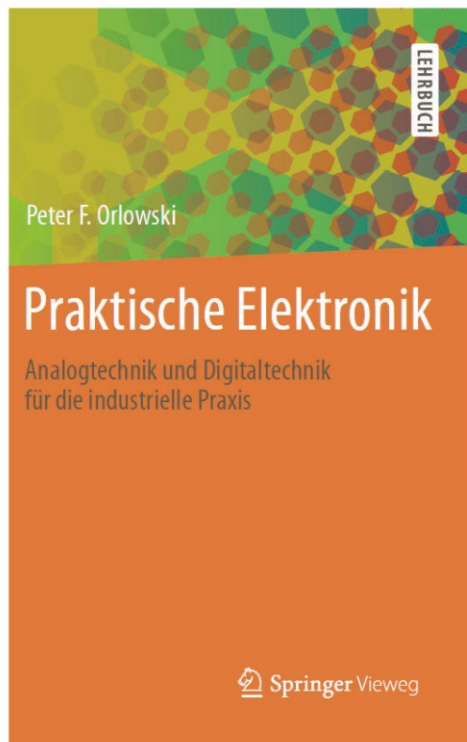


Skript zur Vorlesung Angewandte Elektronik

Prof. Dipl.-Ing. Peter F. Orlowski
Fachbereich ME



Praktische Elektronik
Datenblätter
Analog- und CMOS-Technik
auf meiner Homepage
www.prof-orlowski.jimdo.com

Inhalt der Vorlesung

(Ausschnitt aus dem Buch *Praktische Elektronik*)

Grundlagen der Elektronik

Lineare und nichtlinear Bauelemente

Ohmsche Widerstände, Meßgeber-Widerstände

Gesetze elektrischer Netzwerke

Dioden (Diode, Z-Diode, LED, Fotodiode)

Transistoren

Emitterschaltung

$I_C=f(U_{C_e})$ -Kennlinie, Berechnung R_C , R_B , Stromverstärkung

Dimensionierung

Operationsverstärker-Grundlagen

Idealer und realer OP

Aufbau von Grundsaltungen

Inverter, Summierer, Spannungsfolger

Differenzbildner, Spannungsfolger, Signumumschalter

Ingetrierer

Methoden des Offsetabgleichs

Äußere Beschaltung

Passive und aktive Filter

Komparatoren

Ideale Diode, Maximalwertauswahl

Betragbildner

Interface-Schaltungen der Analogtechnik

Grundlagen der Digitaltechnik

Grundverknüpfungen der Booleschen Algebra

Vereinfachung Boolescher Funktionen

Integrierte Digitalbausteine

Forderungen an digitale Schaltkreise

TTL- und CMOS-Technik

Einführung in die CMOS-Technik

Handhabungsregeln

Bauformen, Herstellercodes

Grund-Schaltungen mit CMOS-Schaltkreisen

Umcodierer

FlipFlops

Zähler und Vergleicher

Verzögerer, Oszillator, Frequenzteiler

Spezielle Schaltungen der CMOS-Technik

Ampelschaltung

Schrittketten (Ablaufsteuerungen)

Drehzahl-/Geschwindigkeitsmessung

Streckgradmessung

Durchmesserrechner

Interface-Schaltungen der Digitaltechnik

Einführung in die SPS-Programmierung

Laborversuche zu Analogtechnik und CMOS-Technik

Videos dazu auf *youtube* und meiner Homepage *prof-orlowski.jimdo.com*

Literaturhinweise

Elektrotechnik und Elektronik für Maschinenbauer
2. Aufl., Springer Heidelberg 2012.

Tietze, U.; Schenk, Ch.: Halbleiter-Schaltungstechnik, 12. Aufl.
Springer-Verlag, Heidelberg 2002.

Orłowski, P.F.: Praktische Elektronik, 1. Aufl.
Springer-Verlag, Heidelberg 2013.

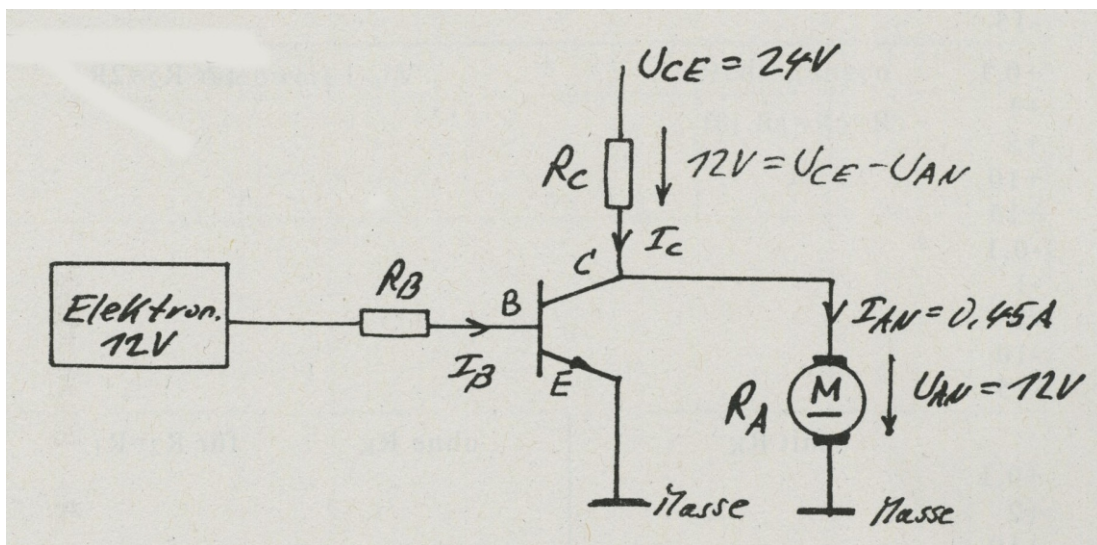
nach diesem Buch verlaufen Vorlesung und Laborversuche

Orłowski, P. F.: Wisse Vollendung nach den Wurzeln der Heilung.
diagonal, Marburg 2007.

Transistor als Schalter (siehe S. 5 Praktische Elektronik)

Die Ausgangsbelastbarkeit von Elektronik ist meist sehr klein (mA-Bereich). Daher soll ein NPN-Transistor in Emitter-Schaltung als Schalter eingesetzt werden, um einen kleinen Gleichstrom-Stellmotor aus einer Elektronikschaltung heraus anzutreiben.

Daten des Stellmotors	Daten der Spannungen	Daten des Transistors
$U_{AN}=12V-$ $I_{AN}=0,45A$ $R_A=U_{AN}/I_{AN}=26,67$	$U_{CE}=24V-$ $U_{Elektr.}=12V-$	$U_{CE} 40V-$ $U_B 15V-$ $I_C 2A$ $I_B 0,1A$ $B = \frac{I_C}{I_B} = 20$ Stromverstärkung



Um den Transistor zu betreiben, müssen der Basiswiderstand R_B und der Kollektorwiderstand R_C dimensioniert werden. Der Widerstand zwischen Basis und Emitter liegt im wenige Ohm-Bereich, wenn der Transistor voll aufsteuert. Dann gilt näherungsweise:

Wenn der Transistor voll sperrt, ist die Kollektor-Emitter-Strecke offen, d.h. R_{CE} , so daß näherungsweise mit $U=0$ gilt:

Funktion der Schaltung:

Typische Daten verschiedener Operationsverstärker

Parameter	Formelzeichen, Einheit	Operationsverstärker									
		µA741	TCA335A	OPA111	LH0044CH	OP07-EJ	LF351a	ICL7600ICD	µA791	MAX420	PA08
Differenzverstärkung	$V_{D \max}$	10^5	-	10^6	-	$4,5 \cdot 10^5$	10^5	100	$2 \cdot 10^4$	10^6	10^5
Gleichtakterdrückung	G/dB	$3 \cdot 10^4$	74	100	114	123	100	88	-	120	-
Differenzeingangswiderstand	r_D/Ω	$2 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$	10^6	$2 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^7$	-	-	-	10^{12}	10^5
Gleichtakteingangswiderstand	r_G/Ω	10^9	-	-	$2 \cdot 10^{11}$	$1,6 \cdot 10^{11}$	10^{12}	-	-	-	-
Offene Spannungsverstärkung	V_O/dB	90	80	-	114	-	110	-	-	-	-
Eingangsruhestrom	$\pm I_G/\text{pA}$	$8 \cdot 10^4$	10^4	2	30	1,5	50	3	$5 \cdot 10^5$	30	-
Eingangsoffsetstrom	I_{off}/nA	20	20	2	5	0,9	0,025	1,5	200	0,06	0,05
Eingangsoffsetspannung	$U_{\text{off}}/\mu\text{V}$	10^3	$2 \cdot 10^4$	250	150	30	10^3	5	$6 \cdot 10^3$	5	$2 \cdot 10^3$
Offsetspannungsdrift	$\Delta U_{\text{off}}/\frac{\mu\text{V}}{\text{K}}$	6	12	1	1	0,3	10	0,1*	6	0,05	30
Bandbreite-Verstärkungsprodukt	f_b/MHz	1	2	-	0,4	0,6	4	0,3	1	0,5	5
Spannungsanstiegs- geschwindigkeit	$\frac{dU_a}{dt_{\max}}/\frac{\text{V}}{\mu\text{s}}$	0,5	0,3	1	0,06	0,17	13	-	0,5	0,5	30
Ausgangswiderstand	r_a/Ω	10^3	-	-	-	60	1	-	-	-	-
Ausgangsstrom	$\pm I_{a \max}/\text{mA}$	20	70	-	20	20	20	-	10^3	5	200
Arbeitsbereich der Ausgangsspannung	$\pm U_{a \max}/\text{V}$	13	14	10	12	12	13,5	4,4	18	15	150
Verlustleistung	P_v/W	-	0,19	-	0,6	0,5	0,5	0,5	-	0,5	17,5
Betriebstemperaturbereich	$\vartheta^\circ\text{C}$	$0 \dots 70$	$0 \dots 70$	-	$-25 \dots +85$	$0 \dots 70$	$0 \dots 70$	$-25 \dots +85$	-	-	$-55 \dots +125$

* $\Delta U_{\text{off}}/\frac{\mu\text{V}}{\text{Jahr}} = 0,2$

Meßreihe zum Inverter und Offsetabgleich
(siehe S. 338 Abschnitt 11.2 und S. 82 Praktische Elektronik)

U_e mit Poti einstellen.

Jeweils Formel für U_a = -R₂/R₁U_e überprüfen.

Die Werte sind nur Anhaltspunkte.
 Immer den exakten Spannungswert
 von U_e und U_a eintragen !!

U _e / V	Meßwert U _a /V		Bedingungen
0V (Masse) +0,05 +0,1 +1 +5 +10 +15 -0,05 -0,1 -1 -5 -10 -15	U _a = mV (Offsetspannung)		für R ₂ =R ₁
+0,1 +1 +5 +10 +15 -0,1 -1 -5 -10 -15			für R ₂ =2R ₁
+0,1 +2 +10 -0,1 -2 -10	mit R _K	ohne R _K	für R ₂ =R ₁
+5 -5	R ₂ =0 setzen	R ₂ = setzen	für R ₂ =R ₁
pos./ neg. Spannung	U _D = Schaltung funkt.	U _D Schaltung nicht OK	U _D /mV messen zwischen E- und E+

Messreihe zum Differenzbildner

U1 mit Poti einstellen.
 U2 mit festem Spannungsteiler.
Jeweils Formel überprüfen.

Spannungsteiler mit zwei gleichen Widerständen.
 U2 lässt sich nicht auf +7,5V einstellen (belasteter Spannungsteiler).
 Erst ein Spannungsfolger schafft Abhilfe (U2=7,5V).

U1 /V und U2 /V	Meßwert U _a /V	Bedingungen
		alle Meßwerte mit Spannungsfolger für R₁=R₂=R₃=R₄ $U_a = U_2 - U_1$ für R₁=R₂=33k und R₃=R₄=100k $U_a = \frac{R_3}{R_1} (U_2 - U_1)$

Messreihe Signumumschalter

U_e mit Poti einstellen.
 U_a-Messungen bei offenem und geschlossenem Schalter.

U _e /V	Meßwert U _a /V	Bedingungen
+2	Schalter offen Schalter geschl.	für R ₁ =R ₂ =R ₃
-5	Schalter offen Schalter geschl.	

Messreihe zur Maximalwertschaltung

U1 mit Poti einstellen.

U2 mit festem Spannungsteiler.

Erst zwei pos. Eingangsspannungen,

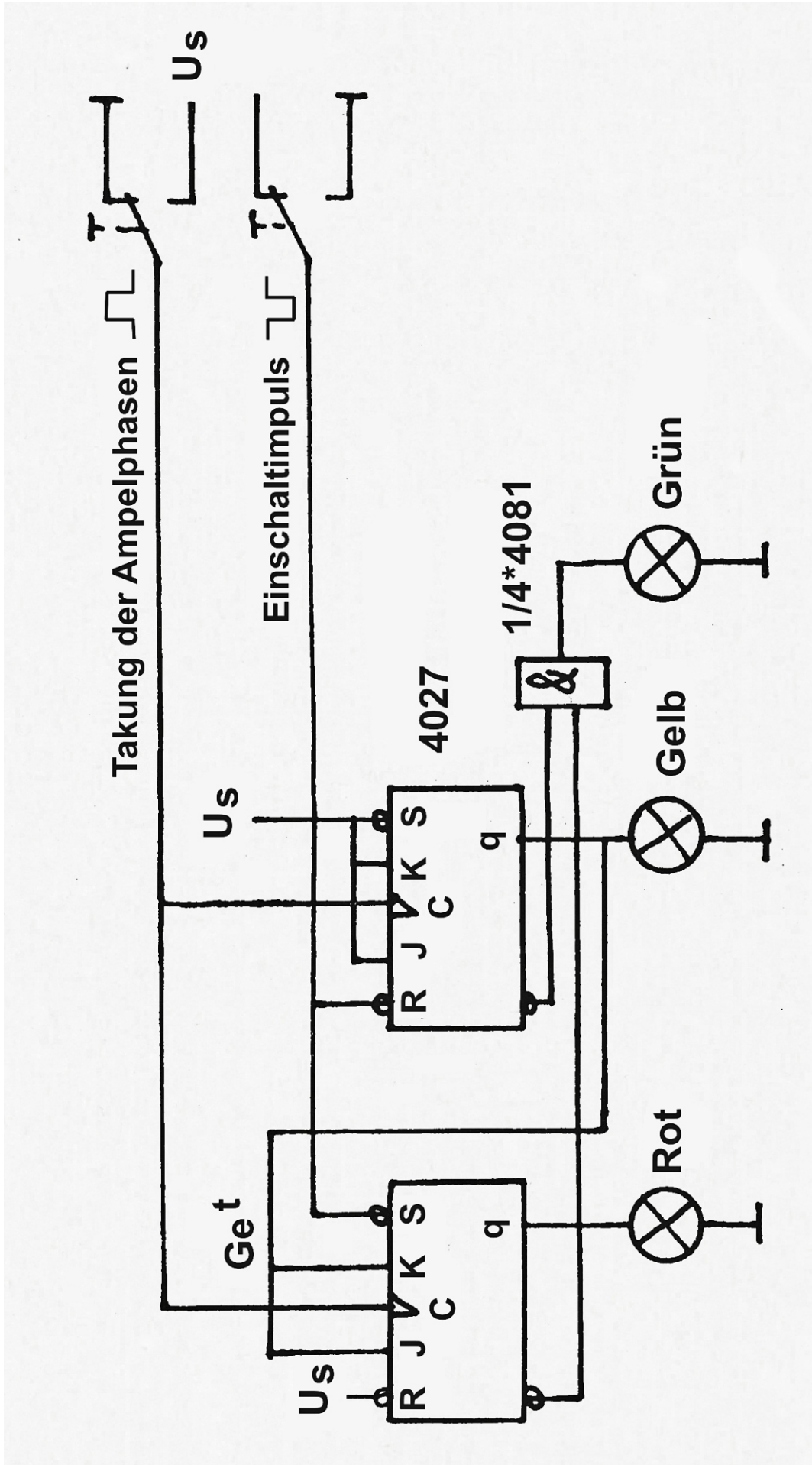
dann eine pos. eine neg. Eingangsspannung,

dann zwei neg. Eingangsspannungen einstellen

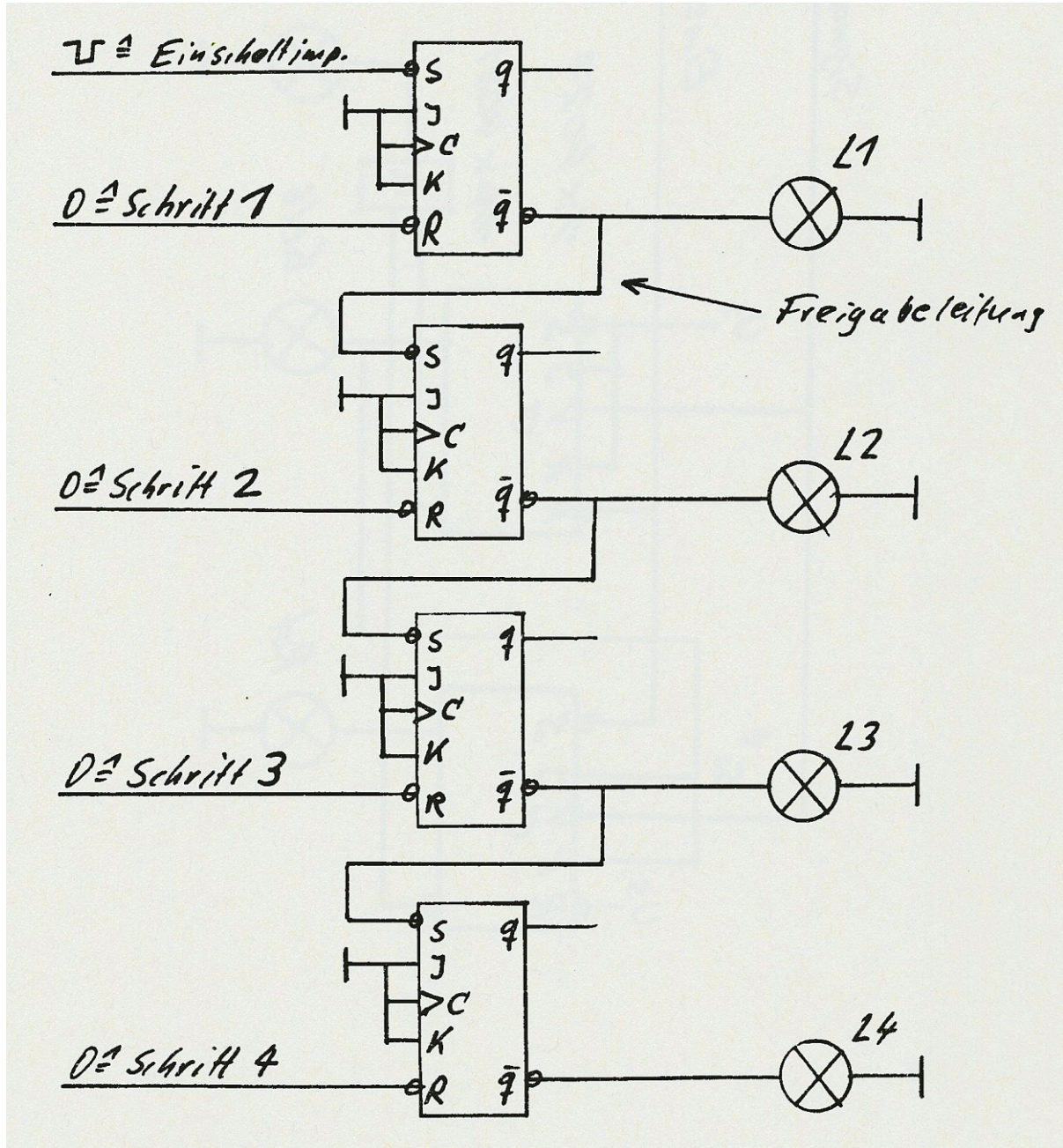
und jeweils Formel für $U_a = \text{Max.}(U_2; U_1)$ überprüfen.

U1 /V	und	U2 /V	Meßwert U_a /V	Bedingungen
+		+		ohne 10k an -15V
+		-		ohne 10k an -15V
-		-		ohne 10k an -15V
-		-		mit 10k an -15V

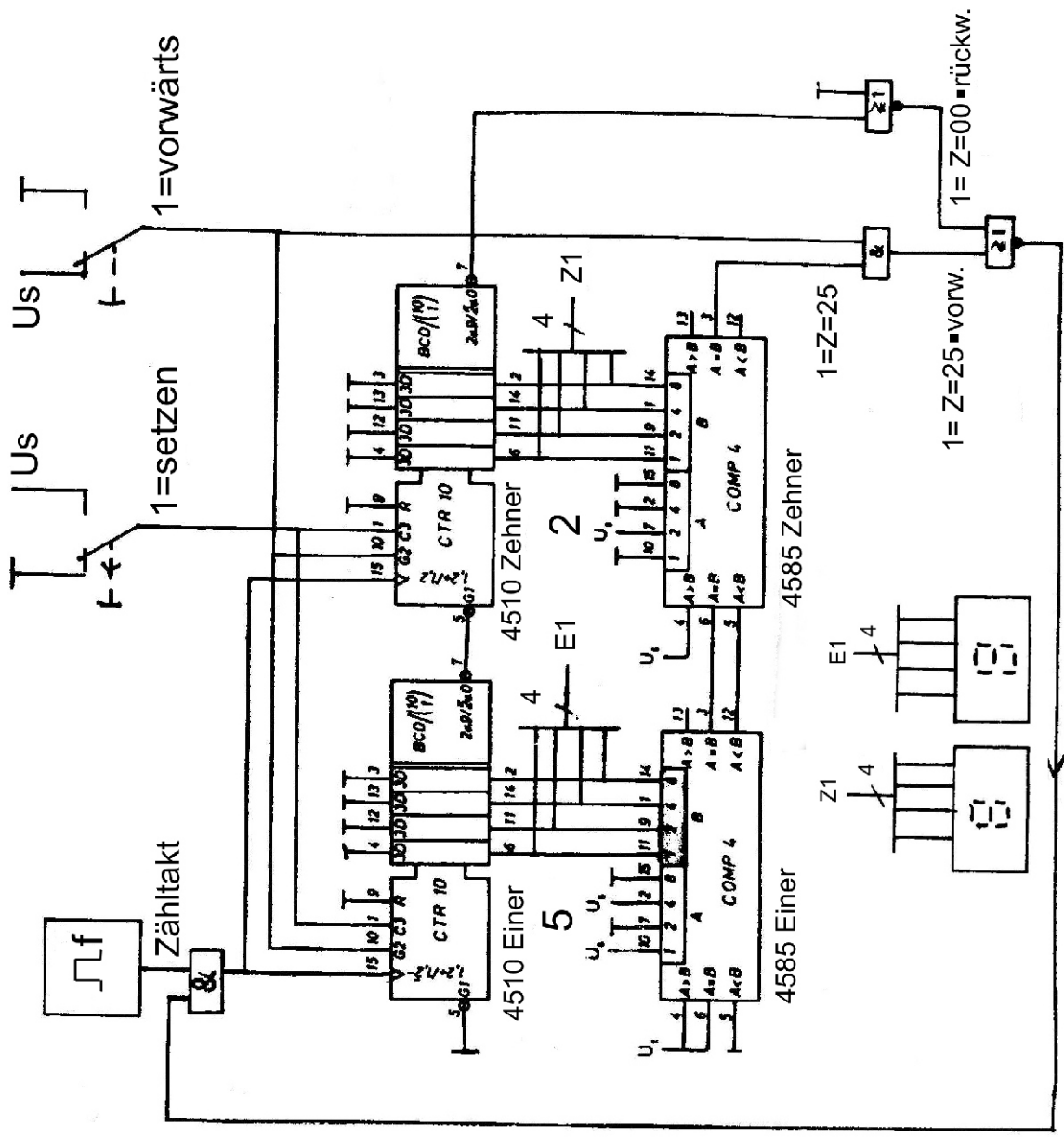
Ampelschaltung (vergleiche mit Bild 8.5 S.234 und Bild 11.7 S. 301)



Ablaufsteuerung (vergleiche mit Bild 8.9 S. 237)



Zweidekadige BCD-Zählerschaltung (siehe Bild 7.11 S. 183)



Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) AC500 von ABB
 (siehe Abschnitt 10.1.2 S.266 und folgende)



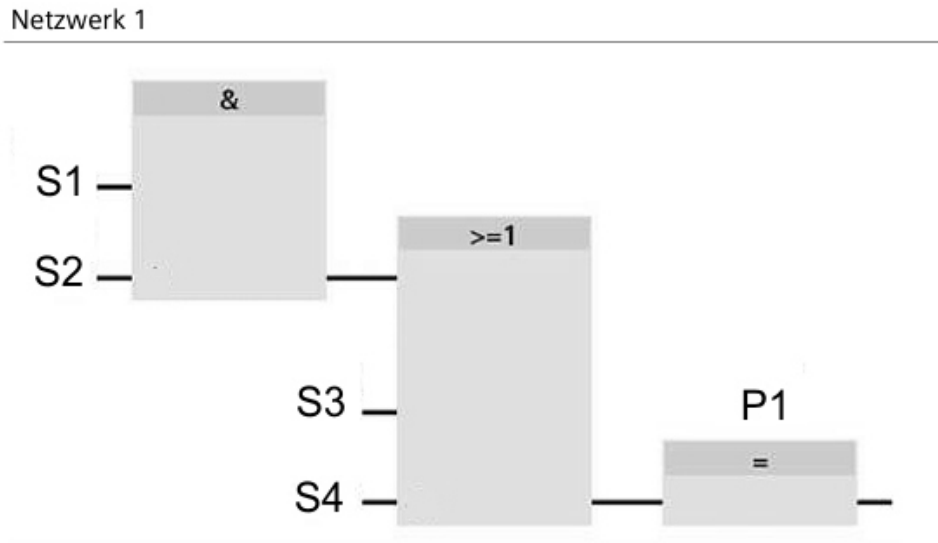
Vergleich der Daten von ABB AC500 und Siemens S7-300 (siehe S. 308)

Beschreibung	AC500 PM572	Simatic S7-300
Versorgungsspannung	24V DC	24V DC
Arbeitsspeicher CPU	128kB	32kB (CPU 312C)
Zykluszeit/Anweisung	0,06 s	0,2 s
Zykluszeit/Gleitkomma	1,2 s	6 s
Digitaleingänge	320	256
Digitalausgänge	240	256
Analogeingänge	160	64
Analogausgänge	160	64
Schnittstellen	RS232, CANopen...	RS232, CANopen...
Zentrale E/A-Module	max. 10	max. 8
Dezentrale E/A-Module	max. 31	-
Programmiersprachen	KOP/FUP/AWL	KOP/FUP/AWL
Programmierpaket		STEP7

Einige Befehle der Befehlssyntax (für Step 7 Programmierung)

U	Und
UN	Und Nicht (NAND)
O	Oder
ON	Oder Nicht (NOR)
X	Exklusiv Oder (EXOR)
XN	Exklusiv Oder Nicht EXNOR)
S	Setzen (SET)
R	Rücksetzen (RESET)
D	Verzögertes Setzen (DELAYED)
L	Eine Blockbreite lang Setzen (SET BLOCK TIME)
CALL	Baustein aufrufen (Hardware- oder Softwarebaustein)
=	Zuweisung

**Funktionsplan (FUP) einer einfachen Schaltung:
(siehe S. 309 Praktische Elektronik)**



**Programmierung:
(siehe S. 310 Praktische Elektronik)**

STEP7 Programm:

```
FUNCTION FC400: BOOL
VAR_INPUT
  S1: BOOL;
  S2: BOOL;
  S3: BOOL;
  S4: BOOL;
END_VAR

BEGIN
  U #S1;
  U #S2;
  O ;
  O #S3;
  O #S4;
  = RET_VAL; // A bzw. P1
END_FUNCTION
```

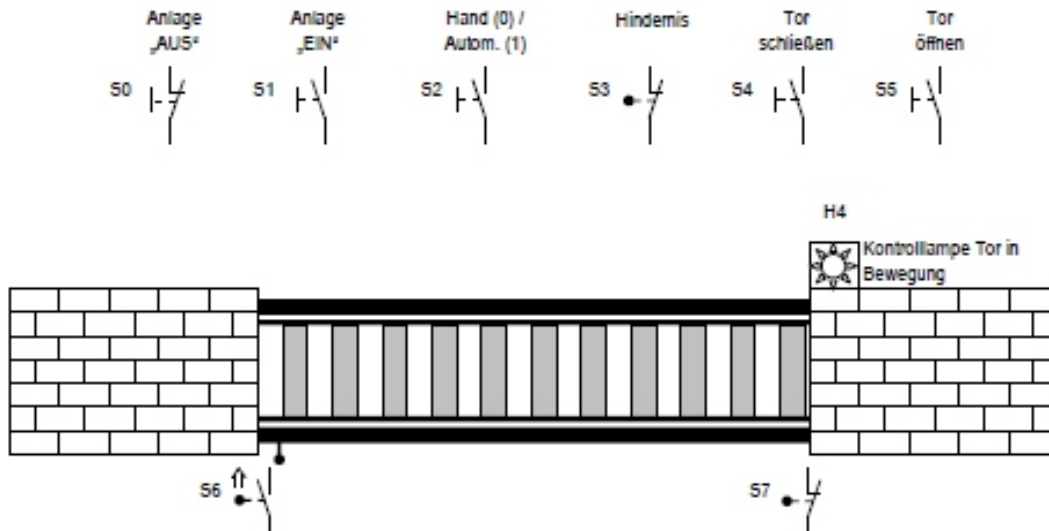
CoDeSys Programm:

```
FUNCTION FC400: BOOL
VAR_INPUT
  S1: BOOL;
  S2: BOOL;
  S3: BOOL;
  S4: BOOL;
END_VAR

LD S1
AND S2
OR S3
OR S4
ST FC400 bzw. P1
```

**Ausschnitt aus der SPS-Programmierung einer Torsteuerung
(siehe S. 316 - 318 Praktische Elektronik)**

Aufbau Übersicht:



Funktionsbeschreibung:

Die Anlage wird über die Taster S0 (E0.0)/ S1 (E0.1) im Portierhaus ein,- bzw. ausgeschaltet der Einzustand wird mit der Meldeleuchte H0 (A5.0) signalisiert.

Im Automatikbetrieb S3 (E0.3) EIN, läuft das Tor in die mit den Tastern S4 (E0.4) und S5 (E0.5) vorgewählte Richtung bis in die entsprechenden Endlagen.

Wenn bei dem zulaufen die Sicherheitskontaktleiste S3 (E0.3) anspricht läuft das Tor sofort wieder auf, die Kontrolllampe H2 (A5.2) am Tor blinkt mit 5Hz bis sich das Tor wieder in der geöffneten Stellung befindet. Während dieser Zeit kann kein erneuter Zu- Befehl ausgelöst werden.

Die Endlagen Tor AUF,- und ZU werden über die Endschalter S6 (E0.6)/ S7 (E0.7) an den Meldeleuchten H3 (A5.3) für ZU und H4 (A5.4) für AUF im Portierhaus signalisiert.

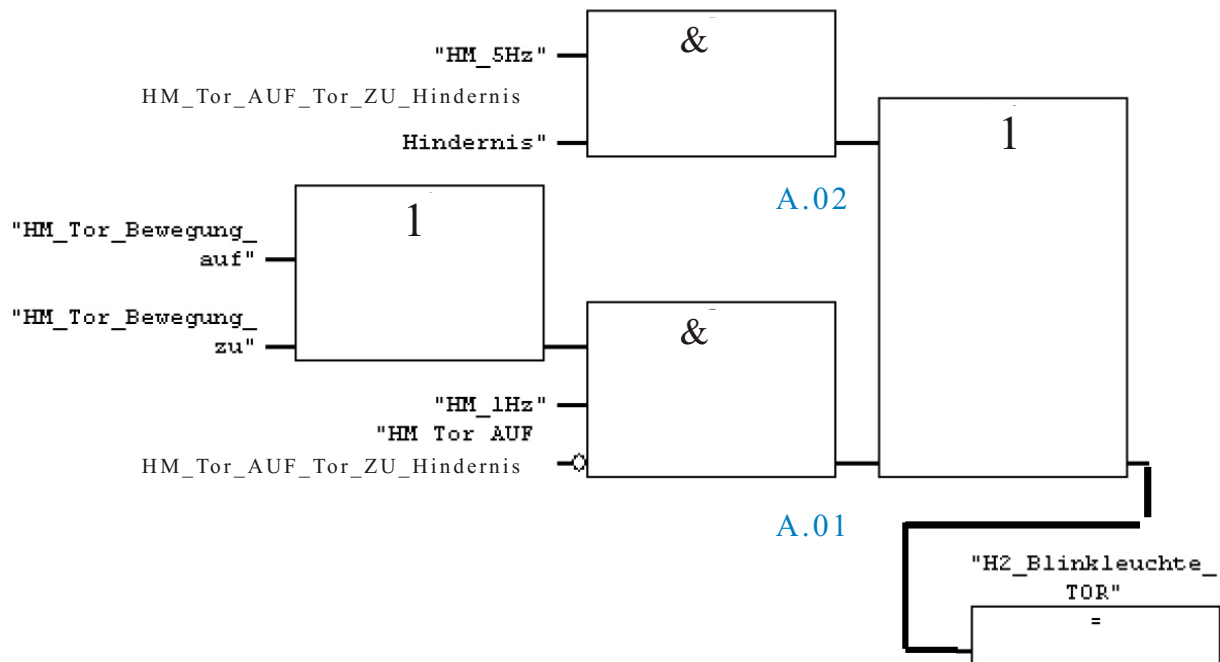
Im Handbetrieb wirkt die gleiche Funktion wie im Automatikbetrieb jedoch ist die Sicherheitskontaktleiste ohne Funktion.

Bei jeder normalen Bewegung des Tores blinkt die Kontrolllampe H2 (A5.2) am Tor mit 1Hz.

Symboltabelle:

	Symbol	Adresse	Datentyp	Kommentar
1	S0_Anlage_AUS	E0.0	BOOL	Anlage „AUS“ / 0 = AUS
2	S1_Anlage_EIN	E0.1	BOOL	Anlage „EIN“ / 1 = EIN
3	S2_Anlage_Autom	E0.2	BOOL	Anlage Automatik / 1 = Autom.
4	S3_Hindernisschalter	E0.3	BOOL	Hindernisschalter / 0 = Hindernis
5	S4_Tor_schließen	E0.4	BOOL	Taster Tor schließen / 1 = zu
6	S5_Tor_öffnen	E0.5	BOOL	Taster Tor öffnen / 1 = auf
7	S6_Tor_zu	E0.6	BOOL	Endschalter Tor zu / 0 = zu
8	S7_Tor_auf	E0.7	BOOL	Endschalter Tor auf / 0 = offen
9	K1_Tor_zu	A4.0	BOOL	Ansteuerung Ventil Tor zu
10	K2_Tor_auf	A4.1	BOOL	Ansteuerung Ventil Tor auf
11	K3_Hauptluft	A4.2	BOOL	Ansteuerung Ventil Luftzufuhr
12	H0_ML_Anlage_EIN	A5.0	BOOL	ML Anlage ist eingeschaltet
13	H1_ML_Anlage_Auto	A5.1	BOOL	ML Anlage ist im Automatikbetrieb
14	H2_Blinkleuchte_TOR	A5.2	BOOL	Blinklampe TOR in Bewegung
15	H3_ML_Tor_zu	A5.3	BOOL	ML Tor ist geschlossen
16	H4_ML_Tor_auf	A5.4	BOOL	ML Tor ist geöffnet
17	HM_1Hz	M100.5	BOOL	Blinktakt 5Hz
18	HM_5Hz	M100.1	BOOL	Blinktakt 1Hz
19	Immer low	M0.0	BOOL	Immer low
20	Immer high	M0.1	BOOL	Immer high
21	HM_Anlage_EIN	M0.2	BOOL	Hilfsmerker Anlage ist eingeschaltet
22	HM_Anlage_Auto	M0.3	BOOL	Hilfsmerker Anlage ist in Automatik
23	HM_Tor_Bewegung_zu	M0.4	BOOL	Hilfsmerker Tor läuft zu
24	HM_Tor_Bewegung_auf	M0.5	BOOL	Hilfsmerker Tor läuft auf
25	HM_Tor_AUF_Hindernis	M0.6	BOOL	HM Tor läuft auf nach Hindernis erkan

**Funktionsplan (FUP) Blinken bei Tor in Bewegung:
(vergleiche mit Bild 10.11 unten S. 278)**



Programmierung:

VAR
 (siehe Symboltabelle, alle Variablen: BOOL;
 End_VAR

Anweisungsliste (AWL)

```

Begin
  O HM_Tor_Bewegung_auf
  O HM_Tor_Bewegung_zu
  U HM_1Hz
  UN HM_Tor_AUF_Tor_ZU_Hindernis
  = A.01

  U HM_5Hz
  U HM_Tor_AUF_Tor_ZU_Hindernis
  = A.02

  O A01
  O A.02
  = H2_Blinkleuchte_TOR
End
  
```

**SPS-Realisierung einer Regelung mit PID-Regler
(Abschnitt 10.2.6 S. 286)**

Die Gleichung des PID-Reglers wird in den PID-Stellungsalgorithmus durch Digitalisieren von Integral- und Differentialanteil überführt. Es gilt dann:

$$y(kT_z) = K_R \left\{ x_d(kT_z) + \frac{T_z}{T_N} \sum_{i=0}^k x_d(iT_z) + \frac{T_V}{T_z} [x_d(kT_z) - x_d(kT_z - 1)] \right\}$$

Dieser Stellungsalgorithmus lässt sich direkt als Funktionsblock in STEP 7 Software zur Programmierung von SPS der Simatic-7-Reihe abbilden.

Die Programmierung in STEP7 sieht wie folgt aus:

```

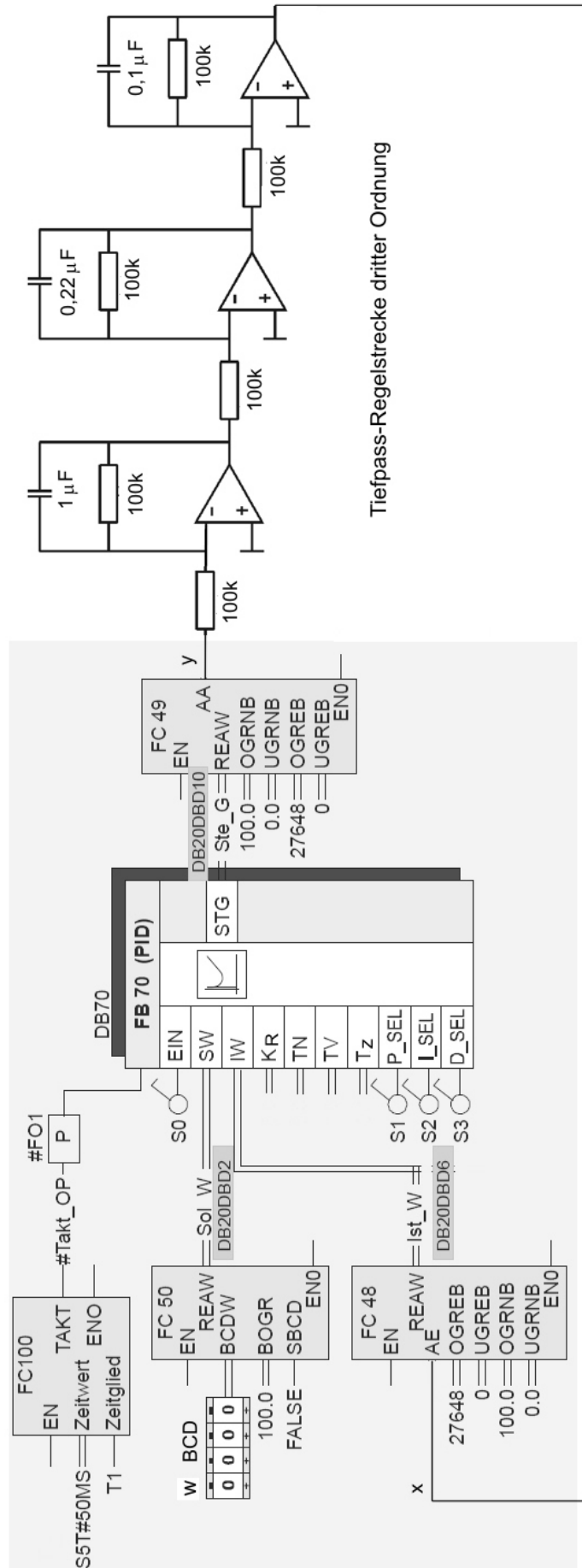
FUNCTION_BLOCK FB70 (*PID*)
(* xd(kTz)=XD xd(kTz-1)=XD1 *)
VAR_INPUT
  EIN: BOOL;
  P_SEL, I_SEL, D_SEL: BOOL;
  W, X: REAL;
  KR: REAL:=1.0; TN: REAL:=1.0;
  TV: REAL:=1.0; TZ: REAL:=1.0;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  STG: REAL;
  REAL;
  END_VAR
  REAL;
  VAR
  REAL;
  EK1: REAL;
  ESUM: REAL;
  END_VAR
VAR_TEMP
  EK:
  STGI:
  STGD:
  END_VAR

```

```

IF EIN = FALSE THEN (*Programmierung des FB70*)
  STG:=0.0; XD1:=0.0; XDSUM:=0.0;
  RETURN;
END_IF;
STG:=0.0; XD:=KR*(W - X); XDSUM:=XDSUM + XD;
STGI:=XDSUM*TZ/TN; STGD:=TV/TZ*(XD - XD1); XD1:=XD;
IF P_SEL=TRUE THEN STG:=STG+EK; END_IF;
IF I_SEL=TRUE THEN STG:=STG+STGI; END_IF;
IF D_SEL=TRUE THEN ST:=STG+STD; END_IF;
IF STG<0.0 THEN STG:=0.0
  ELSIF STG>100.0 THEN STG:=100.0;
END_IF;
END_FUNCTION_BLOCK

```



Funktionsplan des PID-Reglers und Regelstrecke dritter Ordnung

Laborordnung für Elektrische Geräte

Versuchdurchführung:

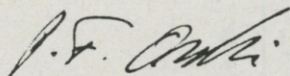
Bei der Versuchdurchführung sind die elementaren Regeln des Umgangs mit elektrischen Leitern und Spannungen zu beachten (lesen Sie die einschlägigen VDE-Richtlinien). Vor dem Einschalten ist die richtige Betriebsspannung zu überprüfen. Bei Schaltungsänderungen ist die Betriebsspannung abzuschalten. Bei vorsätzlicher oder fahrlässiger Beschädigung von Geräten behält sich der Fachbereich Schadensersatzansprüche vor.

Unfallverhütung:

Die in elektrischen Anlagen üblichen Sicherheitsvorkehrungen können im Labor nur eingeschränkt angewendet werden. Änderungen und Eingriffe in die Schaltung sind daher NUR in abgeschalteten Zustand vorzunehmen. Bei Gefahr ist jeder berechtigt bzw. verpflichtet das Netz abzuschalten. Es ist nur der berechtigt sich im Labor aufzuhalten, der die Laborordnung gelesen hat.

Übergabe:

Mit Aushändigung dieses Exemplares der Laborordnung an den Studenten ist der erforderlichen Informationspflicht Genüge getan.



(Prof. P. F. Orłowski)
Laborleiter

Zum Fachgespräch im Fach *Angewandte Elektronik* finden sich:

- **Fragen in Abschnitt 11.5 des Buches *Praktische Elektronik***
- **Lösungen in Abschnitt 11.6 des Buches *Praktische Elektronik***