

# HANSER



Leseprobe

Andreas Hebestreit

Aufgabensammlung Mess- und Sensortechnik

ISBN (Buch): 978-3-446-44266-5

ISBN (E-Book): 978-3-446-44910-7

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44266-5>

sowie im Buchhandel.

# Vorwort

*Für Evi*

Das Buch richtet sich an Studierende der Fachrichtungen Elektrotechnik, Informations-technik, Feinwerktechnik, Maschinenbau, Verfahrenstechnik und Physikalische Technik, die ihr Wissen auf dem Gebiet der Mess- und Sensortechnik festigen möchten. Es stellt eine Ergänzung zur Teilnahme an Lehrveranstaltungen dar, ist nicht als Alternative zu diesen gedacht.

Im Teil I ist der Schwierigkeitsgrad niedrig. Dieser richtet sich an Anfänger (Studierende im Grundstudium). Teil II ist für Fortgeschrittene (Studierende im Hauptstudium). Auf der Homepage des Carl Hanser Verlags unter [www.hanser-fachbuch.de/buch/Aufgabensammlung+Mess+und+Sensortechnik/9783446442665](http://www.hanser-fachbuch.de/buch/Aufgabensammlung+Mess+und+Sensortechnik/9783446442665) finden Sie weitere Angaben und Lösungen, die einen noch höheren Schwierigkeitsgrad aufweisen.

Wie jeder weiß, kennt die berufliche Praxis keine Aufgaben im Sinne von gegeben und gesucht. In der Ingenieurpraxis sind nie genau die Werte „gegeben“, die zur Problemlösung benötigt werden. Um der beruflichen Praxis zumindest nahe zu kommen, sind bei manchen Aufgabe Werte gegeben, die für die Lösung nicht erforderlich sind, während bei anderen Aufgaben Zahlenwerte fehlen.

Für Leserhinweise bin ich dankbar.

Leipzig, im August 2016

Andreas Hebestreit

# Inhalt

<b>Teil I: Anfänger .....</b>	11
<b>1 Grundlagen .....</b>	12
1.1 Einführung .....	12
1.2 Fragen und Aufgaben .....	12
<b>2 Statische Eigenschaften .....</b>	15
2.1 Einführung .....	15
2.2 Fragen und Aufgaben .....	15
<b>3 Dynamische Eigenschaften .....</b>	20
3.1 Einführung .....	20
3.2 Fragen und Aufgaben .....	20
<b>4 Digitale Messtechnik .....</b>	31
4.1 Einführung .....	31
4.2 Fragen und Aufgaben .....	31
<b>5 Elektrische Größen .....</b>	36
5.1 Einführung .....	36
5.2 Fragen und Aufgaben .....	36
<b>6 Nichtelektrische Größen .....</b>	46
6.1 Einführung .....	46
6.2 Fragen und Aufgaben .....	46
<b>7 Verschiedenes .....</b>	51
7.1 Einführung .....	51
7.2 Fragen und Aufgaben .....	51

<b>■ Teil II: Fortgeschrittene</b>	55
<b>8 Signalverarbeitung im Zeitbereich</b>	56
8.1 Einführung	56
8.2 Fragen und Aufgaben	57
<b>9 Spektralanalyse</b>	63
9.1 Einführung	63
9.2 Fragen und Aufgaben	63
<b>10 Ausgewählte Messgrößen der Fertigungstechnik</b>	68
10.1 Einführung	68
10.2 Fragen und Aufgaben	68
<b>11 Prozessmesstechnik und ausgewählte Messgrößen</b>	80
11.1 Einführung	80
11.2 Fragen und Aufgaben	80
<b>12 Versuch und Erprobung</b>	93
12.1 Einführung	93
12.2 Fragen und Aufgaben	93
<b>13 Verschiedenes</b>	97
13.1 Einführung	97
13.2 Fragen und Aufgaben	97
<b>■ Teil III: Lösungen</b>	99
<b>14 Antworten, Lösungen, Erläuterungen</b>	100
14.1 Kapitel 1: Grundlagen	100
14.2 Kapitel 2: Statische Eigenschaften	106
14.3 Kapitel 3: Dynamische Eigenschaften	116
14.4 Kapitel 4: Digitale Messtechnik	149
14.5 Kapitel 5: Elektrische Größen	159
14.6 Kapitel 6: Nichtelektrische Größen	183
14.7 Kapitel 7: Verschiedenes	199
14.8 Kapitel 8: Signalverarbeitung im Zeitbereich	204
14.9 Kapitel 9: Spektralanalyse	218
14.10 Kapitel 10: Ausgewählte Messgrößen der Fertigungstechnik	226
14.11 Kapitel 11: Prozessmesstechnik und ausgewählte Messgrößen	256

14.12 Kapitel 12: Versuch und Erprobung .....	294
14.13 Kapitel 13: Verschiedenes .....	304
<b>Glossar .....</b>	<b>307</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>321</b>
<b>Index .....</b>	<b>323</b>

# 2

## Statische Eigenschaften

Unter den statischen Eigenschaften werden jene verstanden, die das Verhalten einer Messeinrichtung für den Fall beschreiben, dass die Messgröße konstant ist und sich das Ausgangssignal eingeschwungen hat, das heißt ebenfalls einen konstanten Wert angenommen hat.

### ■ 2.1 Einführung

Alle Arten von Messgeräten, beginnend von einfachen Sensoren bis hin zu vielkanaligen Messwerterfassungssystemen, werden u.a. anhand der statischen Eigenschaften charakterisiert. Diese sind im Datenblatt zu finden. Um das geeignete Messgerät auszuwählen, muss man imstande sein, die Angaben im Datenblatt interpretieren zu können. Zu den statischen Eigenschaften gehören unter vielen anderen der Messbereich, die Empfindlichkeit, der Temperatureinflusskoeffizient und die Linearitätsabweichung. In den nachfolgenden Fragen und Aufgaben spielen statische Kenngrößen sowie die statische Kennlinie eine wesentliche Rolle.

Von Studierenden wird oft fälschlicherweise angenommen, dass statische Kenngrößen das Adjektiv „statisch“ tragen, weil sie konstant im Sinne von zeitinvariant sind. Das hat nichts miteinander zu tun!

### ■ 2.2 Fragen und Aufgaben

1. Was beschreiben statische Kenngrößen?
2. Nennen Sie mindestens drei statische Kenngrößen!
3. Was ist die korrekte Bezeichnung der statischen Kennfunktion von Messeinrichtungen?
4. Zeichnen Sie die statische Kennlinie eines Messsystems, dessen Empfindlichkeit vom Wert der Eingangsgröße abhängt!

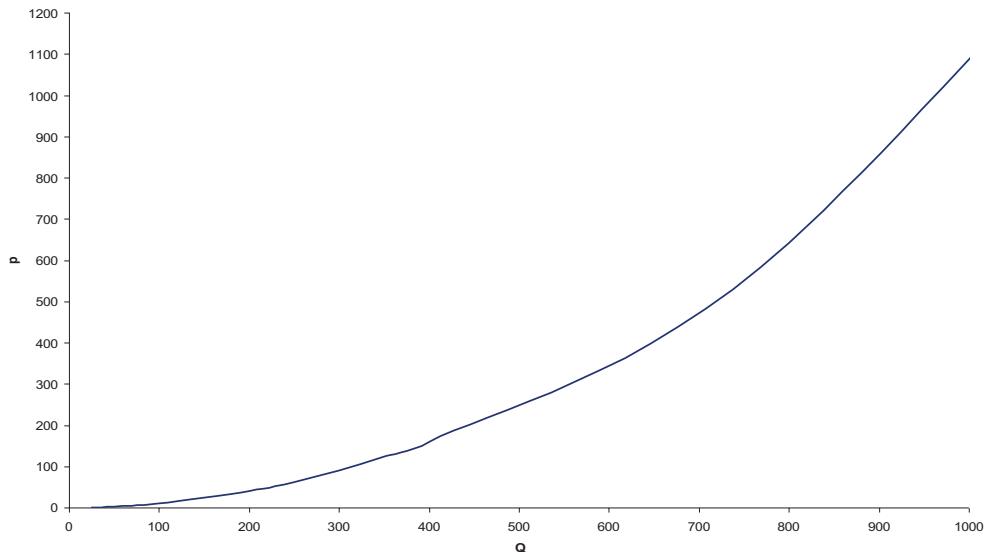
5. Worin unterscheiden sich additive von multiplikativen Fehlern? Nennen Sie je ein Beispiel!
6. Warum sind additive Fehler gefährlicher als multiplikative?
7. Mit welchen Parametern werden quantitativ eine Parallelverschiebung und eine Anstiegsänderung der statischen Kennlinie infolge Temperaturänderung beschrieben?
8. Ein Messsignal soll mit einem ADU (Messbereich von 0 bis 10 V) digitalisiert werden. Der Linearitätsfehler darf 10 mV nicht überschreiten. Geben Sie die zulässige Linearitätsabweichung (Bezugsgerade durch Anfangs- und Endpunkt) des ADU in Prozent an!
9. Was sagt die Auflösung eines Messgeräts über den Wahrheitsgehalt des Messergebnisses aus?
10. Welche praktische Bedeutung hat die relative Abweichung?
11. Berechnen Sie die Empfindlichkeit eines Spannungs-Strom-Wandlers, von dem folgender Zusammenhang zwischen Ein- u. Ausgangsgrößen bekannt ist:

Eingangsspannung in V	-10	10
Ausgangsstrom in mA	4	20

Zeichnen Sie die statische Kennlinie! Geben Sie eine Gleichung für diese an!

12. Die statische Kennlinie eines fiktiven Temperatursensors mit Spannungsausgang wird durch folgende Gleichung beschrieben:  $U = f(T) = T^2 \cdot 0,001 \text{ mV/K}^2$ . Zeichnen Sie die statische Kennlinie für den Temperaturbereich von 200 bis 400 K! Berechnen Sie hierfür fünf Stützstellen. Berechnen Sie die Empfindlichkeit für eine Temperatur von 300 K mit Hilfe der Infinitesimalrechnung!
13. Ein resistiver Sensor (dessen Widerstand  $R_s$  verhält sich proportional zur Messgröße x) wird in Reihe zu einem Widerstand  $R_v = 500 \Omega$  an eine konstante Spannung  $U_0 = 5 \text{ V}$  angeschlossen. Auf diese Weise wird der Widerstand  $R_s$  in eine Spannung  $U_s$  umgewandelt (R/U-Wandlung), die über dem Sensor abfällt. Worin besteht der Nachteil gegenüber einem Konstantstrom, der den Widerstand gemäß des Ohmschen Gesetzes in eine Spannung umwandelt? Geben Sie die Funktion  $U_s = f(R_s)$  als Gleichung an! Zeichnen Sie die statische Kennlinie dieses R/U-Wandlers für den Wertebereich 0 bis 1000  $\Omega$ ! Falls  $R_s$  nur Werte annehmen würde, die kaum von  $500 \Omega$  abweichen; welche lineare Gleichung könnte man verwenden, um die Abhängigkeit der Ausgangsspannung vom Sensorwiderstand  $R_s$  zu beschreiben?

14. Dargestellt ist die statische Kennlinie eines Wirkdruckgebers.



**Bild 2.1** Nichtlineare Kennlinie eines Wirkdruckgebers

Dessen Ausgangssignal (Differenzdruck  $p$ ) ist quadratisch vom Durchfluss  $Q$  abhängig. Ein Differenzdruckmessumformer mit linearer Kennlinie wandelt das Drucksignal proportional in eine Spannung um. Damit ein nachfolgendes Digitaldisplay den Durchfluss ziffernrichtig anzeigen kann, ist dem Display ein Spannungswandler mit gekrümmter Kennlinie vorzuschalten. Zeichnen Sie die statische Kennlinie des Spannungswandlers!

15. Von einem Widerstandsthermometer sind Nullpunkt ( $R_0 = 100 \Omega$  bei  $0^\circ\text{C}$ ) und Empfindlichkeit ( $\Delta R/R_0 = 0,004 \text{ K}^{-1}$ ) bekannt. An dieses wird ein zweiadriges Messkabel (jede Ader hat  $5 \Omega$ ) angeschlossen. Geben Sie die Veränderung der Empfindlichkeit (in %) mit Vorzeichen an!

Entsteht durch den Zuleitungswiderstand eine Messabweichung?

16. Ein Flüssigkeitsausdehnungsthermometer kann folgende Imperfektionen aufweisen:
- Röhrchen zu weit oben an der Skala befestigt
  - Innendurchmesser des Röhrchens ist über der Länge nicht konstant
  - Innendurchmesser des Röhrchens ist zu groß

Welche Auswirkungen auf die statische Kennlinie erwachsen daraus? Begründen Sie Ihre Antworten und benutzen Sie dabei die Begriffe Empfindlichkeitsabweichung, Nullpunktabweichung und Linearitätsabweichung!

17. Die im Bild dargestellte Spannungsteilerschaltung ist Teil eines Messgeräts.

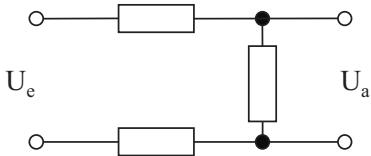


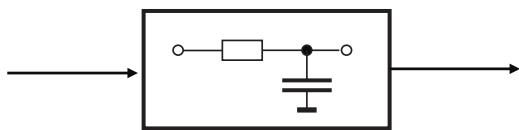
Bild 2.2

Spannungsteiler bestehend aus drei Widerständen

Alle Widerstände betragen  $100 \Omega$  und haben einen Temperaturkoeffizienten von  $0,01\text{ }1/\text{K}$ . Leiten Sie eine Gleichung für die statische Kennlinie her! Geben Sie den Temperaturkoeffizienten des Nullpunkts und den der Empfindlichkeit an!

18. Ein Druckmessumformer wurde bei  $20^\circ\text{C}$  so justiert, dass dieser Drücke von 0 bis 100 bar in Spannungen von 0 bis 10 V umwandelt. Bekannt sind aus dem Datenblatt dessen Maximalwerte der Temperaturkoeffizienten für den Nullpunkt und für die Empfindlichkeit, die beide  $\pm 0,5\% / 10\text{ K}$  betragen. Zeichnen Sie die statische Kennlinie des Messumformers für  $20^\circ\text{C}$  sowie die möglichen Extremfälle für eine Temperatur von  $100^\circ\text{C}$ !
19. Ein Einheitsspannungssignal (0 bis 10 V) soll in ein Einheitsstromsignal (4 bis 20 mA) gewandelt werden. Wo muss der Nullpunkt (Offset) liegen und welche Empfindlichkeit muss der Spannungs-Strom-Wandler haben?
20. Die statische Kennlinie eines Temperatur-Messumformers ist linear. Bei  $0^\circ\text{C}$  prägt dieser 4 mA und bei  $100^\circ\text{C}$  prägt dieser 20 mA in die Stromschleife ein. Zeichnen Sie die statische Kennlinie einer angeschlossenen Digitalanzeige (Stromeingang), die ziffernrichtig die Temperatur in  $^\circ\text{C}$  anzeigt. Geben Sie auch die Gleichung für die Kennlinie der Digitalanzeige an!
21. Ein Messsystem wandelt Abstände von 0 bis 100 mm in Spannungen von 0 bis 10 V. Die statische Kennlinie ist linear und weist bei  $20^\circ\text{C}$  keine Abweichungen auf. Außerdem sind die Temperaturkoeffizienten des Systems mit Betrag und Vorzeichen bekannt:  $\text{TKN} = +2\% / 10\text{ K}$ ,  $\text{TKE} = -4\% / 10\text{ K}$ . Diese sind ungewöhnlich groß und wurden mittels Temperaturprüfschrank experimentell bestimmt. Zeichnen Sie die statischen Kennlinien für die Temperaturen von  $20^\circ\text{C}$  und  $70^\circ\text{C}$ !
22. Ein Druckmessumformer ( $0 \dots 6$  bar entsprechen  $0 \dots 10$  V) soll an ein DVM (Messbereich = 20 V,  $R_i = 1\mu\Omega$ ) angeschlossen werden. Der Druck soll vom DVM ziffernrichtig angezeigt werden. Zeichnen Sie den Schaltplan einer geeigneten passiven Anpassschaltung! Geben Sie Werte für die Bauelemente an!
23. Das Tachometer eines PKW darf nicht zu wenig anzeigen. Es darf aber 4 km/h und zusätzlich 10% der Istgeschwindigkeit zuviel anzeigen. Zeichnen Sie die ideale statische Kennlinie sowie die Kennlinie mit der größten noch erlaubten Messabweichung in ein Diagramm (Messbereich 240 km/h)! Geben Sie die maximal erlaubte Messabweichung (absolut und relativ) für eine Geschwindigkeit von 130 km/h an!
24. Ihre Messkette besteht aus Sensor, Messverstärker, ADU und PC. Nennen Sie wichtige Eigenschaften der einzelnen Glieder, welche für das Auftreten von statischen Messabweichungen relevant sind!

25. Wie sieht die statische Kennlinie des abgebildeten RC-Glieds im Eingangsbereich von -10 V bis +10 V aus?



**Bild 2.3**  
RC-Glied

# Index

## Symbole

- 3-Leiter-Technik 192
- 4 Digit 37
- 4-Leiter-Technik 82
- 10 Kanäle 34

## A

- Abtastfrequenz 154
- Abtastperiode 218
- Abweichung 13
- ADU 16
- Amplitude 25
- Amplitudengang 21
- Anstiegszeit 135
- Anzeige, ziffernrichtige 74
- Auflösung 16
- Aufnehmer 49
- Ausgangsgrößen 16
- Ausgangssignal 14
- Ausgangswiderstand 24
- Ausschlagmethode 14

## B

- Bandbreite 20
- Berührungsthermometer 47
- Beschleunigung 58
- Biegebalken 94
- Bode-Diagramm 121
- Brückenspannung 69
- Brückenspannungsverhältnis 49
- Brückenverstimmung 48
- Bruttomasse 88

## C

- CCD 238
- CMOS 238

## D

- DAkkS-Labor 101
- Dämpfung 127
- Dämpfungsgrad 30
- DAQ-System 21
- DAU 158
- DFT 63
- Diagonalbrücke 48
- Differenzmethode 14
- Digitalanzeige 18
- DMM 53
- DMS 48
- Doppler 91
- Doppler-Effekt 106
- Drehmoment 49
- Drehmomentmessung 74
- Drehwinkel 68
- Drehwinkelmessung 73
- Drehzahl 74
- Drift 33
- Druck 49
- Druckmessumformer 50
- Durchfluss 80
- DVM 37

## E

- Effektivwert 36, 39
- Eichen 12

Eigenfrequenz 30  
 Eigenschaften, dynamische 20  
 Einflussgrößen 14  
 Einflussgrößenempfindlichkeit 106  
 Eingangsgröße 15  
 Eingangssignal 21  
 Eingangswiderstand 43  
 Einheit 46  
 Einheitssignal 13  
 Einschwingzeit 20  
 E-Modul 49  
 Empfindlichkeit 15  
 Explosionsschutz 80

**F**

Federkonstante 228  
 Fehler 16  
 Fehlergrenze 37  
 Fehlerklasse 14  
 Fertigungstechnik 68  
 FFT 63  
 Flankensteilheit 150  
 FMCW 274  
 Formfaktor 38  
 Frequenzgang 20  
 Frequenzgenerator 31  
 Füllstandsmesstechnik 86

**G**

Garantiefehlergrenze 42  
 Genauigkeit 32  
 Genauigkeitsklasse 51  
 Geschwindigkeit 58  
 Gewicht 35  
 Gewinn 87  
 Gleichrichtwert 39  
 Gleichwert 39  
 GMR-Sensoren 241  
 Grenzfrequenz 21  
 Grenzwert 71  
 Grenzwertschalter 81  
 Größe, elektrische 36  
 GUM 167  
 Güte 253

**H**

Halbbrücke 48  
 HART® 81  
 Hochpass 24  
 Hysterese 115

**I**

IEPE 231  
 Impedanzwandlung 157  
 Induktivität 57  
 Informationsparameter 14  
 Inkrementalgeber 46  
 Inkrementalsignal 74  
 Input 47  
 Isolationswiderstand 70  
 Isotropstrahler 87

**J**

Justieren 12

**K**

Kalibrieren 12  
 Kanalmessrate 34  
 Kapazität 70  
 Kennfunktion, statische 15  
 Kenngröße 13  
 Kenngröße, dynamische 20  
 Kenngrößen, statische 15  
 Kennlinie 13  
 Kennlinie, statische 15  
 k-Faktor 48  
 Klirrfaktor 117  
 Komparator 169  
 Kompensationsmethode 14  
 Kondensator 33  
 Kraft 49  
 Kraftsensor 69  
 Kreisfrequenz 26

**L**

Ladungsverstärker 56  
 Langzeitstabilität 13

Leistung 36  
 Linearisierung 56  
 Linearitätsabweichung 15  
 Linearpotentiometer 72  
 live-zero-Signal 13  
 Loops 81  
 LSB 158  
 LVDT 72

**M**

Maßstab, optischer 72  
 Messabweichung 13  
 Messabweichung, systematische 14  
 Messbereich 14  
 Messergebnisse 13  
 Messgröße 12  
 Messkabel 17  
 Messkette 18  
 Messobjekt 46  
 Messprinzip 13  
 Messrate 31  
 Messsignal 13  
 Messstelle 43  
 Messsystem 15  
 Messtechnik, elektrische 36  
 Messung, nullpunktbezogene 231  
 Messung, statische 197  
 Messunsicherheit 13  
 Messverstärker 18  
 Messwert 14  
 Metallfolie-DMS 48, 190  
 Metrologie 12  
 Mittelwert 36  
 Mittelwert, quadratischer 165  
 MSB 158

**N**

Neigungssensor 58  
 Nennkennwert 69  
 Nennmessweg 69  
 Nettogewicht 91  
 Netzbrummen 21  
 Nullpunkt 17

**O**

Öffnungswinkel 87  
 OIML 71  
 OPV 34  
 Ortsperiode 73  
 Oszilloskop 36  
 Output 47

**P**

Periodendauer 32  
 Phasengang 21  
 piezoelektrisch 50  
 Pratzen 88  
 Pre-Trigger 219  
 Prozessmesstechnik 80  
 Prüfung 71  
 PSD 238  
 PTB 13

**Q**

Quadratur-Demulator 73  
 Quantisierungsfehler 34  
 Querempfindlichkeit 226

**R**

Realgasfaktor 280  
 Rechtecksignal 32  
 Reflexionsfaktor 277  
 Reihenstruktur 28  
 Reproduzierbarkeit 232  
 Resonanzfrequenz 63  
 Resonanzüberhöhung 71

**S**

SAW 244  
 Schallkennimpedanz 273  
 Schallreflexionsfaktor 86  
 Scheitelfaktor 38  
 Schleifringen 74  
 Schwingungen 58  
 Seilzugaufnehmer 72  
 Signal, frequenzanaloges 102

Signal, natürliches 56  
Signalparameter 36  
Signalvervielfacher 81  
Skala 17  
Skaleneinteilung 166  
Spannung 36  
Spannung, eingeprägte 13  
Spannungsmessgerät 43  
Spannungssignal 34  
Speisetrenner 81  
Sprungantwort 22, 76  
Störungen 21  
Stress 188  
Strom, eingeprägter 13  
Stromschleife 18  
Stromsignal 26  
Stromstärke 36  
Stromzangen 43  
Strouhal-Zahl 89

## T

Tara 88  
Tastverhältnis 36  
Temperatureinflusskoeffizient 15  
Temperaturempfindlichkeit 60  
Temperaturkoeffizient 18  
Temperaturmessgerät 32  
Temperatur-Messumformer 18  
TF 59  
Thermoelement 47  
Tiefpass 21  
Tiefpassfilter 22  
TKE 18  
TKN 18  
Toleranzgrenze 22  
Tor 31  
Torzeit 31  
Trigger 42

## U

Überdruckmessgerät 50  
Übergangsfunktion 21  
Überschwingen 76  
Überschwingweite 79  
Übersprechen 70  
Übertragungsfaktor 61  
Übertragungsfunktion 20  
Übertragungsglieder 23  
Übertragungssystem 26  
Übertragungsverhalten 101  
Umgebungsdruck 268  
Umkehrspanne 115  
Unsicherheit, relative 32

## V

Verfahrenstechnik 46  
Verstärkungsfaktor 60  
Viertelbrücke 13  
Vollbrücke 13  
Voltmeter 14

## W

Wandler 16  
Weg 58  
Wendepunkt 136  
Wheatstone-Brücke 48  
Widerstand 36  
Widerstandsänderung 14  
Widerstandsmoment 193  
Widerstandsthermometer 47  
Wirbelstrom 72

## Z

Zähler 31  
Zeitgeber 31  
Zeitkonstante 21