



Digitalrechner auf Relaisbasis

EHR-I

(ElektronenHirnRelaisbasiert Version 1)

Hintergründe

Constanze Czech

- seit 1982 :)
- Halle (Saale)
- Dipl.-Ing. Mechatronik
- Firma Musikelektronik Halle
- 1023 Hobbies...



Hintergründe

Rechenwerk Computer- & Technikmuseum Halle

- Projekt der digital AG Halle
- seit 1995
- seit 2013 mit eigenem Gebäude/
Dauerausstellung
- Bewahrung/ Reparatur/ Erforschung/
Bereitstellung von historischer
Rechen- und Automatisierungs-
technik, vorrangig aus der DDR
- starke Vernetzung/Kooperation mit
anderen Projekten
- ca. 15-20 Mitstreiter, komplett
ehrenamtlich



Was soll das ganze?

- einfachen Rechner bauen!
 - Prozessor mit etwas E/A
 - Befehlsdekoder
 - etwas Speicher (ein paar Register)
 - mit hübscher Bedienkonsole wie echte Großrechner!!!

vorher:

- 2014: 24h-Relaisuhr
- Konkrete Schaltungsentwürfe starteten spontan bei den Chemnitzer Linuxtagen 2019.
- Danach: vier Seiten Tabellen und Schaltungsfragmente
- Der Befehlssatz orientiert sich teilweise am 16-Bit TTL-Rechner robotron R4201.
- bereits beim Entwurf zusätzliche Befehle

Forderungen

- möglichst einfaches System ohne Schnörkel (Relais sind teuer)
- 8 Bit Wortbreite = bekanntes Terrain (mehr Material aber weniger Knoten im Kopf)
- alterstypische Peripherie (Schreibwerk, Lochband, Bedienpanel)
- modular: möglichst eine Funktion pro Leiterkarte
(hübsch, einfache Struktur, gute Debugfähigkeit, systematisch erweiterbar)
- gleichartige Relais, damit es das Autistenhirn erfreut
- bezahlbar!!!

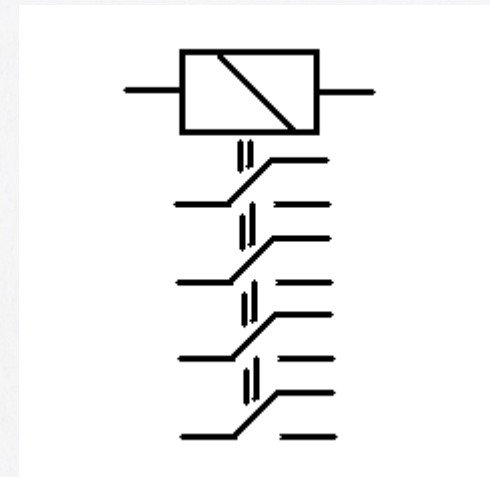
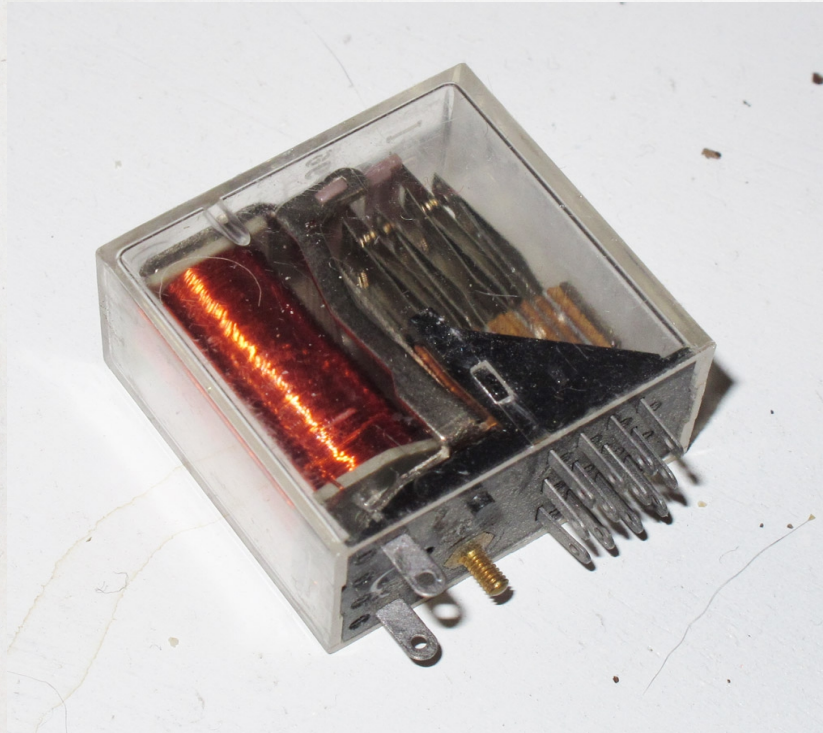
Komponenten

- Jede Funktion ist als Subsystem umgesetzt. (in einfachen Fällen eine Europakarte)
- genutzte Relais: (RGI 30.5.112) (DDR) → passen maximal 12 Stück auf eine Karte.

Subsysteme:

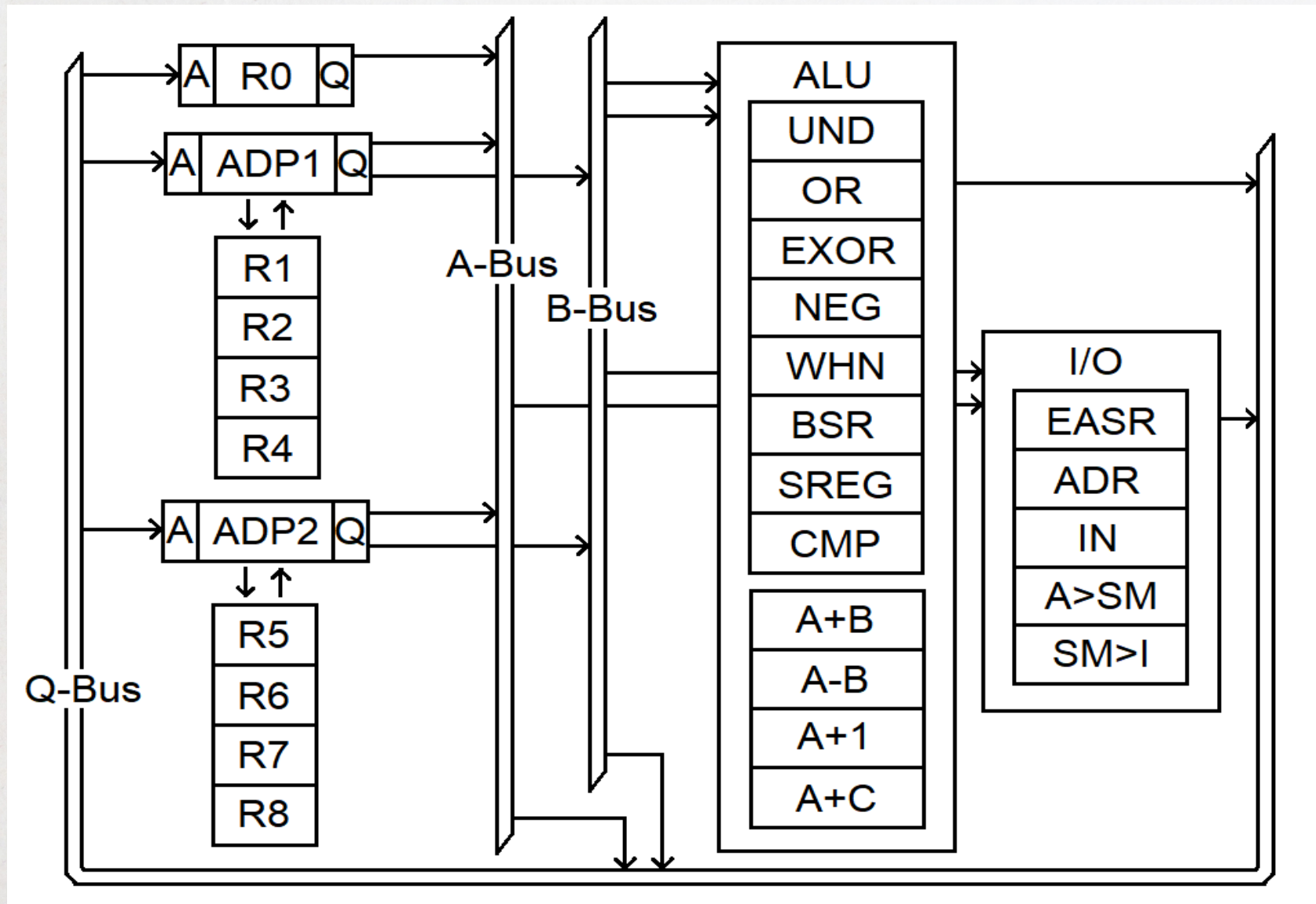
- 8 8-Bit-Universal-Register
- logische Operationen (UND, OR, EXOR, NEG, CMP, Bit-Set, Bit-Reset)
- 8-Bit Addierer Funktionen: $(A+B)$, $(A+1)$, $(A+Carry)$, $(A-B)$
- Schiebefunktionen (KLL, KLR, KAL, KAR, KZL, KZR)
- Sonderregister A (Akku).
- Befehlszähler (vorerst 256 Schritte, ggf später 1024)
- Befehlsdekoder (Mikroprogrammsteuerung)
- Sprungsteuerung
- Datenpfadsteuerung
- Flagregister (N,Z,C, div. Steuerbits)
- einige Register für I/O und Bedienung der Schreibmaschine

Die Basis: Das RGI 30.5.112 Relais



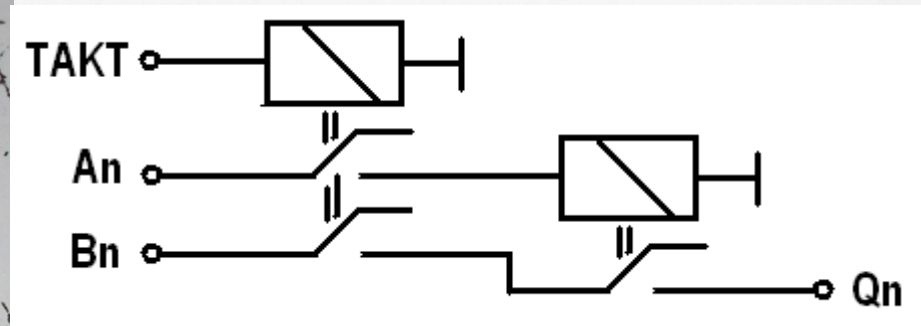
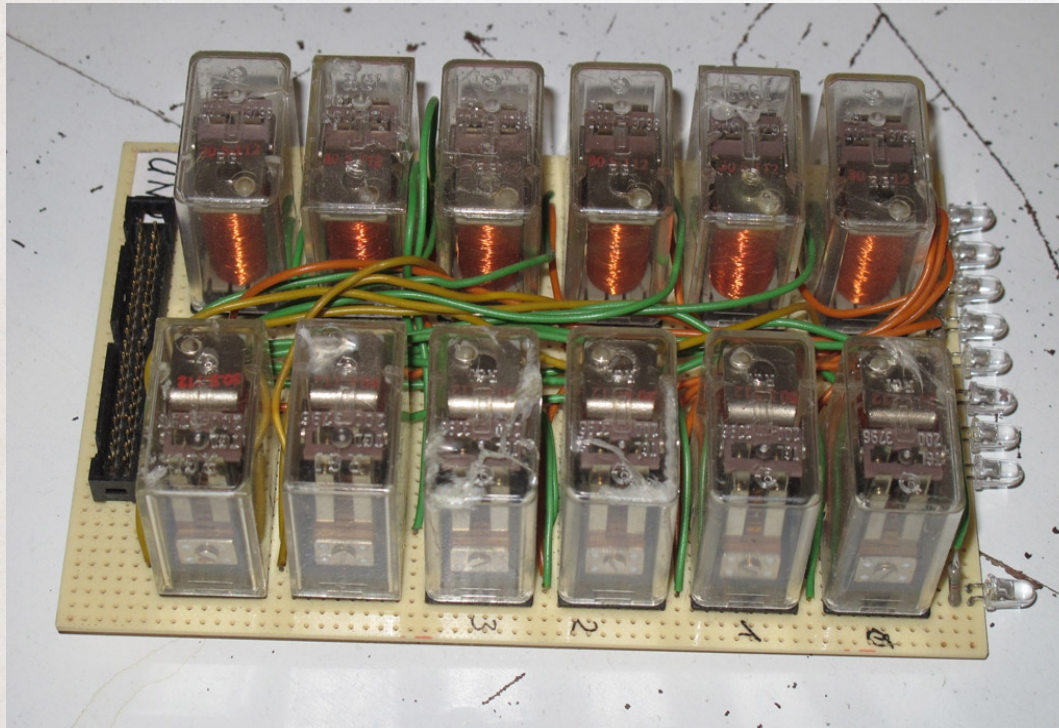
000 NOP											
001 LD R1,R0	002 LD R2, R0	003 LD R3,R0	004 LD R4,R0	005 LD R5,R0	006 LD R6,R0	007 LD R7,R0	008 LD R8,R0	009 LD ADR,R0	010 LD EASR,R0	011 LD R8,R1	012 LD ADR,R1
013 LD R0,R1	014 LD R2,R1	015 LD R3,R1	016 LD R4,R1	017 LD R5,R1	018 LD R6,R1	019 LD R7,R1	020 LD R0,R2	021 LD R1,R2	022 LD R3,R2	023 LD R4,R2	024 LD R5,R2
025 LD R6,R2	026 LD R7,R2	027 LD R8,R2	028 LD ADR,R2	029 LD R0,R3	030 LD R1,R3	031 LD R2,R3	032 LD R4,R3	033 LD R5,R3	034 LD R6,R3	035 LD R7,R3	036 LD R8,R3
037 LD ADR,R3	038 LD R0,R4	039 LD R1,R4	040 LD R2,R4	041 LD R3,R4	042 LD R5,R4	043 LD R6,R4	044 LD R7,R4	045 LD R8,R4	046 LD ADR,R4	047 LD R0,R5	048 LD R1,R5
049 LD R2,R5	050 LD R3,R5	051 LD R4,R5	052 LD R6,R5	053 LD R7,R5	054 LD R8,R5	055 LD ADR,R5	056 LD R0,R6	057 LD R1,R6	058 LD R2,R6	059 LD R3,R6	060 LD R4,R6
061 LD R5,R6	062 LD R7,R6	062 LD R8,R6	064 LD ADR,R6	065 LD R0,R7	066 LD R1,R7	067 LD R2,R7	068 LD R3,R7	069 LD R4,R7	070 LD R5,R7	071 LD R6,R7	072 LD R8,R7
073 LD ADR,R7	074 LD R0,R8	075 LD R1,R8	076 LD R2,R8	077 LD R3,R8	078 LD R4,R8	079 LD R5,R8	080 LD R6,R8	081 LD R7,R8	082 LD ADR,R8	083 LD R0,IN	084 LD R1,IN
085 LD R2,IN	086 LD R3,IN	087 LD R4,IN	088 LD R5,IN	089 LD R6,IN	090 LD R7,IN	091 LD R8,IN	092 LD ADR,IN	093 -	094 -	095 -	096 -
097 CMP R1	098 CMP R2	099 CMP R3	100 CMP R4	101 CMP R5	102 CMP R6	103 CMP R7	104 CMP R8	105 CMP IN	106 UND R1	107 UND R2	108 UND R3
109 UND R4	110 UND R5	111 UND R6	112 UND R7	113 UND R8	114 UND IN	115 EXO R1	116 EXO R2	117 EXO R3	118 EXO R4	119 EXO R5	120 EXO R6
121 EXO R7	122 EXO R8	123 EXO IN	124 OR R1	125 OR R2	126 OR R3	127 OR R4	128 OR R5	129 OR R6	130 OR R7	131 OR R8	132 OR IN
133 ADD R1	134 ADD R2	135 ADD R3	136 ADD R4	137 ADD R5	138 ADD R6	139 ADD R7	140 ADD R8	141 ADD IN	142 ADE	143 ADC	144 NEG
145 SUB R1	146 SUB R2	147 SUB R3	148 SUB R4	149 SUB R5	150 SUB R6	151 SUB R7	152 SUB R8	153 SUB IN	154 *SBE	155 *SBC	156 -
157 SET BIT0	158 SET BIT1	159 SET BIT2	160 SET BIT3	161 SET BIT4	162 SET BIT5	163 SET BIT6	164 SET BIT7	165 RESET BIT0	166 RESET BIT1	167 RESET BIT2	168 RESET BIT3
169 LD R0,QA	170 LD R1,QA	171 LD R2,QA	172 LD R3,QA	173 LD R4,QA	174 LD R5,QA	175 LD R6,QA	176 LD R7,QA	177 LD R8,QA	178 LD ADR,QA	179 LD EASR,QA	180 LD R0,IN
181 RESET BIT4	182 RESET BIT5	183 RESET BIT6	184 RESET BIT7	185 WHN	186 KLL	187 KLR	188 KZL	189 KZR	190 KAL	191 KAR	192 -

Blockschaltbild



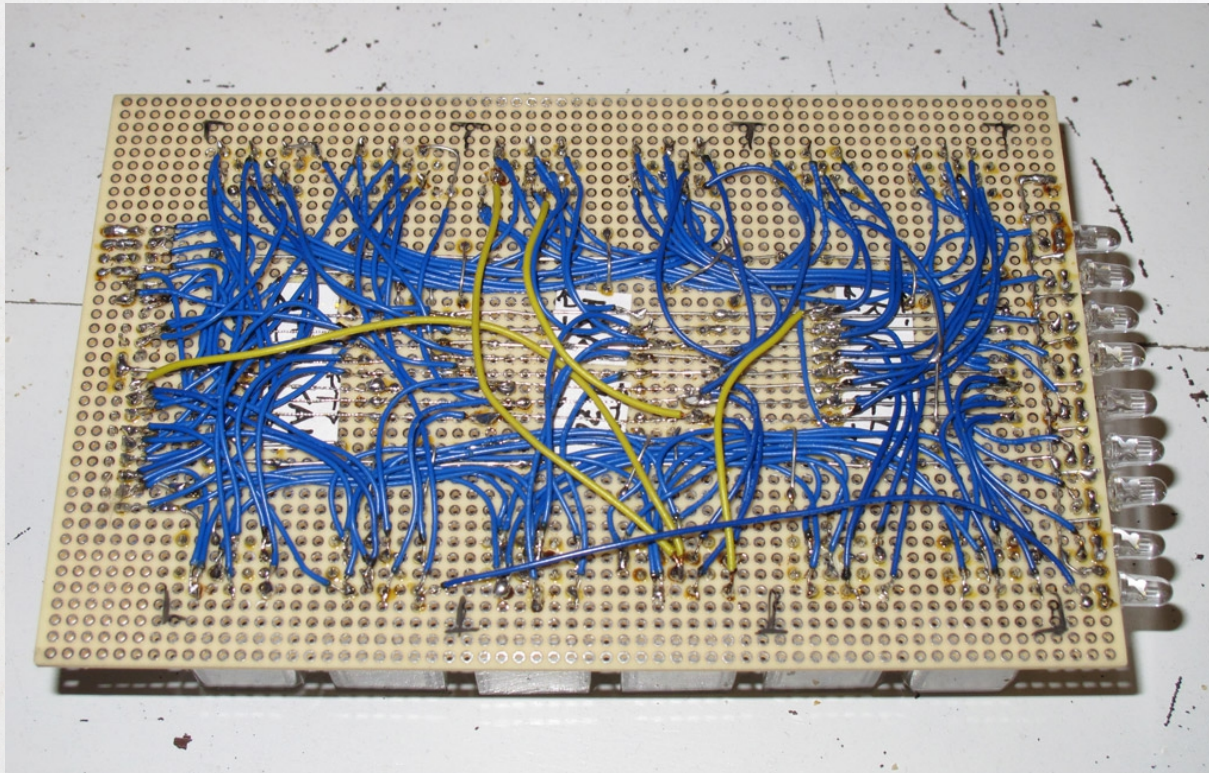
8-Bit UND Verknüpfung

(erstes aufgebautes Modul Juni 2019)

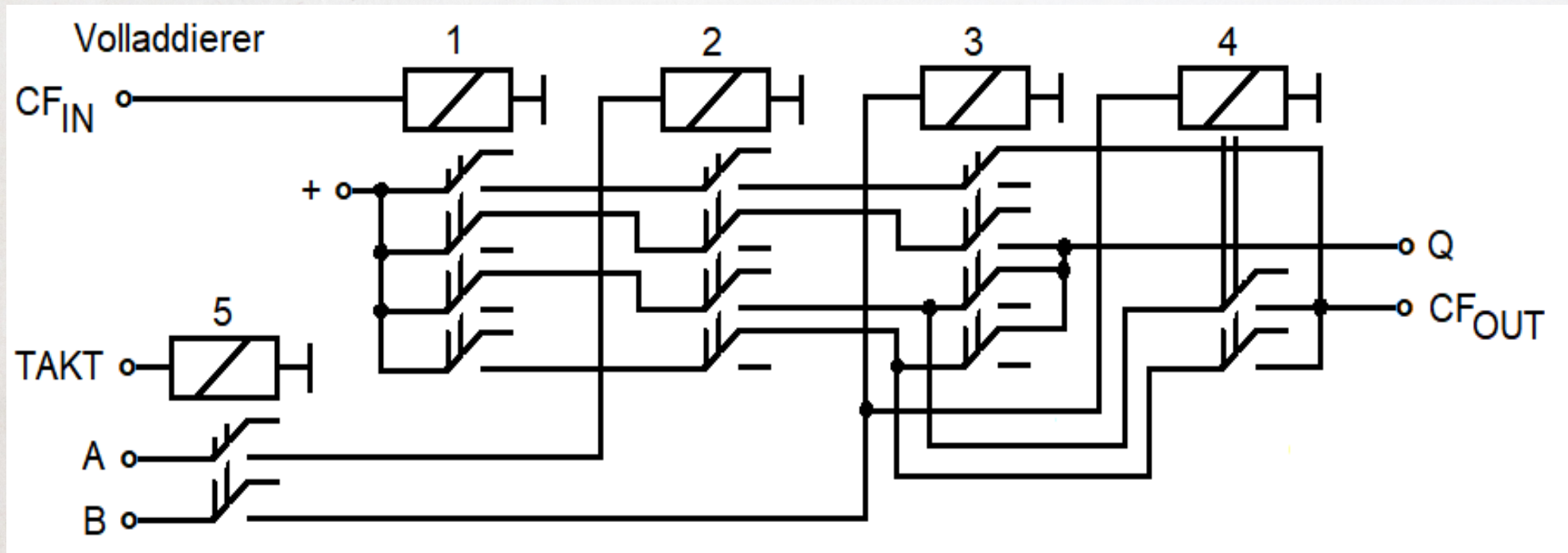


● **SREG** - 6 Schieberegisterfunktionen auf einer Platine

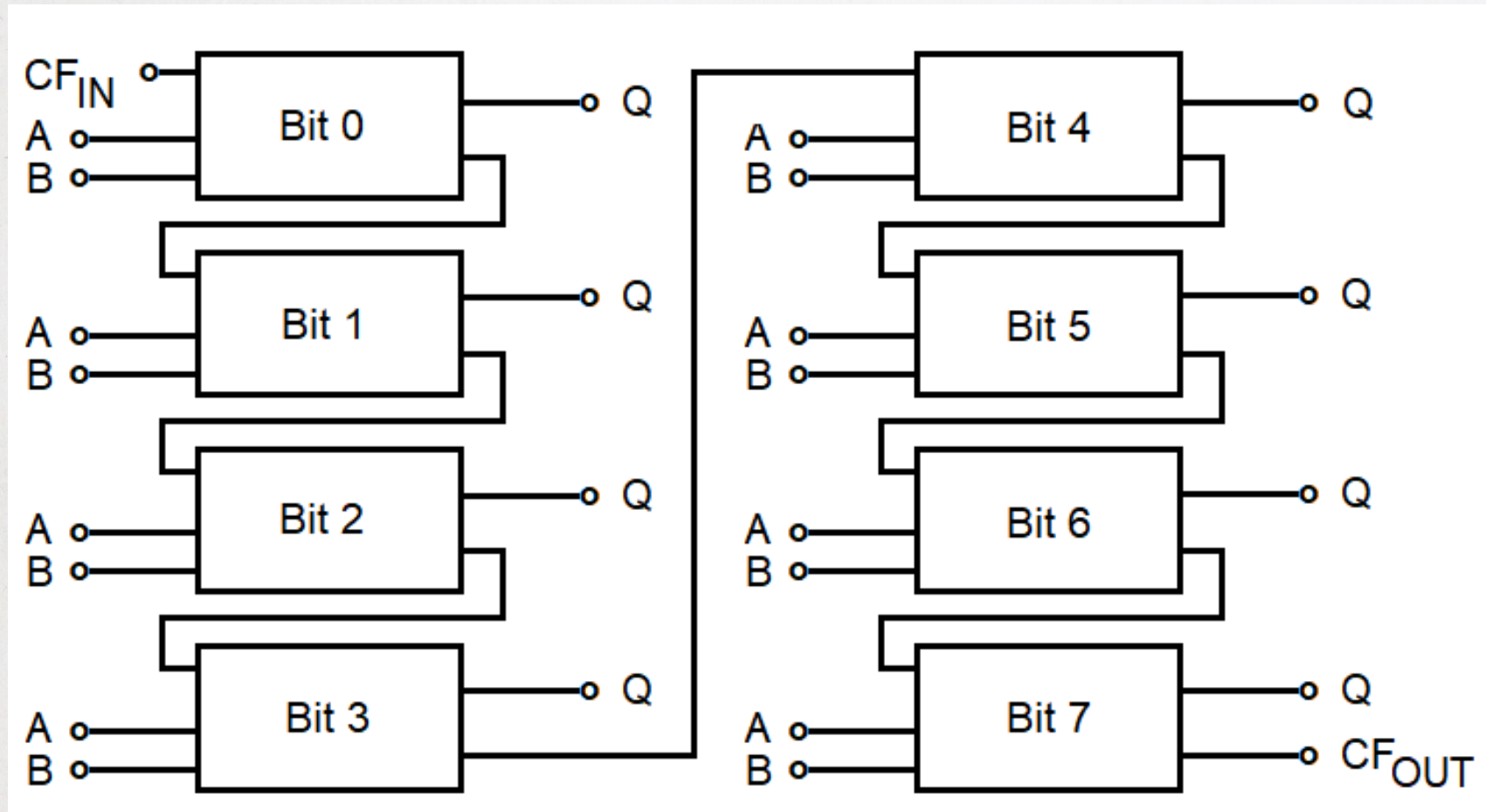
- KLL - offenes Schieben links (0 kommt rechts rein und MSB fällt raus)
- KLR - offenes Schieben rechts (0 kommt links rein und LSB fällt raus)
- KZL - zyklisch Schieben links (rotieren ohne Carry)
- KZR - zyklisch Schieben rechts (rotieren ohne Carry)
- KAL - arithmetisch Schieben links (über Carryflag)
- KAR - arithmetisch Schieben rechts (über Carryflag)



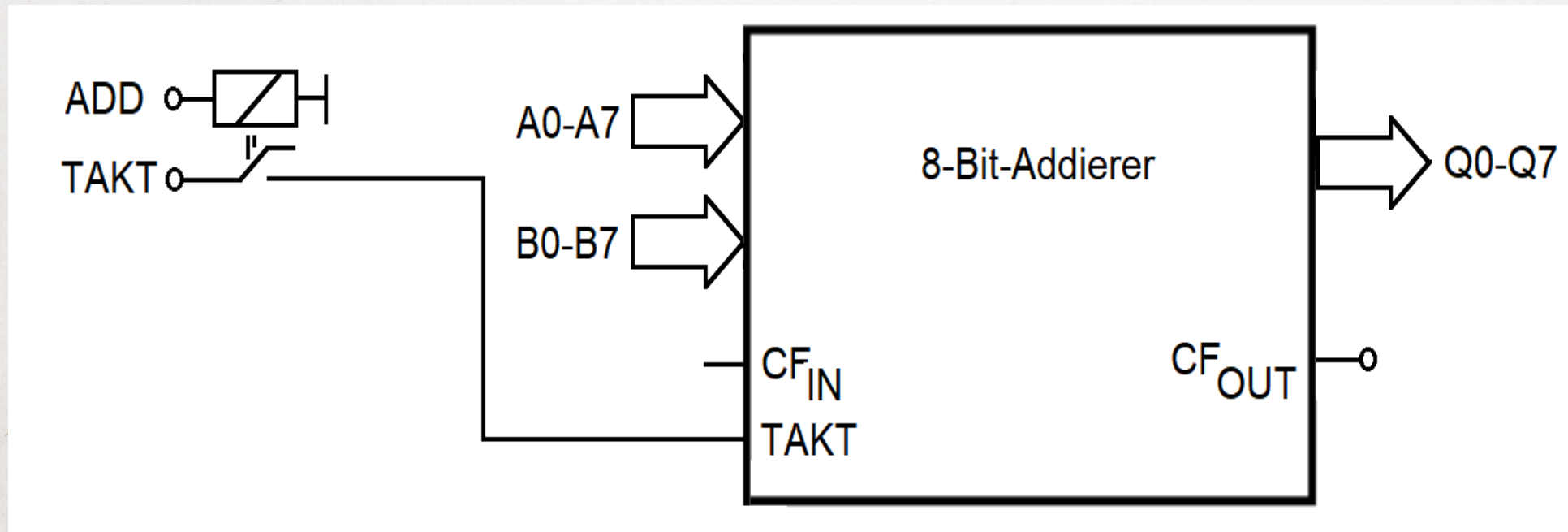
Addierer



Addierer

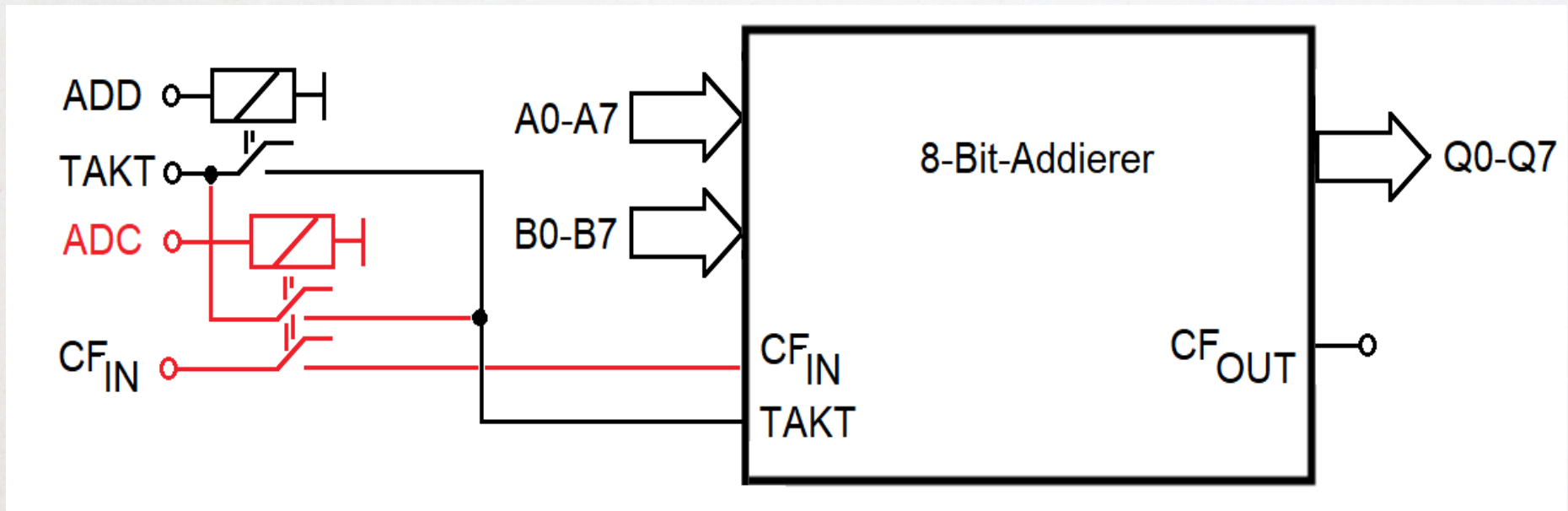


ADD



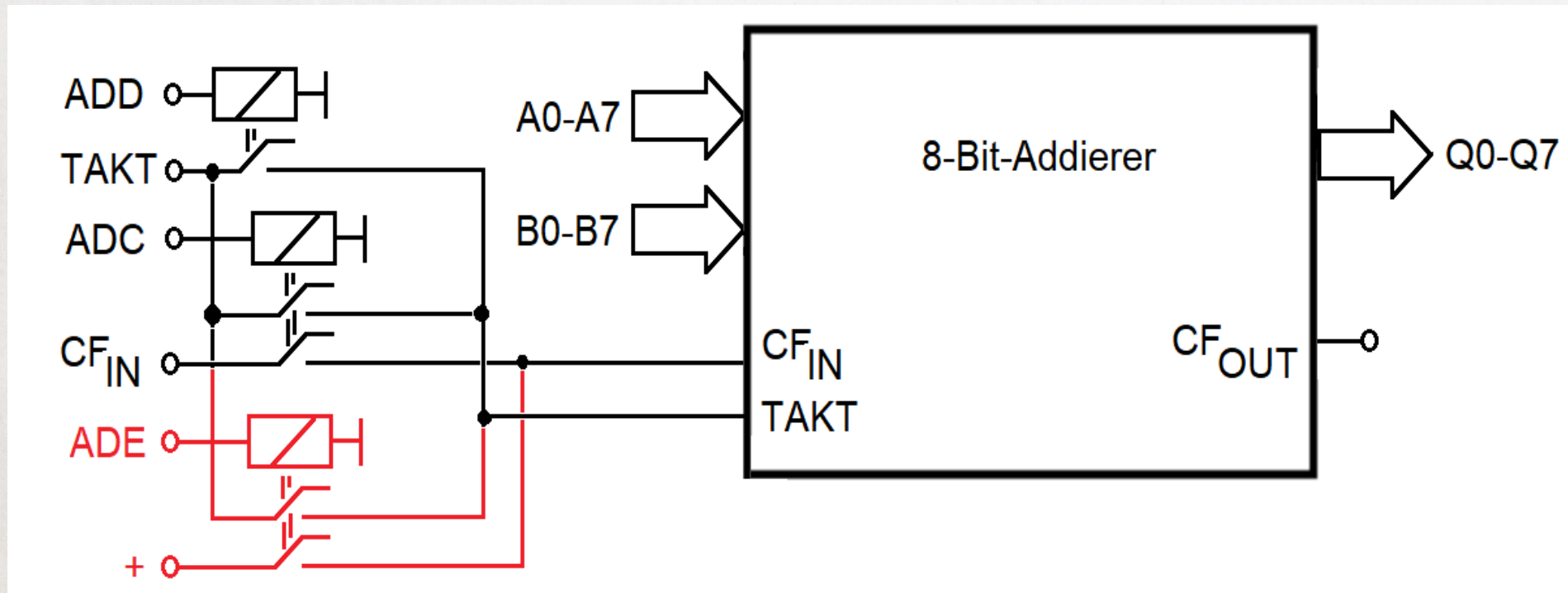
An	Bn	Qn	CFout
0	0	0	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	0	1

ADC

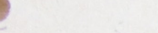


An	Bn	CFin	Qn	CFout	An	Bn	CFin	Qn	CFout
0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	1	0	1	0	1	0	1
0	1	0	1	0	1	1	0	0	1
0	1	1	0	1	1	1	1	1	1

ADE



10



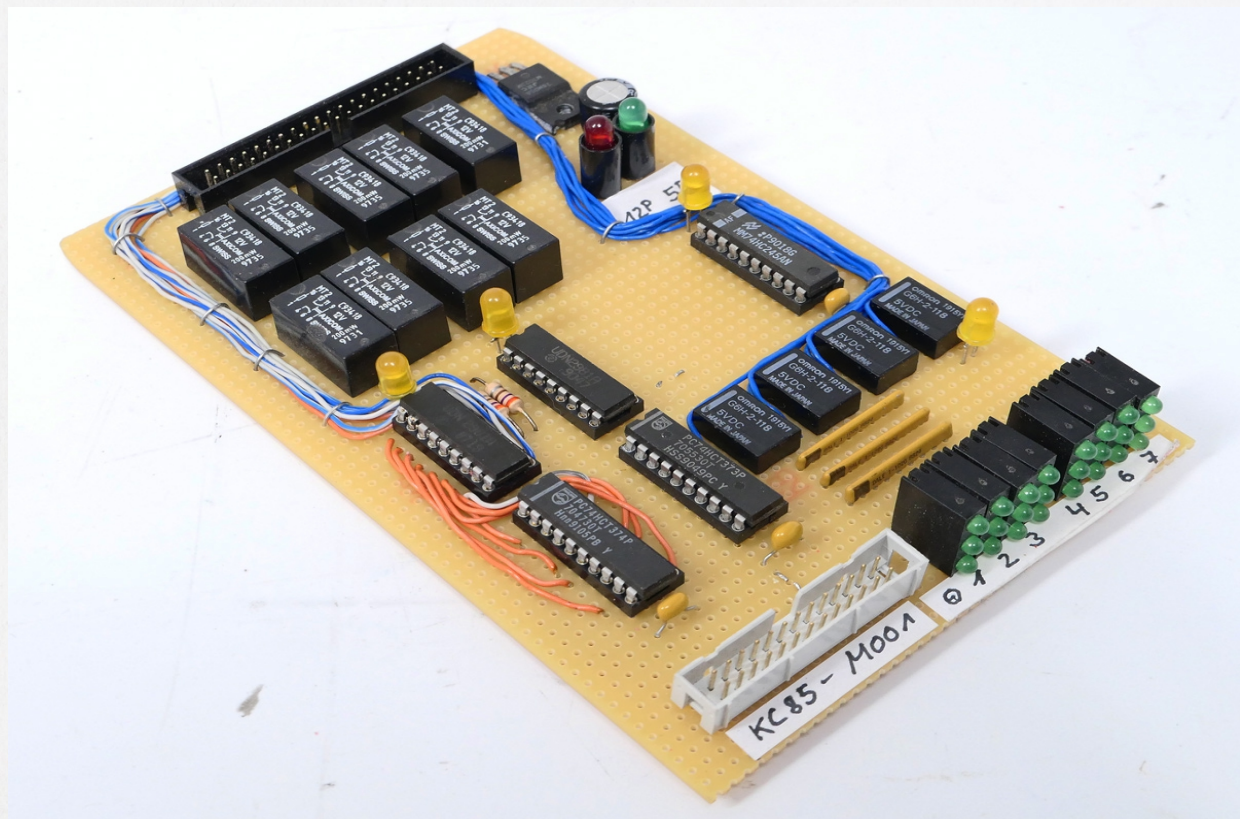
Die Bedienschreibmaschine

- DDR Soemtron 529 Schreibwerk von 1982
- 60V Zugmagnete, 220V~ Antrieb läuft permanent
- kein SHIFT sondern 2 Tasten: KB, GB
- nicht alle Zeichen, kein Cursor
- sonderbare Schaltabläufe für CR, LF etc.
- Aktuell (teilweise) realisiert:
Ausgabedekoder für ASCII →
Schreibwerk



I/O / Verbindung mit moderner Hardware

- Test während des Aufbaus, Fehlersuche
- Emulation noch nicht realisierter Teile: Befehlszähler, RAM, Programmspeicher, Schreibwerk
- 2 x 8-Bit Parallelinterface TTL
- 8-Bit Latches 74LC373
- 8-Bit Darlington-Treiber UDN2981A



eine kuriose Idee: verlorener RAM auf Lochband

- RAM aus Relais ist teuer (64 Byte = > 1200 Relais)
- Kombination eines 8-Bit-Lochbandstanzers mit einem Leser
- Positionszähler für Lesestelle und letzte Stanzstelle
- lesbares Fenster wandern auf fortlaufend gestanztem Band
- Wilde, relative Adressierung
- Umkopieren noch benötigter Daten vor Ende des Adressierungsfensters erforderlich
- Idee, noch nicht realisiert...

Demo!

geplant:

LD R0,IN 0100 1010

LD R1,IN 1100 1010

ADD R1 0010 0001

Notbetrieb:

- Bereitstellung Datenbyte auf Datenbusstecker (Q-BUS)
- Einspeichern der Daten in zwei Register mittels Steuerbusstecker
- Umklemmen Mikrotaster zur Steuerung des Addierers
- Vorbereitung der Addition und Bereitstellung der Daten mittels Steuerbusstecker

Entwicklungsstand / Materialbedarf / Ausblick

- 88 Europlatinen
- Aktuell sind die beiden Rahmen 2 x 780x450x160 mm groß.
- Einzelne Komponenten, Befehlsdekodierung und Mikroprogrammsteuerung getestet
- noch Fehler auf Datenpfadsteuerung
- Es fehlen noch:
 - Auswertung Flags
 - ext. Speicher (Programmspeicher, RAM)
 - Ansteuerung Bedienschreibmaschine
 - Befehlszähler inkl Sprungsteuerung
 - I/O
 - Bedienkonsole, Gehäuse
- SOFTWARE!!!
 - seit 18.03.2025: Summierkarte Mikroprogramm :(

Resümee

- + zu lösende Probleme zeigen sich erst während der praktischen Realisierung.
- + gute Diagnosemöglichkeiten durch Modularität und LEDs
- + wesentlich weniger Leistungsaufnahme, als vermutet
- + Schalter sind flexibler als Logikgatter einsetzbar
- + Motivation schwankt, steigt aber auch wieder
- +/- langsam! (Bis 0 Hz)
- +/- **eine gute, aktuelle und konsistente Dokumentation ist Alles!**
- Datenflußrichtung wie bei TTL fehlt → zusätzlicher Aufwand nötig
- erhebliche Instabilität und Störanfälligkeit durch recycelte Bauteile und zahlreiche Steckverbinder
- Entwurf und Realisierung dauern wesentlich länger als erträumt.
- keine math.h
- es gehen einem tatsächlich die IDE- und Floppykabel aus
- **Keine Schaltungen aufbauen, wenn man krank ist! → Hardwareschäden**
- +++ Stand 03/2025: Nach 6 Jahren macht das Projekt noch immer Spaß!

- Lust am Basteln geweckt?

- Links

- www.rechenwerk-halle.de
- www.robotrontechnik.de
- www.musikelektronik-halle.de
- <https://www.relaiscomputer.nl/>
- <https://www.electronixandmore.com/projects/relaycomputertwo/index.html>
- <https://web.cecs.pdx.edu/~harry/Relay/>
- <http://www.northdownfarm.co.uk/rory/tim/>
- <https://www.navina.ch/workshop/zuse45/index.html>
- <https://www.relaycomputer.co.uk/>
- <https://relaiscomputer.at/>
- <https://relais-computer.de/>

– Fragen?