

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
Inhalt	

	Seite
1. Patchboard-Kopie	3
2. Liste der Bauelemente	5
3. Betriebsarten, zentrale Steuerung	6
4. Funktionsweise der analogen Element- typen	12
4.1 Die Potentiometer	12
4.2 Die Integrierer	13
4.3 Die Summierer	16
4.4 Die Track-Store-Einheiten	17
4.5 Die Multiplizierer	19
4.6 Die Funktionsgeneratoren	21
5. Funktionsweise der digitalanalogen Elementtypen	24
5.1 Die Komparatoren	24
5.2 Die Schalter	25
6. Funktionsweise der digitalen Element- typen	26
6.1 Der digitale Steuerteil	26
6.2 Die Betriebsarten des digitalen Steuerteils	27
6.3 Der Taktuntersetzer	27
6.4 Der Counter/Timer	28
6.5 Der monostabile Multivibrator	34
6.6 Die Gatter	36
6.7 Die Tastflipflops	38
6.8 Die J-K-Flipflops	38

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
Patchboard-Kopie	

1. Patchboard-Kopie

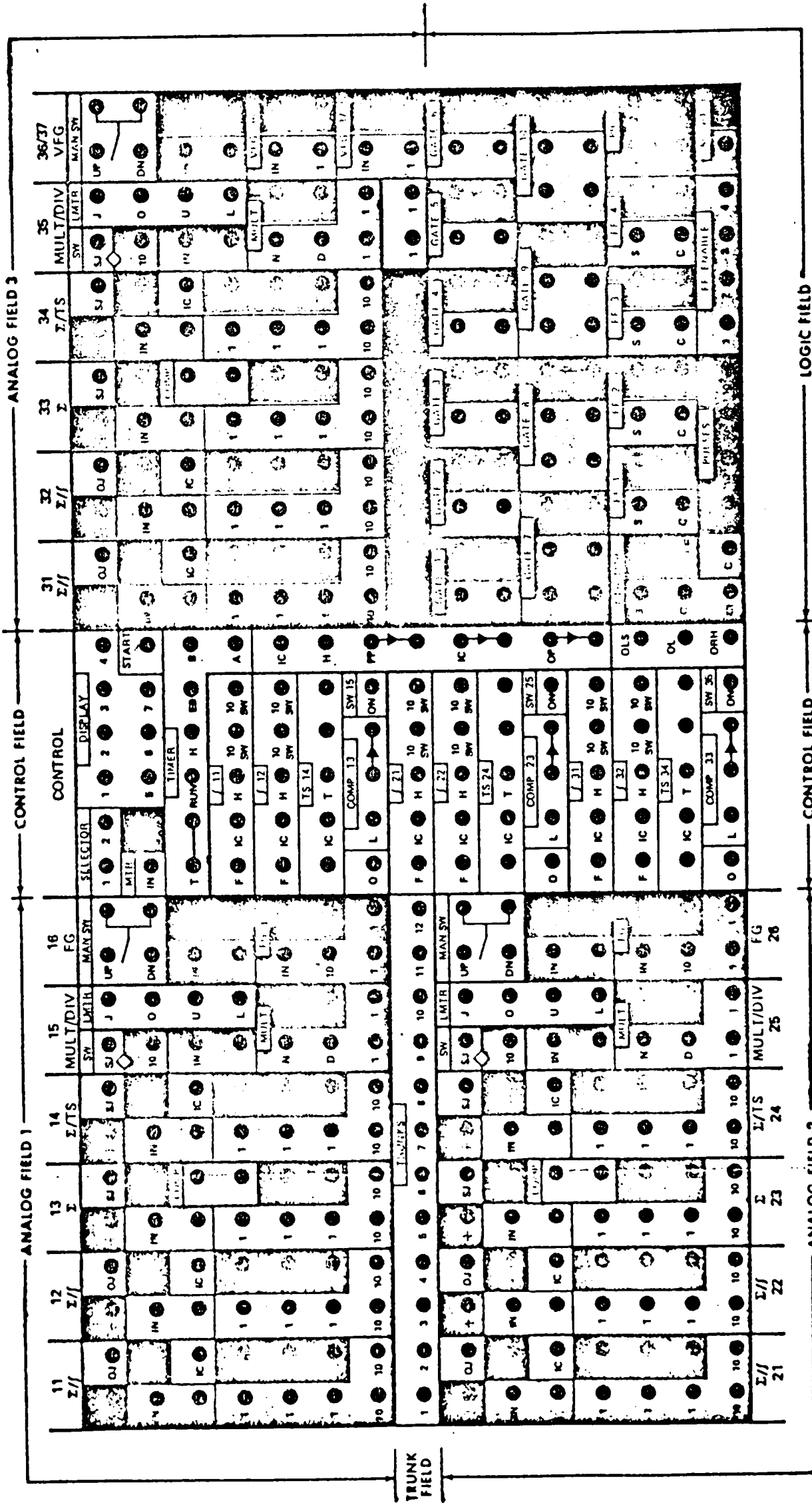
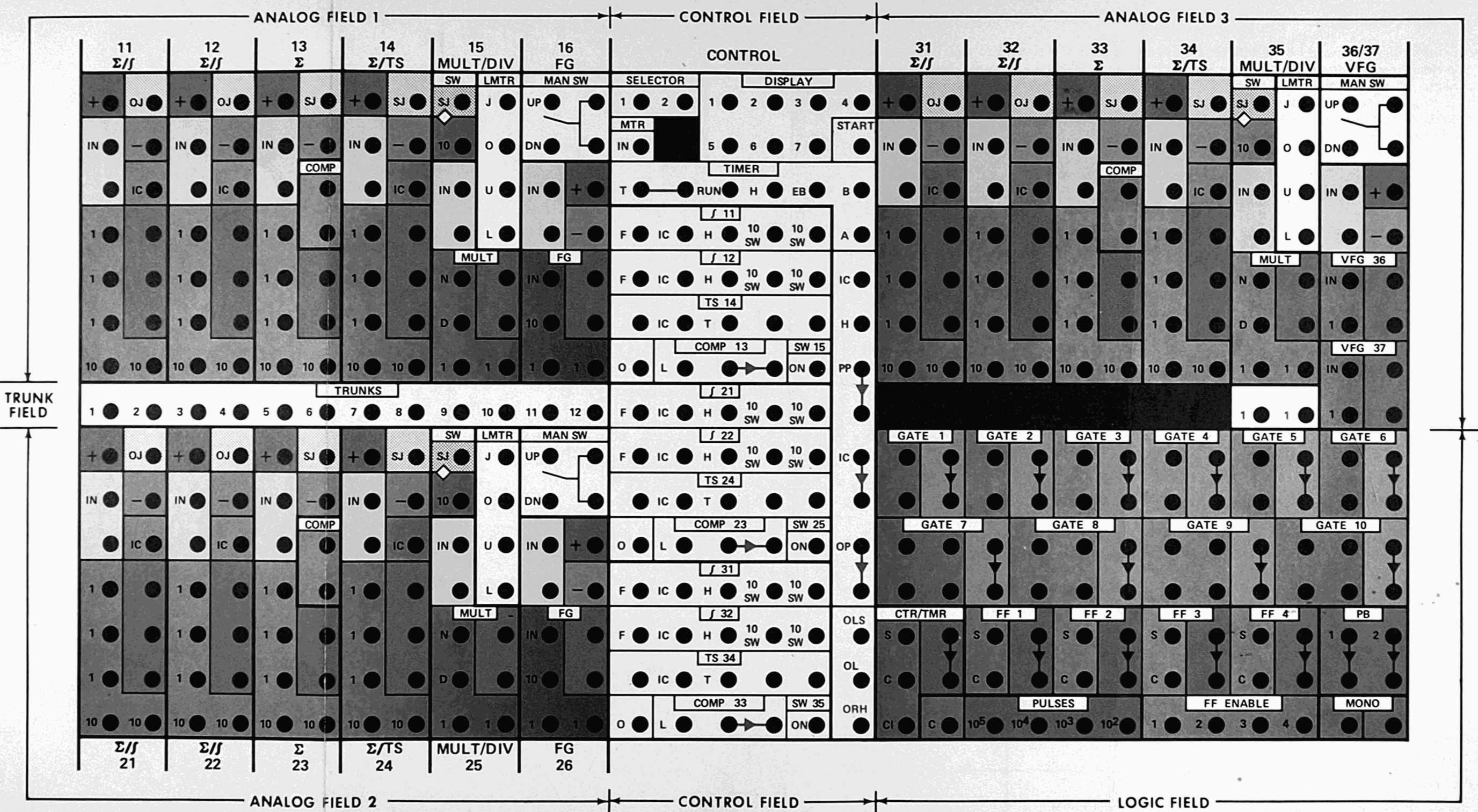


Bild 1: Patchboard des Mini-AC



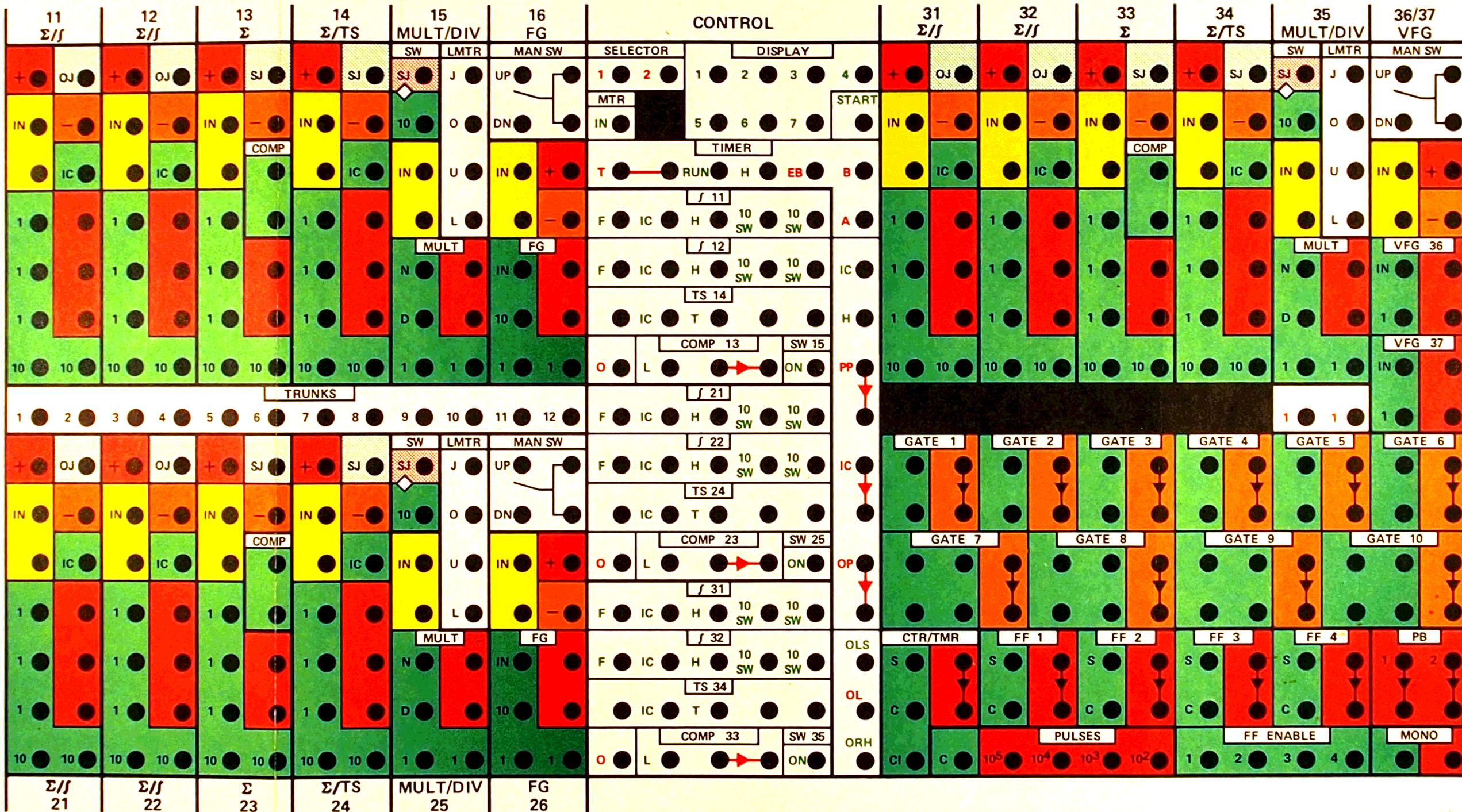




ANALOG FIELD 1

CONTROL FIELD

ANALOG FIELD 3



ANALOG FIELD 2

CONTROL FIELD

LOGIC FIELD

TRUNK FIELD



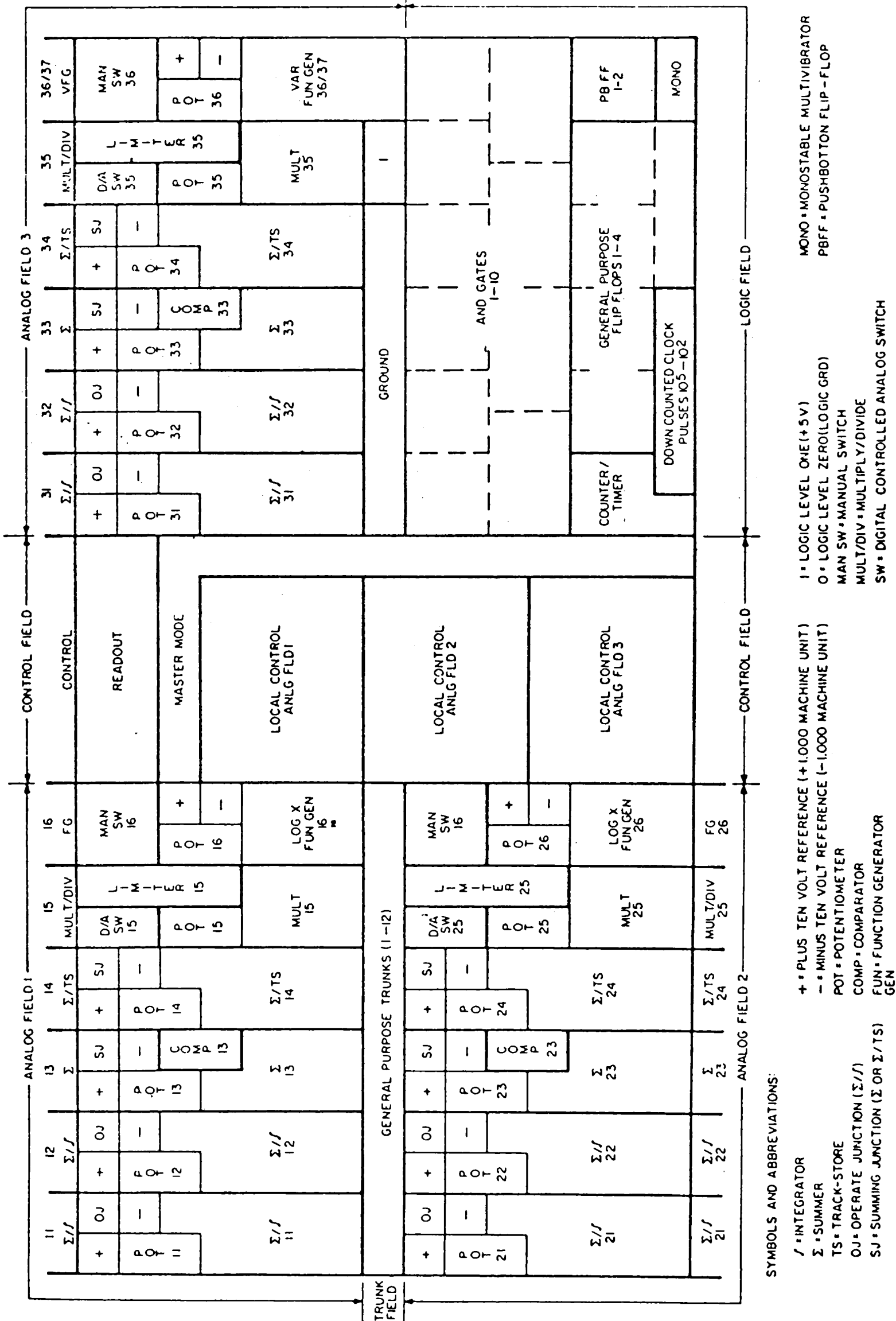


Bild 2: Felddaufteilung des Patchboards

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
Liste der Bauelemente	

## 2. Liste der Bauelemente

Die analogen Elemente des Praktikumsrechners Mini-AC können teilweise mehrere Funktionen ausführen. Die Umschaltung zwischen den Funktionen erfolgt durch einen Schalter auf der jeweiligen Steckkarte.

### 2.1 Analoge Elemente

Es sind folgende analogen Elemente vorhanden:

- a) 6 Integrierer/Summierer,
- b) 3 Summierer/High-gain-Verstärker,
- c) 3 Summierer/Track-Store-Einheiten,
- d) 3 Multiplizierer/Dividierer,
- e) 2 variable Funktionsgeneratoren,
- f) 18 Potentiometer.

### 2.2 Digitalanaloge Elemente

Zu den digitalanalogen Elementen gehören

- a) 3 Komparatoren,
- b) 3 Schalter.

### 2.3 Digitale Elemente

Zu den digitalen Elementen sind zu zählen

- a) 10 Gatter,
- b) 4 Flipflops,
- c) 2 Tastflipflops,
- d) 1 Zähler,
- e) 1 Monoflop,
- f) 3 Handschalter,
- g) 1 Frequenzumsetzer.

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
Betriebsarten und zentrale Steuerung	

### 3. Betriebsarten, Zentrale Steuerung

Das analoge Kontrollfeld enthält die Schalter und ein Potentiometer für die zentrale Steuerung der analogen Elemente sowie die drei Handschalter (MANual SWitch) und den Netzschalter und 2 Drehwahlschalter für die Ausgabe.

Für die Wahl der Betriebsart stehen 6 Schalter zur Verfügung:

IC, HD, OP, PP, SP, SL .

#### 3.1 SL

Der Schalter SL wird bei der Kopplung von zwei Rechnern verwendet. Wird er gedrückt, so wird die zentrale Steuerung von dem angekoppelten Rechner übernommen (Master-SLave-Betrieb).

#### 3.2 SP

Der Schalter SP muß zum Abgleich der Potentiometer, die in einer Rechenschaltung verwendet werden, gedrückt werden (Set Potentiometer).

Die vorhandenen Rechenverstärker sind mit FET-Schaltern versehen, die sehr empfindlich gegen das plötzliche Aufschalten einer analogen Eingangsgröße reagieren bzw. deren Abschalten.

Wichtig: Setzen Sie den Rechner bei sämtlichen Änderungen an der gesteckten Schaltung und vor allem vor dem Abschalten der Netzversorgung unbedingt zuerst in die Betriebsart SP!! Dann werden die FET-Schalter geerdet und sind geschützt!

#### 3.3 IC

Der Schalter IC schaltet auf sämtliche Integrierer und Track-Store-Einheiten die Anfangsbedingungen auf (Initial Condition).

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
3. Betriebsarten (Fortsetzung)	

### 3.4 OP

Der Schalter OP ermöglicht einen einmaligen Rechengang, indem die Anfangsbedingungen der Integrierer abgeschaltet und statt dessen die Summenpunkte der Verstärker mit den Eingangswiderständen beschaltet werden (OPerate).

### 3.5 HD

Der Schalter HD bewirkt ein Festhalten der im Schaltzeitpunkt vorliegenden Rechenwerte durch Abschalten der Eingangswiderstände bei den Integratoren (HDld).

### 3.6 PP

Der Schalter PP wird für repetierendes Rechnen benötigt. Bei dieser Betriebsart werden abwechselnd die Betriebsarten IC und OP angenommen (PPatch PPanel).

Die Länge der Phase IC ist abhängig von der Stellung des Schalters FAST! Ist der Schalter nicht gedrückt, so haben die Rückkopplungskondensatoren der Integratoren einen Wert  $C = 1 \mu\text{F}$  und die Phase IC ist 0,7 s lang, ist FAST gedrückt, so haben die entsprechenden Kondensatoren einen Wert  $C = 2 \text{ nF}$  (für 500 mal schnelleres Rechnen) und die Phase IC ist 7 ms lang.

Die Länge der Phase OP ist stufenlos einstellbar zwischen 5 ms und 105 s mit dem Potentiometer TIMER und dem benachbarten 4-Stufen-Schalter. Mit dem Schalter sind die Sekunden-Dekaden 0,001, 0,01, 0,1 und 1 zu wählen. Mit dem Potentiometer wird ein Faktor zwischen 5 und 105 eingestellt, wobei der Wert im Fenster des Drehknopfes mit 10 zu multiplizieren ist!



Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
3. Betriebsarten (Fortsetzung)	

Bei der Betriebsart PP sind die Ein- und Ausgänge des Kontrollfeldes 'TIMER' und des Mastermode-Feldes wirksam (grün: Eingänge, rot: Ausgänge).

Digitale Ein- und Ausgänge des Kontrollfeldes 'TIMER' und des Master-mode-Feldes

Eingänge:

3.61 RUN (TIMER)

Wenn RUN = 1 ist, arbeitet der Timer. Wird RUN = 0, geht die Sägezahnspannung auf Null und bleibt dort. Wird RUN = 1, beginnt der repetierende Betrieb mit einer normalen IC-Phase.

3.62 H (TIMER)

Wenn H = 1 wird, bleibt die Sägezahnspannung auf dem im Schaltzeitpunkt (H:  $\square$ ) erreichten Wert. Wenn H = 0 wird, wird die normale OP-Phase zu Ende geführt.

3.63 H (MASTER MODE)

Wenn H = 1 wird, gehen die zentralgesteuerten Integratoren in die Betriebsart HOLD.

3.64 IC (MASTER MODE)

Wenn IC = 1 wird, gehen die zentralgesteuerten Integratoren in die Betriebsart IC.

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
3. Betriebsarten (Fortsetzung)	

Eingänge beschaltet mit		Resultierende Betriebsart
IC	H	
0	0	OP
0	1	H
1	0	IC
1	1	H

Bild 3: Wahrheitstabelle für die Master-Mode-Steuer-  
gänge

Im unbeschalteten Zustand sind die Eingänge IC = 1 und H = 0!

Wichtig: Die Beschaltung der Master-Mode-Steuer-  
gänge IC und H ist nur bei der Betriebsart PP (repetieren-  
des Rechnen) wirksam!

Ausgänge:

### 3.65 PP, IC, OP (MASTER MODE)

Die Ausgänge PP, IC und OP liefern ein Signal logisch "1", wenn durch die zentrale Steuerung in die entsprechende Betriebsart geschaltet wird.

### 3.66 A, B, EB (TIMER)

Die Signale A, B und EB kennzeichnen die OP-Phase (B = 1) und die IC-Phase (A = 1) des repetierenden Betriebes, dabei gilt  $A = \bar{B}$ .

EB liefert einen positiven Puls von 1  $\mu$ s Dauer am Ende der OP-Phase.

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
3. Betriebsarten (Fortsetzung)	

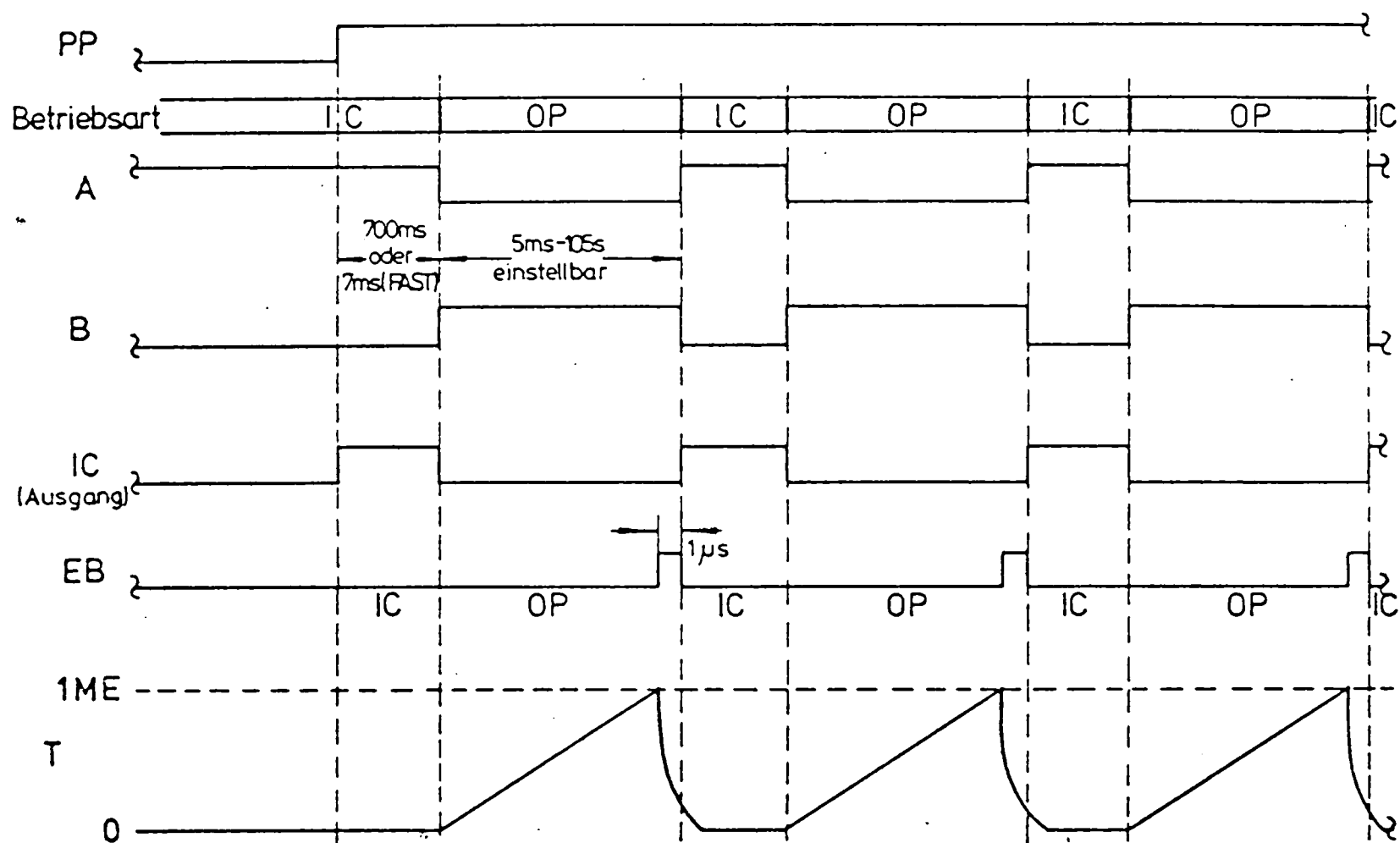


Bild 4 Timer- und Master-mode-Signale bei repetierendem Betrieb

### 3.7 OL, ORH, OLS (MASTER MODE)

Der Ausgang OL liefert ein Signal logisch "1", wenn ein Rechenverstärker übersteuert (OverLoad).

Eine kurzzeitige Übersteuerung kann durch Beschaltung des Eingangs OLS mit dem Signal OL gespeichert werden (OverLoadStore). Durch die Beschaltung des Eingangs ORH mit einem Signal logisch "1" wird ein Übergang in die Betriebsart HOLD erzwungen (OverRide Hold). Diese Beschaltung hat Priorität gegenüber allen Betriebsartschaltern außer SP.



Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
3. Betriebsarten (Fortsetzung)	

3.8 Die Ausgabe

Mit den Drehwahlschaltern im analogen Kontrollfeld können die Ausgänge sämtlicher Verstärker und der analoge Timer-Ausgang auf die entsprechenden Buchsen (SELECTOR 1 bzw. SELECTOR 2) im Readout-Feld (Bild 2) geschaltet werden.

Die Buchsen des Display-Feldes sind mit der analogen Peripherie verbunden, und zwar

Buchse	Verbindung	
1	Y1	} Peripherie frei wählbar (Bananenstecker), z.B. Oszillograph
2	Y2	
3	Y3	
6	x-Ablenkung	} des x-y-Schreibers (fest-verdrahtet)
7	y-Ablenkung	

An der Buchse 'START' kann durch ein logisches Signal die Feder des x-y-Schreibers angehoben oder abgesenkt werden. Mit START = 1 wird die Feder abgesenkt.

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
4. Funktionsweise	

#### 4. Funktionsweise der analogen Elementtypen

##### 4.1 Die Potentiometer

Die Potentiometer ermöglichen die Multiplikation einer variablen Maschinengröße mit einem konstanten Faktor, der kleiner als Eins ist. Alle Potentiometer sind nach Bild 5 verschaltbar.

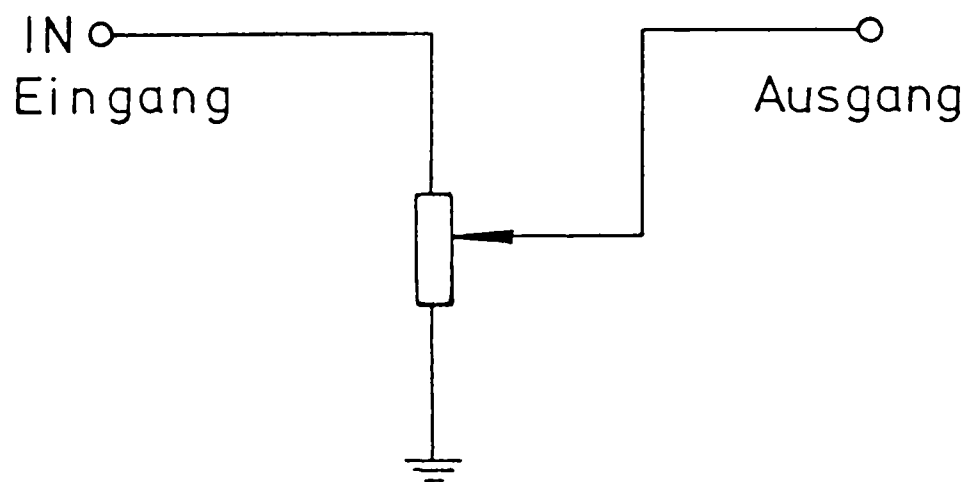


Bild 5 Beschaltung der Potentiometer

In der Betriebsart SP werden die Potentiometer abgeglichen. Für einen korrekten Abgleich müssen die Potentiometer mit der im Rechenbetrieb vorgesehenen Belastung versehen sein; das bedeutet, daß sie erst dann richtig abgeglichen werden können, wenn das Problem fertig gesteckt und das patch-board auf die Kontakte geschaltet ist!

Zum Abgleich wird jeweils die neben dem Potentiometer befindliche Drucktaste betätigt und bei gedrückter Taste die Einstellung des gewünschten Wertes gemäß der Anzeige des Digitalvoltmeters vorgenommen.

Dabei wird in der Betriebsart SP durch Betätigung der Drucktaste der Eingang des jeweiligen Potentiometers mit 1ME beschaltet und sämtliche Verstärkereingangswiderstände an den Eingangssummenpunkten geerdet.

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
4. Funktionsweise (Fortsetzung)	

#### 4.2 Die Integrierer

Die 6 vorhandenen Integrierer besitzen jeweils 5 Eingänge und 3 Ausgänge sowie einen Eingang zur Umschaltung der Anfangsbedingung (Initial Condition). Der Eingangssummenpunkt ist für zusätzliche Beschaltungen herausgeführt (Open Junction).

Die Rückkopplungskapazität ist bei normaler Rechengeschwindigkeit  $C = 1 \mu\text{F}$  und bei gedrückter Taste "FAST"  $C = 2 \text{ nF}$ .

Die Integrierer sind auch als Summierer verwendbar (Umschalter auf Steckkarte). Dann wird die Kapazität in der Rückkopplung durch einen Widerstand  $R_f = 1 \text{ M}\Omega$  ersetzt. Zwei Eingänge die mit "10" bezeichnet sind, haben Eingangswiderstände von  $100 \text{ k}\Omega$  ("10" - Faktor 10); die drei anderen solche von  $1 \text{ M}\Omega$  ("1" - Faktor 1).

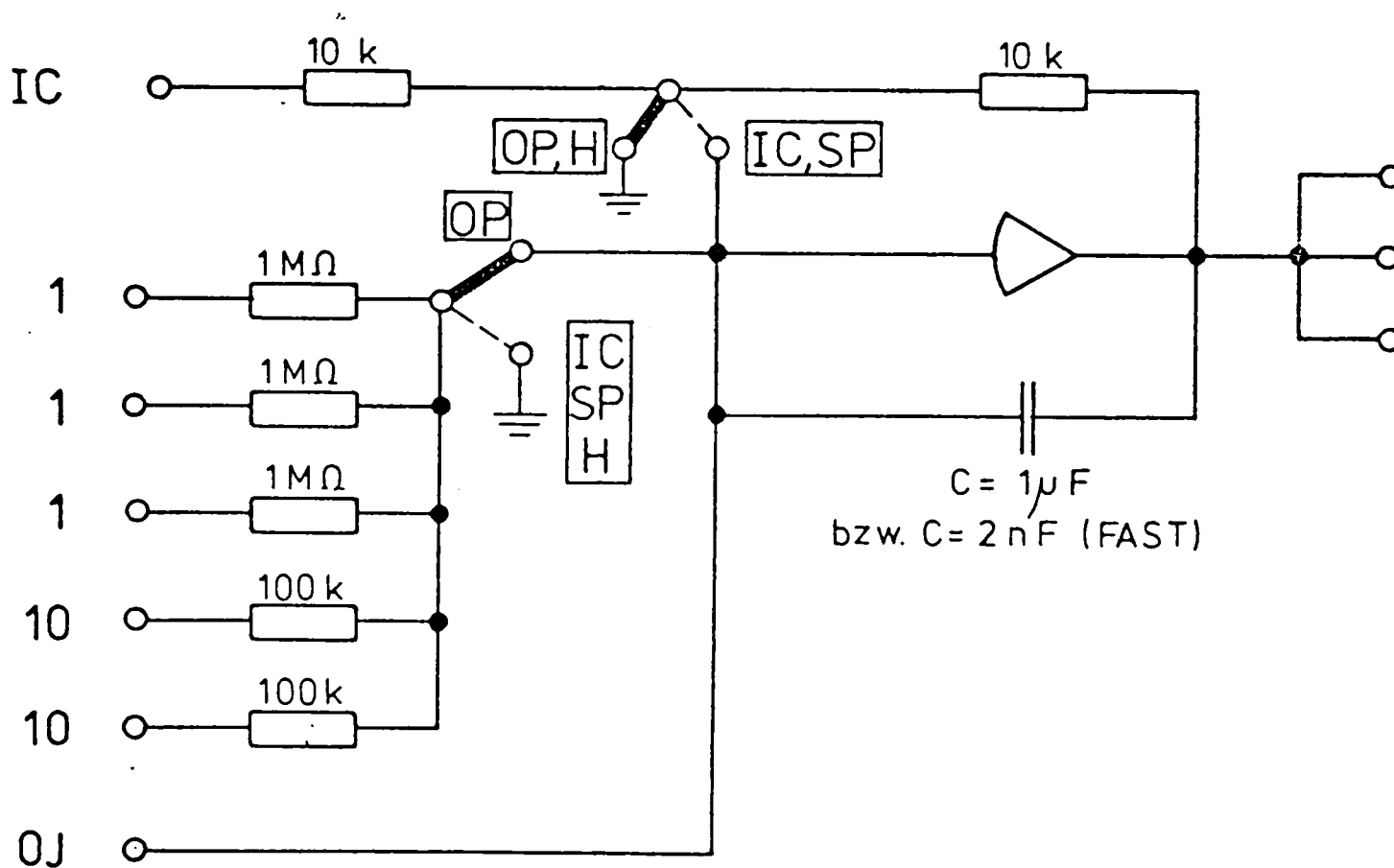


Bild 6 Interne Beschaltung eines Integrierers (gez. Schalterstellung: OP)



Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
4. Funktionsweise (Fortsetzung)	

Wird die Buchse IC mit der Anfangsbedingung beschaltet (in der Betriebsart IC), dann gilt für die Ausgangsspannung  $u_R$  mit

$$u_{IC} = \begin{cases} 0 & \text{für } \tau < 0 \\ U_0 & \text{für } \tau \geq 0 \end{cases}, \quad R_{IC} = 10 \text{ k}\Omega$$

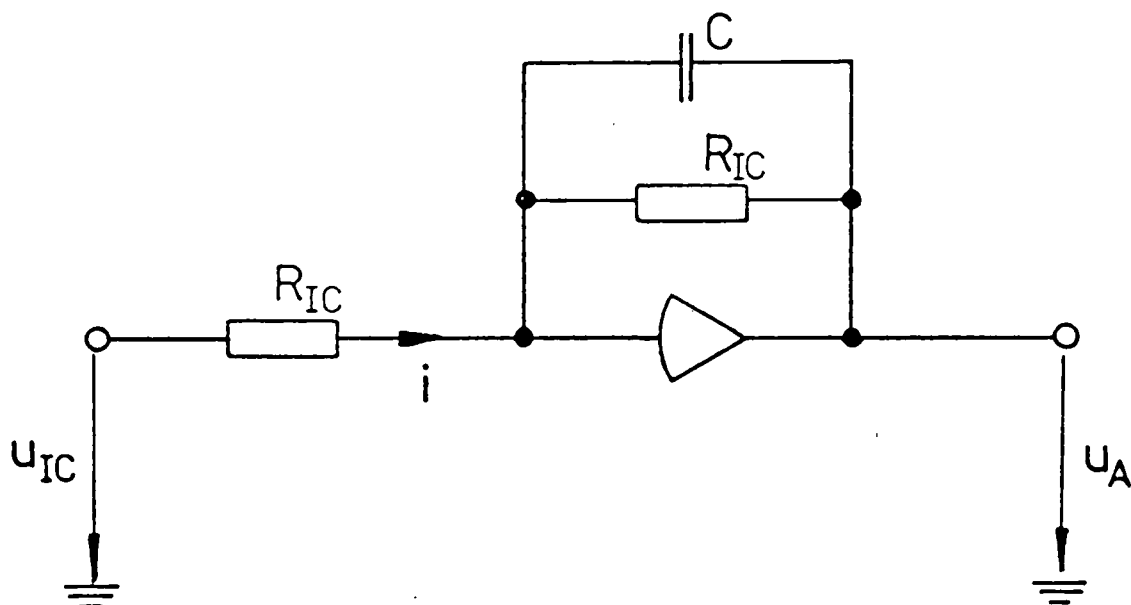


Bild 7 Aufschaltung der Anfangsbedingung beim Integrierer

$$\{u_A\} = - \{i\} \cdot \frac{1}{sC + \frac{1}{R_{IC}}} = - \frac{1}{1 + s \cdot R_{IC} \cdot C} \cdot \{u_{IC}\} =$$

$$- \frac{U_0}{s(1 + s \cdot R_{IC} \cdot C)}$$

$$\underline{u_A} = - U_0 (1 - e^{-\frac{\tau}{T}}), \quad T = R_{IC} C = \begin{cases} 1 \text{ ms normal} \\ 2 \mu\text{s FAST} \end{cases}$$

Wichtig: Für jeden Integrierer ist ein lokales digitales Steuerfeld vorhanden, durch dessen Beschaltung eine Betriebsart gewählt werden kann, die unabhängig von der durch die Zentralsteuerung vorgegebenen ist, d.h. die lokale Steuerung hat Priorität gegenüber der zentralen!

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
4. Funktionsweise (Fortsetzung)	

Wird die Buchse F beschaltet, so wird mit  $F = 1$  die Kapazität  $C = 1 \mu\text{F}$  durch  $C = 2\text{nF}$  ersetzt (Fast).

Die Buchsen 10SW dienen zur digitalen Durchschaltung der analogen 10-er Eingänge. Mit einem logischen Signal 10 SW = 1 wird der entsprechende 10-er Eingang in der Betriebsart OP durchgeschaltet. Für die Beschaltung der Steuereingänge IC und H gilt folgende Wahrheitstabelle:

Eingänge beschaltet mit		Resultierende Betriebsart
IC	H	
0	0	OP
0	1	H
1	0	IC
1	1	Zentralgesteuert

Bild 8 Wahrheitstabelle für die lokale Steuerung der Integratoren .

Wichtig: Bei der lokalen Steuerung müssen stets die beiden Steuereingänge IC und H beschaltet werden! Dabei ist zu beachten, daß im unbeschalteten Zustand die Eingänge IC und H den Pegel logisch "1" haben!

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
4. Funktionsweise (Fortsetzung)	

### 4.3 Die Summierer

Die 3 Summierer können durch Umschaltung auf der Steckkarte auch als offene Rechenverstärker betrieben werden. In diesem Fall wird der Rückkopplungswiderstand von 100 k $\Omega$  abgeschaltet.

Der Eingangssummenpunkt ist für eine zusätzliche Beschaltung herausgeführt (Summing Junction). Für jeden Summierer sind 5 Eingänge verfügbar, von denen 3 einen Eingangswiderstand von 100 k $\Omega$  ("1") und 2 einen von 10 k $\Omega$  ("10") besitzen.

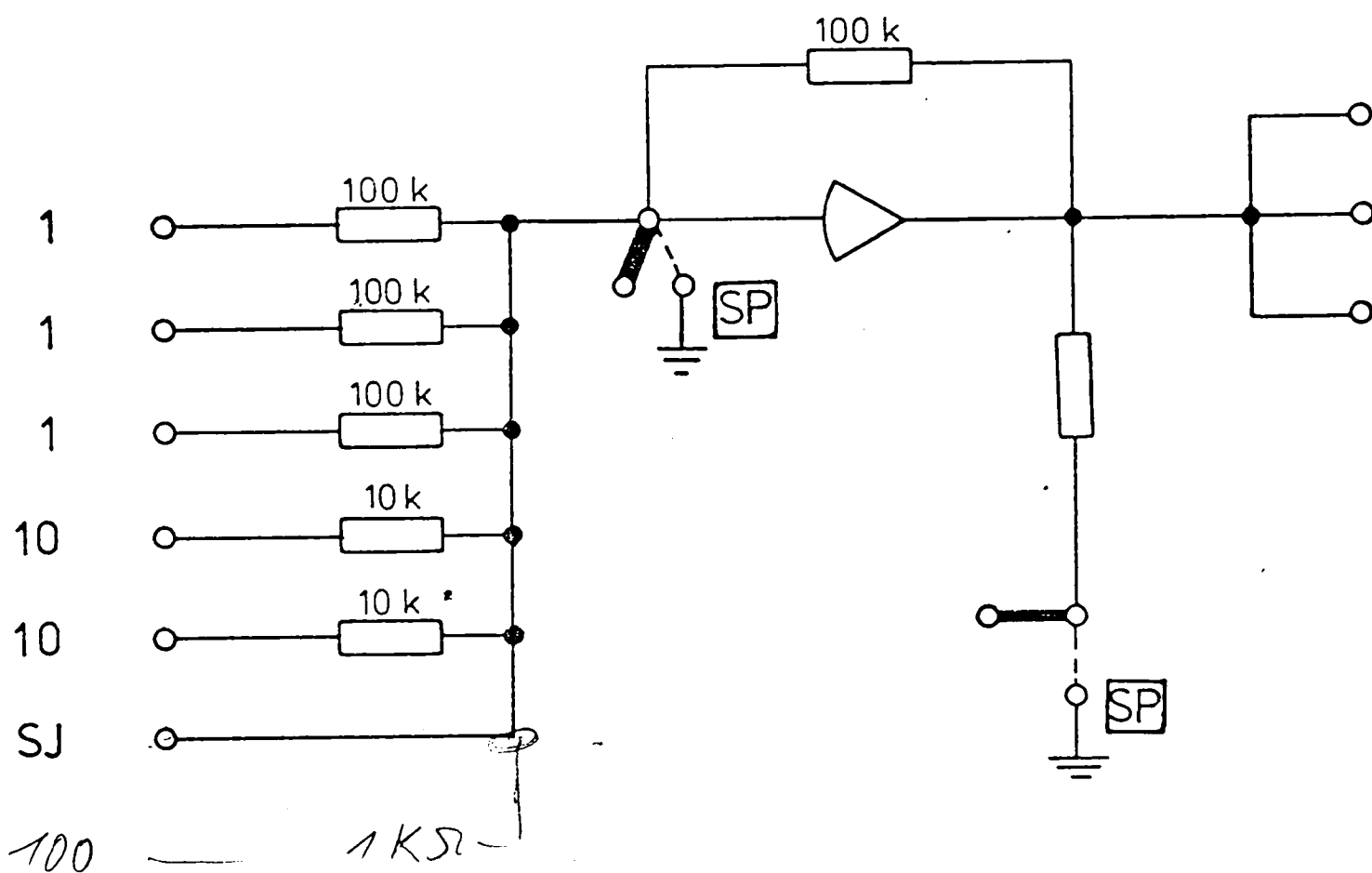


Bild 9 Interne Beschaltung eines Summierers (gezeichnete Schalterstellung: OP, IC, H)



Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
4. Funktionsweise (Fortsetzung)	

4.4 Die Track-Store-Einheiten

Die 3 Track-Store-Einheiten sind Standardsummierer mit den zusätzlichen Eigenschaften, daß durch digitale Steuerung erreicht werden kann, daß die Ausgangsspannung mit einem aufgeschalteten Anfangswert beginnt (IC) und entweder gleich der negativen Summe der Eingangsspannung ist (Track) oder auf ein Steuersignal hin den im Schaltzeitpunkt errechneten Wert beibehält (Store).

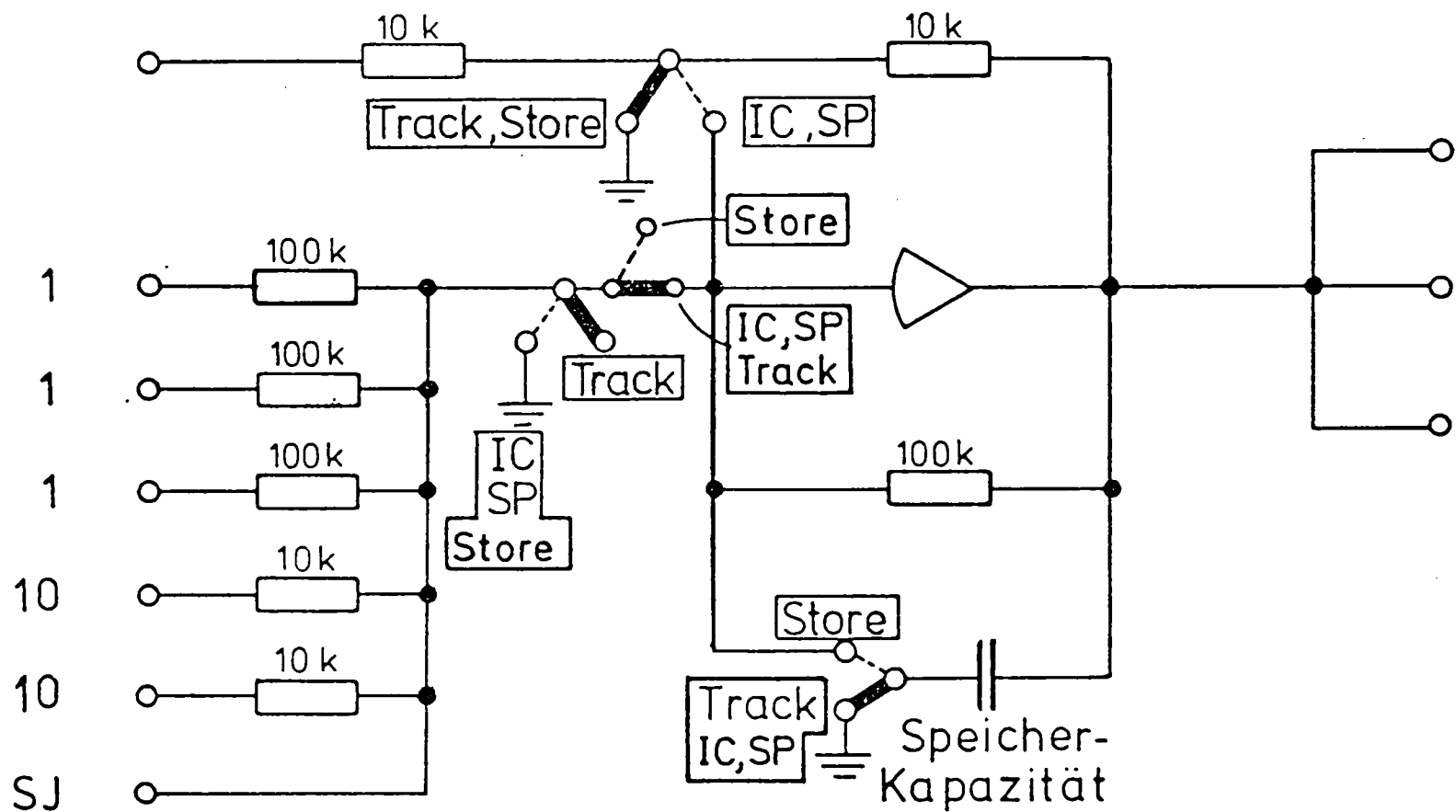


Bild 10 Interne Beschaltung einer Track-Store-Einheit (gezeichnete Betriebsart: Track)

Die Steuerung der drei Betriebsarten IC, Track (T) und Store (S) der Track-Store-Einheiten erfolgt durch die Beschaltung der Steuereingänge T und IC nach folgender Wahrheitstabelle:

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
4. Funktionsweise (Fortsetzung)	

Steuereingänge beschaltet mit		Resultierende Betriebsart
IC	T	
1	0	IC
1	1	IC
0	1	T
0	0	S

Bild 11 Wahrheitstabelle für die Beschaltung der Steuereingänge einer Track-Store-Einheit

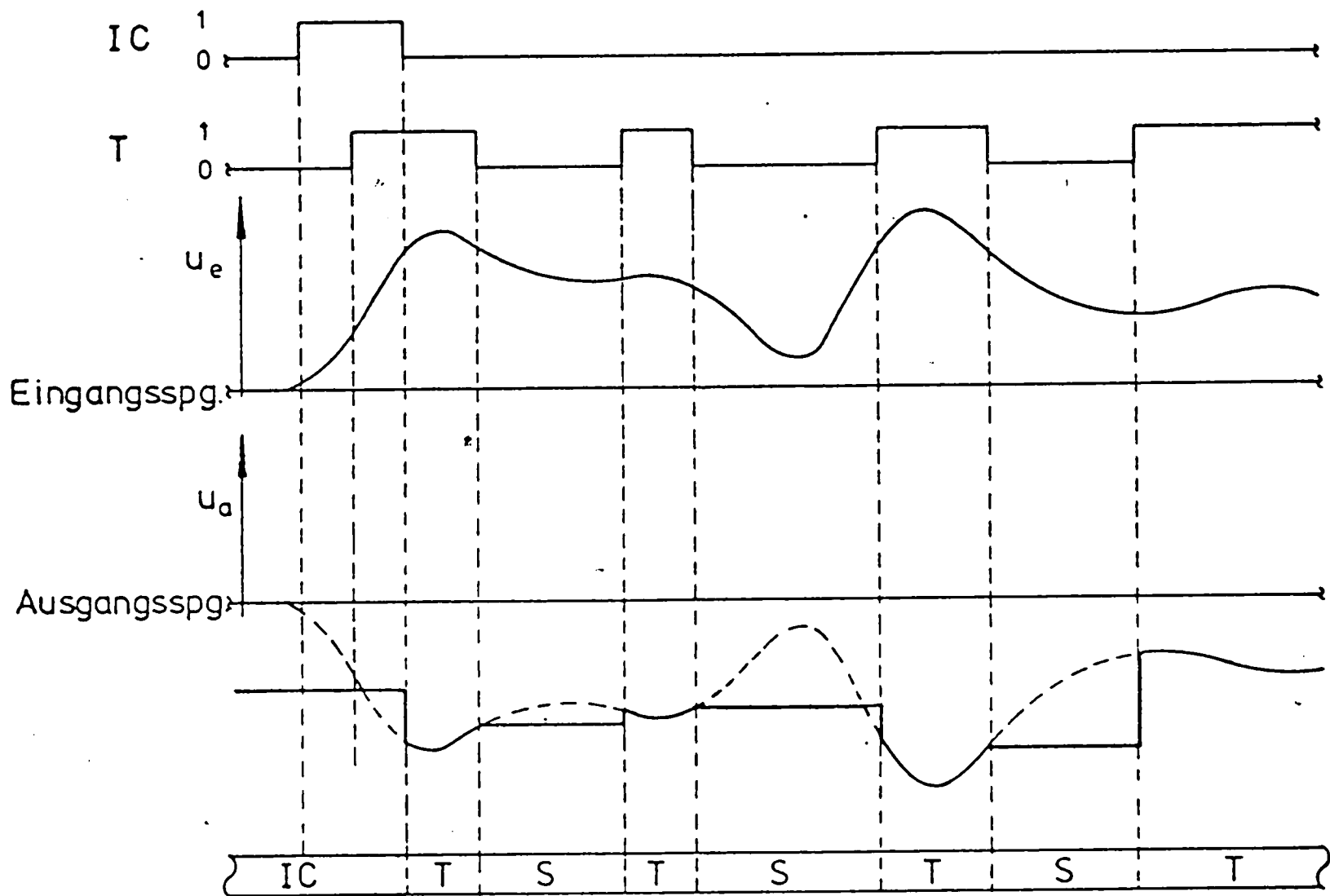


Bild 12 Typische Track-Store-Operation

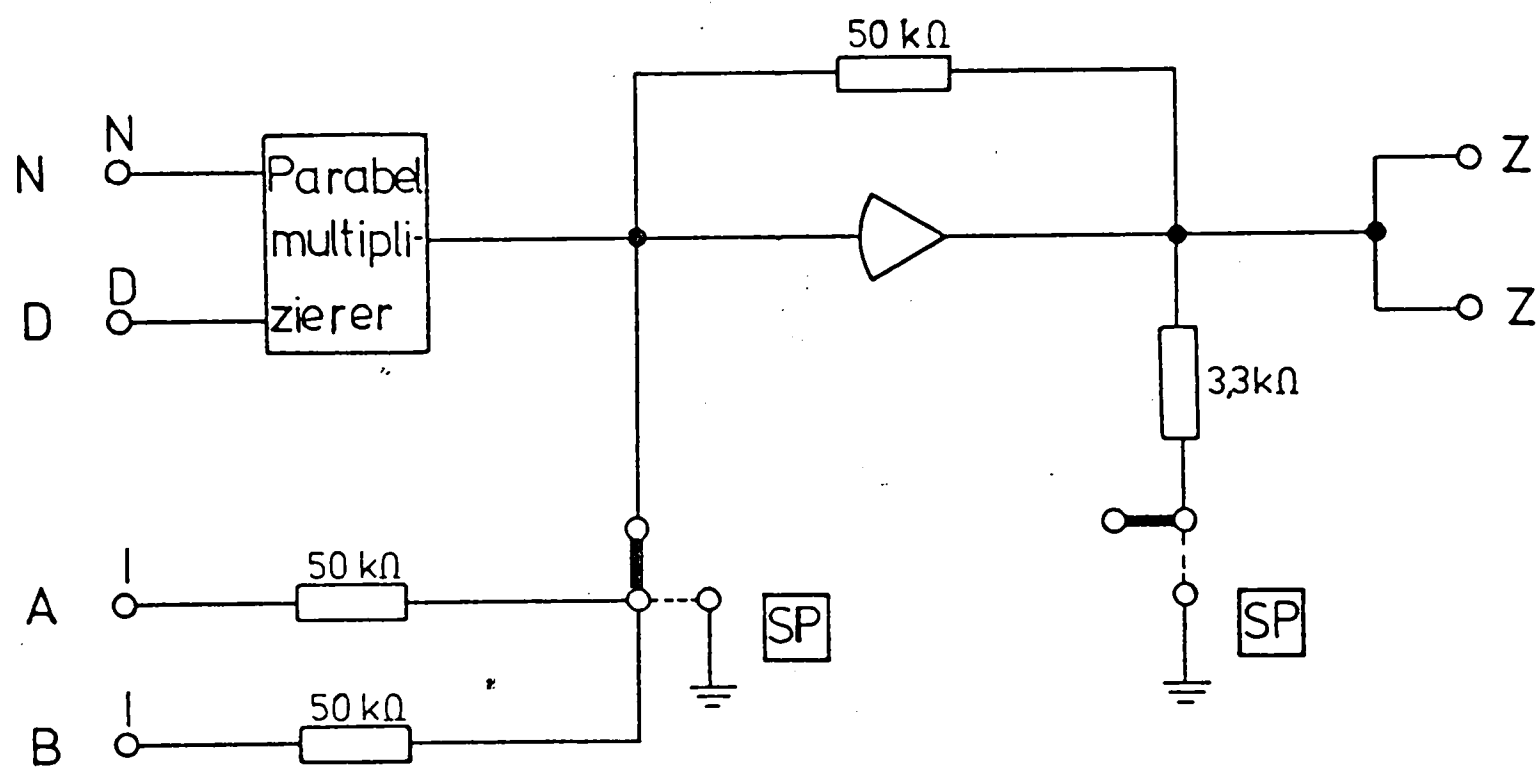
Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
4. Funktionsweise (Fortsetzung)	

#### 4.5 Die Multiplizierer

Die 3 Multiplizierer haben jeweils 4 Eingänge und 2 Ausgänge und sind durch Umschaltung auf der Steckkarte auch als Dividierer verwendbar.

Der Kern dieser Einheit ist ein bipolarer Parabelmultiplizierer, der seinerseits aus vier Summierschaltungen und zwei quadrierenden Diodenfunktionsgeneratoren besteht.

Die interne Verschaltung beim Betrieb als Multiplizierer und als Dividierer zeigen die Bilder 13 und 14.

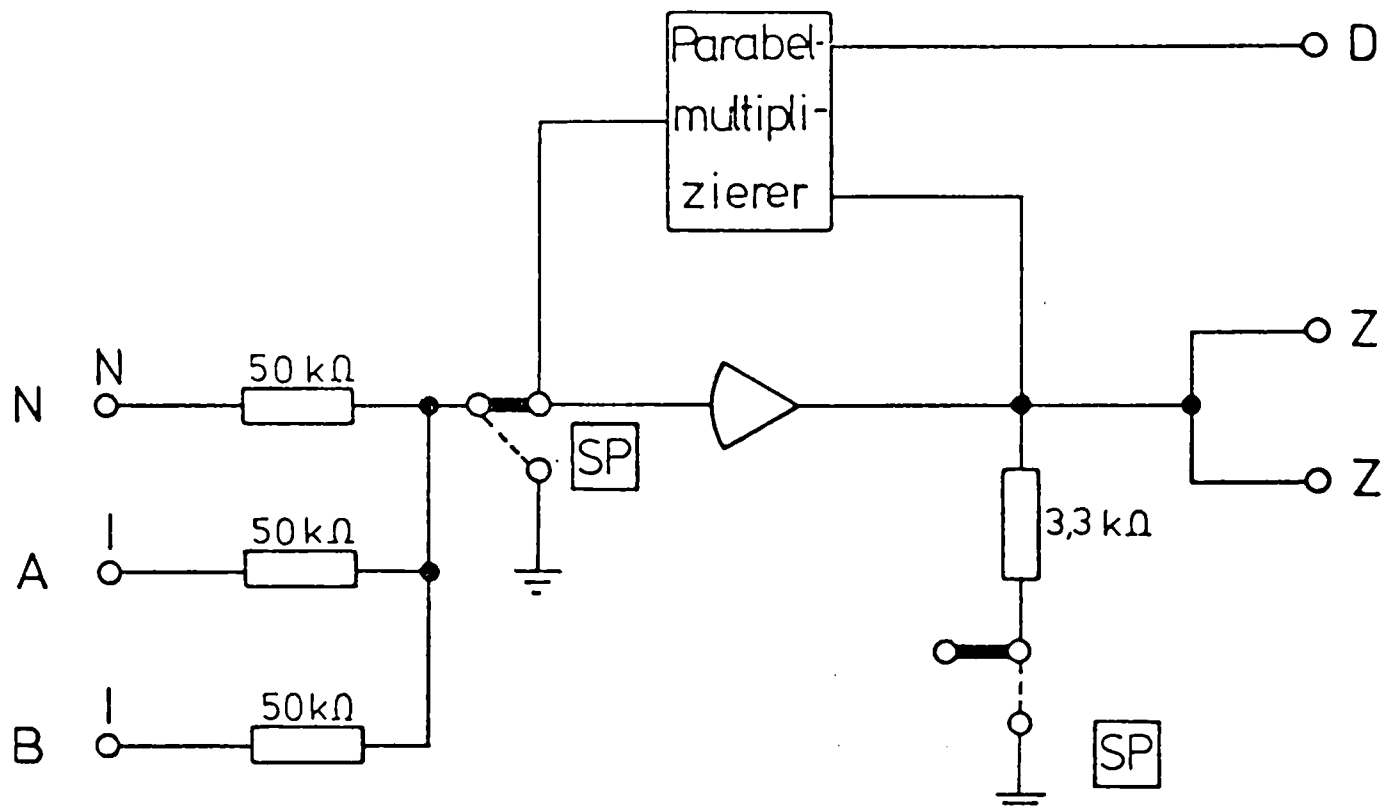


$$Z = -(N \cdot D + A + B)$$

Bild 13 Interner Aufbau der Multiplizierschaltung (gezeichnete Schalterstellung: OP, IC, H)

In Bild 13 dürfen N und D sowohl positiv als auch negativ sein, sie müssen jedoch von einer niederohmigen Quelle stammen (z.B. Verstärkerausgang; nicht von Potentiometer!!)

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
4. Funktionsweise (Fortsetzung)	



$$Z = -\frac{N+A+B}{D}$$

Bild 14 Interner Aufbau der Divisionsschaltung (gezeichnete Schalterstellung: OP, IC, H)

Bei der Division muß die den Nenner darstellende Größe (Denominator) ebenso wie bei der Multiplizierschaltung von einer niederohmigen Quelle stammen.

Wichtig: Damit die Ausgangsgröße Z stabil ist, muß  $D > 0$  erfüllt sein. Außerdem muß zur Vermeidung von Übersteuerungen stets  $|N| \leq D$  sein!

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
4. Funktionsweise (Fortsetzung)	

### 4.6 Die Funktionsgeneratoren

Die beiden Funktionsgeneratoren können sowohl getrennt als auch gekoppelt betrieben werden.

Im ersten Fall kann jeder der beiden FG eine beliebige Funktion durch maximal 10 aneinandergesetzte Geradenstücke annähern, im zweiten Fall kann eine Funktion durch maximal 20 Geradenstücke approximiert werden. Dabei ist die Wahl der Stützstellen im Quadrat

$$x \in [-1ME, +1ME], y \in [-1ME, +1ME] \text{ für } \left| \frac{dy}{dx} \right| \leq 30$$

beliebig.

Den prinzipiellen Aufbau eines Funktionsgenerators zeigt Bild 15.

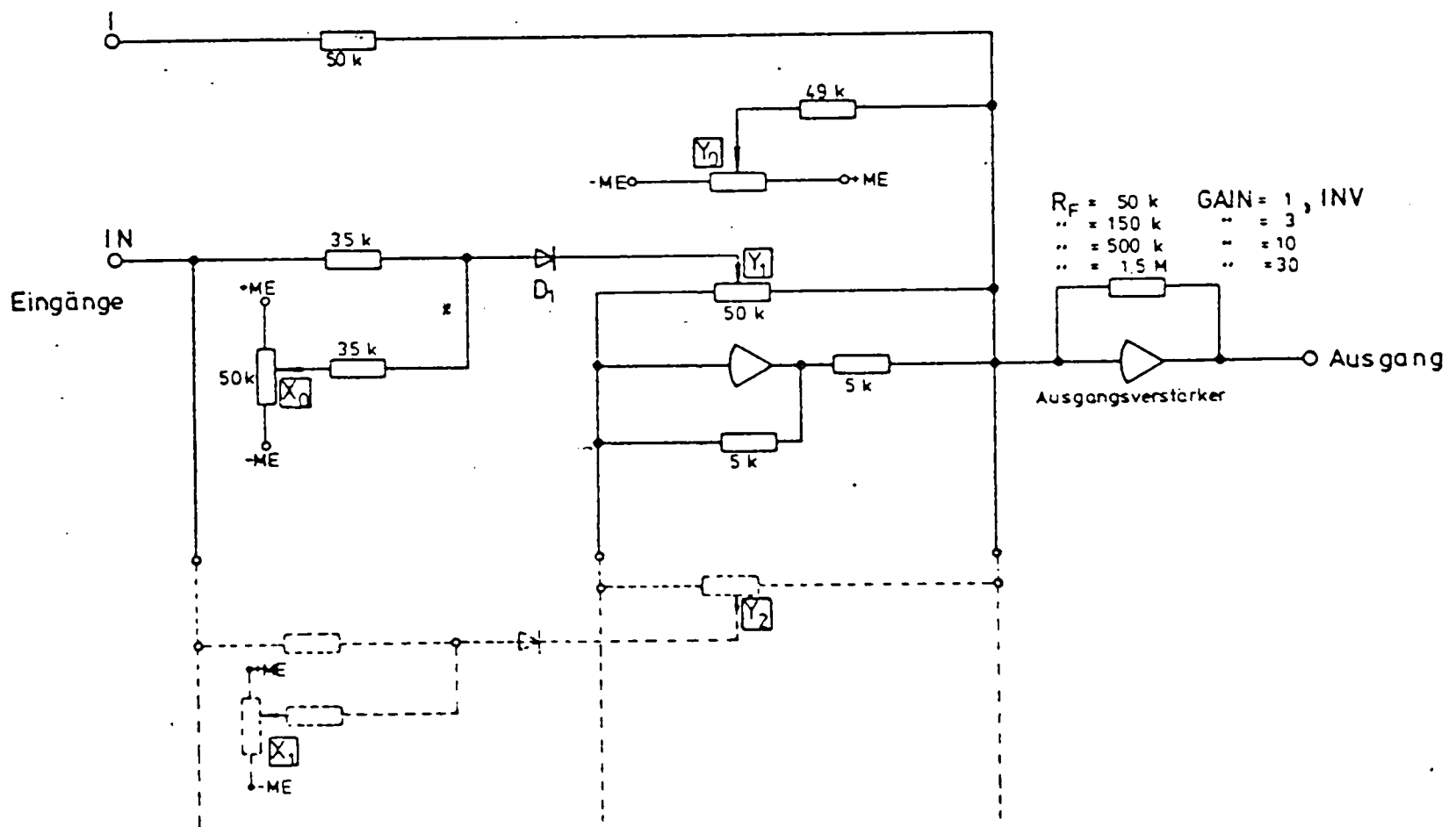


Bild 15 Prinzipieller Aufbau eines Funktionsgenerators



Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
4. Funktionsweise (Fortsetzung)	

Die Funktionsweise sei im folgenden kurz erläutert. Wird die bei 'IN' eingespeiste Eingangsgröße größer als  $X_0$ , so leitet die Diode  $D_1$  und  $Y_1$  bestimmt den Strom, der am Eingangssummenpunkt des Ausgangsverstärkers zu dem durch  $Y_0$  bestimmten Strom addiert wird, und damit den Anstieg des ersten Geradensegments. Der analoge Vorgang erfolgt, wenn die Eingangsgröße größer als  $X_1$  wird. Mit dem Schalter 'GAIN' wird dem Ausgangsverstärker ein bestimmter Rückkopplungswiderstand aufgeschaltet und damit die im Gesamtbereich maximal einstellbare Steigung festgelegt.

Durch Einstellen des MODE-Schalters auf 'INV' wirken die Ausgangsverstärker der beiden Funktionsgeneratoren als reine Inverter mit den durch 'I' bezeichneten Eingängen.

Bei Einstellen dieses Schalters auf '20 PT' (20 Points) sind am Funktionsgenerator 36 20 Knickpunkte einstellbar, das Element 37 wirkt als reiner Inverter mit dem durch 'I' gekennzeichneten Eingang. Der Startpunkt der generierten Funktion muß ihr am weitesten links liegender Punkt sein, außerdem darf die Funktion nicht mehrdeutig sein.

Das Einstellen der Knickpunkte geschieht folgendermaßen:

- 1.) Betriebsart IC wählen
- 2.) Schalter 'MODE' in Stellung '11PT' (11 Points) bzw. '20PT' drehen.
- 3.) Schalter 'SET-OPER' (SET-OPERate) in Stellung 'SET' bringen.
- 4.) Schalter 'GAIN' auf gewünschten maximalen Anstieg einstellen (1, 3, 10 oder 30).
- 5.) Schalter 'POINT' auf '0' stellen.
- 6.) Alle X-Potentiometer (X0-X10) ganz nach rechts drehen.

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
4. Funktionsweise (Fortsetzung)	

- 7.) Mit dem Drehschalter 'SELECTOR-1' den einzustellenden Funktionsgenerator (36 oder 37) anwählen.
- 8.) Anfangswert für X (X0) einstellen gemäß Anzeige des Digitalvoltmeters.
- 9.) Drücken der Taste 'Y-SET' und Einstellen des gewünschten Anfangswertes für Y während des Drückens gemäß Anzeige des DVM. Taste loslassen.
- 10.) Schritte 8.) und 9.) für die anderen Knickpunkte analog durchführen, dabei jeweils vor dem Schritt 8.) Schalter 'POINT' auf entsprechende Zahl stellen.
- 11.) Korrektur der eingestellten Funktion durch Wiederholen der Schritte 8.) bis 10.).
- 12.) Nach dem Einstellen des letzten Knickpunktes Schalter 'POINT' auf 'OFF' stellen, Schalter 'SET-OPER' auf 'OPER' und Kontrolle der eingestellten Funktion mit Oszillograph.

Der Schritt 11 ist erforderlich, weil die verwendeten Dioden keine idealen Elemente sind und beim Einstellen der Knickpunkte gegenseitige Beeinflussungen stattfinden. Wenn sich die eingestellte maximale Steigung als zu gering erweist, muß eine höhere eingestellt werden und der Einstellungsvorgang mit Schritt 5 neu begonnen werden. Beim Einstellen einer Funktion mit 20 Knickpunkten werden folgende Schalter und Potentiometer nicht verwendet:

- a) X10 von FG36,
- b) X0, Y0, Y1 und GAIN von FG37.  
X1 von 37 korrespondiert mit Y10 von 36.

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
5. Funktionsweise	

## 5. Funktionsweise der digitalanalogen Elementtypen

### 5.1 Die Komparatoren

Die Komparatoren liefern komplementäre logische Ausgangssignale als Funktion der Polarität der Summe zweier analoger Eingänge.

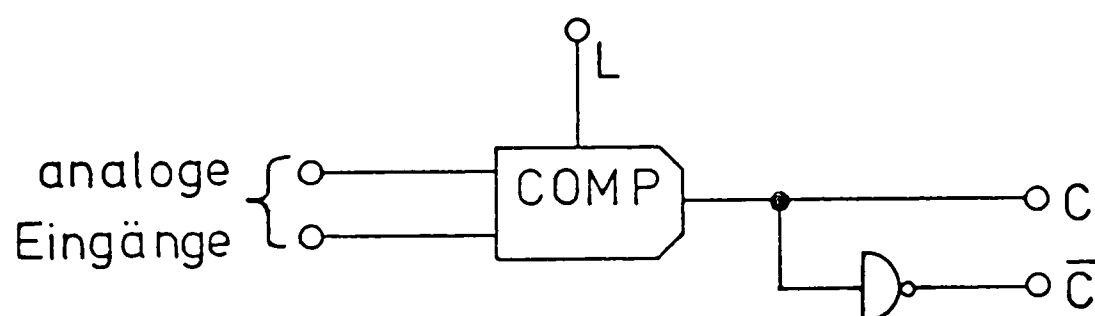


Bild 16 Schaltungssymbol eines Komparators

Für einen Komparator nach Bild 16 gilt folgende Wahrheitstabelle:

Summe der Eingänge	C	$\bar{C}$
positiv	1	0
negativ,	0	1

Bild 17 Wahrheitstabelle für die Beschaltung eines Komparators

Ist der logische Eingang L (latch) mit logisch "1" beschaltet, wird der Komparator in dem im Schaltzeitpunkt vorliegenden Zustand verriegelt.

Durch Drücken des im analogen Steuerfeld liegenden Tasters wird der Übergang in den logisch komplementären Zustand erzwungen.

Die Lampe in diesem Taster leuchtet, wenn  $C = 1$  ist.

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
5. Funktionsweise (Fortsetzung)	

### 5.2 Die D/A-Schalter

Ein D/A-Schalter schaltet einen analogen Eingang in Abhängigkeit von einem logischen Signal ab oder auf. Mit einer logischen "1" wird der analoge Eingang zum Ausgang durchgeschaltet.

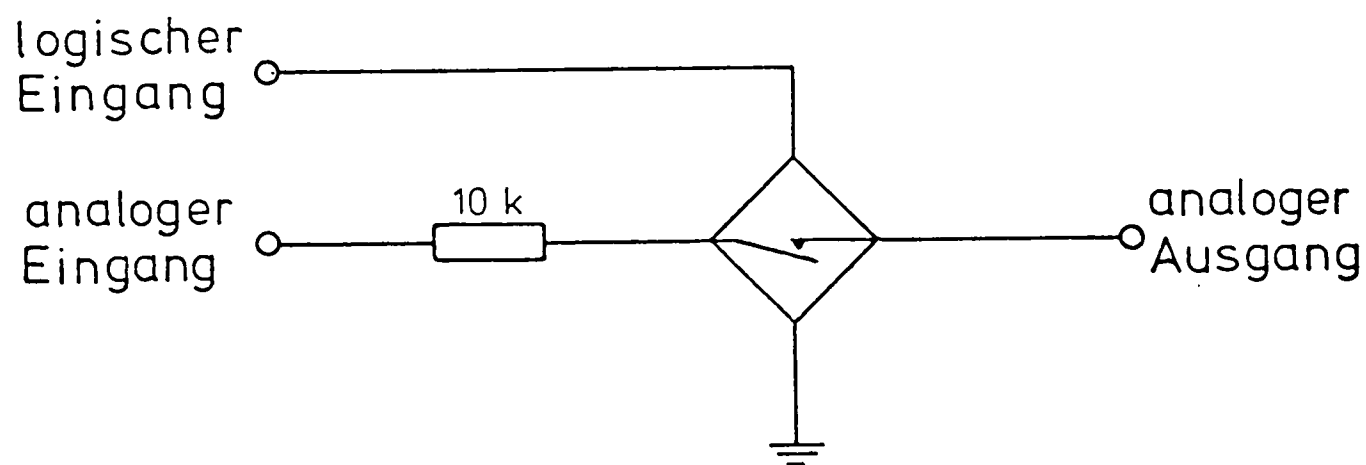


Bild 18 Prinzipschaltbild eines D/A-Schalters

Mit den D/A-Schaltern können auf die herausgeführten Eingangssummenpunkte der Integrierer und Summierer zusätzlich analoge Größen geschaltet werden (Verbindung SJ - SJ bzw. SJ - OJ).

Wichtig: Wird der Summenpunkt eines Summierers oder einer Track-Store-Einheit beschaltet, hat der zusätzliche analoge Eingang die Wichtung 10 ( $R = 100 \text{ k}\Omega$ ), bei einem Integrierer jedoch die Wichtung 100 ( $R_{i,1} = 1 \text{ M}\Omega$ )!

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
6. Funktionsweise	

## 6. Funktionsweise der digitalen Elementtypen

### 6.1 Der digitale Steuerteil

Wichtig: Bei den digitalen Signalen (logische Ein- und Ausgänge) entspricht ein Signal logisch "1" einem TTL-Spannungspegel von 5 V und ein Signal logisch "0" einem solchen von 0 V ! Diese Pegel sind streng zu unterscheiden von den analogen Pegeln  $\pm 1ME$  ( $\hat{=} \pm 10 V$ ) und 0 ( $\hat{=} 0V$ ).

Eine Beschaltung der digitalen Eingänge mit analogen Größen kann zu falschen Rechenergebnissen führen!

Mit Hilfe des digitalen Steuerteils ist es möglich, direkt in den laufenden Rechengang einzugreifen, sei es ihn zu kontrollieren und gegebenenfalls zu stoppen oder wenn nötig, Einfluß auf einzelne Rechenelemente zu nehmen. Der digitale Steuerteil setzt sich zusammen aus 10 UND-Gattern, 4 J-K-Flip-Flops (FFn), 2 Tast-Flip-Flops (Push-Button), einem CounteR (CTR/TMR), einem monostabilen Multivibrator und einem Frequenzumsetzer sowie einer Tastatur für die Wahl der logischen Betriebsarten.

Zur Synchronisation aller Bauelemente des Digitalteiles sowie der zeitrichtigen Verknüpfung der digitalen Elemente mit den analogen Elementen dient ein im Mini-AC vorhandener quarzstabilisierter Taktgenerator mit einer Frequenz von 1 MHz.

Die Tastatur des digitalen Steuerteils sowie die Lampenanzeige der einzelnen Gatter befindet sich im logischen Kontrollfeld, Ein- und Ausgänge auf dem patchboard.

### 6.2 Die Betriebsarten des digitalen Steuerteils

Die drei Betriebsarten RUN, STOP/STEP und CLEAR werden mit den entsprechenden Tastern auf der Frontplatte eingeschaltet.



Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
6. Funktionsweise (Fortsetzung)	

### 6.2.1 RUN

In der Betriebsart RUN liegt an allen Takteingängen der logischen Elemente des Rechners der interne Maschinentakt (1 MHz). Die Synchronisation mit diesem Takt gleicht die verschiedenen Verzögerungen aus, die als Laufzeiten der digitalen Elemente auftreten. In der Betriebsart RUN ist der Taster RUN erleuchtet.

### 6.2.2 STOP/STEP (STP)

Durch Betätigen des Tasters STP in der Betriebsart RUN wird der Maschinentakt von den Takteingängen abgeschaltet (STOP). Mit jedem Drücken des Tasters wird jeweils ein Taktpuls auf die Takteingänge durchgeschaltet (STEP). Damit besteht die Möglichkeit, eine digitale Schaltung von Hand zu takten, um einen Test durchführen zu können.

### 6.2.3 CLEAR (CLR)

Mit der Betätigung des Tasters CLR werden alle Flipflops zurückgesetzt sowie der CTR/TMR auf Null gesetzt. Durch Drücken des Tasters RUN oder STP wird in die dazugehörige Betriebsart geschaltet.

## 6.3 Der Taktuntersetzer (PULSES)

Der Taktuntersetzer ist ein wichtiger Teil des logischen Taktsystems, denn er erhöht die Programmflexibilität durch zusätzlich zum Maschinentakt zur Verfügung stehende Frequenzen, und zwar  $10^5$ ,  $10^4$ ,  $10^3$  und  $10^2$  Hz. Die Ausgänge des Taktuntersetzers, bezeichnet mit PULSES, befinden sich auf dem patchboard im Logikfeld. Links daneben liegt der C-(Clear) Eingang des Taktuntersetzers. Er arbeitet dann, wenn C mit einem Signal

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
6. Funktionsweise (Fortsetzung)	

logisch "0" beschaltet und der Taster RUN gedrückt worden ist. Die FF's der Untersetzerschaltung werden zurückgesetzt entweder durch Drücken der Taste CLEAR oder durch Anlegen einer logischen "1" an den Eingang C (unbeschalteter Zustand).

Ausgang	Frequenz	Perioden- dauer	Puls- dauer
$10^2$	100 Hz	10 ms	1 $\mu$ s
$10^3$	1 kHz	1 ms	1 $\mu$ s
$10^4$	10 kHz	0,1 ms	1 $\mu$ s
$10^5$	100 kHz	10 $\mu$ s	1 $\mu$ s

Bild 19 Frequenz- und Periodendauer der Ausgänge des Taktuntersetzers

#### 6.4 Der Counter/Timer (CTR/TMR)

Mit Hilfe der Tastatur des CTR/TMR im logischen Kontrollfeld ist es möglich, eine Zahl vorzuwählen, die durch Drücken der Taster an den CTR/TMR weitergegeben wird.

Die Wahltastatur des Zählers ist beleuchtet, und es brennt jeweils das Lämpchen der Taste, deren entsprechendes FF gerade gesetzt wird. Der augenblickliche Zählerstand ist aus der Addition der Werte der beleuchteten Tasten zu ersehen.

Solange der CTR/TMR zählt, liegt am Zählerausgang (TRUE) eine logische "1", am negierten Ausgang (FALSE) entsprechend eine logische "0". Außer diesen beiden Ausgängen hat der Zähler auf dem patchboard drei Eingänge, bezeichnet mit CI (Carry In), S (Set) und C (Clear). Am CI-Eingang liegt das zu zählende

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
6. Funktionsweise (Fortsetzung)	

Signal. An den beiden anderen Eingängen liegt zunächst eine logische "0" (unbeschalteter Zustand). Durch ein kurzes Signal am Eingang S, dessen Dauer wenigstens  $1 \mu\text{s}$  betragen muß, wird der Zähler in Bereitschaft gesetzt und beginnt zu zählen, sobald an CI ein Signal anliegt und mindestens einer der 7 Raster gedrückt ist. Dabei ist zu beachten, daß vorher durch Drücken des Rasters RUN der interne Takt angeschaltet sein muß. Durch die unterschiedlichen Beschaltungen der Eingänge S und C ergeben sich verschiedene Anwendungsmöglichkeiten. Der CTR/TMR kann ein Programm des Analogrechners zu einem bestimmten Zeitpunkt stoppen, oder aber es in bestimmten Intervallen repetierend wiederholen lassen. Er ist ebenfalls in der Lage, kurze Signale auszusenden, um ein laufendes Programm zu steuern oder zu kontrollieren.

#### 6.4.1 Der CTR/TMR als Zähler

An den Eingängen S und C liegt jeweils eine logische "0" ( $S = 0, C = 0$ ). Das zu zählende Signal wird auf den CI-Eingang gegeben (z.B. nulldurchgänge einer Funktion, die durch einen Komparator in ein logisches Signal verwandelt werden). Unter der Voraussetzung, daß am Eingang S ein kurzer Impuls angelegt worden ist, zählt der Zähler solange, bis der Rechenablauf stoppt. Durch Addition der Werte der beleuchteten Raster erhält man die Anzahl der aufgetretenen Ereignisse. Der Zählvorgang kann auch vor Ende des Rechenablaufes gestoppt werden, wenn an den Eingang C eine logische "1" angelegt wird ( $S = 0, C = 1$ ). Dieses Signal bewirkt ein Zurücksetzen aller Flipflops. Hierbei werden die Ausgänge umgeschaltet:

TRUE  $\longrightarrow$  "0", FALSE  $\longrightarrow$  "1" .

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
6. Funktionsweise (Fortsetzung)	

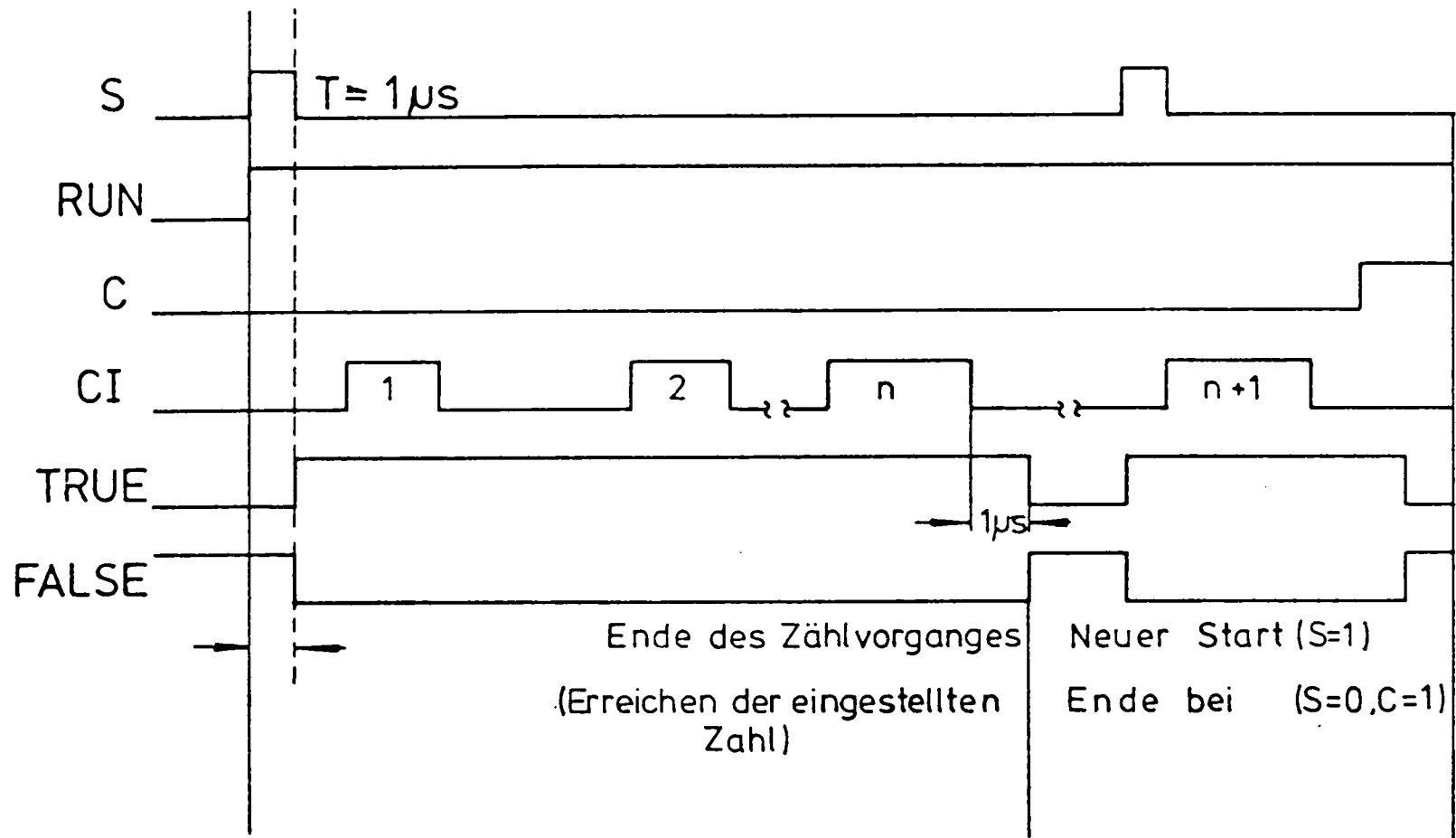


Bild 20 Impulsdiagramm des CTR/TMR als Zähler

Wichtig: Als Eingangssignale können die Ausgänge aller logischen Bauelemente sowie die Ausgänge der Komparatoren verwendet werden. Das Signal S kann jede beliebige Länge haben, jedoch nicht kleiner als  $1 \mu s$ , und muß beim Betrieb als Zähler entweder vor Erreichen der eingestellten Zahl oder vor Ende des Rechenablaufes zurückgesetzt worden sein.

#### 6.4.2 Der CTR/TMR als repetierender Zähler

Am Eingang S liegt jetzt eine logische "1", an C eine logische "0" ( $S = 1, C = 0$ ), an CI das zu zählende Ereignis. Der Zähler zählt nun bis zu einer vorgegebenen Zahl. Danach wird der Zählerausgang umgeschaltet: FALSE  $\rightarrow$  log. "1",  
TRUE  $\rightarrow$  log. "0".

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
6. Funktionsweise (Fortsetzung)	

Zugleich werden mit der Rückflanke des nächsten Maschinentaktes die Flipflops des Binärzählers zurückgesetzt.

Der Zähler beginnt nun von neuem hochzuzählen. Mit derselben Taktrückflanke, die den neuen Zählvorgang bewirkt, wird auch der Zählerausgang wieder in den alten Zustand geschaltet: FALSE  $\rightarrow$  log. "0", TRUE  $\rightarrow$  log. "1". (Der Zustand TRUE = log."0" besteht also nur für die Dauer eines Taktimpulses ( $1 \mu\text{s}$ )).

Wird nun gleichzeitig mit S auch C beschaltet, so erzwingt ein kurzer Impuls an C, daß der Zählvorgang sofort gestoppt wird. Dasselbe geschieht durch Drücken des Tasters CLEAR.

Liegt an S und C dauernd eine log. "1" ( $S = 1, C = 1$ ), liegt ein undefinierter Zustand vor.

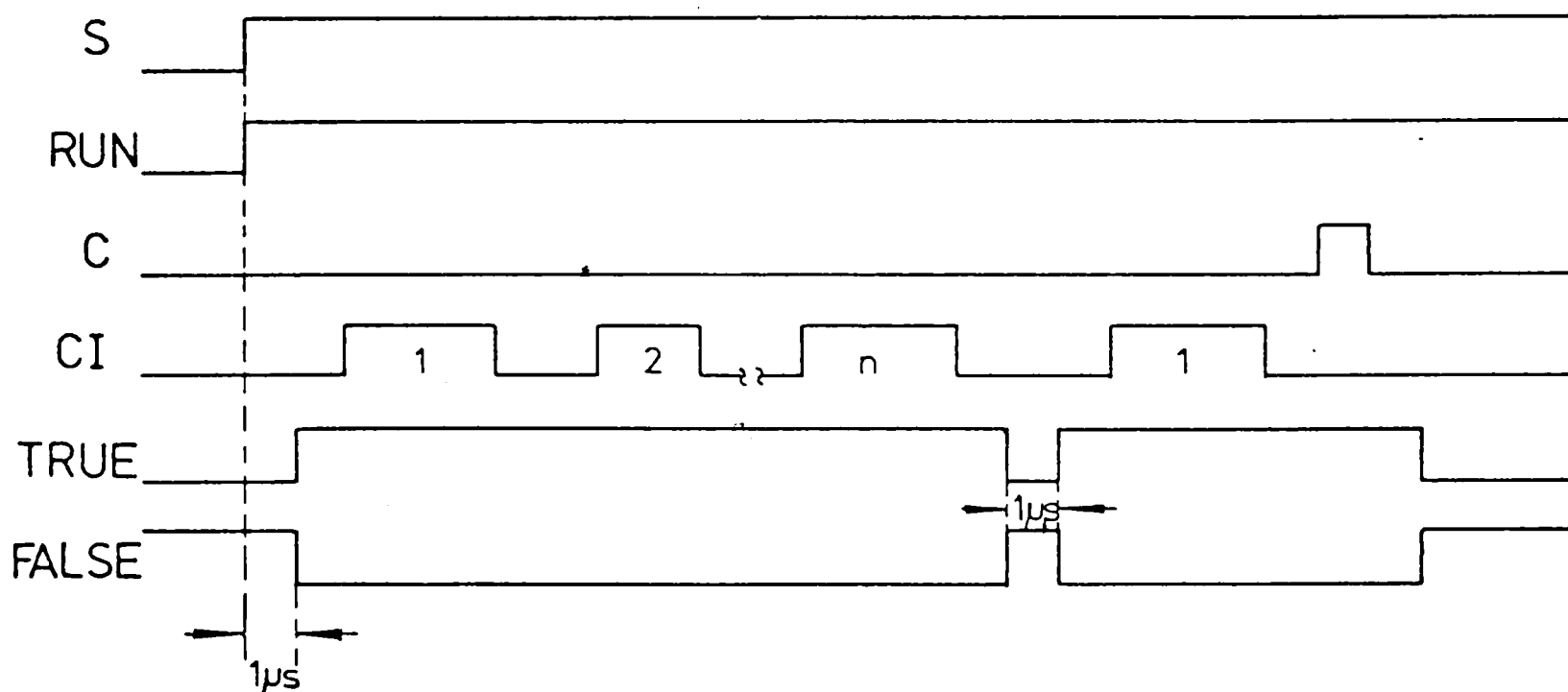


Bild 21 Impulsdiagramm des CTR/TMR als repetierender Zähler  
( $n \hat{=}$  eingestellte Zahl)



Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
6. Funktionsweise (Fortsetzung)	

### 6.4.3 Der CTR/TMR als ONE-SHOT

Manche Probleme erfordern ein Eingangs- oder Kontrollsignal von bestimmter Dauer. Auch diese lassen sich mit dem CTR/TMR erzeugen. Gibt man eine der vier Frequenzen des Taktuntersetzers auf den Eingang CI, so erhöht man nach Start des Zählvorganges (kurzer Impuls auf Setz-Eingang S) und Vorgabe einer bestimmten Zahl n zu zählender Impulse ein Signal von definierter Länge.

Benötigt man z.B. ein Signal der Dauer 1 s, so gibt man den Takt mit der Frequenz  $10^2$  Hz auf den CI-Eingang. Läßt man den Zähler bis 100 zählen und berücksichtigt, daß für die Periodendauer der anliegenden Pulse gilt:  $T = \frac{1}{f} = 0,01$  s, so dauert der Zählvorgang  $100 \cdot 0,01$  s = 1 s. Für diese Zeit hat der Ausgang TRUE eine logische "1".

CI	n	ONE-SHOT-Zeit
$10^2$ (T = 0,01 s)	100	1 s
	10	0,1 s
$10^3$ (T = 1 ms)	100	0,1 s
	10	10 ms
$10^4$ (T = 100 $\mu$ s)	100	10 ms
	10	1 ms
$10^5$ (T = 10 $\mu$ s)	100	1 ms
	10	0,1 ms

Bild 22 Beziehung zwischen anliegenden Pulsen und der Dauer des Ausgangssignals

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
6. Funktionsweise (Fortsetzung)	

S	C	Betriebsart des Zählers
0	0	Zähler bleibt zurückgesetzt
1	0	Zähler wird gesetzt und arbeitet repetierend. Liegt an S nur ein kurzer, einmaliger Impuls, zählt der Zähler bis zur vorgewählten Zahl und stoppt.
0	1	Zähler stoppt, falls er vorher aktiviert war, anderenfalls bleibt der Zähler zurückgesetzt
1	1	undefinierter Zustand

Bild 24 Wahrheitstabelle des CTR/TMR

In Bild 24 wird vorausgesetzt, daß am Eingang CI ständig ein Zählimpuls anliegt.

### 6.5 Der monostabile Multivibrator (MONO)

Mit dem Monoflop kann ein Ausgangspuls vorgegebener Dauer erzeugt werden, wenn der Eingang durch eine Rückflanke aktiviert worden ist. Die Zeit, nach der das in Bild 25 gezeichnete Monoflop zurücksetzt, läßt sich durch das externe Potentiometer (25 k $\Omega$ ) sowie durch die extern verschalteten Kondensatoren variieren und damit auch die Impulsbreite des Ausgangssignals. Die Zeit wird bestimmt durch:

$$t_{OUT} = \ln 2 R \cdot C \approx 0,7 R \cdot C$$

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
6. Funktionsweise (Fortsetzung)	

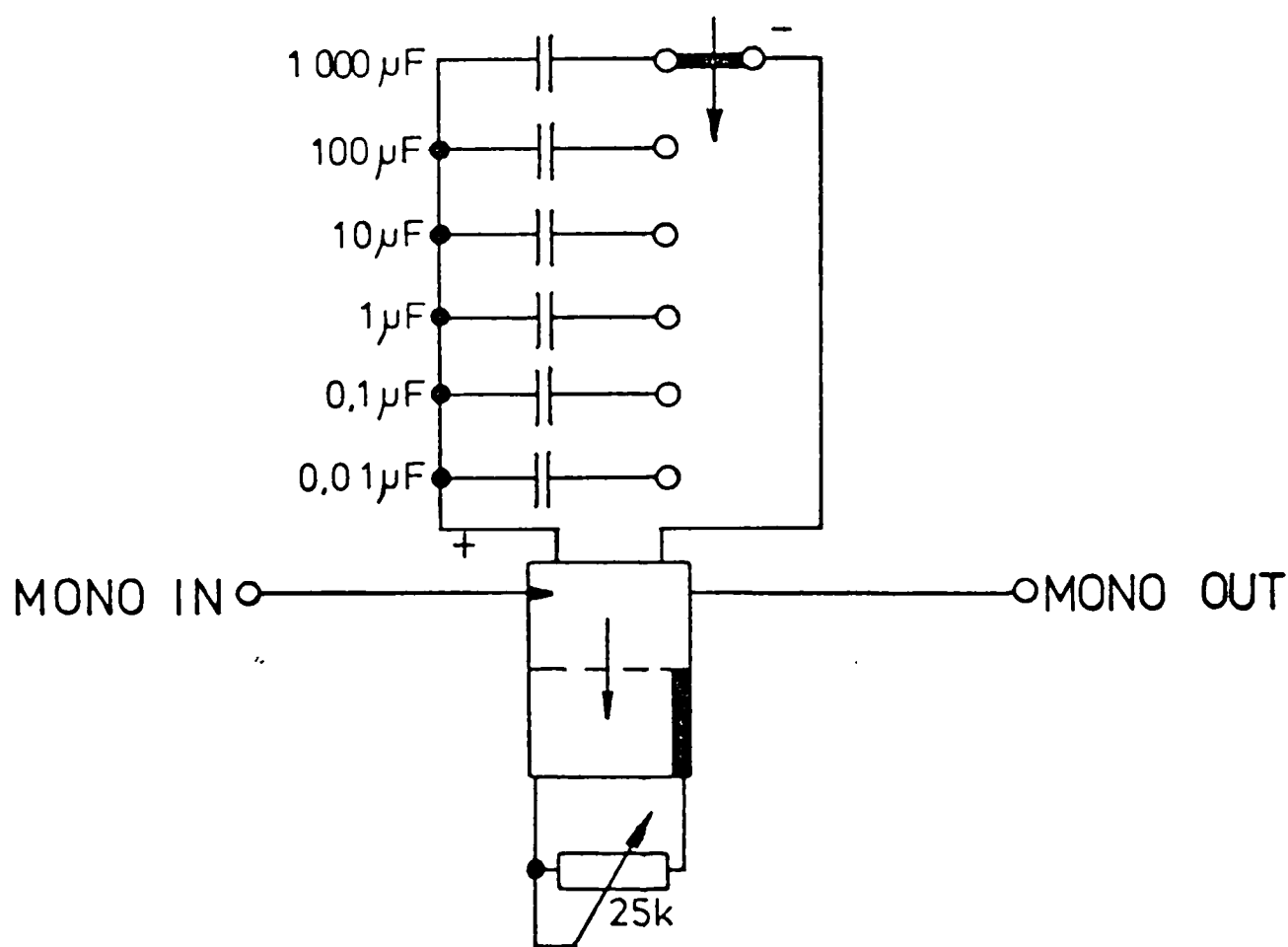


Bild 25 Monostabiler Multivibrator (Texas Instruments SN 74121 N) mit variabler Impulsbreite des Ausgangssignals

Die Wahl der Kondensatoren sowie die Einstellung des Potentiometers erfolgt von außen durch einen kontinuierlichen und einen diskontinuierlichen Drehschalter im logischen Kontrollteil. Ein- und Ausgang befinden sich auf dem patchboard.

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
6. Funktionsweise (Fortsetzung)	

## 6.6 Die Gatter

### 6.6.1 Aufbau und Funktion der UND-Gatter

Der logische Steuerteil des Analogrechners besitzt 10 UND-Gatter. Ihre Ein- und Ausgänge befinden sich ebenfalls auf dem patchboard. Sechs dieser Gatter haben zwei Eingänge, die restlichen Gatter haben vier Eingänge.

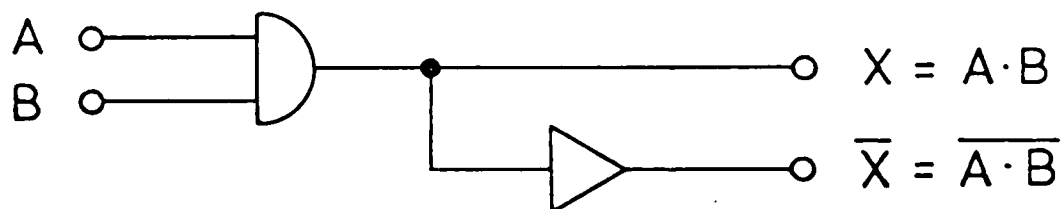


Bild 26 Aufbau der Gatter 1 bis 6

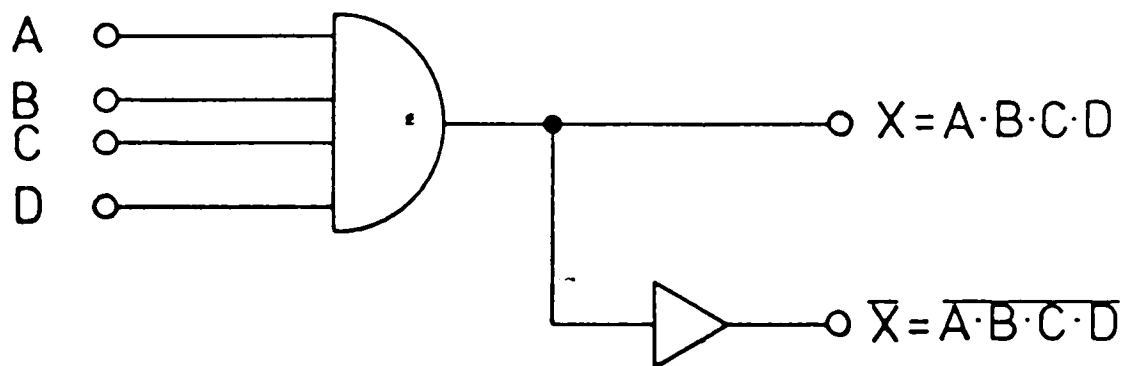


Bild 27 Aufbau der Gatter 7 bis 10

Hat der UND-Ausgang ein Signal logisch "0", leuchtet das entsprechende Lämpchen im logischen Kontrollfeld auf. Die Eingänge der Gatter sind so konzipiert, daß bei Nichtbeschalten ein Signal logisch "1" anliegt.

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
6. Funktionsweise (Fortsetzung)	

### 6.6.2 Anwendung der UND-Gatter

Neben der Anwendung als UND- bzw. NAND-Gatter, wie sie in Bild 26 und in Bild 27 erklärt wird, können die Ausgangspegel der Gatter als logische Signale für Steuereingänge verwendet werden. Weitere Verschaltungsmöglichkeiten:

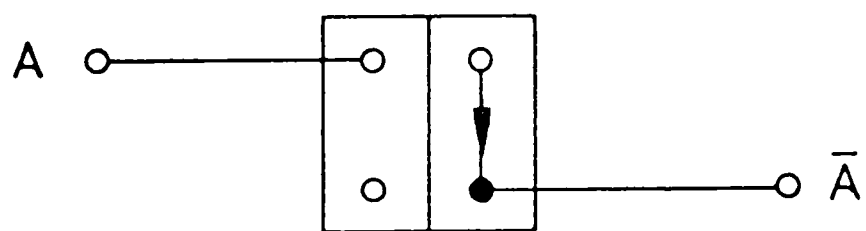


Bild 28 Logischer Inverter

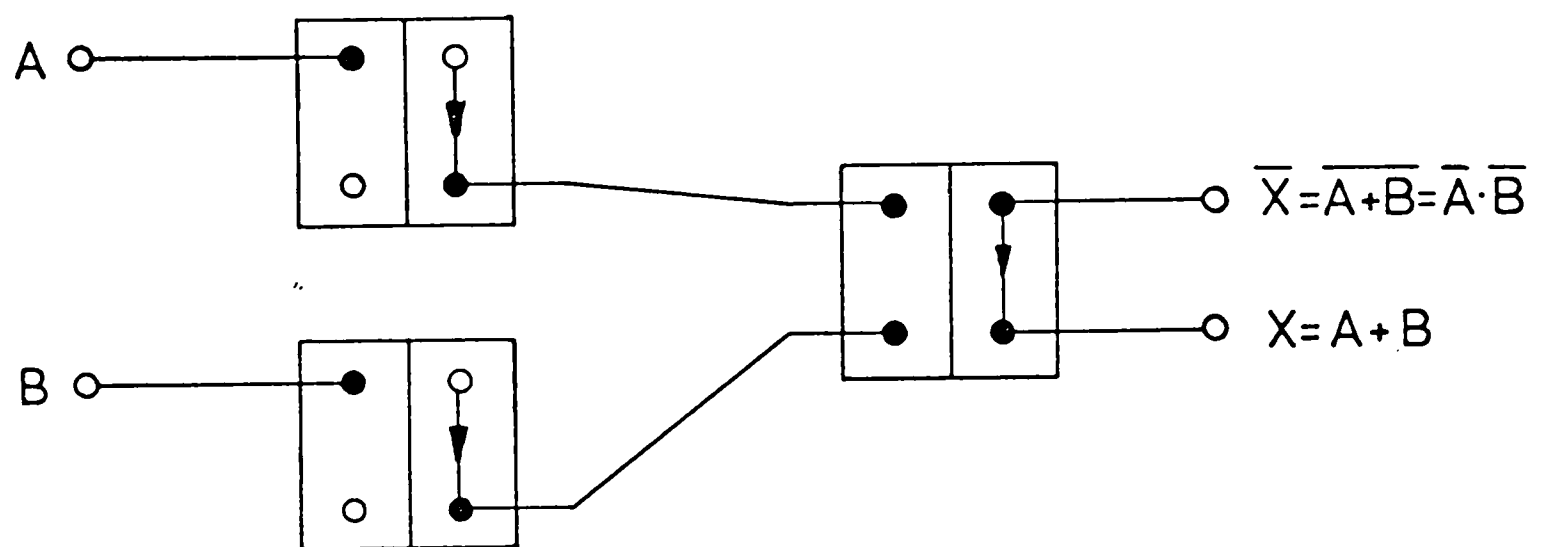


Bild 29 ODER-Schaltung

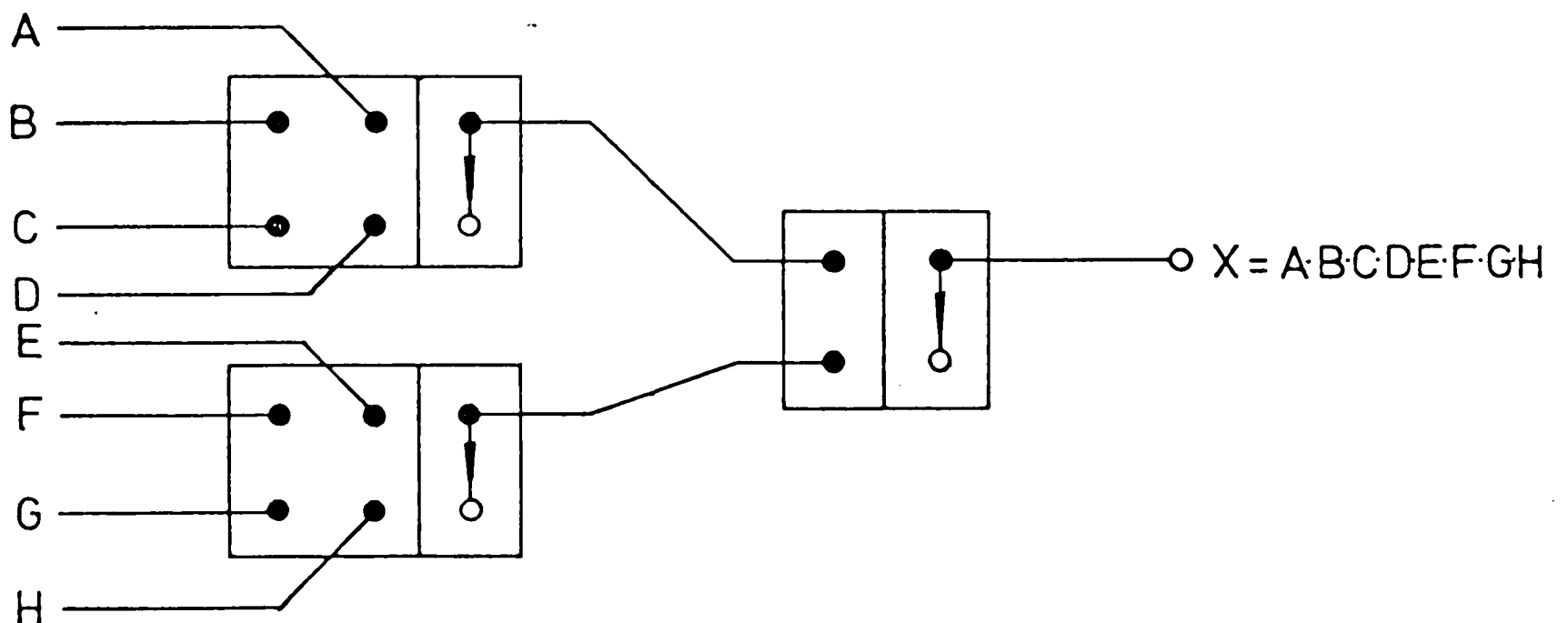


Bild 30 Kaskadenschaltung



Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
6. Funktionsweise (Fortsetzung)	

### 6.7 Tastflipflops (PBFF → Push-Button-Flip-Flop)

Im logischen Kontrollfeld befinden sich zwei Tastergruppen, bezeichnet mit PB1 und PB2. Sie dienen zur Steuerung der beiden vorhandenen Tastflipflops (PBFF). Nach Drücken der Taste S wird mit der Rückflanke des nächsten Maschinentaktes das entsprechend PBFF gesetzt, und die Tastenbeleuchtung brennt. Ein Druck auf die Taste C setzt, wieder mit der nächsten Taktrückflanke, das PBFF zurück, die Beleuchtung der Taste S erlischt. Die Ausgänge der PBFF liegen auf dem patchboard. Ist eines der Flipflops gesetzt, hat sein Ausgang TRUE eine logische "1".

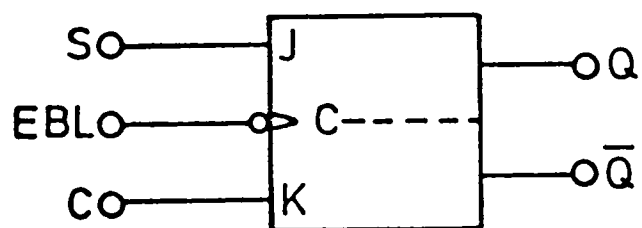
Ein generelles Rücksetzen beider PBFF erfolgt durch Drücken der Taste CLR.

### 6.8 Die J-K-Flipflops (GPFFF → General-Purpose-Flip-Flop)

Der digitale Steuerteil des Mini-AC besitzt vier GPFFF. Ihre Steuertasten, bezeichnet mit FF1, FF2, FF3 u. FF4, befinden sich im logischen Kontrollfeld, ihre Ein- und Ausgänge auf dem patchboard. Die GPFFF können manuell über die Steuertaster bedient werden. Durch Drücken der Leuchttaste S wird das entsprechende GPFFF gesetzt, entsprechend durch Drücken der Leuchttaste C bzw. generell durch CLR zurückgesetzt. Die Signale der Taster wirken auf die statischen Setz- bzw. Rücksetzeingänge der J-K-Flipflops und haben Vorrang vor den Signalen an den dynamischen Eingängen.

Über die Eingänge sind die GPFFF zusätzlich vom patchboard aus steuerbar. Jedes FF hat drei Eingänge S (Set), C (Clear) und FF ENABLE (EBL). Mit der Rückflanke des Signales, das an EBL anliegt, wird das FF getaktet. An den Eingängen liegt im unbeschalteten Zustand ein Pegel von logisch "1" an.

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
6. Funktionsweise (Fortsetzung)	



$$Q^{n+1} = J^n \bar{Q}^n + \bar{K}^n Q^n$$

$J^n$	$K^n$	$Q^n$	$Q^{n+1}$
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

Bild 31 Schaltzeichen (DIN 40700), Zustandstabelle und charakteristische Gleichung des GPFF-JK-Flipflop

Anwendung des GPFF

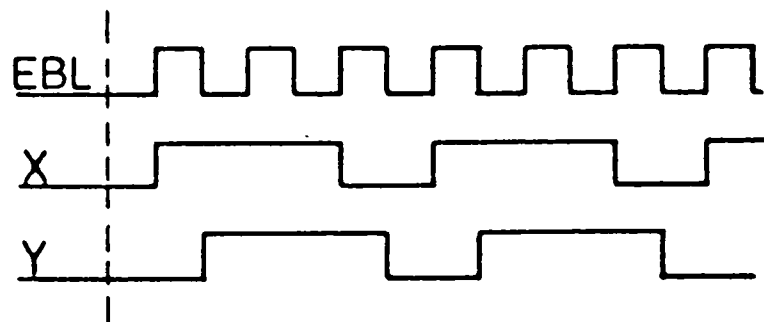
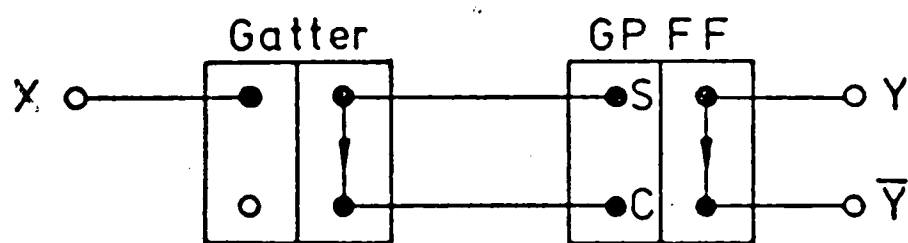


Bild 32 Verzögerung des Signals X um eine Impulsbreite des Taktsignals EBL

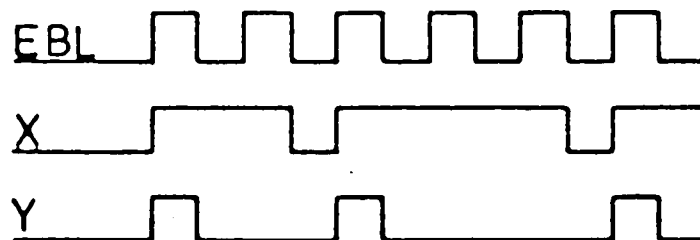
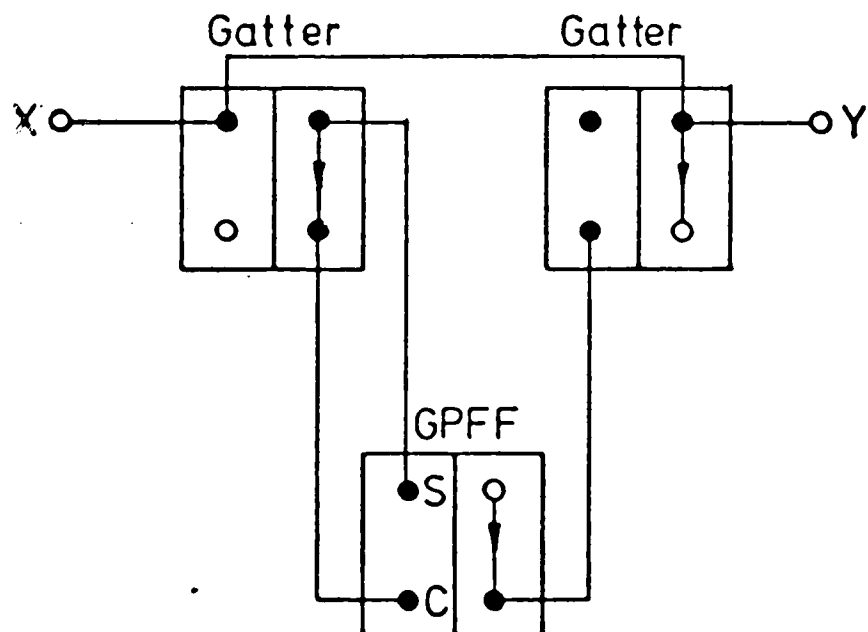
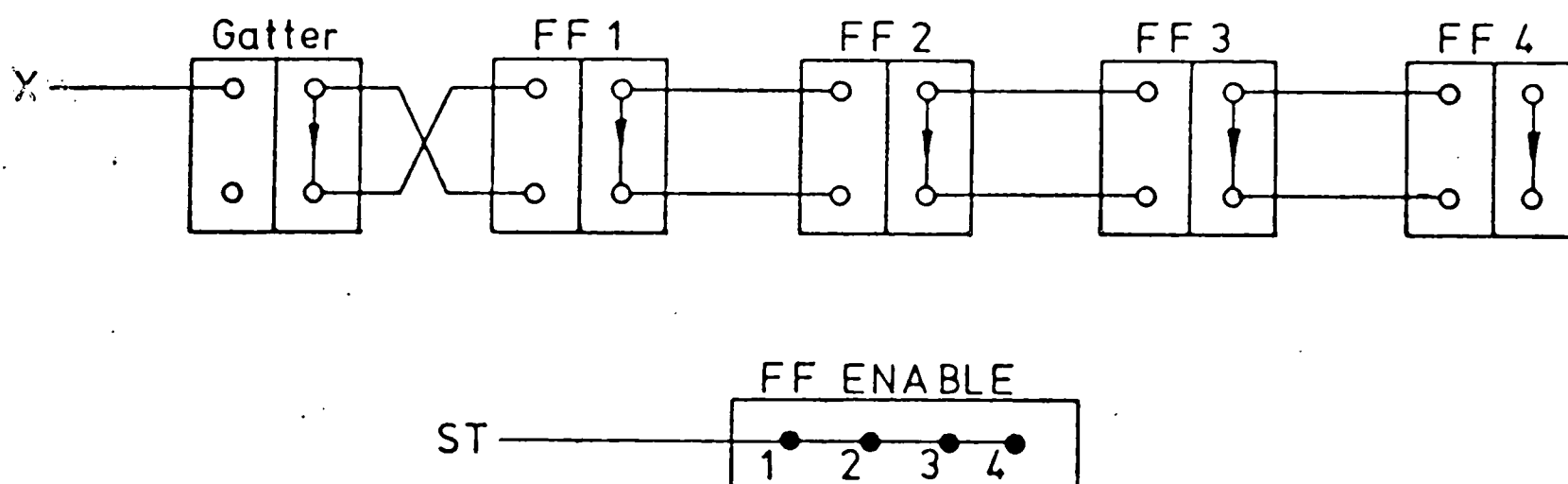


Bild 33 'Differentiations'-Schaltung

Hilfsblätter zum Praktikum Analogrechner	RWTH AACHEN
6. Funktionsweise (Fortsetzung)	



ST  $\hat{=}$  Schiebetakt

X = Information

Bild 34 Verschaltung der GPFF als Schieberegister

Gibt man die Information X, die geschoben werden soll, durch manuelles Setzen des FF1 (Drücken des Tasters S) ein und verbindet die Ausgänge des FF4 mit den Eingängen des FF1, so hat man ein geschlossenes Schieberegister realisiert.