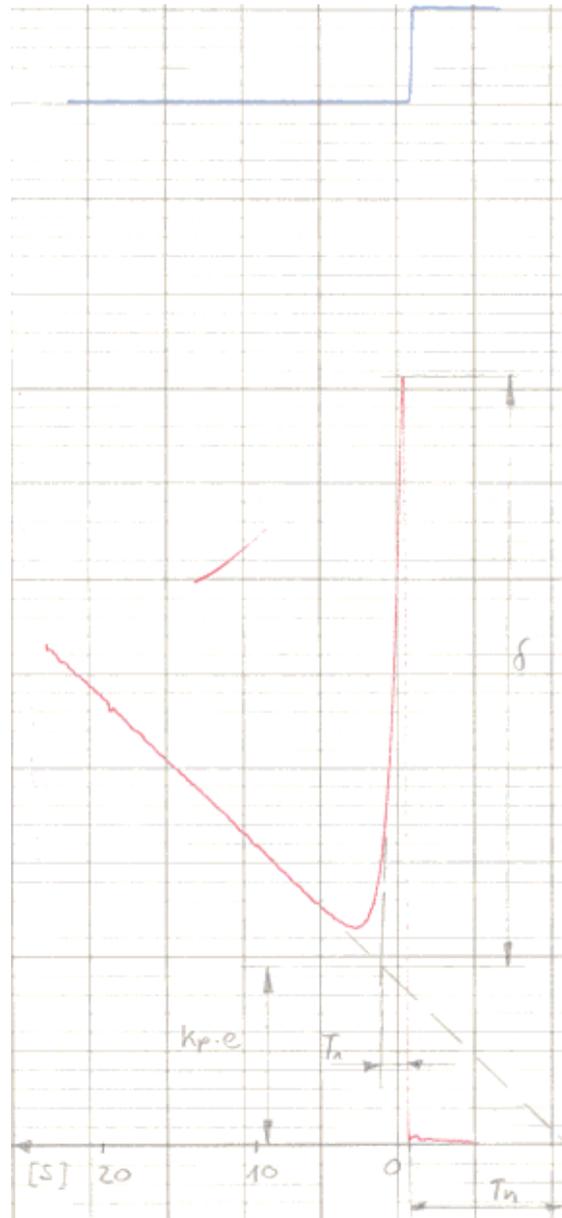
2.2.3a) Aufnahme der Sprungantwort eines PID-T₁-Reglers:

- Messung 2
- Proportionalbeiwert: $K_p = 1,5$;
- Nachstellzeit: $T_n = 20$ s;
- Vorhaltzeit: $T_v = 4$ s;
- Vorschub: 12 cm/min;



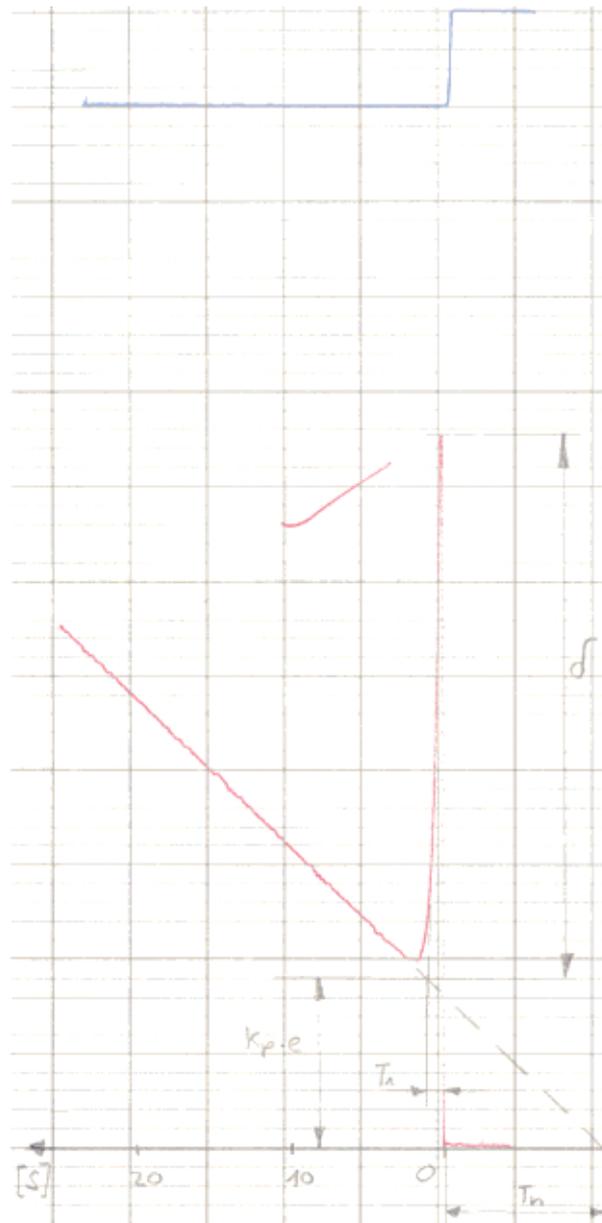
2.2.3a) Aufnahme der Sprungantwort eines PID-T₁-Reglers:

- **Messung 3**
- **Proportionalbeiwert: $K_p = 1,5$;**
- **Nachstellzeit: $T_n = 10$ s;**
- **Vorhaltzeit: $T_v = 4$ s;**
- **Vorschub: 12 cm/min;**

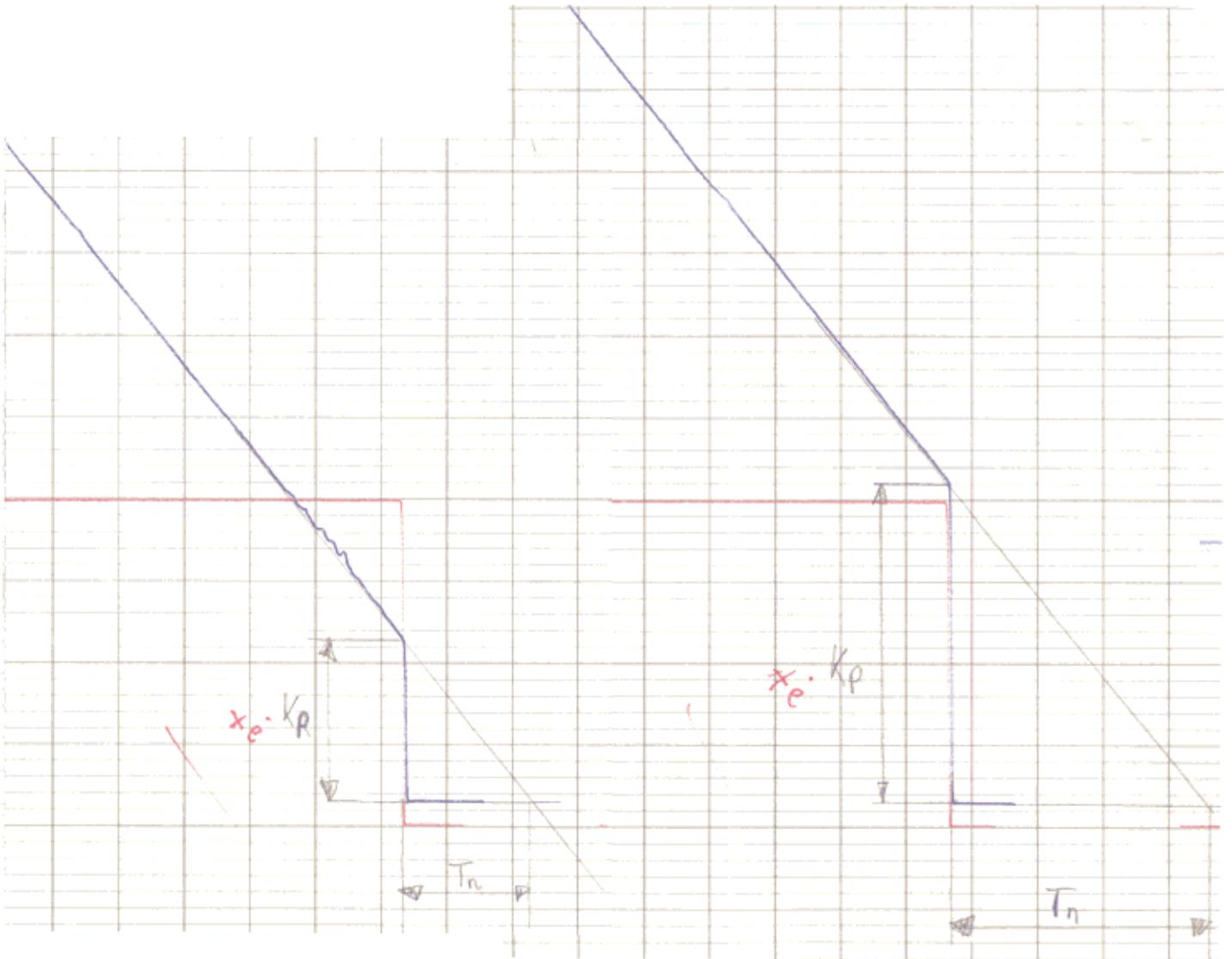


2.2.3a) Aufnahme der Sprungantwort eines PID-T₁-Reglers:

- Messung 4
- Proportionalbeiwert: $K_p = 1,5$;
- Nachstellzeit: $T_n = 10$ s;
- Vorhaltzeit: $T_v = 2$ s;
- Vorschub: 12 cm/min;



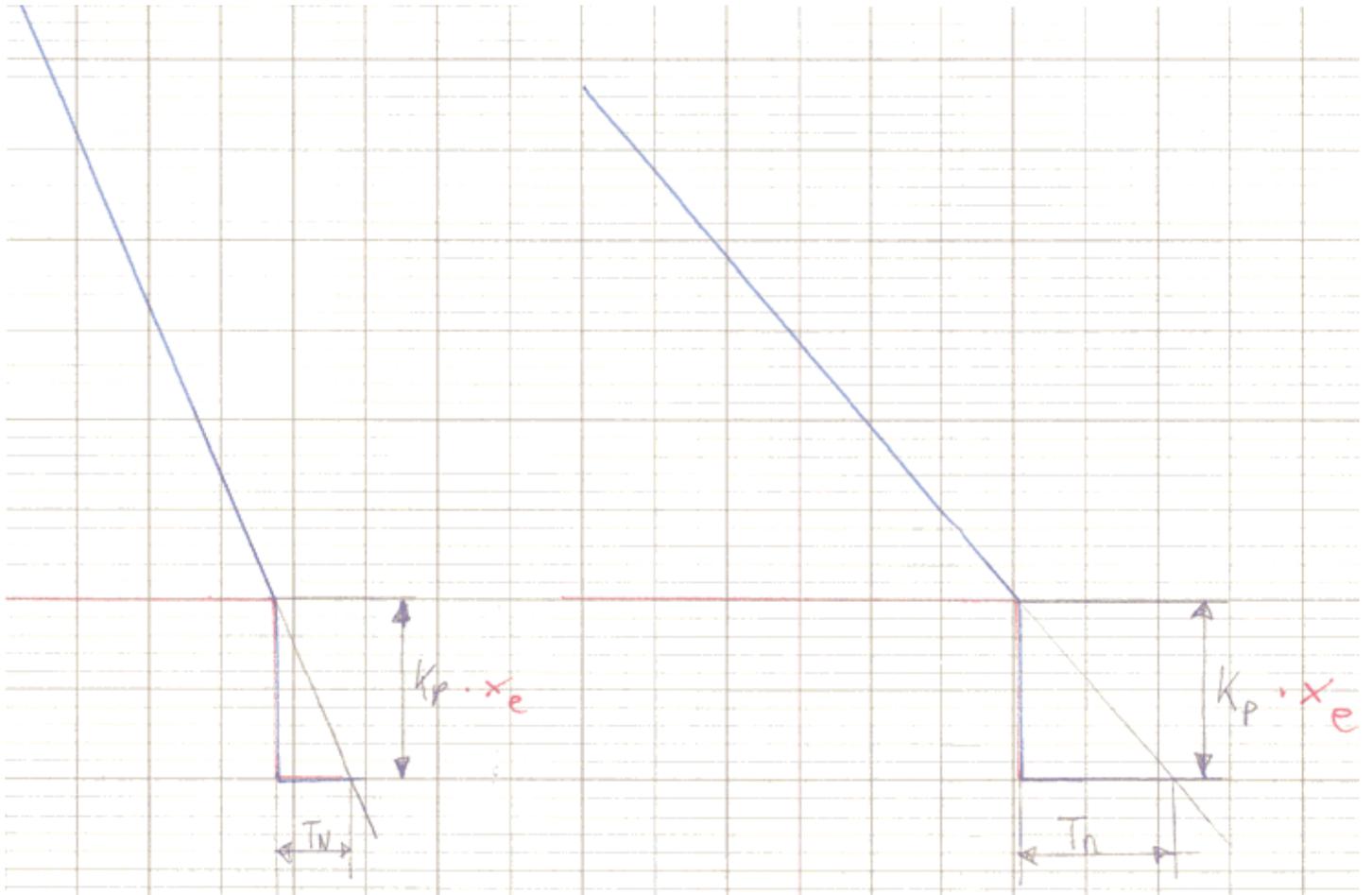
2.2.4.1. Parallelschaltung



Messung 2

Messung 1

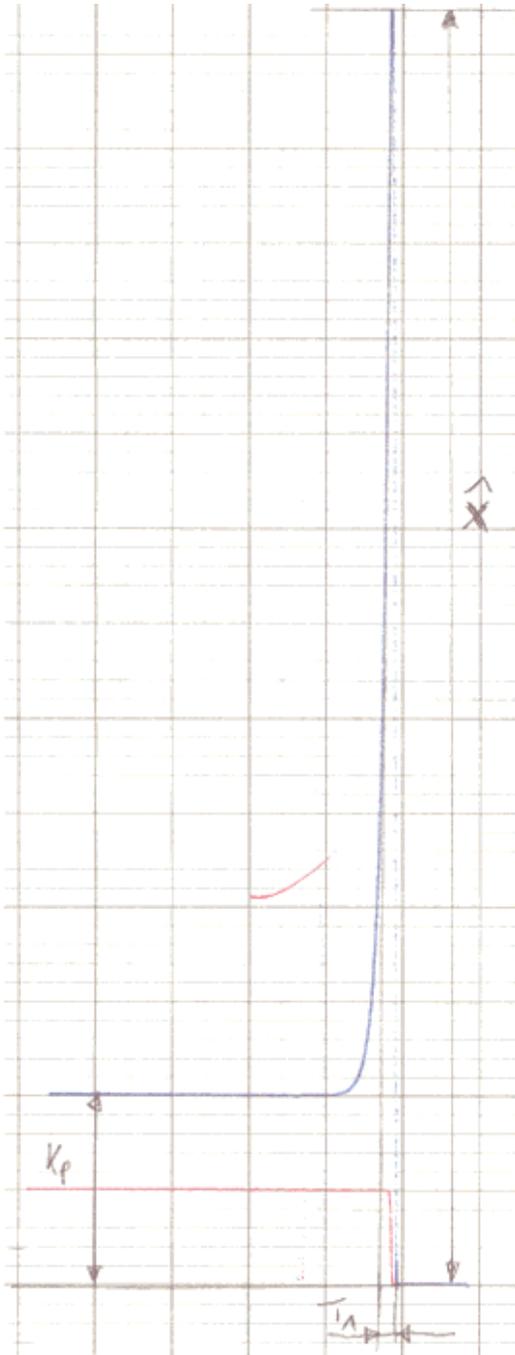
2.2.4.2. Rückführschaltung



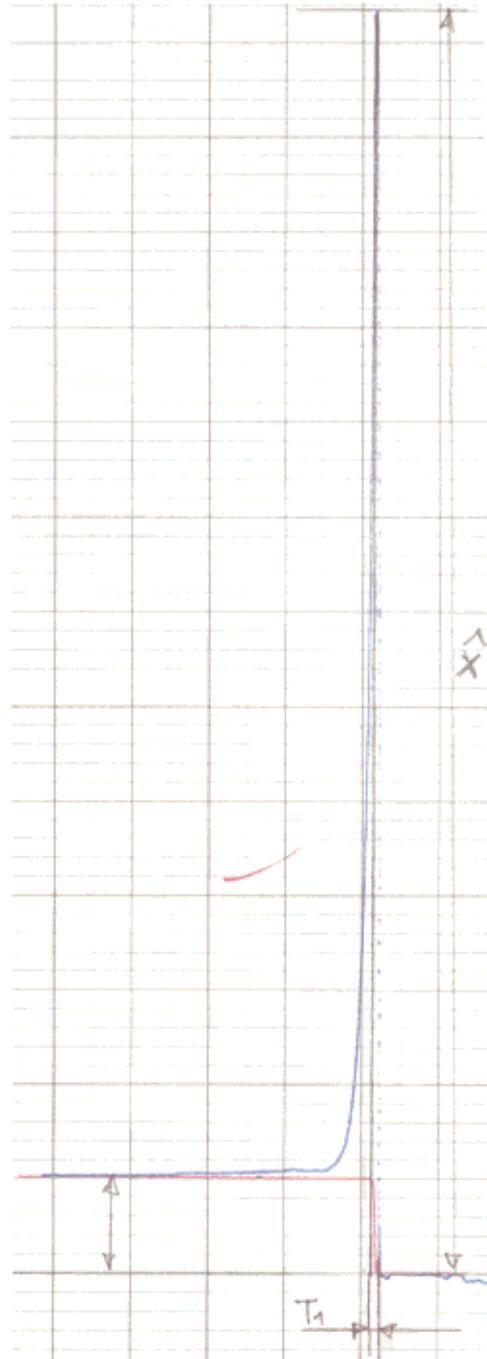
Messung 2

Messung 1

2.2.4.3. Parallelschaltung - Anstiegsantworten

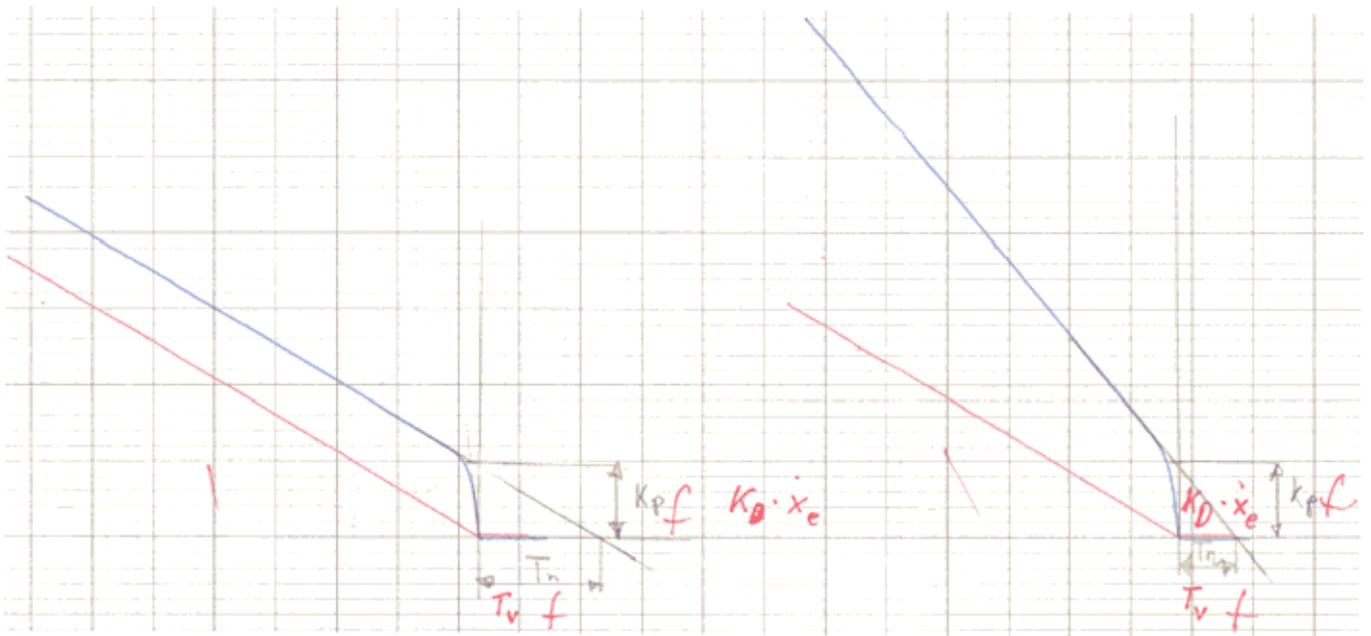


Messung 1



Messung 2

2.2.4.3. Anstiegsantworten



3.2.4 Übertragungsverhalten von Reglern durch Parallelschaltungen und Rückführungen

Papiervorschub: $M'_t = \frac{12 \text{ cm}}{\text{min}} = 0,2 \frac{\text{mm}}{\text{s}};$

Zeitmassstab: $M_t = 0,5 \frac{\text{s}}{\text{mm}};$

y – Maßstab: $M_y = \frac{1}{50 \text{ mm}};$

1. Parallelschaltung von P Glied und I Glied

Messung 1:

$$T_n = \bar{T}_n \cdot M_t = 40 \text{ mm} \cdot 0,5 \frac{\text{s}}{\text{mm}} = 20 \text{ s};$$

$$K_p = \bar{K}_p \cdot M_y = 49 \text{ mm} \cdot \frac{1}{50 \text{ mm}} = 0,98;$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_N} = \frac{0,98}{20 \text{ s}} = 0,049 \frac{1}{\text{s}}$$

Messung 2:

$$T_n = \bar{T}_n \cdot M_t = 19 \text{ mm} \cdot 0,5 \frac{\text{s}}{\text{mm}} = 9,5 \text{ s};$$

$$K_p = \bar{K}_p \cdot M_y = 25 \text{ mm} \cdot \frac{1}{50 \text{ mm}} = 0,5;$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_N} = \frac{0,5}{9,5 \text{ s}} = 0,05263 \frac{1}{\text{s}}$$

2. Rückführschaltung mit P Glied und D-T₁ Glied

Messung 1:

$$T_n = \bar{T}_n \cdot M_t = 21 \text{ mm} \cdot 0,5 \frac{\text{s}}{\text{mm}} = 10,5 \text{ s};$$

$$K_p = \frac{T_n}{K_D} = \frac{10,5 \text{ s}}{10 \text{ s}} = 1,05;$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_N} = \frac{1,05}{10,5 \text{ s}} = 0,1 \frac{1}{\text{s}}$$

Messung 2:

$$T_n = \bar{T}_n \cdot M_t = 10 \text{ mm} \cdot 0,5 \frac{\text{s}}{\text{mm}} = 5 \text{ s};$$

$$K_p = \frac{T_n}{K_D} = \frac{5 \text{ s}}{5 \text{ s}} = 1;$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_N} = \frac{1}{5 \text{ s}} = 0,2 \frac{1}{\text{s}}$$

3. Parallelschaltung von P Glied und D-T₁ Glied

Messung 1:

$$T_1 = \bar{T}_1 \cdot M_t = 1,5 \text{ mm} \cdot 0,5 \frac{\text{s}}{\text{mm}} = 0,75 \text{ s};$$

$$K_p = \frac{2,5 \text{ cm}}{1,25 \text{ cm}} = 2;$$

$$T_V = \hat{x} \cdot \frac{T_1}{K_p} = 16,8 \cdot \frac{0,75 \text{ s}}{2} = 6,3 \text{ s}$$

$$K_D = K_p \cdot T_V = 2 \cdot 6,3 \text{ s} = 12,6 \text{ s}$$

Messung 2:

$$T_1 = \bar{T}_1 \cdot M_t = 1,3 \text{ mm} \cdot 0,5 \frac{\text{s}}{\text{mm}} = 0,65 \text{ s};$$

$$K_p = \frac{1,25 \text{ cm}}{1,25 \text{ cm}} = 1;$$

$$T_V = \hat{x} \cdot \frac{T_1}{K_p} = 16,6 \cdot \frac{0,65 \text{ s}}{1} = 10,79 \text{ s}$$

$$K_D = K_p \cdot T_V = 1 \cdot 10,79 \text{ s} = 10,79 \text{ s}$$