DIPLOMARBEIT

THEMA:	ANALOG/DIGITAL-WANDLUNG Theorie und praktische Anwendung
VERFASSER:	cand. ing. UWE SENDROWSKI
BETREUENDER DOZENT:	DR.ING. H. SCHUCHMANN
FACHBEREICH:	ELEKTROTECHNIK
SCHWERPUNKT:	DATENTECHNIK
ZEITRAUM:	WINTERSEMESTER 1981/82

ERKLÄRUNG:

Hiermit erkläre ich, Uwe Sendrowski, dass ich die nachstehende Diplomarbeit selbstständig und nur unter Zuhilfenahme der unter dem Quellenverzeichnis aufgeführten Literatur erarbeitet habe.

Seeheim, den 5.1.1982 gez. Uwe Sendrowski

Inhalt

1 Grundlagen der Analog/Digital Wandlung 4

1.1 ADU für digitale Anzeigen (visuelle Datenverarbeitung) 4
1.2 ADU für schnelle Datenverarbeitung (Prozessrechner) 5
1.3 A/D Wandlungssysteme 5
1.3.1 Das Integrationsverfahren 6
1.3.2 ADU nach Stufenkompensation 8
1.3.3 ADU nach Parallelverfahren 9
1.3.4 Fehler der ADU 10

2 Aufbau eines ADU nach dem Parallelverfahren 15

2.1 Anforderungen / Anwendung 15
2.2 Elektrische Planung 15
2.3 Technische Realisierung 16
2.4 Messungen 21
2.4.1 Grenzfrequenzen 21
2.4.2 Übertragungskennlinie / Umwandlungsfehler 23
2.4.3 Fehlerbetrachtung 25
2.5 Abschließende Betrachtungen 26

3 Bau eines Digitalen Fernthermometers 27

3.1 Konstruktionsgründe / Voraussetzungen 27
3.2 Anforderungen 27
3.3 Elektrische Planung 28
3.3.1 Messwertwandlung 28
3.3.2 Messwertverarbeitung / Temperaturanzeige 33
3.3.3 Untertemperatur- u. Netzausfallwarnung 39
3.4 Technische Realisierung 45
3.4.1 Platinen 46
3.4.2 Front- und Rückplatte 46
3.4.3 Vergusswerkzeug 49
3.4.4 Serienbau 49
3.4.5 Ansichten der finalen Geräte 51
3.5 Abtastfrequenz des Thermometers 52
3.6 Verwendete Abkürzungen 53

4 Technische Unterlagen 54

4.1 Erläuterungen der Symbole in den technischen Unterlagen 54
4.2 Technische Zeichnungen 55

5 Quellenverzeichnis 81

1 Grundlagen der Analog/Digital Wandlung

Die A/D Wandlung geht von dem Grundgedanken aus, eine sich stetig verändernde physikalische Größe (Weg, Zeit, Strom, etc.) digital, also in definierten Schritten (Quanten)zahlenmäßig zu wandeln. Die sich stetig verändernde Größe wird dabei in kleine Scheiben zerlegt, wobei jede Scheibe seine Nummer bekommt.

Die häufigste Anwendung findet man bei Digitaluhren, Digitalvoltmeter und Frequenzzähler. Der Analog/Digital Wandler wird im Folgenden kurz mit ADU (Analog/Digital Umsetzer) bezeichnet.

1.1 ADU für digitale Anzeigen (visuelle Datenverarbeitung)

Als Beispiel dient die physikalische Größe Geschwindigkeit (Weg/Zeit) mit der Messwertanzeige eines Tachometers.

Bei dieser analogen Anzeige stellt die Position des Zeigers mit der dazugehörigen Skala die momentane Geschwindigkeit dar. Ein Betrachter muss hier der Zeigerposition der Skalierung zuordnen. Im allgemeinen geht das sehr schnell und es lassen sich leicht Tendenzen des Zeigers erfassen (Wanderung nach oben oder unten.)

Eine analoge Größe ist keine - wie oft angenommen - sich stetig verändernde Größe, sondern eine, dem wahren Wert entsprechende Größe. Bei einer analogen Darstellung wird also meistens ein mechanischer Zeiger mit stetigem Verlauf (ohne Sprünge) der entsprechenden physikalischen Größe folgen.

Jedoch besitzt die Skalierung der analogen Anzeige eine gewisse Genauigkeitsgrenze, bei der es in gegebenen Verhältnissen unmöglich ist, die Messgenauigkeit weiter zu steigern (Größe der Armatur). Wollte man eine höhere Genauigkeit erreichen, müsste man neben einem genaueren Messwerk auch eine größere Skala mit längerem Zeiger einbauen. Damit erhält man zu einen den Messbereich und vergrößert zum anderen den Zwischenraum der einzelnen Messwerte (Dekaden).

Bei einer digitalen Darstellung wird die physikalische Größe – wie in 1. erläutert - in kleine Scheiben aufgeteilt und dann die Nummer jeder Scheibe angezeigt. Bei einer groben Auflösung von z.B. 16 Stellen = 4 Bit (siehe auch 2.). Würde also ein Tachometer mit einem Messbereich von 0-200 km/h in 16 Teile aufgeteilt werden. Die dadurch auftretende Ungenauigkeit ist größer, als bei einem herkömmlichen Tachometer.

Man könnte aber bei einer hohen Genauigkeitsforderung diese leichter realisieren, indem man die Scheiben dünner schneidet und so, mit dieser größeren Auflösung, auch eine höhere Genauigkeit erhält (größere Auflösung, damit auch größere Stellenzahl). Man benötigt dazu, neben einer erweiterten Elektronik, nur mehr Dezimalstellen in der Anzeige, d.h. gegenüber einer analogen Anzeige würde die räumliche Größe des Messwerks nur unerheblich zunehmen. Die entstehenden Kosten bezüglich der Genauigkeit analoger - digitaler Messwerke sind im folgenden Diagramm dargestellt.

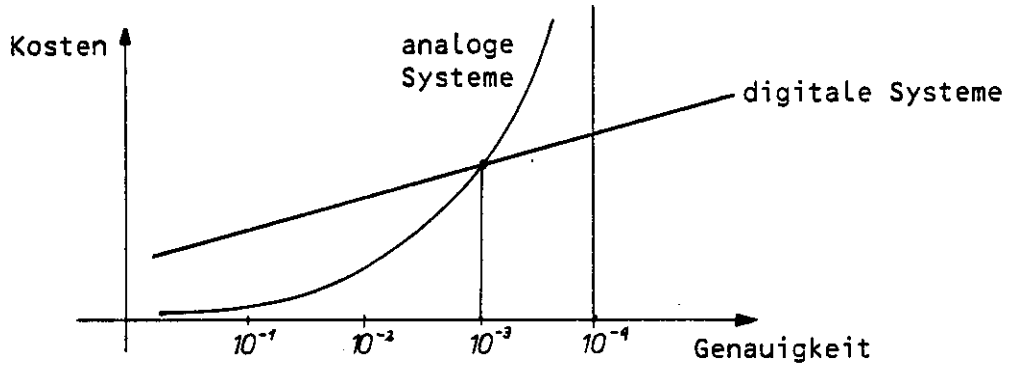


Abb. 1.1 Kosten bezüglich der Genauigkeit

Das erwähnte Beispiel eines digitalen Tachometers (od. Drehzahlmessers) im Auto würde in der Praxis wohl kaum angewandt werden, weil man sich schnell verändernde Zahlen als Messwert schlechter erfassen kann, als ein sich bewegender Zeiger. Jedoch bei sich langsam veränderlichen Größen wie Weg, Zeit, Temperatur, elektrischen Größen u.a. wird eine digitale Anzeige für höhere Genauigkeit von Vorteil sein. Die Forderung steht hier also nach genauen, aber nicht schnellen Wandlern, da das Auge der sich verändernden Anzeige noch folgen können muss.

1.2 ADU für schnelle Datenverarbeitung (Prozessrechner)

Das zweite große Aufgabengebiet der A/D Wandlung erstreckt sich über die digitale Datenverarbeitung, d.h. in Fällen, in denen die physikalischen Größen in DV-Anlagen (z.B. Prozessrechnern) verarbeitet werden.

Als Beispiel dient wieder das Auto: Ein Bordcomputer erhält ständig die Daten von den zurückgelegten Kilometern, den Tankinhalt, die Momentangeschwindigkeit sowie den Kraftstoff-Durchfluss pro Zeit. Diese Daten werden mit großer Geschwindigkeit abgefragt und der Bordcomputer errechnet aus diesen Daten die Schnittgeschwindigkeit, Verbrauch pro 100 Km, sowie die verbleibende Reichweite (Restfüllung des Tanks). Diese errechneten Daten stehen immer auf den neuesten Stand und können bei Bedarf abgefragt werden.

Beispiel einer Probesprengung: Hier sind mehrere Sensoren auf der Erdoberfläche verteilt und eine Sprengladung wird gezündet. Dieser Vorgang dauert nur Sekunden an. In dieser kurzen Zeit müssen die Sensoren mit einer hohen Geschwindigkeit abgefragt, die erhaltenen Werte digitalisiert und in einem DV-System gespeichert werden.

Gegenüber Punkt 1.1 sticht hier die hohe Umwandlungsgeschwindigkeit ins Auge. In allen Anwendungsfällen sind aber auch die entstehenden Kosten und die geforderte Genauigkeit zu berücksichtigen.

1.3 A/D Wandlungssysteme

Wie in 1.2 erwähnt, sind die drei Größen Umwandlungsgeschwindigkeit, Genauigkeit und Kosten die bestimmenden Faktoren der Auswahl eines ADU.

In ca. 90% der Anwendungsfälle werden entweder auf große Genauigkeit und günstige Kosten Wert gelegt (dafür werden Zugeständnisse an die Wandlungszeit gemacht; Anwendung im kommerziellen Bereich), oder es ist eine schnelle Wandlung bei unwesentlichen Kosten gefragt (bei einer

Probesprengung fallen die Kosten eines teuren ADU nicht mehr ins Gewicht). Für diese beiden großen Anwendungsgebiete existieren zwei Haupttypen von A/D Wandlungsverfahren:

- der integrierende ADU (Sägezahn-Verfahren; "Dual-Slope" Verfahren)
- ADU nach Stufenkompensation (Nachlaufzähler; Wägeverfahren od. sukzessive Approximation)

Der Wandler nach dem Parallelverfahren gehört - seiner Anwendung nach - in die Gruppe der schnellen Wandler. Das Parallelverfahren ist das Schnellste überhaupt, es erfordert jedoch den größten Aufwand.

Von den genannten Typen finden als "langsame und genaue" Wandler das "Dual-Slope"-Verfahren Anwendung, während für schnelle Zeiten bei höheren Kosten das Wägeverfahren (sukzessive Approximation) verwendet wird. Außerdem werden ADU mit unterschiedlichen Ausgängen hergestellt. Zum einen finden sich Wandler, die als Ausgangsgrößen einen binären Code haben (zur digitalen Weiterverarbeitung; meist bei Wägeverfahren), oder die Ausgangsgröße schon im 7-Segment-Code codieren (zur zahlenmäßigen Anzeige; fast nur bei integrierenden Wandlern).

Im Folgenden sind zwei Begriffe, die als Systemkomponenten von ADU immer wieder auftauchen, näher erläutert:

Referenzspannung:

Jeder ADU benötigt eine Referenzspannung, die als Bezugsspannung zum Vergleich der zu messenden Eingangsspannung dient. Die Genauigkeit dieser Referenzspannung bestimmt immer die Genauigkeit der Wandlung (bei einer Referenzspannungsquelle sind zu berücksichtigen a. Langzeitkonstanz und b. Temperaturstabilität). Die Größe der Referenzspannung ist als Messbereichs-Endwert zu verstehen.

Takt:

ADU benötigen zur Steuerung einer Verarbeitungslogik oder zum Zählen von Zeiteinheiten einen Takt (Rechteckschwingung). Bei Systemen, in denen die Langzeitkonstanz der Taktimpulse in die Genauigkeit eingeht, wird man nach Möglichkeit Quarzoszillator verwenden. In Wandlern, die den Takt nur zur Steuerung benötigen, braucht auf die Konstanz der Impulse keinen großen Wert gelegt zu werden (RC-Oszillator).

1.3.1 Das Integrationsverfahren

Diese Verfahren werden meistens bei Digitalvoltmeter etc. eingesetzt, bei denen die relativ große Umwandlungszeit nicht stört. Das heute fast ausschließlich verwendete "Dual-Slope"-Verfahren (DS-Verfahren) ist ein erweitertes Sägezahnverfahren (Single-Slope).

Dort wird der aufsteigende Ast einer Sägezahnspannung (Integration der Referenzspannung) mit der Eingangsspannung verglichen. Solange, wie die Eingangsspannung kleiner ist, werden Taktimpulse gezählt. Die Anzahl der Impulse ist damit proportional der Eingangsspannung. Da die Sägezahnspannung nur mit RC-Gliedern erzeugt werden kann, ist die erreichbare Genauigkeit auf ca. 1 - 5 % begrenzt.

Das DS-Verfahren integriert im Gegensatz zum Sägezahnverfahren neben der Referenzspannung auch die Eingangsspannung. Zuerst wird die Eingangsspannung für eine feste Zeitdauer integriert. Die Zeitdauer wird von einem Messdauerzäher festgelegt (z.B. 1000 Takte).

Da die Eingangsspannung über eine feste Zeit (meist durch externe Bauteile fest einstellbar) integriert wird, geht nicht ihr Momentanwert, sondern der arithmetischer Mittelwert in die Umwandlung ein. Dadurch kann eine eventuelle der Eingangsspannung überlagerte Störspannung (z.B. Netzbrumm) völlig eliminiert werden (siehe Abb. 1.2)

Dann wird die Eingangsspannung abgeschaltet, und die Referenzspannung an den Eingang gelegt. Jetzt wird die Referenzspannung mit negativem Vorzeichen integriert, bis am Ausgang des Integrators 0 V anliegt. Die Zeit - und damit die Anzahl der Taktimpulse - die während der Integration der Referenzspannung vergeht ist ein direktes Maß der Eingangsspannung.

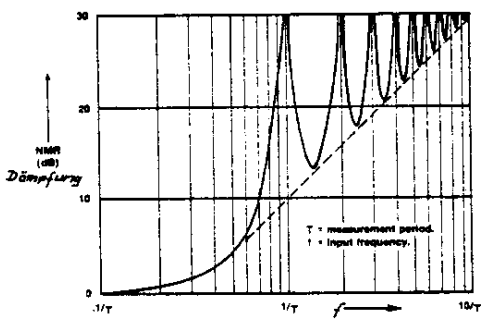


Abb. 1.2 Störspannungsunterdrückung

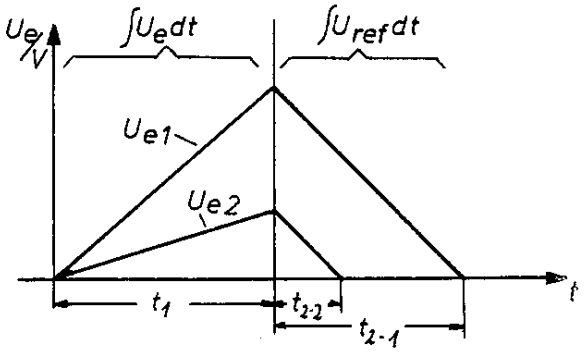


Abb. 1.3 Prinzip der Integration

Außerdem wird bei dem Dual-Slope-Verfahren ein automatischer Nullabgleich durchgeführt, so dass ein kompletter Messzyklus in drei Phasen aufgeteilt ist (siehe Abb. 1.4)

Der Nullpunkts- od. Offsetfehler tritt durch Leckströme (und damit durch anliegende Spannungen) am Integrator und Komparator auf. In der sog. Nullpunkt-Korrekturphase (AutoZero) wird der Eingang des ADU kurzgeschlossen und ein Kondensator auf das Nullspannungspotential des Integrators und Komparator gelegt. Während der Integrationsphase bleibt dieses Korrekturspannungspotential an Kondensator erhalten, und verschiebt so den Massepunkt des Integrators um den Korrekturwert.

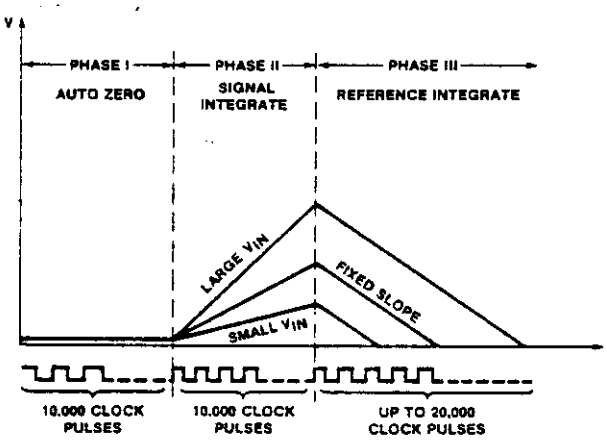


Abb. 1.4 Messzyklus des Dual-Slope-Verfahrens

Die Vorteile gegenüber dem Sägezahnverfahren sind folgende:

- Oszillator benötigt nur noch Kurzzeitstabilität (Phase II+III)

- Eliminierung der Störspannungen
- Automatischer Nullabgleich
- Vorteile gegenüber anderen Systemen:
- Sehr hohe Genauigkeiten möglich
- Unkritische Komponenten
- Gute Rauschunterdrückung
- Keine Abtast-Halte-Schaltung notwendig
- Keine fehlenden Codes möglich (Diff. Nichtlinearität)

Jedoch ist der Wandler durch die drei benötigten Phasen in der Wandlung sehr langsam (ca.80-150 ms)

1.3.2 ADU nach Stufenkompensation

a) Zählverfahren (Nachlaufender ADU)

Die realisierbaren Wandlungsgeschwindigkeiten liegen bei diesem Verfahren um die 10 ms, damit im mittleren Bereich. Ein Taktgenerator steuert einen Vorwärts/Rückwärts-Zähler. Die binäre Zahl des Zählers wird von einem D/A-Wandler in eine proportionale Spannung gewandelt und diese von der Eingangsspannung abgezogen. Ist die Differenz positiv, zählt der Zähler vorwärts (erhöhen des Digitalwertes). Bei negativer Differenzspannung wird rückwärts gezählt; dadurch Läuft der Zählerstand immer der Eingangsspannung nach. Ist die Spannungsdifferenz kleiner als die halbe Spannung des niederwertigsten Bits, wird der Zähler gestoppt, um ein Hin-und-Herspringen der Anzeige zu verhindern.

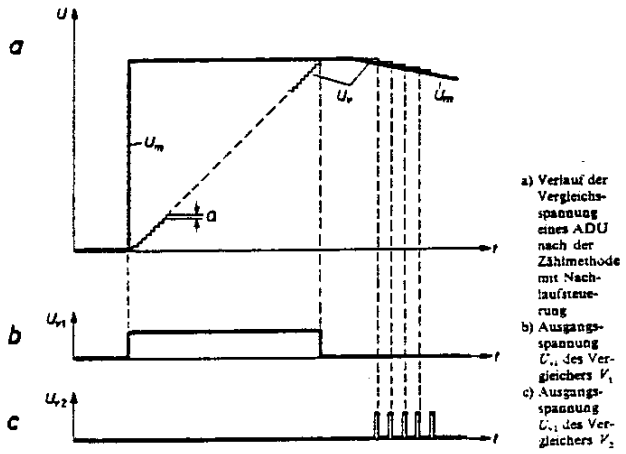


Abb. 1.5 Verlauf der Vergleichsspannung bei Zählverfahren

Das am meisten angewendete Verfahren für schnelle Wandlungen ist das Wägeverfahren (sukzessive Approximation). Die höhere Umwandlungsgeschwindigkeit wird aber mit einem verstärktem Steuerungsaufwand (Speicher, Abtast-Halte-Glied) erkauft.

Zuerst wird das höchstwertige Bit (MSB) im Speicher auf Eins gesetzt, und mit einem D/A-Wandler wieder die proportionale Spannung des MSB erzeugt. Ist diese kleiner als die Eingangsspannung, bleibt das MSB auf Eins. Ist jedoch die Spannung des MSB größer, muss das MSB wieder auf Null gesetzt werden. Dann wird das nächstniedere Bit ausprobiert, und so weiter.

Um während der gesamten Wandlungszeit (Ausprobieren vom MSB bis zum LSB) zu gewährleisten, dass immer mit der gleichen Eingangsspannung verglichen wird, muss die Eingangsspannung mit einem Abtast-Halte-Glied "eingefroren" werden.

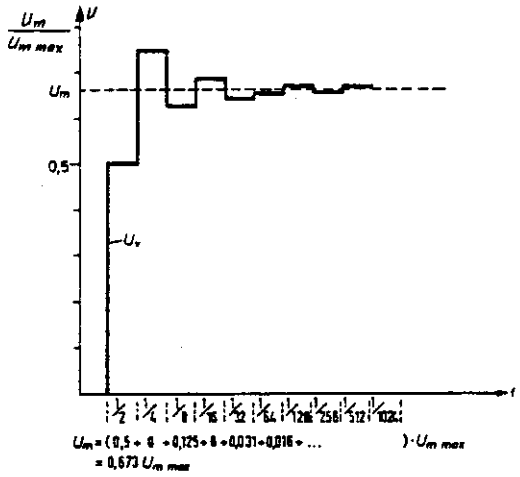


Abb. 1.6 Verlauf der Vergleichsspannung bei Wägeverfahren

Trotz dieser aufwendig erscheinenden Methode sind Wandlungszeiten von 25 µs bei 12 Bit möglich.

1.3.3 ADU nach Parallelverfahren

Hier wird die Eingangsspannung auf n Komparatoren gegeben, wobei an jedem Komparator die Vergleichsspannung für das nächsthöhere Bit steht. Man benötigt also für jeden möglichen Digitalwert einen Komparator. Bei einem 8 Bit-Wandler also 2^8- 1 Komparatoren (= 255 Komparatoren). Die jeweiligen logischen Zustände der Komparatoren werden in Zwischenspeicher aufgenommen, und dann digital weiterverarbeitet. Ein Abtast-Halte-Glied ist hier nicht erforderlich; durch die Systemlaufzeiten müssen aber die log. Zustände der Komparatoren kurz gespeichert werden. Es ist klar, dass durch den Wegfall von Steuerlogik, D/A-Wandlung; oder Iteration mit diesem Verfahren eine besonders schnelle A/D-Wandlung erfolgt.

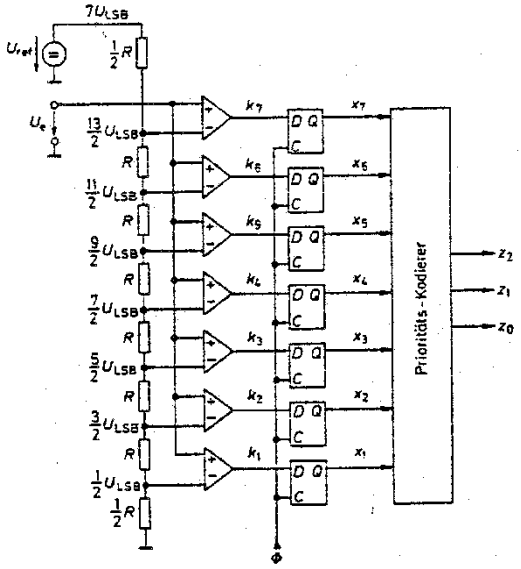


Abb. 1.7 Prinzip des Parallelverfahrens

Zwischenspeicher und Prioritätscodierer haben vernachlässigbare Signallaufzeiten von 10-30 ns. Als langsamste Glieder verschlechtern die Komparatoren die Wandlungsgeschwindigkeit (Reaktionszeiten von 500 bis 1300 ns). Man könnte demnach einen 12 Bit ADU mit ca. 500 - 600 ns Wandlungszeit aufbauen, allerdings benötigt man dafür auch 4095 Komparatoren. Mit dem erweiterten Parallelverfahren (zuerst grobe Quantisierung, dann feine Quantisierung) läßt sich der Aufwand wesentlich verringern, jedoch müssen dann wieder Zugeständnisse an die Umwandlungszeit gemacht werden.

1.3.4 Fehler der ADU

1.3.4.1 Systembedingte Fehler

Als systeminhärente Fehler gelten a) der Quantisierungsfehler und b) Grenzfrequenz der Abtastung.

a) Quantisierungsfehler:

ADU wandeln - wie in 1. - beschrieben eine analoge Spannung in eine dazu proportionale digitale Zahl um. Der Messbereich eines ADU ist gleich der Größe seiner Bezugsspannung. Das begrenzte Auflösungsvermögen eines ADU geht in die Genauigkeit ein und wird mit dem Quantisierungsfehler bezeichnet. Jede digitale Zahl entspricht einem gewissen Spannungsbereich der Eingangsspannung; er entsteht durch die begrenzte Anzahl der zur Verfügung stehenden Vergleichswerten (z.B. 4 Bit = 16 Werten). Dieser Spannungsbereich einer digitalen Zahl wird mit Quantisierungseinheit oder kurz Quant bezeichnet. Ändert sich nun die Eingangsspannung innerhalb dieses Quants, wird sich die zugeordnete digitale Zahl nicht verändern. Dieser Fehler stellt den Quantisierungsfehler dar. Er beträgt $\pm {}^{Q}/_{2}$ oder ${}^{ULSB}/_{2}$.[1]

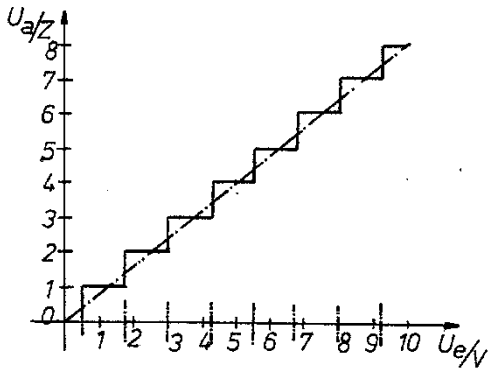


Abb. 1.8 Übertragungskennlinie eines ADU

Im o.a. Beispiel ist der Messbereich U_{max} = 10V bei einem 3Bit ADU (3Bit = 2^3 = 8 Stellen). Da hier die 10V auf 8 Stellen aufgeteilt werden, ist die Größe

$$Q \quad \text{od.} \quad U_{LSB} = \frac{U_{max}}{\text{Anzahl der Werte(Z)}} = \frac{10V}{8}$$

Q = 1,25V

Der Quantisierungfehler beträgt demnach $\pm {}^{Q}/_{2}$ = 0,625V oder ±6,25% vom Endwert.

[1] LSB= Leas significat Bit; niederwertigstes Bit
MSB= Most significant Bit, höchstwertigstes Bit
U_{LSB}= Eingangsspannunsbereich eines Bit

b) Grenzfrequenz der Abtastung:

Sie geht bei Wandlern der Signalverarbeitung (schnelle Wandler) hauptsächlich in die Genauigkeitsbetrachtung ein (Bei Digitalvoltmeter etc. ist die Eingangsgröße i.a. relativ konstant oder langsam veränderlich). Bei solchen Wandlern wird meist ein Abtast-Halte-Glied eingebaut, welches die Eingangsspannung kurz durchlässt und solange an seinem Ausgang speichert, bis der ADU die Spannung verarbeitet hat, um dann die eventuell neue Eingangsspannung aufzunehmen und zu speichern. Man entnimmt also der sich schnell verändernden Spannung (Wechselspannung) Proben in äquidistanten Zeitabständen. Diese Zeitabstände werden durch die Verarbeitungszeit des Wandlers und der Reaktionszeit des Abtast-Halte-Gliedes bestimmt.

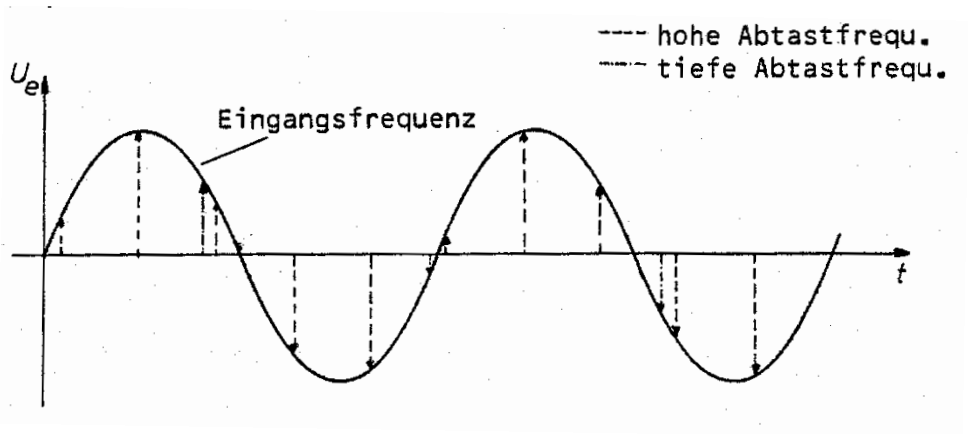


Abb 1.9 Abtastung der Eingangssignalgröße

Es wird erkennbar, dass bei der langsamen Abtastfrequenz die entstehende digitale Zahlenfolge nicht mehr den wahren Eingangssignalverlauf ausdrücken kann. Um die Eingangssignale ohne gravierenden Informationsverlust noch abbilden zu können, muss das folgende Abtasttheorem erfüllt sein:

Abtastfrequenz f_a = 2 x Signalfrequenz f_{max}

Diese Forderung ist als absolute Grenze anzusehen.

1.3.4.2 Schaltungsbedingte Fehler

Schaltungsbedingte Fehler sind die nicht idealen Eigenschaften elektrischer Bauteile (Toleranzen, Eingangswiderstände etc.). Als schaltungsbedingte Fehler werden bezeichnet:

- Verstärkungsfehler
- Nullpunkts- od. Offsetfehler
- Drift
- Nichtlinearität
- Differentielle Nichtlinearität
- Apertur-Jitter
- Roll-Over-Fehler.

Ideale Kennlinie

Beim idealen ADU erhält man, verbindet man die Stufenmitten miteinander, eine Gerade, die durch den Nullpunkt geht und die Steigung 1 besitzt-(bei normierter Darstellung der Eingangsspannung)

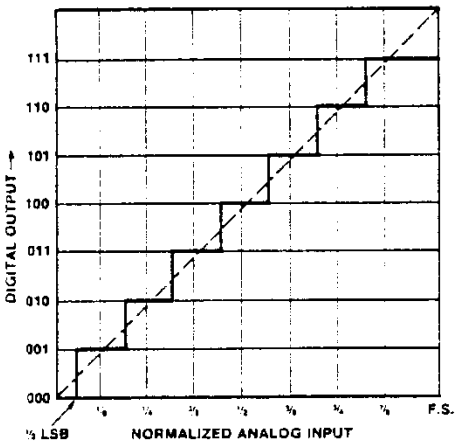


Abb. 1.10 Ideale Übertragungskennlinie

a) Verstärkungsfehler

Hier weicht die Steigung der Geraden von 1 ab. Beim Wäge- und Integrationsverfahren ist er Leicht abgleichbar (Stromvergleichswiderstand). Beim Parallelverfahren ist die Güte der Messwiderstände und der Referenzspannung entscheidend.

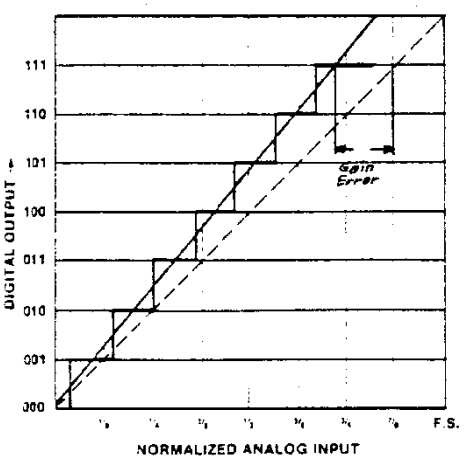


Abb. 1.11 Verstärkungsfehler

b) Offset-Fehler

Die Gerade geht beim Offsetfehler nicht durch den Nullpunkt. Dieser Fehler ist bei Wäge- u. Parallelverfahren abgleichbar. Integrierende ADU eliminieren ihn in der Auto-Zero-Phase. (siehe 1.3.1)

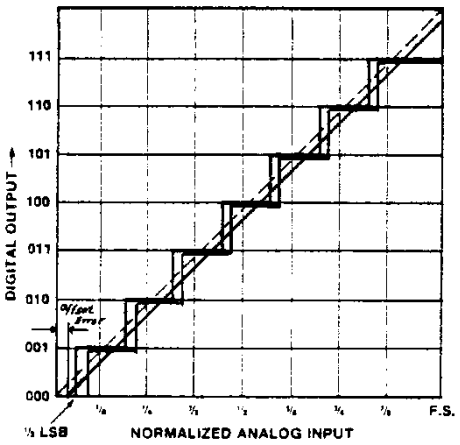


Abb. 1.12 Offset-Fehler

c) Drift

Die Drift wird durch Temperaturveränderungen und Langzeitveränderungen der Bauteile hervorgerufen (Temperaturempfindlichkeit von Widerständen und Halbleiter). Der integrierende ADU eliminiert auch den durch diese Einflüsse entstehenden Offset-Fehler.

d) Nichtlinearität

Bei abgeglichenem ADU (Nullpunkt u. Endpunkt stimmen überein) ist dieser Fehler die Abweichung von der idealen Geraden. Wird in LSB-Bruchteilen angegeben und ist bei guten ADU < ± ½ LSB

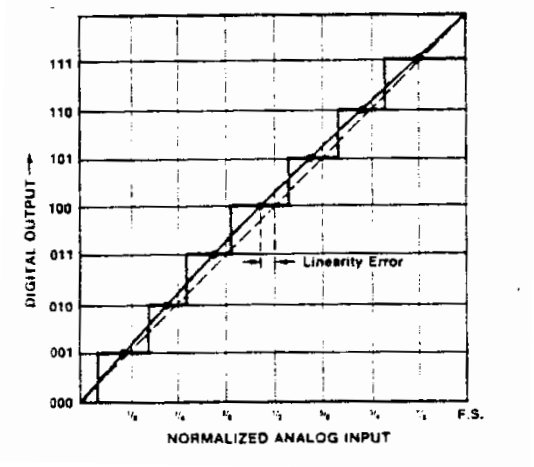


Abb. 1.13 Nichtlinearität

e) Differentielle Nichtlinearität

Maß, um welches einzelne Stufenbreiten von U_{LSB} abweichen. Bei einer notwendigen Eingangsänderung von 1 ± ½ U_{LSB} ist die Diff. Nichtlinearität ½ LSB. Bei 1 ± 1 besteht die Möglichkeit, dass Zahlen übersprungen werden.

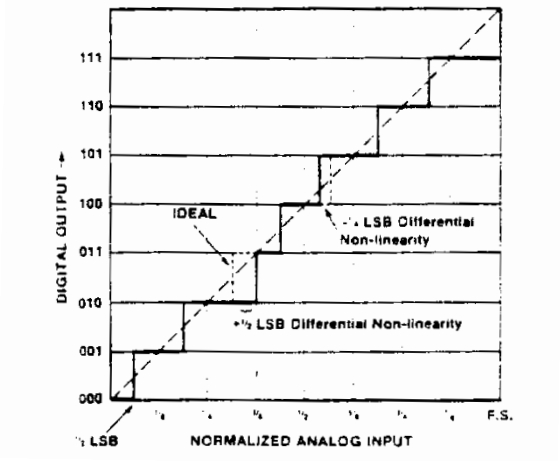


Abb. 1.14 Differentielle Nichtlinearität

f) Apertur-Jitter

Maß für ein Zeitintervall. Bei sehr hohen Verarbeitungsfrequenzen tritt eine Unsicherheit über den Abtastzeitpunkt Δ ta auf. Je größer die Signalfrequenz, desto größer auch die Unsicherheit der abgetasteten Spannung. Es gilt

$$\Delta t_a = \frac{U_{LSB}}{1/2\ U_{max} * o_{max}}$$

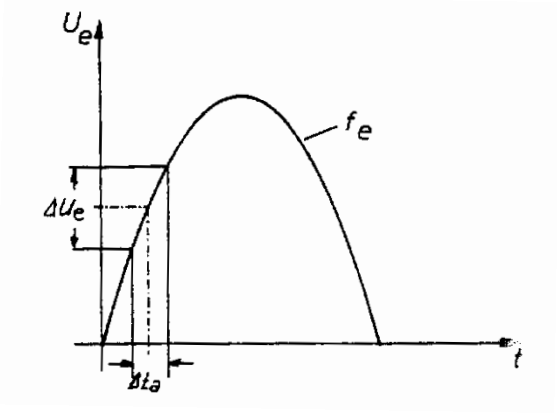


Abb. 1.15 Apertur-Jitter

g) Roll-Over-Fehler

Es können Unterschiede in der digitalen Anzeige bei gleicher Eingangsspannung mit umgekehrten Vorzeichen entstehen. Ursache dieses Fehlers ist meist eine unstabile Referenzspannung.

2 Aufbau eines ADU nach dem Parallelverfahren

2.1 Anforderungen / Anwendung

Der im Folgenden beschriebene ADU arbeitet nach dem Parallelverfahren (ist unter 1.3.3 genauer erläutert) mit einer Auflösung von 4 Bit[2] (den Zahlen von 0 - 15).

Da der ADU als Demonstrationsmodell im Unterricht und Labor Verwendung finden soll, sind folgende Gesichtspunkte bei der Planung und Realisierung zu berücksichtigen:

a) kleine geometrische Abmessungen der Platine (Europa Format 100 x 160 mm)
b) möglichst alle Systemkomponenten, die für die Digitalisierung benötigt werden, unterbringen (Ref.-Spannung, Taktgenerator, geregelte Versorgungsspannung).
c) Möglichkeit eines gut abzulesenden digitalen Wertes (keine binäre, sondern eine 7-Segment Anzeige).
d) Die Messwiderstände sollen zu Versuchszwecken leicht austauschbar sein.

In Verbindung mit dieser Diplom-Arbeit sollen an dem Modell Messungen über Umwandlungsfehler und Wandlungszeiten durchgeführt werden (siehe auch 2.4).

2.2 Elektrische Planung

Die Auflösung des ADU von 16 Ziffern erfordert eine Kaskadierung des D-Latches und des Prioritätscodierers, da bis zu diesen Schaltungsteilen die 16 Bit parallel mit 16 Datenleitungen verarbeitet werden, sich aber in der TTL-Elektronik D-Latches und Prioritätscodierer mit nur 8 Bit Verarbeitungskapazität finden. Je ein Latch und ein Prioritätscodierer werden für die Bit's 0 - 7 und je ein weiteres für die Bit's 8 - 15 verwendet.

Z	D	C	B	A	BLOCK
0	0	0	0	0	I
1	0	0	0	1	I
2	0	0	1	0	I
3	0	0	1	1	I
4	0	1	0	0	I
5	0	1	0	1	I
6	0	1	1	0	I
7	0	1	1	1	I
8	1	0	0	0	II
9	1	0	0	1	II
10	1	0	1	0	II
11	1	0	1	1	II
12	1	1	0	0	II
13	1	1	0	1	II
14	1	1	1	0	II
15	1	1	1	1	II

Der Prioritätscodierer (kurz PC genannt) arbeitet mit einer negativen Logik, d.h. der Zustand L (Low) gibt die höchstwertige Stelle an. Weil die Latches keine „Inv Q“-Ausgänge besitzen, muss die Inversion des Eingangssignals schon bei den Komparatoren erfolgen. Bei der Eingangsspannung $U_e = 0$ V haben alle Komparatoren den log. Zustand H (High), und je nach Erhöhung der Eingangsspannung springen die Komparatoren auf den Zustand L. Der PC wandelt aus der Anzahl der L-Zustände die zugehörige binäre Ziffer.

Ein PC von 8 Bit erzeugt also je nach Eingangszustand die binären Zahlen 000 - 111 = 0 - 7. Da aber der zweite PC die Zahlen 1000 - 1111 = 8 - 15 abbilden soll, müssen die Ausgänge der PC so verschaltet werden, dass ab der Zahl 8 der erste PC inaktiv wird und der Zweite die weiteren Zahlen (8 - 15) codiert.

[2] Die Bezeichnung 4 Bit heißt korrekt 2^4 Bit, also 16 Bit. In den meisten Datenblättern und Fachliteratur wird aber für komplexe Schaltungen (wie ADU) nur der Exponent zur Basis 2 angegeben, während bei TTL-Bausteinen 1 Bit die kleinste log. Einheit darstellt (0 oder 1). Im Folgenden werden auch die 16 darstellbaren Ziffern als 16 Bit verstanden

Es fällt ins Auge, dass die ersten drei Stellen (A, B, C) der beiden Blöcke 0 - 7 und 8 – 15 identisch sind (in der 4. Stelle unterscheidet sich der zweite Block durch eine zusätzliche 1). Diese 1 wird vom Lösch-Ausgang (Enable out, wird bei Kaskadierung der PC benötigt) des zweiten PC erzeugt. Da aber einfaches Verbinden der Ausgänge nicht erlaubt ist (die beiden Ausgänge können verschiedene Zustände haben), wird, je nachdem, welcher Block gerade Priorität besitzt (0 - 7 od. 8 - 15), der jeweilige PC durch Tri-State Gatter aktiv, bzw. inaktiv gehalten. Die PC erzeugen den Binär-Code ebenfalls in der negativen Logik; darum muss dieser zur nötigen 7-Segment-Codierung invertiert werden.

Einen integrierten Binär-zu-7-Segment Codierer ist nicht erhältlich, infolgedessen muss der "Umweg" über den BCD-Code gemacht werden.

Der Taktgenerator ist ein, als astabiler Multivibrator geschalteter Timer. Das D-Latch ist nicht taktflanken, sondern taktzustandsgesteuert, und muss deshalb mit besonders kurzen Taktimpulsen angesteuert werden (t_H). Die Verarbeitungszeit (Haltephase, t_L) richtet sich nach dem Verwendungszweck. Als Demonstationsmodell genügt eine Low-Zeit t_L = 200 ms, da hier nur eine visuelle Datenerfassung erfolgt. Kurze positive Taktimpulse können mit dem Timer nur als negative dimensioniert werden. Deshalb muss die Taktfrequenz durch den nachgeschaltetem Inverter negiert werden (siehe auch Taktzeiten unter 2.4.1).

Die Messwiderstände sind normal toleriert (2% - 10%), um Umwandlungs-Ungenauigkeiten bei ungenügender Toleranz deutlich zu machen.

Als Referenzspannung wird 10 V gewählt, da diese Spannung in der Analog-Rechentechnik (u.ä.) meistens benutzt wird. Die Referenzspannung erzeugt ein dafür spezielles IC, welches bei Eingangsspannungen von 12-40 V eine Ausgangsspannung von genau 10,00 V hält. Die Versorgungsspannung für die TTL-Bausteine U_{ttl} = 5 V) wird von einem integriertem Spannungsregler (5 V /1 A mit Kühlblech) erzeugt. Da die Komparatoren nur Eingangsspannungen, die kleiner als ihre Versorgungsspannungen sind, unterscheiden können, muss ein zweiter Spannungsregler für U_{okomp}.=15 V vorgesehen werden. Die variablen Eingangsspannungen der Spannungsregler erlaubt eine Speisung des ADU mit einer ungeregelten Versorgungsspannung U_o = 17 - 25 V / 500 mA.

2.3 Technische Realisierung

Die Forderung nach Minimisierung der geometrischen Abmessungen verlangt zum einen, höher integrierte Bauteile (z.B. IC's mit mehreren Komparatoren) zu verwenden, zum anderen eine enge Verlegung der Leiterbahnen auf der Platine (Layout 2:1 fertigen).

Die Messwiderstände (R_1 - R_{16}) sind auf Lötstützpunkte gelötet, um ein leichtes Auswechseln zu gewährleisten (bei häufigem Löten tritt eine starke mechanische Beanspruchung der Leiterbahn auf; insbesondere bei kleinen Lötaugen besteht die Gefahr, dass sich die Leiterbahn löst). R_1 und R_{16} müssen genau den halben Widerstandswert der restl. Messwiderstände aufweisen. Da ein solcher Wert in der normalen E 12 Reihe nicht auftritt, schaltet man zwei gleiche Widerstände der Größe R_2 - R_{15} parallel (die halben Werte sind nötig, damit der ADU schon bei ½ U_{LSB} von 0 auf 1 springt).Die Widerstände an den Ausgängen des Binär-zu-BCD Codierers sind notwendig, weil dieser Baustein "Open-Collector"-Ausgänge besitzt. Die Vorwiderstände der 7-Segment Anzeigen (R_{21} - R_{28}) dienen zur Strombegrenzung.

$I_{segment}$ ca. 20 mA bei U_{ttl} = 5 V folgt:

$$R_v = \frac{U_{ttl}}{I_{segment}} = \frac{5V}{20mA} = 250\,\Omega$$

R_v = gewählt 270Ω

Der Taktgenerator besteht aus einem Timer. Mit der angegebenen Beschattung arbeitet er als astabiler Multivibrator und folgenden Taktzeiten (siehe Abb. 2.2b). Diese Taktzeiten gelten für den Betrieb als Demonstrationsmodell mit visueller Datenverarbeitung (als DVM). Hier werden nur langsam veränderliche Größen ermittelt (Grenzfrequenzen siehe auch 2.4.1).

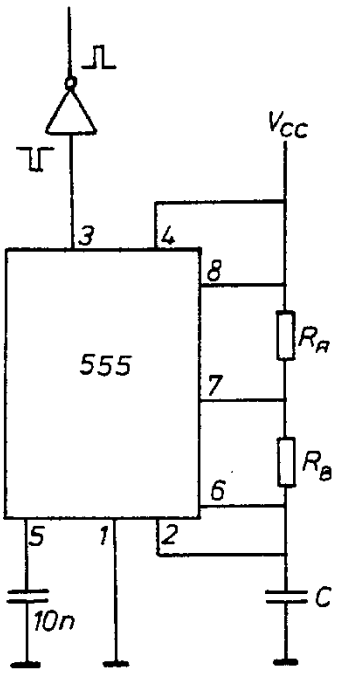


Abb 2.2a Taktgenerator

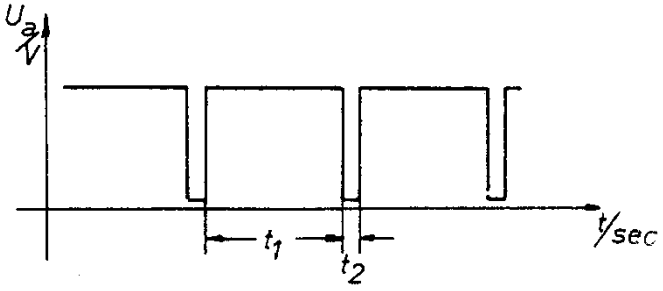


Abb. 2.2b Taktzeiten

$$t_2 = 0{,}693 * R_B * C \Rightarrow R_B = \frac{t_2}{0{,}693 * C}$$

$$t_1 = 0{,}693 * (R_A + R_B) * C \Rightarrow R_A = \frac{t_1}{0{,}693 * C} - R_B$$

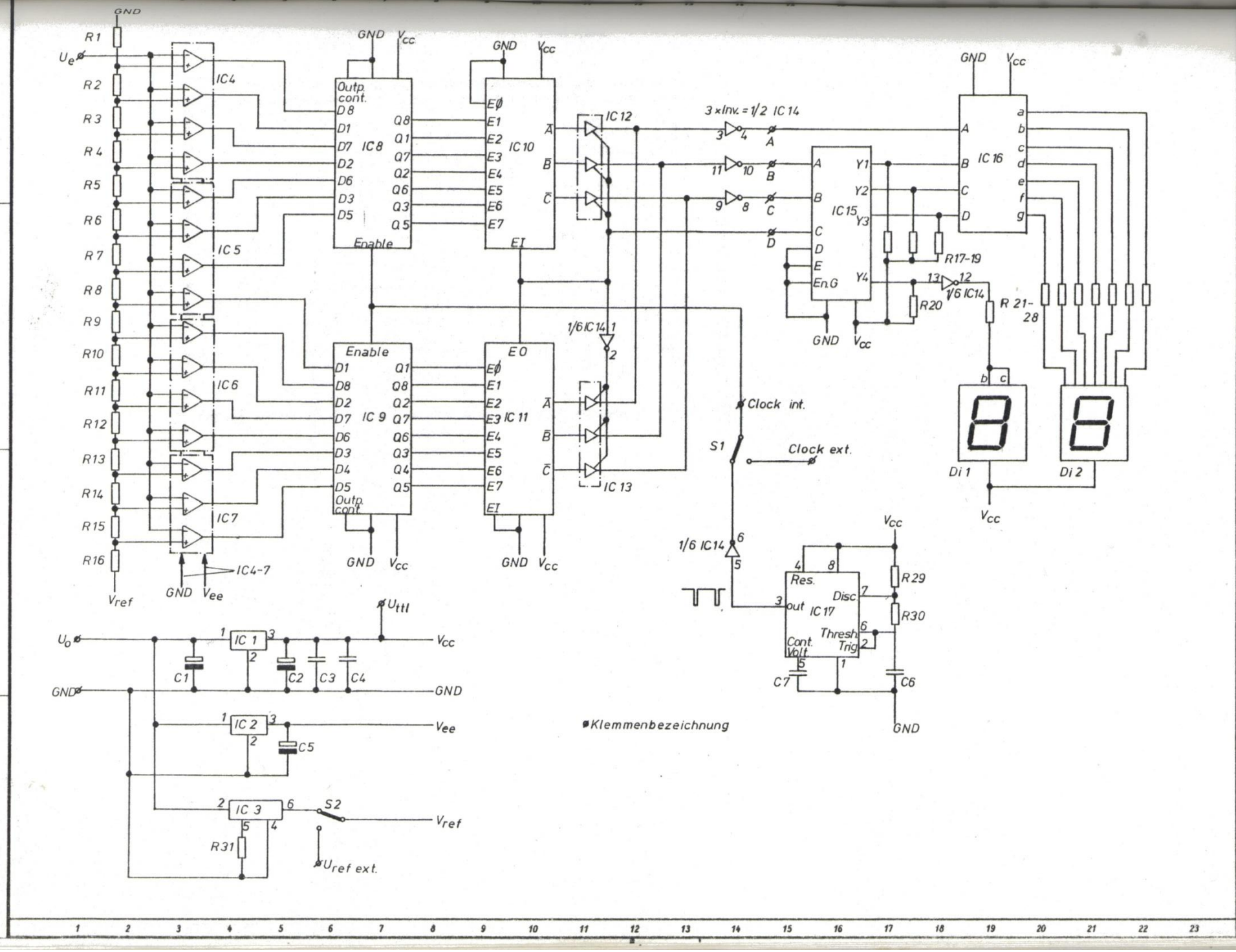
mit C = 0,1 µF folgt:

für t_1 = 10 µs $\Rightarrow R_B = \underline{120\,\Omega}$

für t_2 = 200 ms $\Rightarrow R_A = \underline{2{,}7\,M\Omega}$

Taktfrequenz und Referenzspannung sind auch auf externen Betrieb umschaltbar (Clock ext.; U_{ref} ext.). Außerdem kann man den intern erzeugten Takt (Clock int.), die binären Werte (A, B, C, D) und die TTL-Versorgungsspannung (U_{ttl}) von außen über Lötstützpunkte abgreifen (falls der ADU mit komplexen Systemen verbunden werden soll).

Der, durch die enge Leiterbahnführung erforderliche, Layout Entwurf im Maßstab 2:1 wird auf fotographischem Wege auf 1:1 verkleinert. Mit diesem Film stellt man dann die Platine her (belichten, entwickeln, ätzen, bohren).



Einschub-Nr.
Komponente
Feld-Nr.
Ausgabe
Fert.-Nr.
Name
Datum
ÄM Nr.
Buchstabe

U. Sendrowski
6104 Seeheim

Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte gemäß DIN 34 Abschnitt 2.1 vor.

Benennung
4 Bit A/D-Wandler

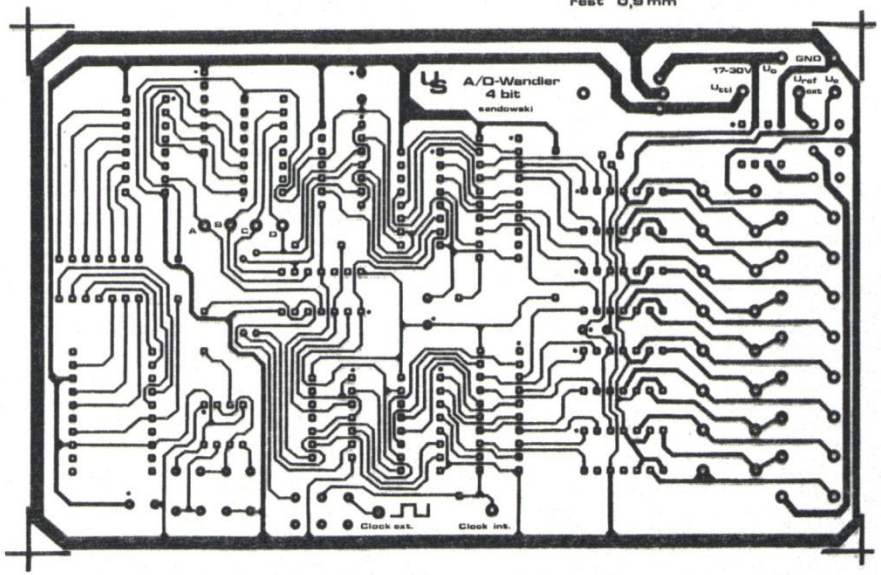
Blatt
22a

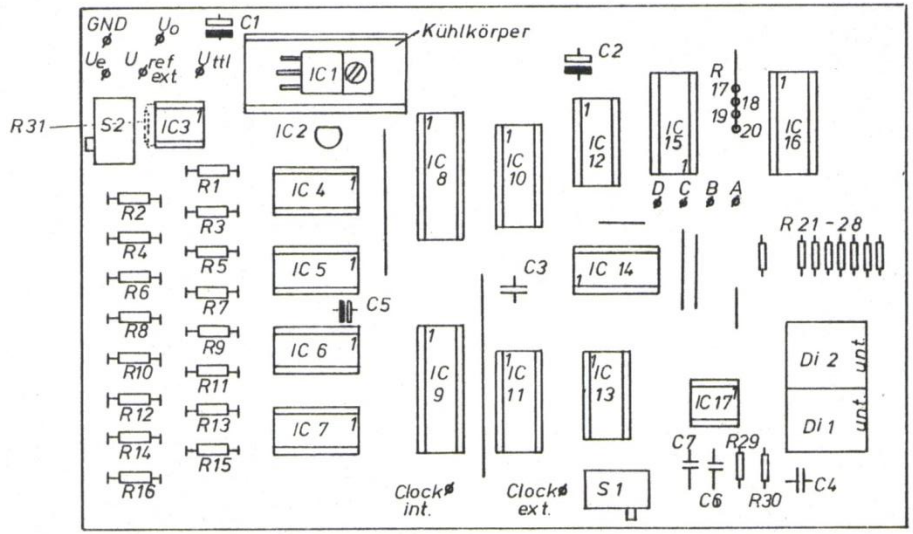
Zeichnung Nr.
Gesamtzahl der Blätter
gezeichnet
geprüft
normgeprüft
5.12.81

F 2605a ® 9/5

FILM:
50%; schichtseite = spiegelschrift

BOHRUNGEN:
1,4 mm
rest 0,9 mm





STÜCKLISTE

R1, R16	5 kOhm
R2 - R15	10 kOhm
R17 - R20	4,7 kOhm
R21 - R28	220 Ohm
R29	2,7 MOhm
R30	120 Ohm
R31	1,5 kOhm
C1	47 µF/30 V
C2	100 µF/10 V
C3, C4	68 nF
C5	10 µF/16 V
C6	10 nF
C7	100 nF
IC1	7805
IC2	78L15
IC3	REF 02
IC4 - 7	LM 339
IC8, 9	74LS373
IC10, 11	74LS148
IC12, 13	74125
IC14	74LS04
IC15	74LS185
IC16	74LS47
IC17	NE 555
Di1, 2	TIL 701
S1, 2	1 x um
Kühlkörper für IC1	

Einschub-Nr.
Komponente
Feld-Nr.
Ausgabe
Fert.-Nr.
Buchstabe
ÄM Nr.
Datum
Name

U. Sendrowski
6104 Seeheim

Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte gemäß DIN 34 Abschnitt 2.1 vor.

Benennung Bestückungsplan, ADU
Layout, Stückliste

Blatt 22b

Zeichnung Nr.
Gesamtzahl der Blätter
gezeichnet
geprüft
normgeprüft

F 2605s 9/5

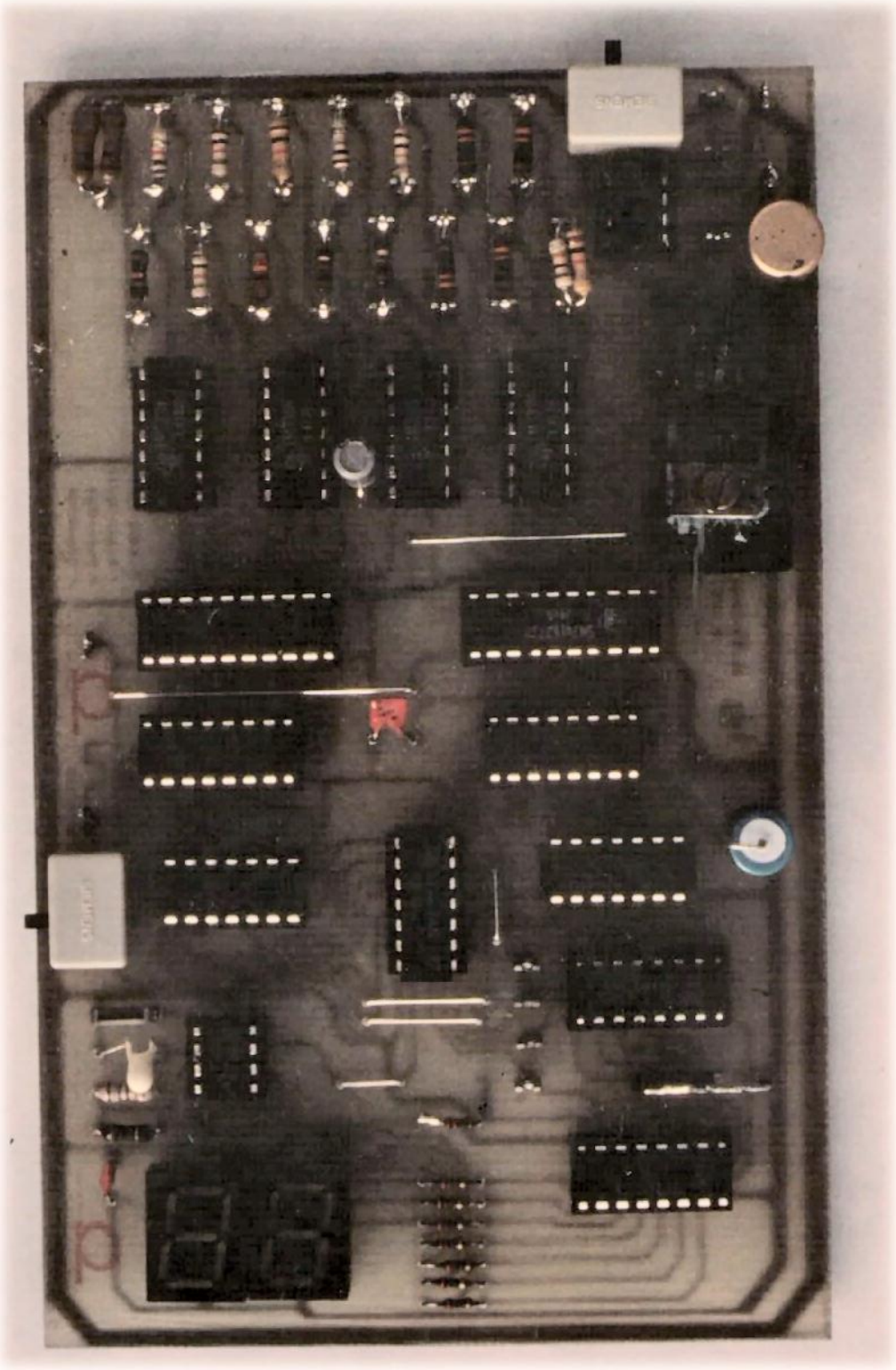


Foto 1: Ansicht des fertigen Analog/Digital Wandlers

2.4 Messungen

2.4.1 Grenzfrequenzen

Wie in Kap. 1 erwähnt, unterscheidet man generell zwischen schnellen und langsamen Wandlern. Der hier realisierte Wandler gehört zum schnellsten Typ, da hier die digitale Information "sofort" ansteht, und nicht durch langwierige Verfahren erst ermittelt werden muss. TTL-Bausteine haben i.a. Signallaufzeiten, die im Nanosekundenbereich liegen, also bei der folgenden Betrachtung eine sekundäre Rolle spielen. Langsamstes Glied in dem ADU ist der Komparator. Komparatoren sind schnelle Operationsverstärker (OpAmp) ohne Rückkopplung, deren Geschwindigkeit auf Kosten der Verstärkung erreicht wird. Die ausgewählten Typen (LM 339; 4fach Komp.) besitzen lt. Hersteller eine Reaktionszeit von ca. 1300 ns. Die folgenden Abbildungen zeigen den Schaltverlauf der Komparatoren bei a) tiefen Frequenzen und b) hohen Frequenzen.

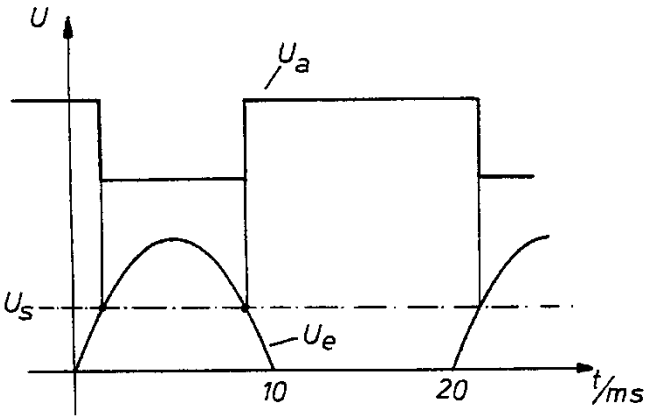


Abb 2.3a Schaltverlauf bei tiefen Frequenzen

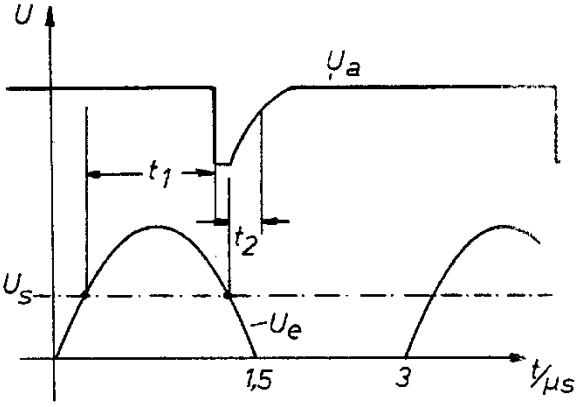


Abb. 2.3b Schaltverlauf bei hohen Frequenzen

Wie aus den Abbildungen ersichtlich, tritt bei hohen Signalfrequenzen die Reaktionszeit des Komparators stark hervor. Die Reaktionszeit von 1,3 µs errechnet sich als Summe von t_1 und t_2. t_1 ist die Verzögerungszeit der negativen Flanke (1 µs) und t2 die der pos. Flanke (0,3 µs). Bei noch weiterer Erhöhung der Eingangsfrequenz f_e würde die negative Flanke die Positive überschneiden; der Komparator schaltet nicht mehr. Die in Abb.2.3b angegebene Signalfrequenz kann für den Komparator als absolute Grenzfrequenz angesehen werden (ca. 333 kHz).

Würde der Komparator bei einer solchen Arbeitsfrequenz (wie o.a.) in einem ADU eingesetzt werden, müsste die Abtastfrequenz sicherstellen, dass in der t_L ca. 0,3 µs mindestens ein Abtast- Impuls fällt.

$$t_c < t_L \quad \text{bei} \quad t_L = 0{,}3\ \mu s \quad \Rightarrow \quad f_c > 3\ MHz$$

Wie erkennbar, verzögert sich in Abb. 2.3b der Schaltimpuls um ca. 1/3 T der Signalperiode, d.h. der Schaltimpuls hinkt dem wahren Schaltpunkt hinterher. Eine klare Information über den Momentanwert des Schaltpunktes liegt hier nicht mehr vor. Dieser Fehler wird mit Apertur-Jitter bezeichnet (siehe auch 1.3.4 Apertur-Jitter).

Im Allgemeinen lässt man einen Apertur-Jitter von U_{LSB} gelten; mit der Formel aus 1.3.4 folgt[3]:

$\Delta t_a = 1{,}3\ \mu s$

$U_{LSB} = 0{,}66\ V$

$U_{max} = U_{MSB} = 10\ V$

$$f_{e\,max} < \frac{U_{LSB}}{U_{max} * 2\pi * \Delta t_a} \Rightarrow f_{e\,max} < \frac{0{,}66V}{10V * 2 * 3{,}14 * 1{,}3\mu s}$$

$f_{e\,max} < 8{,}08\ kHz \equiv t_{e\,min} > 123\ \mu s$

Für die Taktfrequenz t_c gilt: je höher, desto genauer die Momentanwertaufnahme durch die größere Anzahl der Messwerte. Allerdings müssen dann bei sehr hohen Frequenzen die Signallaufzeiten der TTL- Bausteine berücksichtigt werden.

Für $f_{e\,max}$ ca. 8 kHz gilt:

$t_{c\,H\,max}$. ca. 1,3 µs (um noch jeden Wert aufzunehmen)

$t_{c\,L\,min}$ ca. 0,5 µs (Signallaufzeiten)

Die Messwertaufnahme bei Grenzfrequenz ist in Abb. 2.4 zu sehen.

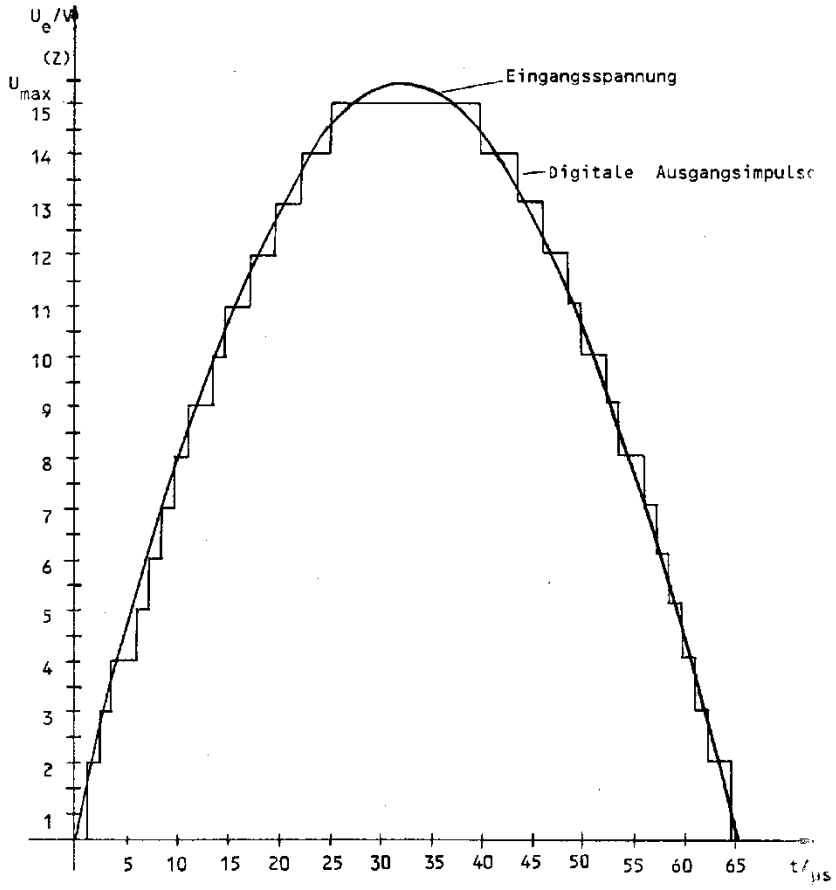


Abb 2.4 Messwertaufnahme bei Vollaussteuerung und Grenzfrequenz

Die Formel aus 1.3.4 weist im Nenner ½ U_{max} auf. Das gilt für einen ADU mit einem +/- Meßbereich.

2.4.2 Übertragungskennlinie / Umwandlungsfehler

Der Quantisierungsfehler (siehe1.3.4) entsteht durch das begrenzte Auflösungsvermögen des ADU.

Der 4 Bit ADU besitzt 16 mögliche Werte bei U_{max} =10 V

$$Q = U_{LSB} = \frac{U_{max}}{(Z)} = \frac{10V}{16-1} = \underline{\underline{0{,}66V}}$$

Quantisierungsfehler ± Q/2 = ±0,33V = ± 3,3%

Die - meist Bauteil- u. thermisch bedingten - Umwandlungsfehler, wie

- Verstärkungsfehler
- Nullpunktfehler
- Nichtlinearität
- Drift

lassen sich am besten aus der Übertragungskennlinie ablesen. Zur Messwertaufnahme werden die Schaltschwellen Punkt für Punkt bei Tu = 25°C, Tu = 65°C, T u = 115°C aufgenommen.

Wertetabelle der Übertragungsfunktion

Z	$U_{e\,id.}$ / V	$U_{e\,25°C}$ / V	$U_{e\,65°C}$ / V	$U_{e\,115°C}$ / V	U_{LSB} Teile
1	0,33	0,36	0,36	0,37	1/2
2	1,00	1,06	1,07	1,08	3/2
3	1,66	1,76	1,78	1,78	5/2
4	2,33	2,46	2,48	2,49	7/2
5	3,00	3,16	3,19	3,20	9/2
6	3,66	3,80	3,90	3,95	11/2
7	4,33	4,50	4,55	4,80	13/2
8	5,00	5,20	5,25	5,35	15/2
9	5,66	5,90	6,00	6,00	17/2
10	6,33	6,55	6,55	6,80	19/2
11	7,00	7,25	7,30	7,40	21/2
12	7,66	7,90	8,00	8,05	23/2
13	8,33	8,60	8,60	8,70	25/2
14	9,00	9,20	9,30	9,40	27/2
15	9,66	9,85	10,00	10,00	29/2

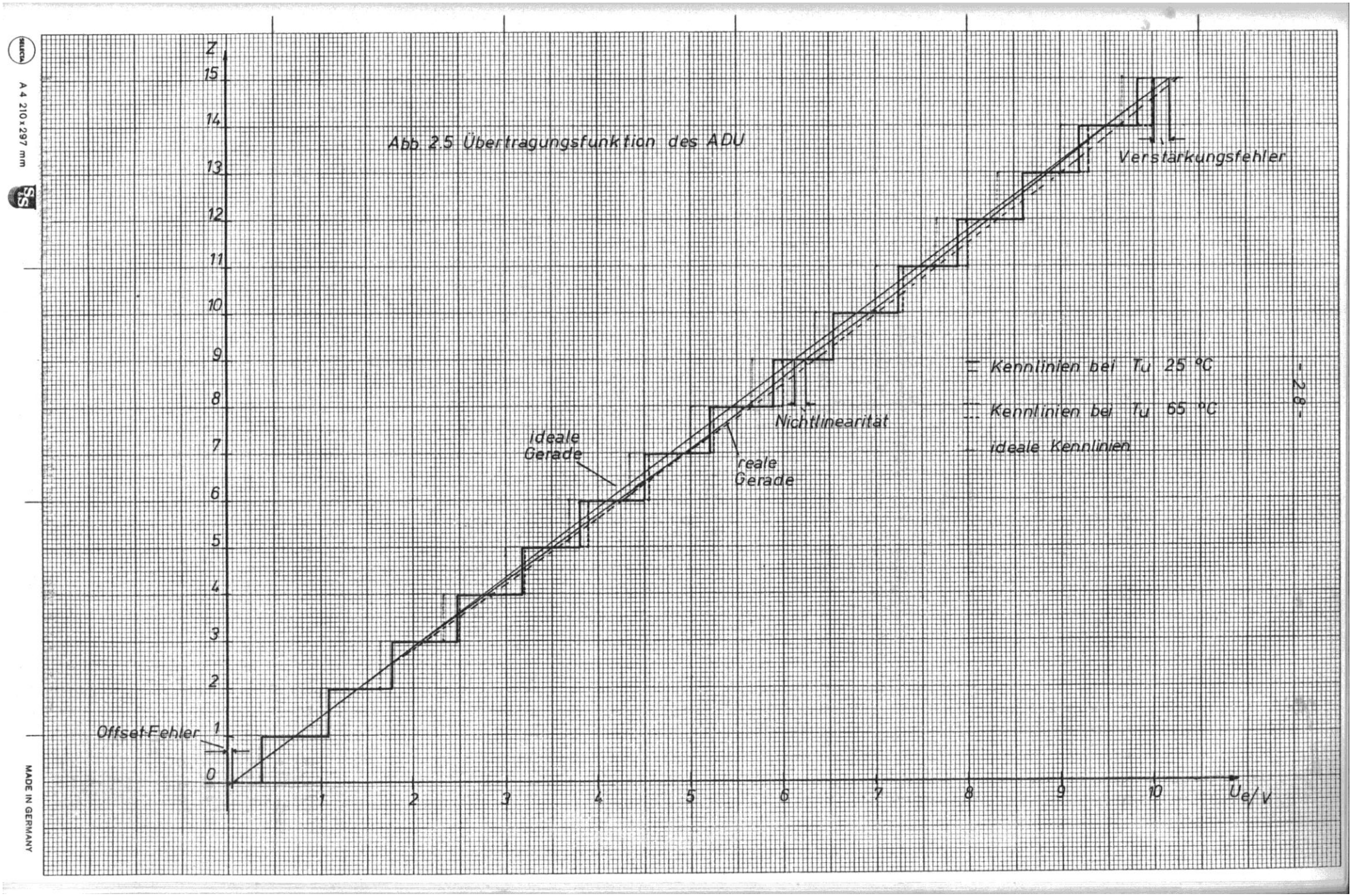


Abb. 2.5 Übertragungsfunktion des ADU

2.4.3 Fehlerbetrachtung

2.4.3.1 Verstärkungsfehler

Er entsteht in dem hier realisierten ADU durch Widerstandstoleranzen und dem endlichen Eingangswiderstand der Komparatoren und beträgt bei Messbereich-Endwert
dU_e = 0,25 V ≡ 0,37 LSB.

$$\text{Verstärkungsfehler} \quad F_v = \frac{\text{max Abweichung}}{U_{max}} * 100\%$$

$$Fv = \frac{0{,}25V}{10V} * 100\% = \underline{\underline{2{,}5\%}}$$

2.4.3.2 Nullpunktfehler

Dieser Fehler ist ebenfalls durch das nichtideale Verhalten der verwendeten Bauteile bedingt. Er beträgt hier dU_e = 0,1 V ≡ 1/7 LSB.

$$\text{Nullpunktfehler} \quad F_{off} = \frac{\text{max Abweichung}}{U_{max}} * 100\%$$

$$F_{off} = \frac{0{,}1V}{10V} * 100\% = \underline{\underline{1\%}}$$

2.4.3.3 Nichtlinearität

Die maximale Abweichung von der idealen Geraden beträgt bei T_u = 25°C; dU_e = 50 mV (bei Bit 9), das entspricht 1/14 LSB.

$$\text{Linearitätsfehler} \quad F_{lin} = \frac{\text{max Abweichung}}{U_{max}} * 100\%$$

$$F_{lin} = \frac{50mV}{10V} * 100\% = \underline{\underline{0{,}5\%}}$$

2.4.3.4 Drift

Die Messwiderstände und die Halbleiter besitzen einen Temperaturkoeffizienten, der den Arbeitspunkt dieser Bauteile verändert. Besonders bemerkbar macht er sich in den nicht besonders ausgewählten Messwiderständen (Widerstandszunahme). Die Offset-Drift ist bei höheren Temperaturen vernachlässigbar (nicht messbar). Der Verstärkungsfehler erhöht sich bei T_u = 65 °C um 0,1 V bei Endwert, das entspricht + 1%. Ins Auge fällt die erhöhte Nichtlinearität bei Bit 5, 6 und 8.

> max. Abweichung bei Bit 6 mit 0,1 V entspricht 1/7 LSB od. 1% von der tatsächlichen Kennlinie (T_u= 25°C.

Bei weiterer Erhöhung der Umgebungstemperatur tritt eine starke differentielle Nichtlinearität bei Bit 7 und 10 auf (siehe Wertetabelle). Diese differentiellen Nichtlinearitäten rühren von den verschiedenen Typen der Messwiderstände her, die bei hohen Temperaturen stark unterschiedliches Verhalten zeigen.

2.5 Abschließende Betrachtungen

Der beschriebene ADU besitzt mit einem Auflösungsvermögen von nur 4 Bit (= 16 Werten) eine geringe Quantisierungsgenauigkeit (aus der Fehlerbetrachtung geht hervor, dass der Quantisierungsfehler mit ± 3,3% am stärksten ins Gewicht fällt); jedoch zeichnet ihn eine, für diskreten Aufbau mit TTL-Bausteinen, relativ hohe Wandlungsgeschwindigkeit aus. Die auftretenden schaltungsbedingten Fehler liegen in guten Grenzen (Summe der Fehler F_v, $F_{off'}$ F_{lin} = 0,58 LSB). Mit präzisen Messwiderständen und einer Abgleichmöglichkeit lassen sich diese Werte noch verbessern. Eine Erhöhung der Grenzfrequenz ist mit schnelleren Komparatoren möglich.

In der Industrie werden von führenden Halbleiterherstellern ADU's mit einer Auflösung von 12 Bit und einer Wandlungsgeschwindigkeit von ca. 20 - 30 µs angeboten. In solchen Bausteinen sind zum Teil schon alle Systemkomponenten integriert (bis auf einige wenige Widerstände und Kondensatoren), und nehmen nicht mehr Platz, als ein mittlerer TTL-Baustein in Anspruch.

Allerdings liegt der Anschaffungspreis eines solchen Wandlers auch um die 700 bis 1000 DM.

3 Bau eines Digitalen Fernthermometers

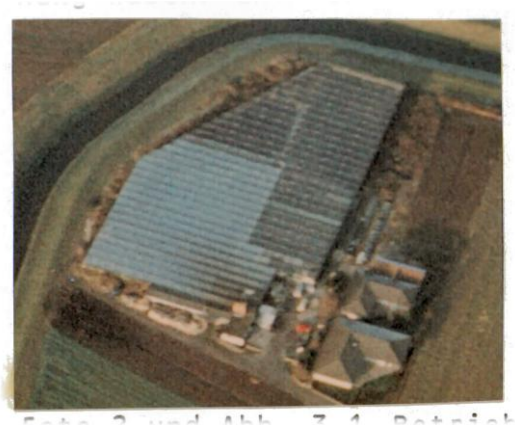
3.1 Konstruktionsgründe / Voraussetzungen

Zur besseren Temperaturüberwachung in Gartenbaubetrieben soll eine Fernüberwachung (Gewächshäuser -Wohnhaus) konstruiert werden. Dadurch wird insbesondere in der kalten Jahreszeit eine manuelle Kontrolle (Kontrollgang) vermieden. Die nachstehend beschriebene Realisierung geht vom Gedanken der Serienfertigung aus, d.h. Kosten- u. Arbeitsminimierung verbunden mit einer noch zu vertretenden Genauigkeit.

Das Gerät soll digital (gute Ablesbarkeit) die Temperatur der verschiedenen Gewächshäuser anzeigen und bei Unterschreiten einer wählbaren Solltemperatur sowie Netzausfall Alarm geben.

Der erste Prototyp soll bei der Fa. Kasten; Losch eingebaut werden. In Zusammenarbeit mit diesem Gartenbaubetrieb sind auch die grundlegenden Überlegungen und technischen Anforderungen fixiert worden. Der Serienbau wird ebenfalls in Zusammenarbeit mit der Fa. Kasten durchgeführt. Um rechtlich und steuerlich günstige Voraussetzungen zu haben, wird eine Gesellschaft des bürgerlichen Rechts (GdbR) mit dem Firmennamen SEKA-technics; Sitz Losch/Bergstr. gegründet.

Zu Beginn sollen zwei Kleinserien produziert werden; a) Reine Thermometer (für Betriebe, die schon eine Warnung haben) und b) Thermowarngeräte.



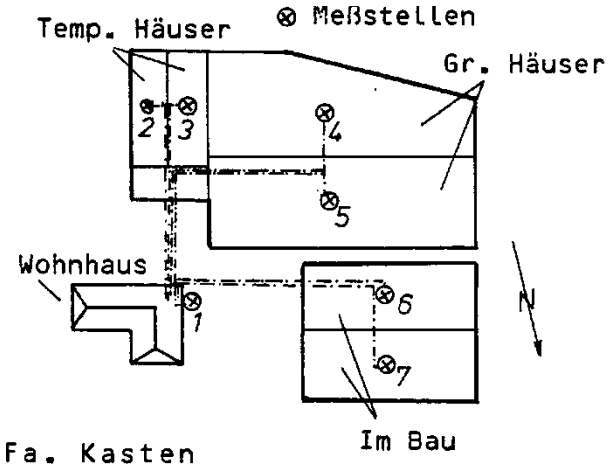


Foto 2 und Abb. 3.1 Betrieb Fa. Kasten

3.2 Anforderungen

a) **Thermometer:**
Für mittlere Betriebe erscheinen 8-10 Messstellen ausreichend (8 Messstellen sind technisch leichter realisierbar). Die maximale Messentfernung liegt i.a. bei 100 Metern. Bei dieser Messentfernung ist eine Genauigkeit von 0,5°C noch kostenmäßig zu vertreten. Die Genauigkeit darf sich allerdings bei einem, mit kurzem Messkabel abgeglichenem Gerät und dem folgenden Einbau in Betrieben (Langes Messkabel) nicht deutlich verschlechtern. Der Messbereich erstreckt sich für unsere Breitengrade von ca. –20°C bis +40°C.

b) **Warnung:**
Jede Messstelle ist in 3°C-Schritten von 0°C bis 18°C temperaturüberwacht (für normale Kulturen ausreichend). Der Einbau einer speziellen Warntemperatur ist möglich. Das Unterschreiten der Solltemperatur wird optisch durch die jeweilige Leuchtdiode und akustisch durch einen eingebauten Warnsummer angezeigt. Bei Netzausfall wird der

Warnsummer allein eingeschaltet. Der akustische Alarm ist an der Frontplatte abschaltbar (bei Versand liegt auch Netztrennung vor).

c) **Konstruktion:**
Das Gerät soll einfach zu installieren sein; möglichst durch die Gärtner selber. Die Messfühler müssen das extreme Gewächshausklima auf lange Zeit vertragen. Im Reparaturfall soll diese schnell und einfach durchgeführt werden können (Einschubsystem). Eine übersichtliche Anordnung und einfache Handhabung der Anzeigeeinheit, Schalter etc. ist vorzusehen. Die benötigten elektrischen Bauteile sollten in Standardprogrammen von Distributoren vorhanden sein (kurze Lieferzeiten, Kostenersparnis). Das Gerät soll mit möglichst geringem zeitlichem, personellem und finanziellem Aufwand herzustellen sein. Außerdem ist die Forderung des Systembaues zu berücksichtigen (2 Serien siehe 3.1). Das einfache Thermometer muss zu einem Thermowarngerät erweiterbar sein und auch mit 1,2,4 Fühlern arbeiten.

3.3 Elektrische Planung

3.3.1 Messwertwandlung

Die erste Stufe ist die Messwertaufnahme, d.h. die Wandlung der physikalischen Größe Temperatur in eine elektrische Größe Strom, Spannung, Widerstand etc. Im Allgemeinen werden temperaturabhängige Widerstände Verwendung finden; man muss jedoch den Kostenaspekt berücksichtigen, da die Messwertwandler 8 mal benötigt werden. In Laborgeräten werden sogenannte Platiniumelektroden verwendet; diese sind zwar sehr genau, aber der Anschaffungspreis bewegt sich um die 100 DM/pro Stück und ist damit nicht akzeptabel.

Die Entscheidung für die Messwert-Aufnehmer fällt zugunsten temperaturabhängiger Widerstände in Halbleitertechnologie (PTC oder NTC). Zu berücksichtigen ist die Langzeitkonstanz, sowie ein linearer Verlauf der Kennlinie (Widerstandsänderung über der Temperatur).

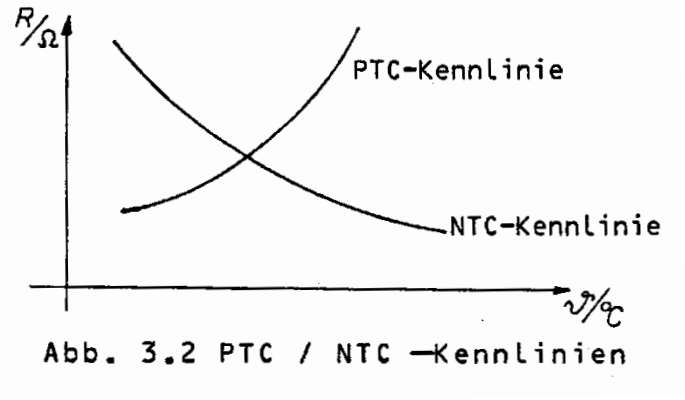


Abb. 3.2 PTC / NTC -Kennlinien

Die Fa. Siemens bietet einen neu entwickelten Temperaturfühler mit PTC-Charakter an (KTY10A), der die o.a. Anforderungen erfüllt. Durch die gute Linearität ist keine aufwendige Linearisierungsschaltung notwendig (Geradebiegen der Kennlinie) und die Kosten von 270 DM/100 Stück können als gut bezeichnet werden.

Die Messfühlertypen KTY10 werden in vier Versionen angeboten die den Index A, B, C, D, tragen. Die Unterschiede liegen in den verschiedenen Verläufen-der Kennlinien, insbesondere des

Bezugspunktes (Widerstand bei 25°C). Die A-Typen weisen eine Toleranz von 1% auf (B-Typ: 2%; C-Typ:5%; D-Typ 10%) und sind damit besonders geeignet.

3.3.1.1 Auswahlkriterien des Wandlungssystems

Zur elektrischen Messwertaufnahme der Temperatur sind mehrere Methoden im Gebrauch.

Thermoelemente:	billige sind zu ungenau, gute zu teuer; besitzen eine gekrümmte Kennlinie und können nur mit kurzen Maßleitungen verwendet werden; sind zu unhandlich und empfindlich gegen mechanische Einflüsse
Transistoren (PN-Übergang.):	sind sehr billig, haben jedoch starke gekrümmte Kennlinie, schlechte Langzeitkonstanz und sind auch nur mit kurzen Messleitungen zu verwenden
Temperatur Fühler PTC:	verhältnismäßig billig, teilweise gute Linearität und Langzeitkonstanz (Voraltern) und Betrieb mit längeren Messleitungen möglich (hochΩiger Fühler)

Bei Berücksichtigung aller Kriterien ist die Wahl auf einen PTC-Temperaturfühler in Halbleitertechnologie gefallen.

3.3.1.2 Auswahl des Wandlerbausteins

Der neuentwickelte Temperaturfühler von Siemens (KTY10) besitzt gute elektrische und mechanische Eigenschaften sowie einen vertretbaren Preis. Der Betrieb ist stromrichtungsunabhängig, d.h. ein Verpolen ist nicht von Bedeutung.

Da der Baustein nur in einem TO-92 ähnlichen Gehäuse (offene Anschlussdrähte) lieferbar ist, wird der Fühler in Polyesterharz vergossen (noch besserer Schutz gegen das extreme Gewächshausklima). Die dadurch entstehende längere Einstellzeit ist für den vorliegenden Fall nicht von Bedeutung. Die Typen KTY10A sind nach gleicher Steigung und 25°C-Punkt mit 1% Toleranz selektiert. Diese Selektion ist nötig, da 8 verschiedene Messfühlerwerte von einem A/D-Wandler verarbeitet werden sollen(siehe auch 3.3.2).

Technische Daten des Temperatur-Fühlers:

- Bezeichnung KTY 10 A
- Max. Dauerstrom I_{max} 10 mA bei 25°C in freier Luft
- Max. Dauerstrom I_{max} 1 mA bei 150°C in freier Luft
- Nennwiderstand 1980 - 2020 Ω bei 25°C
- Toleranz ± 1%
- Temp.-Bereich -50°C bis +150°C
- Gehäuse TO-236; ähnl. TO-92
- Kosten ab 100 Stück 2,70 DM

3.3.1.3 Linearisierung

Eine exponentiell verlaufende Kennlinie wird im Allgemeinen durch Serienvorwiderstände linerarisiert. Diese Vorwiderstände sind auch nötig, um in Verbindung mit temperaturabhängigen Widerständen einen Spannungsteiler zu bilden und dadurch erst eine, der Temperatur entsprechende Messspannung U_{Mess} zu erzeugen.

Generell ist zu sagen, dass eine fertige Formel oder ein allgemeingültiges Linearisierungsverfahren nicht existiert. Es kommt immer auf den Verlauf der Kennlinie und die Bereiche an, die zu linearisieren sind. Ein Ausprobieren von Serien- u. Parallelwiderständen ist selten zu umgehen. Auch im vorliegenden Fall wurden die gefundenen Werte der Widerstände zum Teil experimentell ermittelt.

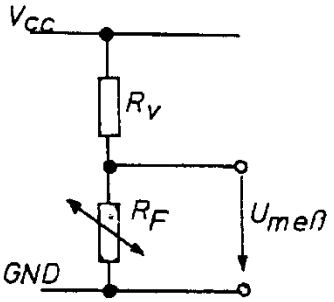


Abb.3.3a Einfache Linearisierung

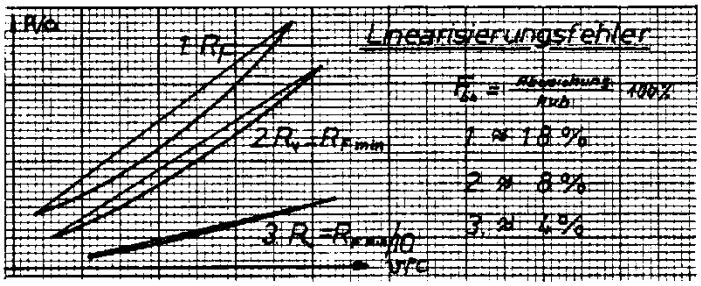


Abb 3.3b Kennlinien verschiedener Vorwiderstände

Die Größe des Vorwiderstandes R_v liegt i.a. zwischen ca. 2 x kleinster Fühlerwiderstand $R_{F\,min}$ und $R_{F\,min}$ /10. Je kleiner die Vorwiderstände, desto linearer wird die Kennlinie (siehe Abb. 3.3b); allerdings verkleinert sich dabei auch der Messspannungshub U_{Mess}, sodass die Spannungsdifferenzen der zugehörigen Temperaturen immer geringer werden.

In unserem Fall sind die Endbereiche der Kennlinie nicht so relevant, sondern es ist der Mittelteil zwischen –20°C bis +40°C messtechnisch zu erfassen (genaue Kennlinie siehe Abb. 3.4a). Mit einem Vorwiderstand von ca. $R_v = R_{F\,min}$ (ca. 1,5 kΩ) erhält man eine Linearisierungsverbesserung von ca. 50% bei genügend großem Spannungshub (Abb. 3.4a).

Wie aus dieser Abbildung ersichtlich überstreicht die Messspannungskennlinie $U_{Mess\ 1}$ den Bereich von ca. 1,5 V bis 1,8 V (-20°C bis +40°C).[4]

Da der Messbereich des ADU nur von +1 V bis -1 V geht, muss ein zweiter Vorwiderstand als Spannungsteiler vorgeschaltet werden (ca. 2 x (R_{Fmin} + R_v entspricht ca. 5,6 kΩ). Dieser zweite Vorwiderstand verschlechtert aber wieder den Linearisierungsgewinn, sodass ein hoher Parallelwiderstand (ca. 150 kΩ entspricht ca. 100 x $R_{F\ min}$) neben R_v und R_F nötig ist, um eine Linearisierungsverbesserung von ca. 20 – 30% zu erhalten. Die gewonnene Messspannungskennlinie $U_{Mess\ 2}$ wird dem ADU zugeführt.

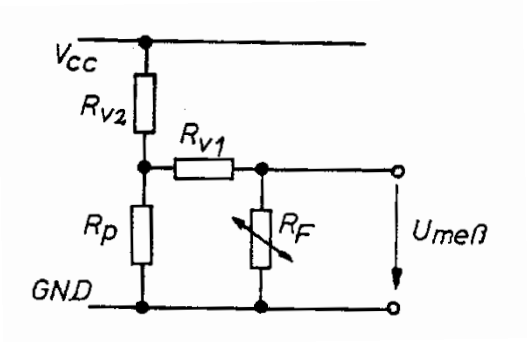


Abb. 3.3c Komplette Linearisierungsschaltung

3.3.1.4 Anpassung der Messkreise

Trotz 1%iger Selektierung ist die dadurch auftretende Toleranz noch zu groß (1% = ca. 5°C). Außerdem entstehen durch die Linearisierungswiderstände zusätzliche Toleranzen, die eine Anpassung der verschiedenen Messkreise nötig machen (verschieben der Kennlinie nach oben oder unten). Der Vorwiderstand R_{v2} wird hier in R_{v2} / 2 und P_1 aufgeteilt, um so einen variablen Spannungsteiler zu erhalten.

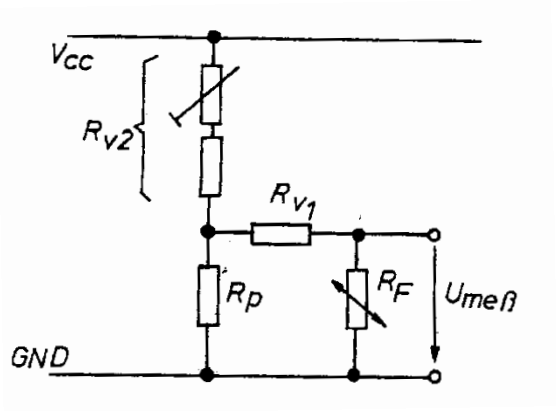
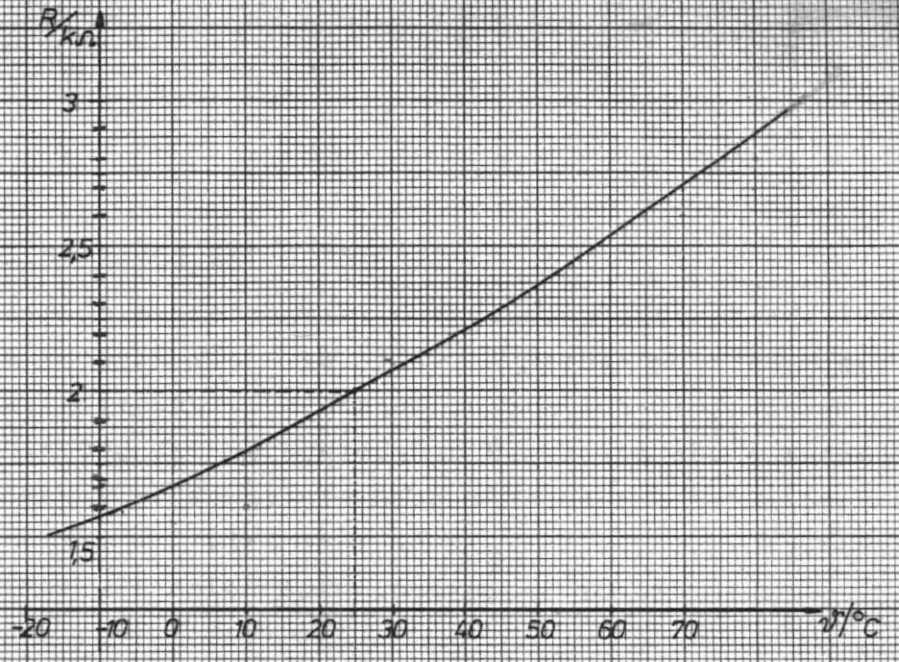


Abb 3.5 Anpassung der Messkreise 2-8 an 1

[4] An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass die Spannung zwischen Versorgungsspannung (+5V) und dem Anschluss "Common" des ADU nicht +5V sondern nur ca. +3V beträgt (hängt mit der internen Beschaltung zusammen).



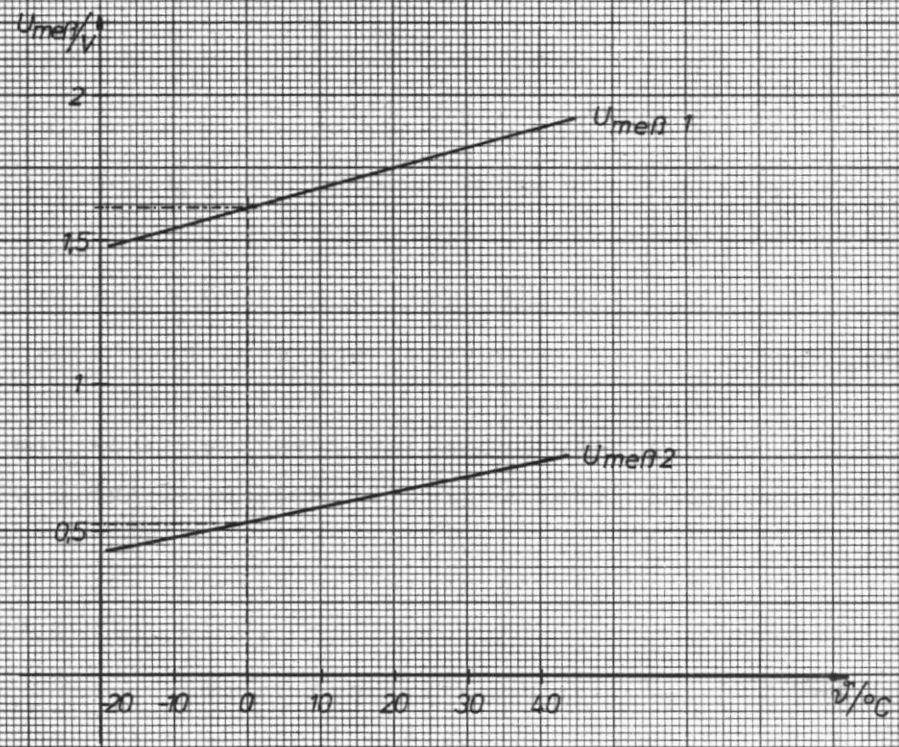


Abb 3.4a Kennlinien des Meßfühlers und der linearisierten Eingangsspannungen

SELECTA A 4 210 x 297 mm S&S MADE IN GERMANY

3.3.2 Messwertverarbeitung / Temperaturanzeige

Da 8 Informationen (analoge Spannungen der entsprechenden Temperaturen) gleichzeitig zur Verfügung stehen, jedoch nur ein ADU mit Anzeigeeinheit verwendet wird (Kostengründe), müssen die 8 Messspannungen zeitlich nacheinander verarbeitet und angezeigt werden. Dazu ist aber auch eine Anzeige notwendig, die dem Betrachter informiert, welche Messstelle im Moment angezeigt wird.

Ein Impulsgeber steuert ein System (MUX), welches kontinuierlich die Messwerte von 1 - 8 zum ADU durchlässt, der dann die Messspannung digitalisiert und anzeigt. Außerdem steuert der Impulsgeber ein zweites System, welches digital die Nummer des momentan erscheinenden Messkreises anzeigt. Es sind also immer zwei optische Informationen vorhanden:

a) die Nummer des Messkreises,
b) die Temperatur des jeweiligen Messkreises.

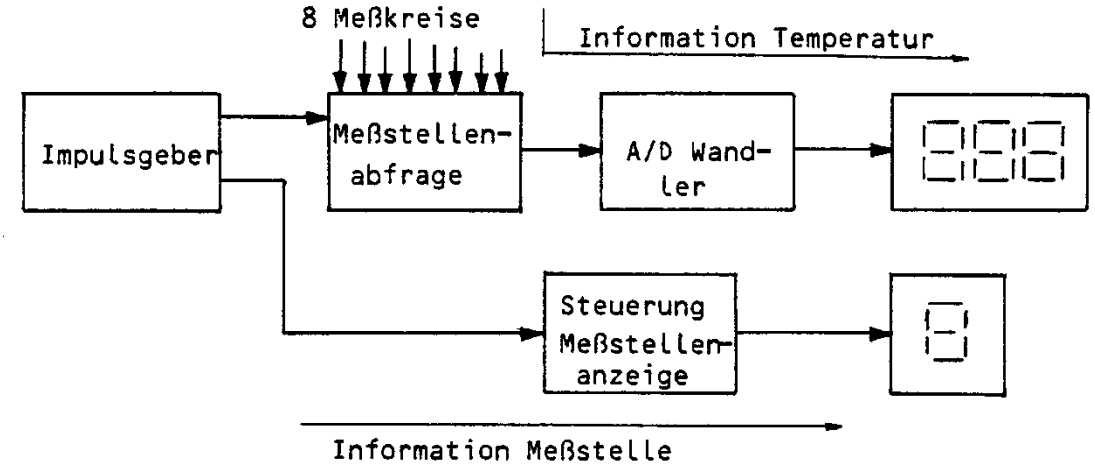


Abb 3.6 Bockbild der Messwertverarbeitung

3.3.2.1 Taktgenerator / Impulsgeber

Die 8 Messspannungen müssen, wie o.a. zeitlich verschoben verarbeitet werden. Dies geschieht durch Steuerung eines Impulsgebers und Multiplexers.

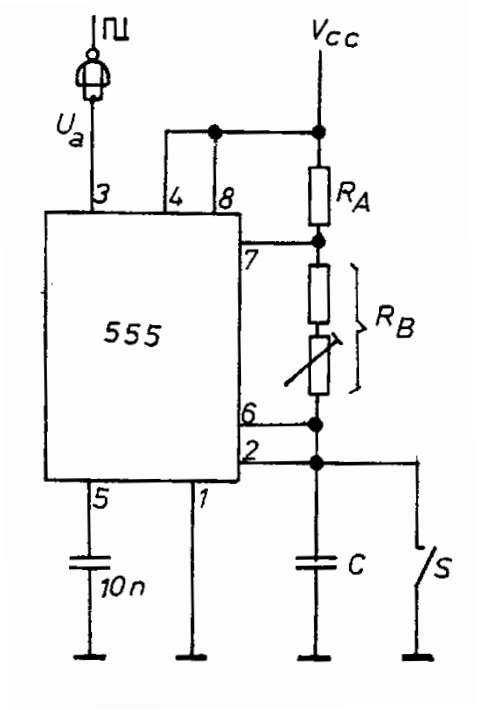
Der Impulsgeber besteht aus einem Taktgenerator (Timer als astabiler Multivibrator) und einem Binärcodierer (D-FlipFlop). Die Binär-Impulse steuern einen Analog-Multiplexer (MUX), der den jeweils durch den Binär-Code vorgeschriebenen Messkreis zum ADU durchlässt.)[5]

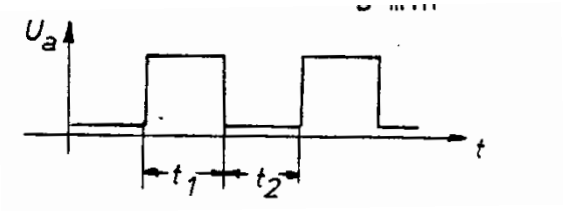
C	B	A	Z
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	2
0	1	1	3
1	0	0	4
1	0	1	5
1	1	0	6
1	1	1	7

Abb 3.7 Binär-Code

[5]Hier wird die Diskrepanz zwischen der Anzeige für die Messstelle (digitale Werte 0 - 7) und der Messkreis-Bezeichnung (1 - 8) deutlich. In der Digitaltechnik ist eben die Zahl 0 das erste Bit, bis zum 8. Bit, der binären Zahl 7 (siehe Abb. 3.7). Die Bezeichnung 0 - 7 tritt nur in der Anzeige und bei den Messfühlern auf (außerhalb des Gerätes um keine Widersprüche zu erzeugen). In den Schaltplänen (innerhalb des Gerätes) ist immer von 1 - 8; bzw. I - VIII die Rede. 0 - 7 ist dann in Klammern gesetzt und dient zur näheren Erläuterung.

Als Taktgenerator arbeitet ein Präzisionstimer (NE555). Die Dimensionierung der externen Bauteile ist vom Hersteller in der Applikation vorgegeben (siehe unten). Das NOR-Glied am Taktausgang dient zur Impulsaufbereitung, um eine gute Taktflanke zu gewährleisten (Schmitt-Trigger Effekt der TTL-Bauteile). Die Taktzeit ist in großen Grenzen einstellbar ausgelegt (beim Abgleich mit der normalen Taktzeit besteht eine lange Wartezeit, bis ein Zyklus abgelaufen ist). Die Taktzeit ist im Normalbetrieb so eingestellt, dass die halbe Periodendauer ca. 5 - 10 sec beträgt, um ein einwandfreies Ablesen der einzelnen Messstellen zu gewährleisten (jede Messstelle liegt dann für $^{T}/_{2}$ an; siehe Impulsdiagramm Abb. 3.10 und Kap. 3.5).





Taktzeiten

$t_1 = 0{,}639 * (R_A + R_B) * C$

$t_2 = 0{,}639 * R_B * C$

für t_1 und t_2 ca. 10-20 sec.

Ergibt sich folgende Dimensionierung:

C = 4,7 µF

R_A = 10 kΩ

$R_{B\,max}$ = 1MΩ

$R_{B\,min}$ = 100kΩ

Abb 3.8a Schaltbild Taktgenerator Abb.3.8b Taktzeiten

Der Schalter S dient zum Unterbrechen der Taktimpulse, und damit zum Stoppen der Messstellenanzeige (C = 0 damit $t_1 = 0$ und $t_2 = 0$; wird nur bei einem angeschlossenen Messkreis und bei längerer Kontrolle eines Messkreises benötigt).

Um aus der Rechteckschwingung des Taktgenerators die binären Impulse für die Zahlen 0 - 7 zu erhalten, müssen die Rechteckimpulse zweimal in der Frequenz geteilt werden. Die folgenden J-K Flip-Flop (FF) sind als Toggle-FF (T-FF) geschaltet, d.h. bei jeder positiven Taktflanke wechselt am Ausgang Q bez. Inv-Q der logische Zustand. Zu berücksichtigen ist, dass durch die Schalter S_1 bis S_3 (Zählen bis 1 od. 2 od. 4 od. 8) und die dazu benötigten NOR-Glieder eine Inversion der binären Impulse auftritt. Darum muss durch den Taktgenerator und die folgenden FF der inverse binäre Code erzeugt werden.

B = Eingang

A = Schalter

A	B	Y	$\overline{Y}$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

Zustand Schalter geschlossen

Zustand Schalter offen

Abb. 3.9a Wahrheitstabelle OR-Glied (Y), bzw. NOR-Glied (Inv-Y)

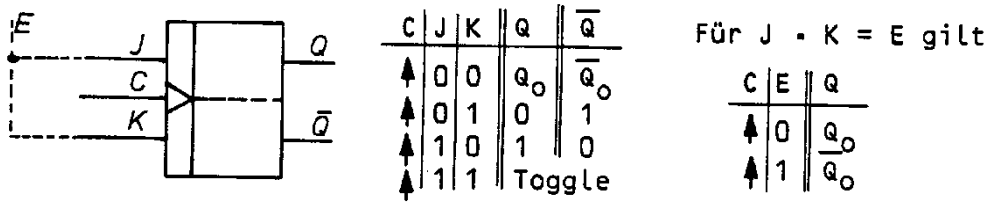


Abb 3.9b J-K Flip-Flop als Toggle Flip-Flop

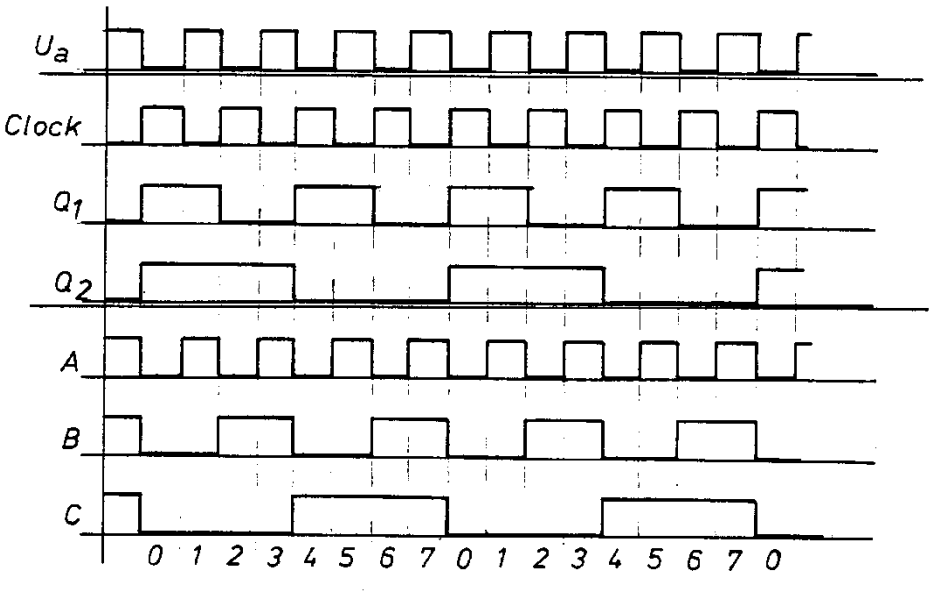


Abb. 3.10 Impulsdiagramm des Impulsgenerators

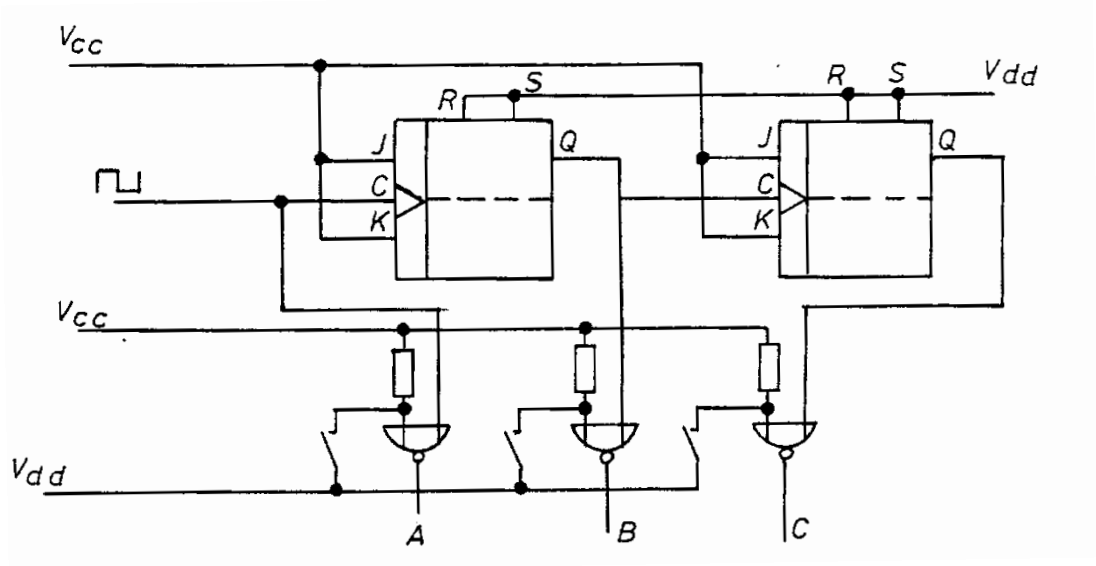


Abb. 3.10b Schaltbild des Impulsgenerators

3.3.2.2 Messstellenabfrage

Die Abfrage der einzelnen Messstellen wird mit einem Analog-Multiplexer (MUX) durchgeführt. Dieser integrierte Baustein lässt die, an seinen 8 Eingängen anliegenden analogen Spannungen zu einem gemeinsamen Ausgang durch. Die binäre Information vom Impulsgeber gibt an, welcher

Eingang zum Ausgang durchzuschalten ist; und damit am ADU anliegt. Dieser Vorgang wird mit multiplexen bezeichnet. Hier wird ein 8-Kanal Multiplexer verwendet, der 8 Eingänge (E_0 bis E_7), 1 Ausgang (A_0) und 3 Steuereingänge (A;B;C) besitzt.

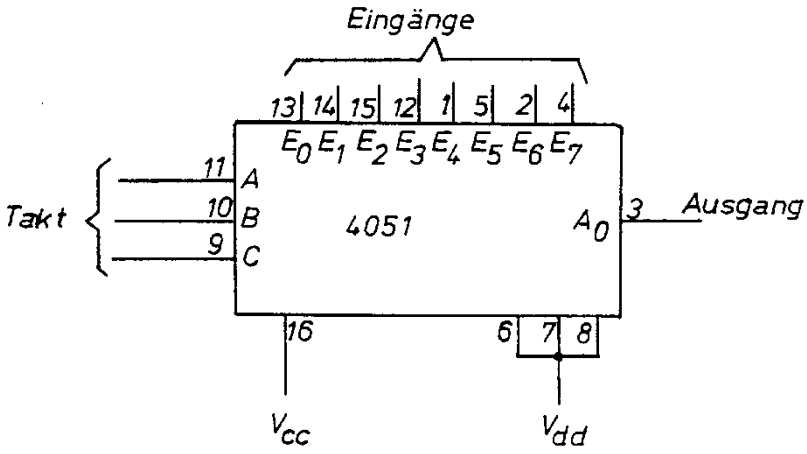


Abb. 3.11 Schaltbild Messstellenabfrage

3.3.2.3 Auswahlkriterien des ADU

Der ADU ist das Herz der Schaltung. Hier wird die analoge Messspannung in einen digitalen Wert (im weiteren in dem 7-Segment Code für die Anzeigen) gewandelt. Es sind mehrere Auswahlkriterien zu beachten:

- einen ADU, der einen binären Code oder gleich einen 7-Segment Code erzeugt
- welche Auflösung ist erforderlich? (Quantisierungsfehler)
- Systemauswahl; unterschiedliche Systeme besitzen unterschiedliche Wandlungszeiten, erreichbare Genauigkeiten und Störanfälligkeiten
- Kostenwahl

Die verschiedenen A/D-Systeme sind unter 1.3 genau beschrieben. Daraus wird ersichtlich, dass unter Berücksichtigung aller Gesichtspunkte die Entscheidung auf das "Dual-Slope"-Verfahren mit direktem 7-Segment Ausgang fällt. Die Fa. SE-electronic bietet einen Baustein an (ICL 7107 von Intersil), der auch schon alle Systemkomponenten, wie Taktgenerator, Referenzspannung und. automatische Nullpunktkorrektur enthält.

Das "Dual-Slope"-Verfahren filtert systembedingt eventuelle Einstreuungen auf den Messleitungen bei geeigneter Taktwahl aus (siehe 1.3.1). Da Temperaturen große Zeitkonstanten aufweisen, wird kein Wert auf besondere Schnelligkeit gelegt; der Anzeigeumfang mit ± 2000 Digit, entspricht etwa 2^{12} Bit, ist völlig ausreichend. Das "Dual-Slope"-Verfahren ist mit Abstand das Genaueste.

3.3.2.4 Beschaltung des ADU

Wie in 3.3.2.3 erwähnt, enthält der verwendete ADU schon alle Systemkomponenten, sowie Anzeigedekodierer und Treiber. Als externe Bauteile werden nur noch einige Kondensatoren und Widerstände benötigt. Die Bauteildimensionierung richtet sich nach der Applikation des Herstellers (Ausnahme: Nullabgleich) Die externen Bauteile werden zur

- Nullpunktkorrektur (Auto Zero; siehe 1.3.1; C303)

- Integration (siehe 1.3.1; C304, R 302)
- Takterzeugung (siehe 1.3.1 und 3.5; C302, 8301)
- Referenzstabilisierung (siehe 1.3.4g; um Roll-Over Fehler kleiner als ½ LSB; C301)
- Messspannungsstabilisierung (gegen kurzzeitige Schwankungen der Messspannung; C306)
- Eingangsfilter (gegen HF-Einstreuungen; C305; 8305)
- Verstärkungsabgleich (set V_{ref}; die Referenzspannung wird damit in Bezug zur Messspannung und damit zur Temperatur gebracht; R303, P301)
- Nullpunkt-Abgleich (s.u. verschieben der Kennlinie, so dass 0°C auch 0 V entsprechen; R304, P302)

benötigt.

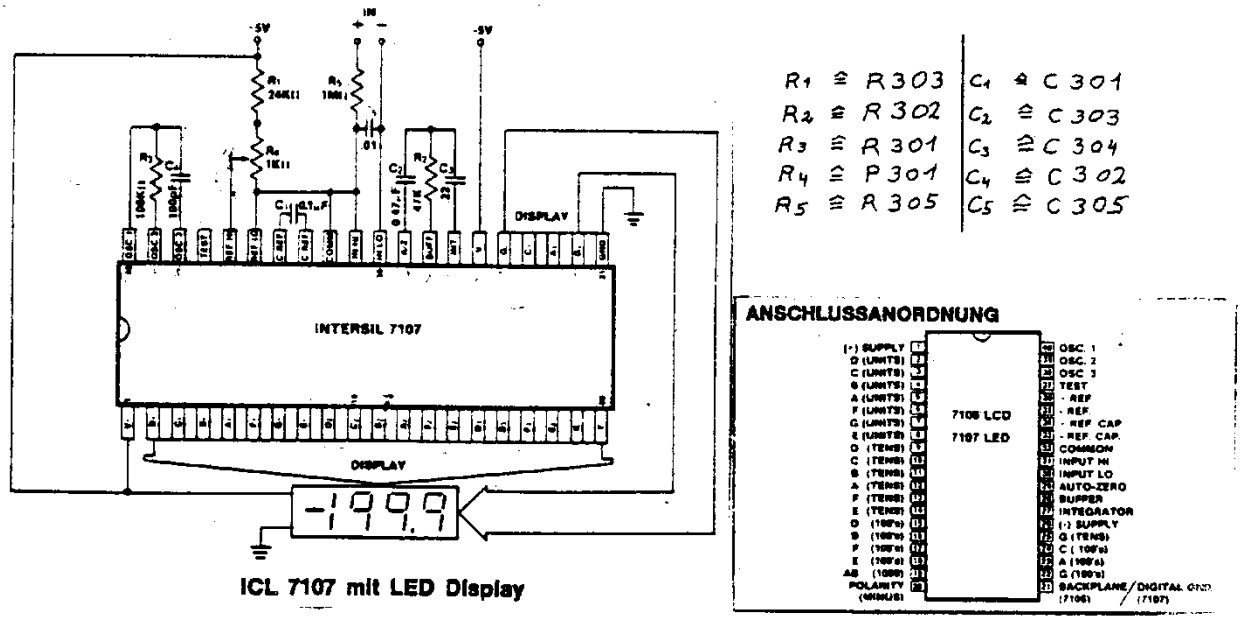


Abb. 3.12 Beschaltung des ADU nach der Applikation

Nullabgleich:

Das "Dual-Slope"-Verfahren besitzt normalerweise einen automatischen Nullabgleich (Auto-Zero); d.h., bei Eingangsspannung = 0V (Eingang kurzgeschlossen) folgt die Anzeige = 0000. Da aber 0°C eine definierte Eingangsspannung aufweist (siehe Kennlinien Abb. 3.4a, bei 0°C ca. 1,6 kΩ ≡ Messspannung U_{Mess} = 500 mV), muss der Masse-Punkt (Nulllinie) um 500mV angehoben werden. Dies wird mit dem Spannungsteiler R304, P302 erreicht. Beim Eichen muss zuerst der Nullpunkt und dann die Verstärkung (Skalenfaktor) abgeglichen werden.

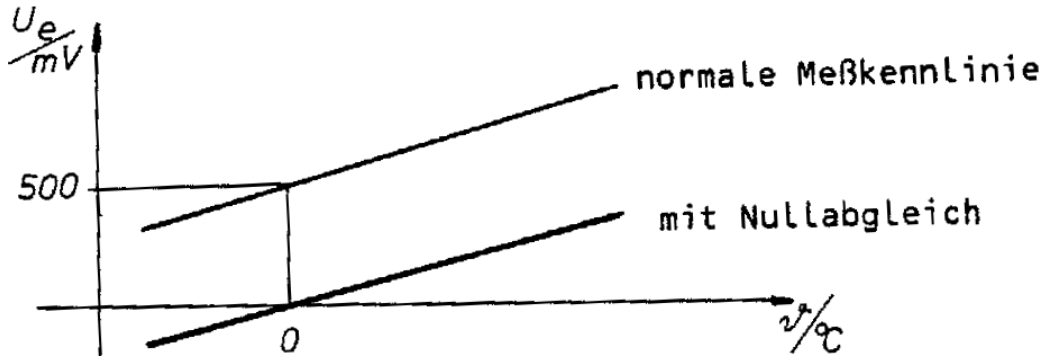


Abb 3.13a Nullpunktabgleich der Kennlinie

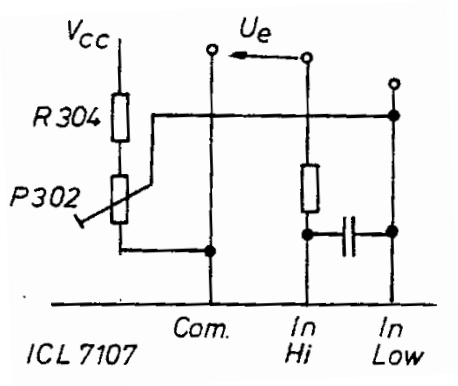


Abb. 3.13b Nullpunktbeschaltung des ADU

Da die Genauigkeit 0,5°C beträgt, muss die Anzeige auch in der Lage sein, die $^{1}/_{10}$ Grade anzuzeigen. Bei einem Messbereich von -20 bis +40°C müssen insgesamt drei Stellen zur Temperaturanzeige (Dezimalpunkt ist konstant bei $^{1}/_{10}$°C) und das Vorzeichen (-) angezeigt werden. Der ADU besitzt einen Anzeigeumfang von -1999 bis +1999 Digit und ist damit für die Temperatur-Anzeige ausreichend.

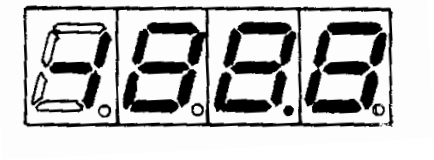


Abb. 3.14 Digital-Anzeige

3.3.2.5 Steuerung der Messstellenanzeige

Die vom Impulsgeber gelieferten binären Signale werden auch zur Anzeige der Messstellen benutzt. Dazu wird das jeweilige binäre Signal von einem BCD zu 7-Segment Dekoder gewandelt und auf eine 7-Segment Anzeige gegeben. Eine vorherige Wandlung von dem Binär-Code in den BCD-Code ist nicht notwendig, da der BCD-Code mit dem BCD-Code bis zur Zahl 9 (1001) übereinstimmt.

Der verwendete Baustein beinhaltet die 7-Segment-Dekodierung, Latch und Anzeigentreiber.

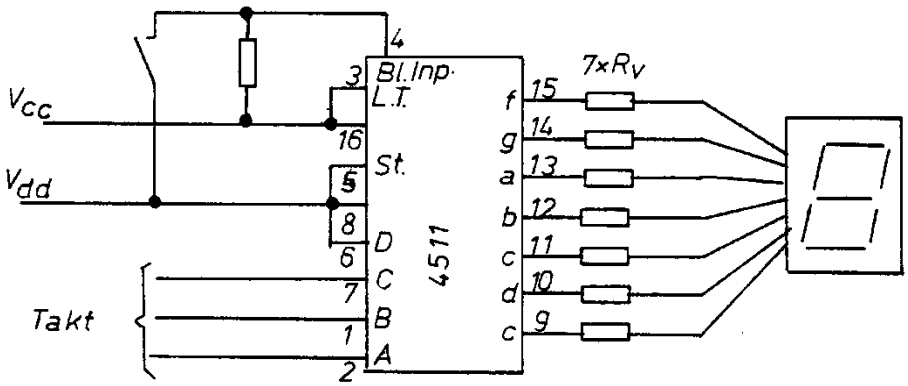


Abb. 3.15 Messstellenanzeige

Die Widerstände zu der 7-Segment Anzeige dienen zur Strombegrenzung. Pro Segment ca. 10 mA.

$$R_V = \frac{U_0}{I_{seam}} = \frac{10V}{10\ mA} = \underline{\underline{1\,kOhm}}$$

Der Eingang "Blank Input" (4) ist normalerweise auf High gelegt (Anzeige an). Das Löschen der Messstellenanzeige wird durch S404 erreicht (Low auf 4), und ist bei Betrieb mit nur einer Messstelle nötig.

Wegen der möglichst symmetrischen Last an dem Netzteil ist die Temperaturanzeige mit gemeinsamer Anode und die Messstellenanzeige mit gem. Kathode ausgelegt.

3.3.2.6 Netzteil

Benötigt wird ein Netzteil mit einer Ausgangsspannung

von + 5 V und ca. 600 mA.

- Stromaufnahme bei Anzeige 88.8 0 +200mA / -50mA
- Stromaufnahme bei Anzeige 11.1 1 + 75mA / -20mA

Die ± Spannung wird durch Halbwellengleichrichtung erzeugt. Die nachfolgenden Kondensatoren dienen zur Glättung und HF-Siebung. Als Spannungsregler werden zwei IC's verwendet (7805/7905), die einen maximalen Strom von 1 A bei Kühlung (Kühlkörper) liefern können. (Schaltung siehe Blatt Nr. 2)

3.3.3 Untertemperatur- u. Netzausfallwarnung

Die Untertemperatur-Warnung wird durch, an der Frontplatte befindliche Wahlschalter mit vorgegebenen Warntemperaturen (3°C-Schritte von 0 – 18°C) eingestellt. Jede Messstelle ist durch eine Leuchtdiode optische und durch einen gemeinsamen abschaltbaren Warnsummer für alle Messstellen und Netzausfall akustisch überwacht. Die analoge Messspannung vom Messfühler (siehe 3.3.3.1) wird mit Schwellwertschalter verarbeitet. Die Ausgangsspannung vom Schwellwertschalter wird benutzt, um ein LED pro Messstelle und ein gem. Relais für den Warnsummer anzusteuern. Die Stromversorgung bei Netzausfall für den Summer übernimmt ein Nickel-Cadmium Akku. Durch den Systembau (zwei Serien) ist eine komplette Trennung vom Thermometerteil nötig.

3.3.3.1 Systembeschreibung

Es sind zwei generelle Methoden zur Messwertaufnahme der Untertemperatur möglich:

1) Am Messfühler durch die analoge Spannung
2) Am Datenausgang des ADU

zu 1) in diesem Fall sind Lineare Bauteile zu verwenden, d.h., jede Messstelle muss einzeln geeicht werden. Brumm-Einstreuungen wirken sich von der Messleitung her aus. Außerdem ist eine große Verstärkung nötig, daher werden auch die Einstreuungen und Rauschen verstärkt (Fremdsignale verfälschen die Signalspannung)

zu 2) der Datenausgang des verwendeten ADU ist nicht binär, sondern 7-Segment codiert. Eine umständliche Rückwandlung wäre hier notwendig. Die digitale Überwachung wäre aber genauer und bedarf keine zusätzliche Eichung, da die Genauigkeit vom ADU bestimmt wird. Durch die Messstellenumschaltung und deren Stop-Möglichkeit besteht die Gefahr, dass durch versehentliches Anhalten der Umschaltung die Datenausgänge bei einer Messstelle stehen bleiben und die restlichen nicht überwacht werden.

Aus den o.g. Gründen wird eine Überwachung nach der Möglichkeit 1 realisiert.

Je 2 Temperatur-Überwachungen sind auf einer Platine untergebracht (Bauversionen 1,2,4,8 Messfühler). Jede Messstelle ist einzeln eichbar ausgeführt (zum Ausgleich der Bauteiltoleranzen, die in die Genauigkeit eingehen).

Die Spannungsänderung am Messfühler ist sehr gering, gegenüber dem, im Vergleich großen Temperaturbereich. Außerdem liegt ein hohes Gleichspannungspotential (500 mV, durch die Linearisierung, siehe 3.3.1.2) am Messfühler. Bei der nötig hohen Verstärkung wird das Gleichspannungspotential mit verstärkt. Eine Wechselspannungskopplung ist nicht möglich, da die Temperaturänderung auch nur einer Gleichspannungsänderung entspricht.

$U_{Mess\ 0°C}$ = 515 mV

$U_{Mess\ 10°C}$ = 548 mV

$\Delta U_{Mess\ 10\ °C}$ = 33.7 mV.

Da ein linearer Verlauf der Eingangsspannung vorliegt, kann gefolgert werden, dass die Differenzeingangsspannung $U_{Mess\ 10°C}$ über den gesamten Messbereich konstant ist.

Durch die Verstärkung auf Werte, dass normal tolerierte Widerstände bei der Solltemperatur-Wahl verwendet werden können, gilt im Bereich zwischen 0 – 25°C

0°C ≡ U_{Mess} = 515 mV

25°C ≡ U_{Mess} = 599,3 mV

$\Delta U_{Mess\ 25\ °C}$ = 84.3 mV

Bei einer Verstärkung von $U_{Mess\ 25°C}$ auf ca. 8.43 V (x 100) folgt:

Gleichspannungsanteil von 0°C = 515 mV * 100 = <u>51,5 V</u>

Damit ist der Arbeitsbereich des Operationsverstärkers (OpAmp) überschritten. Als Lösung des Problems wird der Spannungsanteil bei ca. 0°C = ca. 500 mV ausgekoppelt.

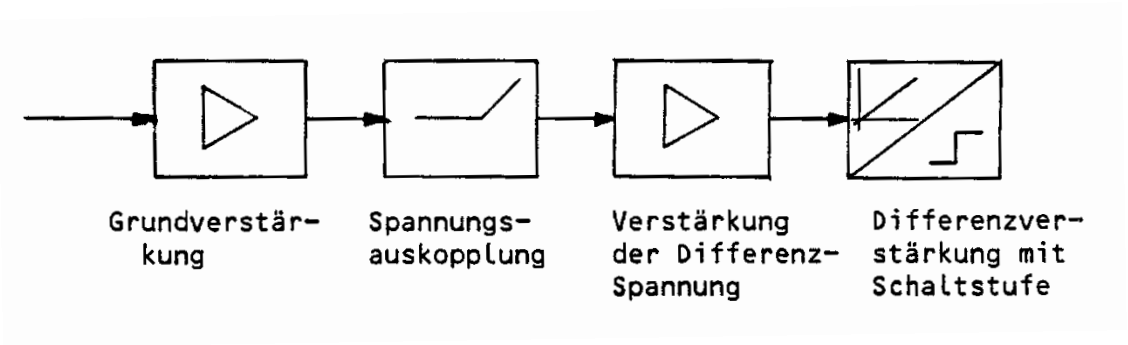
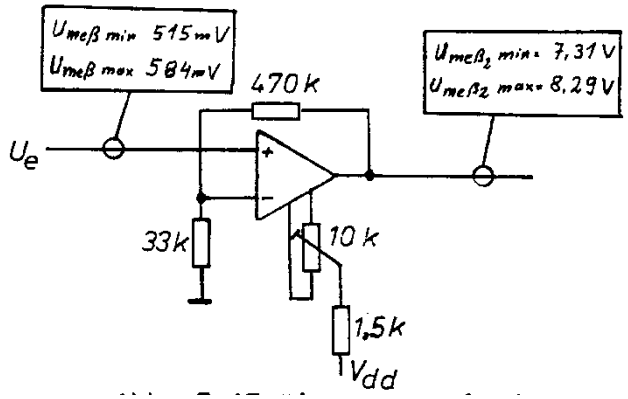


Abb. 3.16 Prinzip der Untertemperatur-Warnung

3.3.3.2 Elektrische Planung

Es ist eine getrennte Stromversorgung für den Warnteil notwendig, da die Messspannung zwischen dem Eingang des OpAmp und Masse liegt. Bei einem gemeinsamen Netzteil würde damit die Masse auf gemeinsamen Punkt der Fühler gegeben werden. Außerdem ist ein größerer Spannungsbereich als ± 5 V notwendig; als Stromversorgung werden ± 15 V gewählt, um einen möglichst großen Arbeitsbereich des OpAmp zu erhalten.

Der Eingang des Untertemperatur-Schalters darf die Messfühler nicht ohmisch belasten (verändern der Linearität und der Eichung), Darum wird die Messspannung zuerst von einen hochohmigen OpAmp verstärkt und danach der Gleichspannungsanteil von ca. 500 mV ausgekoppelt.



Verwendeter OpAmp TL 081 C; besitzt großen Eingangswiderstand (größer 1MΩ) und guten Offset adjust (± 3 V einstellbar)

Abb. 3.17 Eingangsstufe der Warnung

Von der verstärkten Messspannung U_{Mess} x 14,2 (Faktor errechnet sich aus der Beschaltung des OpAmp 470 kΩ / 33kΩ) wird dann der Gleichspannungsanteil von 0°C ausgekoppelt. Dazu "schneidet" die Zenerdiode mit dem Serienwiderstand die Messspannung unter 0°C ab. Der verbleibende Spannungshub wird mit dem zweiten OpAmp x10 verstärkt (der kleine verbleibende Spannungsanteil von ca. 513 mV fällt bei zweiten Verstärkung nicht mehr ins Gewicht).

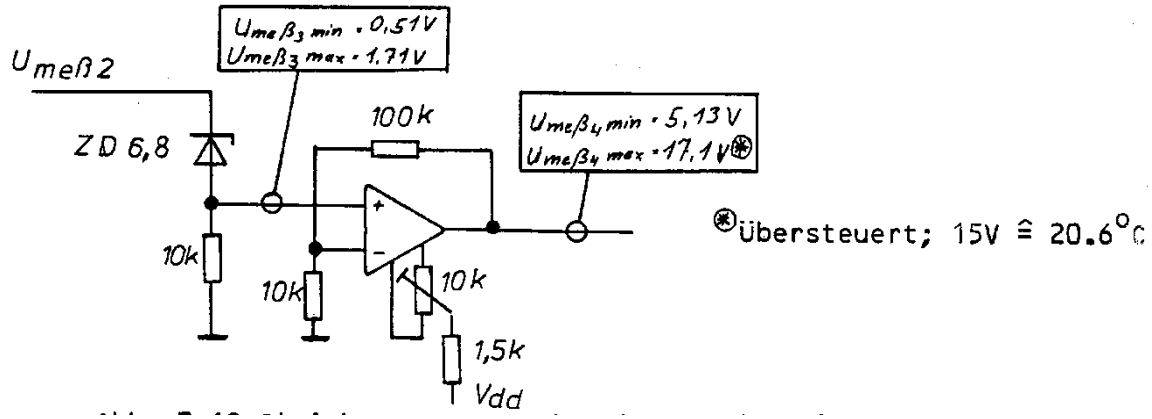


Abb. 3.18 Gleichspannungsauskopplung und zweite Messspannungsverstärkung

Der am Ausgang von OpAmp2 erscheinende Spannungshub von ca. 10V ist der Temperatur im Bereich von ca. 0 – 23°C proportional. Dieser Spannungshub wird mit einem veränderbaren Spannungsteiler als Vergleichswert zu einem, als Schmitt-Trigger geschaltetem OpAmp geführt. Die Hysterese ist erforderlich, da Temperaturen sich nur langsam ändern und ein Schwingen bei dem Umschaltpunkt auftreten kann. Bei Unterschreiten der Messspannung gegenüber der Vergleichsspannung schaltet der Schmitt-Trigger den Ausgang von 0V auf $+U_o$ (Versorgungsspannung = +15 V).

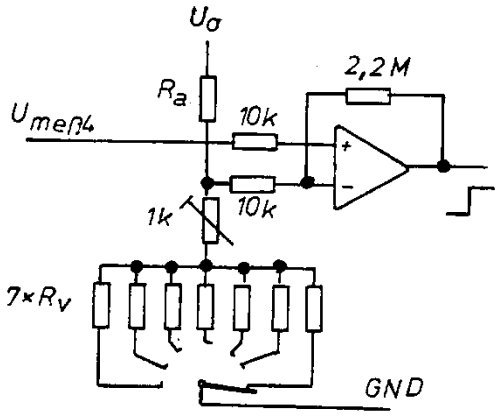


Abb. 3.19 Schaltstufe der Warnung

Die Vergleichswiderstände errechnen sich aus der Formel:

$$R_V = \frac{U_{meß} * R_a}{U_o - U_{meß4}}$$

mit R_a = 10 kΩ; U_o = 15V gilt

$$R_V = \frac{U_{meß} * 10k\Omega}{15V - U_{meß4}}$$

ϑ	U_{mess} / mV	U_{mess2} / V (* 14,2)	U_{mess3} / V (- 6,8V)	U_{mess4} / V (* 10)	R_V/ kΩ (s.o.)
0°C	515	7,31	0,51	5,1	5,19
3°C	525	7,45	0,65	6,5	7,64
6°C	535	7,59	0,79	7,9	11,12
9°C	545	7,74	0,94	9,4	16,78
12°C	555	7,88	1,08	10,8	25,71
15°C	565	8,02	1,22	12,2	43,57
18°C	575	8,17	1,37	13,7	105,3

Tabelle zur Vergleichswiderstand-Berechnung

Die nachfolgende Transistorstufe dient zur Ansteuerung der Leuchtdiode und dem gemeinsamen Relais.

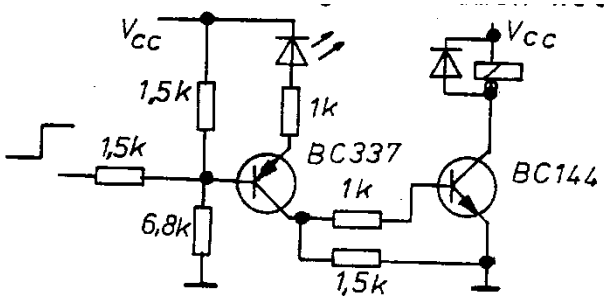


Abb. 3.20 Leistungsstufe der Warnung

3.3.3.3 Netzausfallwarnung

Der, bei Netzausfall einsetzende Warnsummer erhält seinen Strom von einem eingebauten NC-Akku. Bei Netzanschluss wird über Relaiskontakte die Ladungserhaltung eingeschaltet (der Vorwiderstand dient zur Strombegrenzung). Bei Netzausfall schalten die Relaiskontakte den Warnsummer ein. Da bei dem Versand auch eine Netztrennung vorliegt, muss ein Schalter an der Frontplatte eingebaut werden, der den Warnsummer ausschaltet.

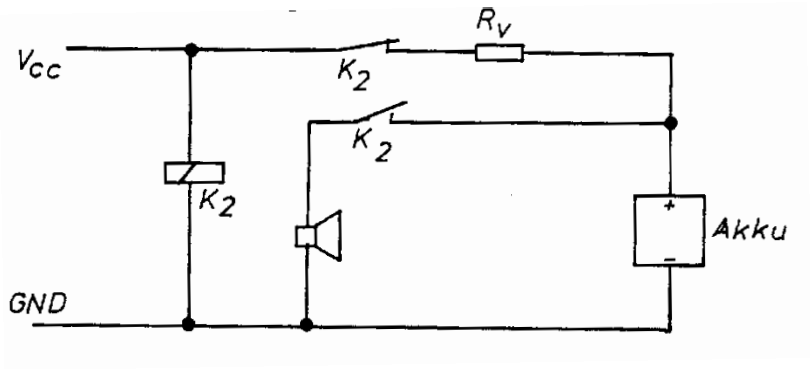


Abb. 3.21 Netzausfallwarnung

Berechnung des Vorwiderstandes

Ladungserhaltung mit $I_{konst} = \frac{C}{100h}$

9V Akku von Emmerich; Nennspannung U_{nenn} = 8,4 V; Nennkapazität C_{nenn} = 110 mAh.
Ladungserhaltung ist nach obiger Formel I_{konst} = 1,1 mA und

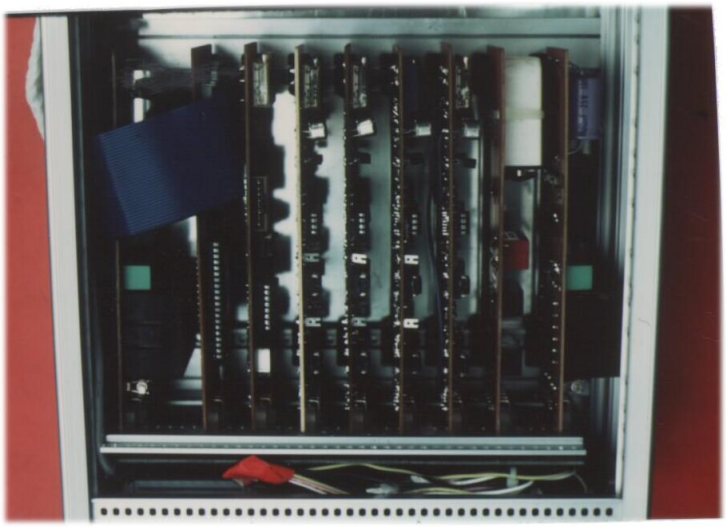
$$R_v = \frac{U_v}{I_{konst}} = \frac{6{,}6V}{1{,}1mA} = \underline{\underline{ca.\ 5{,}6\ k\Omega}}$$

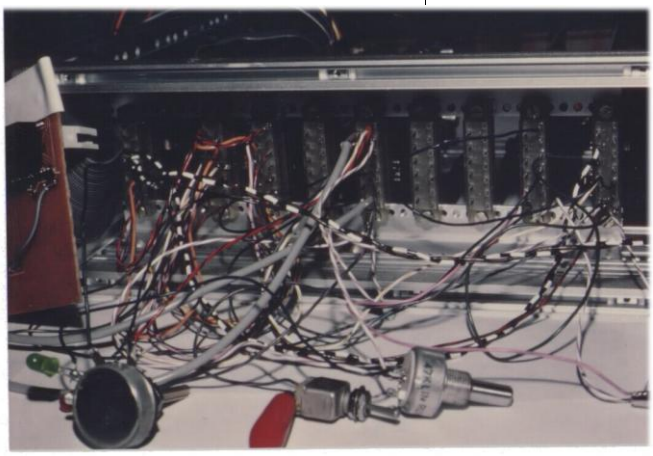
3.3.3.4 Netzteil für das Warnteil

Da eine Potentialtrennung vom A/D-Teil notwendig ist (siehe 3.3.3:2), muss ein getrenntes Netzteil mit höherer Ausgangsspannung U_o vorgesehen werden (± 15 V). Der Aufbau ist im Prinzip identisch mit dem Netzteil aus den A/D-Teil (siehe 3.3.2.6). Der maximale Strombedarf liegt bei +150 mA und -50 mA. Bauteilabweichungen gegenüber 3.3.2.6:

a) Trafo mit höherer Ausgangsspannung
b) Glättungselko mit höherer Spannungsfestigkeit
c) Andere Spannungsregler (7815/7915)

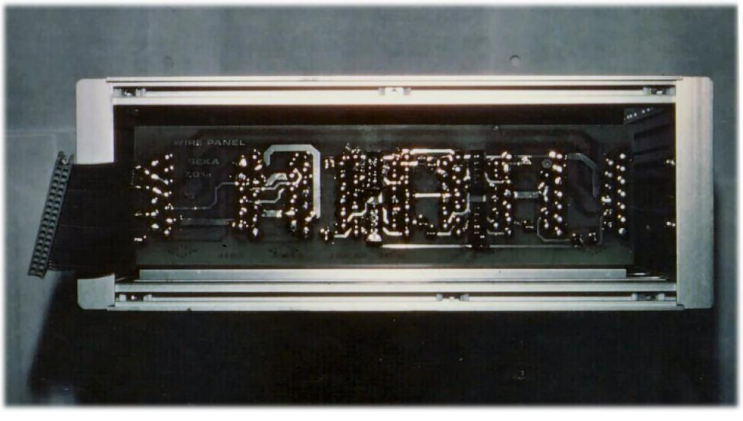
3.4 Technische Realisierung

Anforderungen	Ausführungen
ein kleines ansprechendes Gehäuse mit Möglichkeit eines Einschubsystems	Schroff-Luxusgehäuse (83x242x 237 H•B•T); passend für Platinengröße 55x160 (ca. ½ Europaformat) und 13pol. Steckerleiste (13pol, ist ausreichend für jede Platine) 
Kosten u.- Arbeitsminimierung	Platinen möglichst ohne Drahtbrücken und einseitig kaschiert. Die einzelnen Platinen werden nicht mit einem Kabelbaum untereinander verdrahtet, sondern mit einer Querplatine verschaltet.(Wire-Panel)



Fo. 4a Gehäuse mit Teilverdrahtung

Fo. 4b Gehäuse mit Querplatine



Reines Thermometer erweiterbar auf zus. Warnung	Dazu müssen zusätzliche Platinen, eingeschoben, eine andere Frontplatte (mit Schaltern und LED) und das Verbindungskabel von den Eingangsbuchsen zu der Querplatine eingebaut werden.

3.4.1 Platinen

Netzteile: Für +5V und ±15V sind die gleichen Platinen vorgesehen, d.h., gleiche Trafo- und IC Bauformen sowie Steckerbelegung.

Analog/Digital Teil: Die Anzeigeplatine (Temperatur -u. Messstellenanzeige) ist an der Frontplatte untergebracht. Weil möglichst alle Leitungen zur Anzeigeeinheit von einer Platine ausgehen sollen, müssen der ADU und der Messstellencodierer auf einer Platine untergebracht sein. Auf dieser Platine befindet sich auch die Nullpunkts- u. Verstärkungseichung für den Fühler Nr.1 (0) (bei nur einer Messstelle). Zur Anzeigeeinheit führt dann ein 34pol. Flachkabel mit allen Datenleitungen von der ADU/Platine. Der Impulsgeber, MUX; sowie die Linearisierungs- u. Eichwiderstände befinden sich auf einer 3. Platine (Messeingang). Alle Fühleranschlüsse führen von der Rückwand über ein 8pol. Flachkabel zu der 3.Platine. Der Fühler 1 (0) wird von der Messeingang-Platine direkt auf die ADU/Platine geführt.

Untertemp.Warnung: Auf einer Platine befinden sich jeweils zwei Untertemperatur-Schalter, so dass max. 4 Platinen für die 8 Messstellen erforderlich sind (Steckerbelegung ausgenutzt). Die Messstelle (0) ist ohne akustische Warnung ausgelegt, da diese für Außenmessung vorgesehen ist (Daueralarm im Winter bei unter 0°C).

Netzausfall: Da ein gemeinsames Relais zur Ansteuerung des Summers vorgesehen ist, wird diese zusammen mit dem Relais für Netzausfall/Ladungserhaltung, dem NC-Akku und dem Warnsummer auf einer Platine untergebracht (Alarm-Platine).

Querplatine: Die Querplatine (Wire-Panel) besitzt viele Kreuzungen der Leiterbahnführung; aus diesem Grunde muss sie doppelseitig kaschiert sein. Da außerdem auch noch eine beidseitige Bestückung vorliegt, ist die Platine durchzukontaktieren. Der erhöhte Kostenaufwand wird wieder durch die wesentlich geringere Arbeitszeit und Wegfall der Fehlersuche in einem Kabelbaum wettgemacht.

Die Platinen für das Netzteil, Alarm und Wire-Panel können 1:1 im Layout hergestellt sein. Bei den Platinen für den Thermometerteil und Untertemperatur-Warnung muss das Layout aufgrund seiner engen Leiterbahnführung 2:1 geklebt und dann auf fotografischem Wege verkleinert werden.

3.4.2 Front- und Rückplatte

Front: Die Anzeigeeinheit wird durch die zwei Kippschalter in ihre Position gehalten. In den Durchbrüchen der Frontplatte ist rotes Plexiglas als Filterscheibe eingesetzt. Die LED und Stufenschalter werden direkt mit der Frontplatte verschraubt und verdrahtet.

Von der Frontplatte führen; 4x 5pol Flachkabel zum Wire-Panel. Zu Servicezwecken sind diese dann leicht lösbar. Durch passgenaue Montage können große, aber sehr billige Stufenschalter verwendet werden (kleiner Typ 0 17 mm ; 14,80 DM großer Typ 0 26 mm; 1,80DM). Jetzt ist zwar eine passgenaue Montage nötig (die LED müssen vor den Schaltern montiert werden; bei fertiger Montage berühren sich beide), aber die Kostenersparnis beträgt bei 12 Geräten ca. 1000 DM (siehe Seite 57).

Rückwand: Als Messeingangsbuchsen sind arretier-bare Diodenbuchsen (NF-Verb. 3pol) vorgesehen. Sie werden auch direkt montiert und verdrahtet. Ein 8pol. Flachkabel führt zur Platine Messeingang.

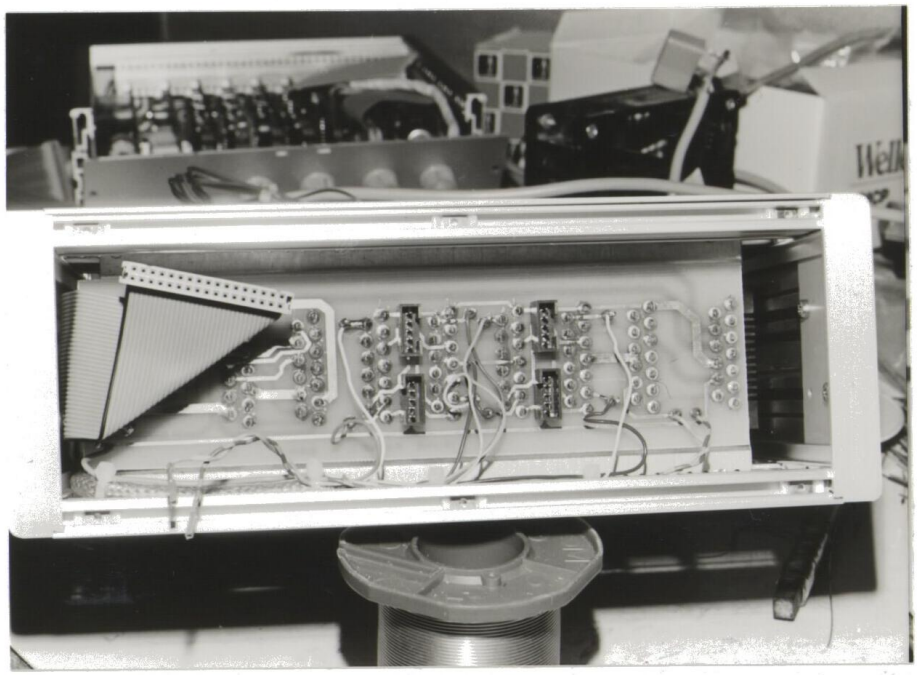


Foto 6: Frontansicht ohne Frontplatte (Montagefertig)

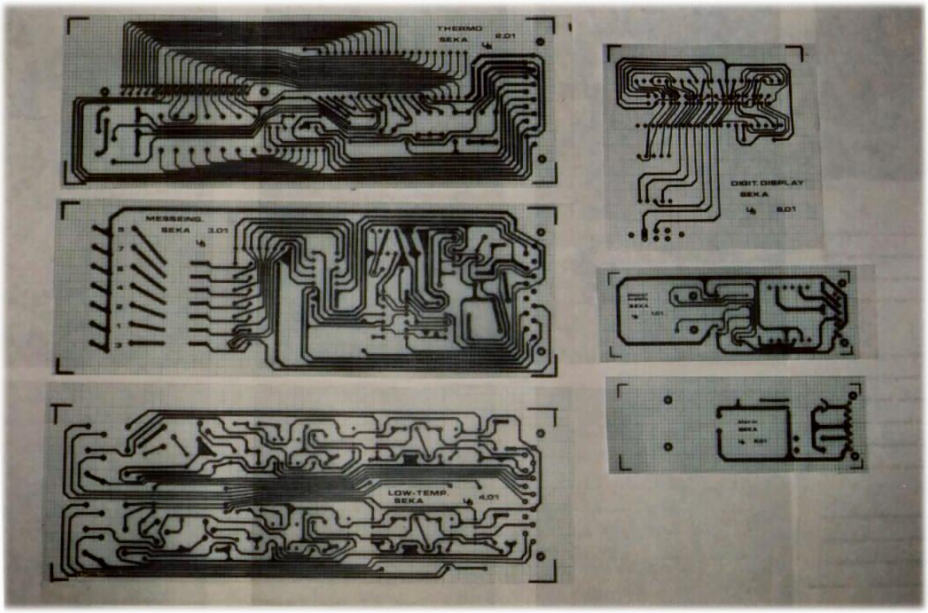


Foto 7: Alle Layouts

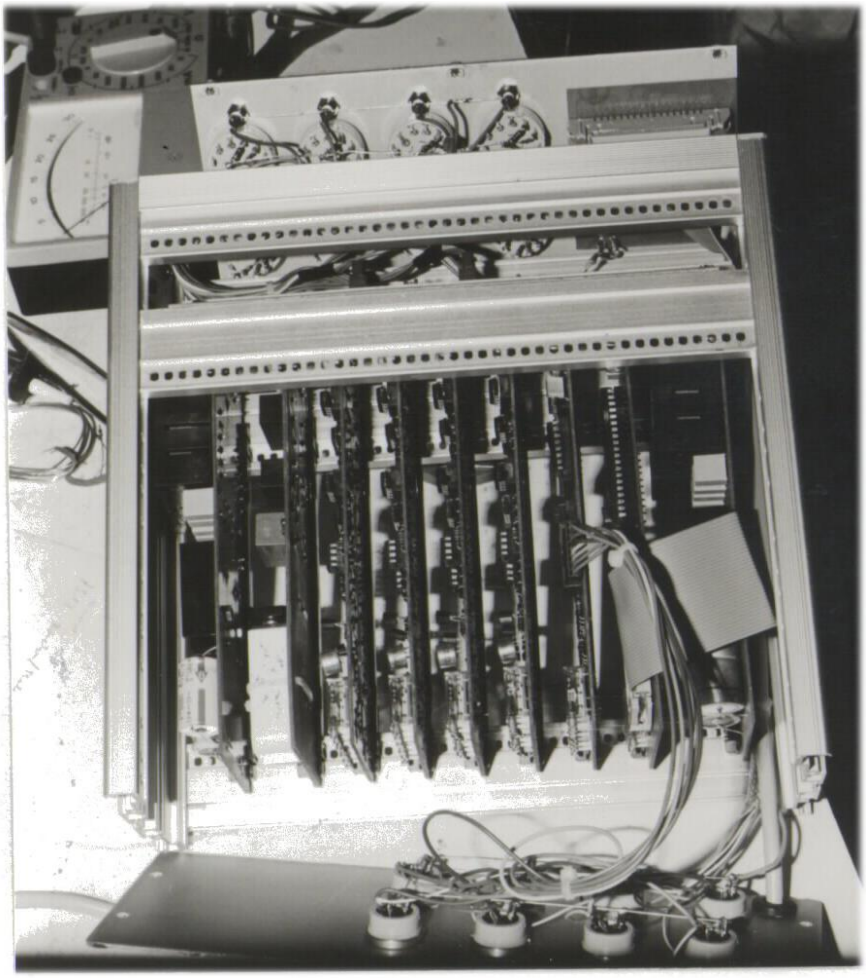


Foto 8: Montage fertig von oben

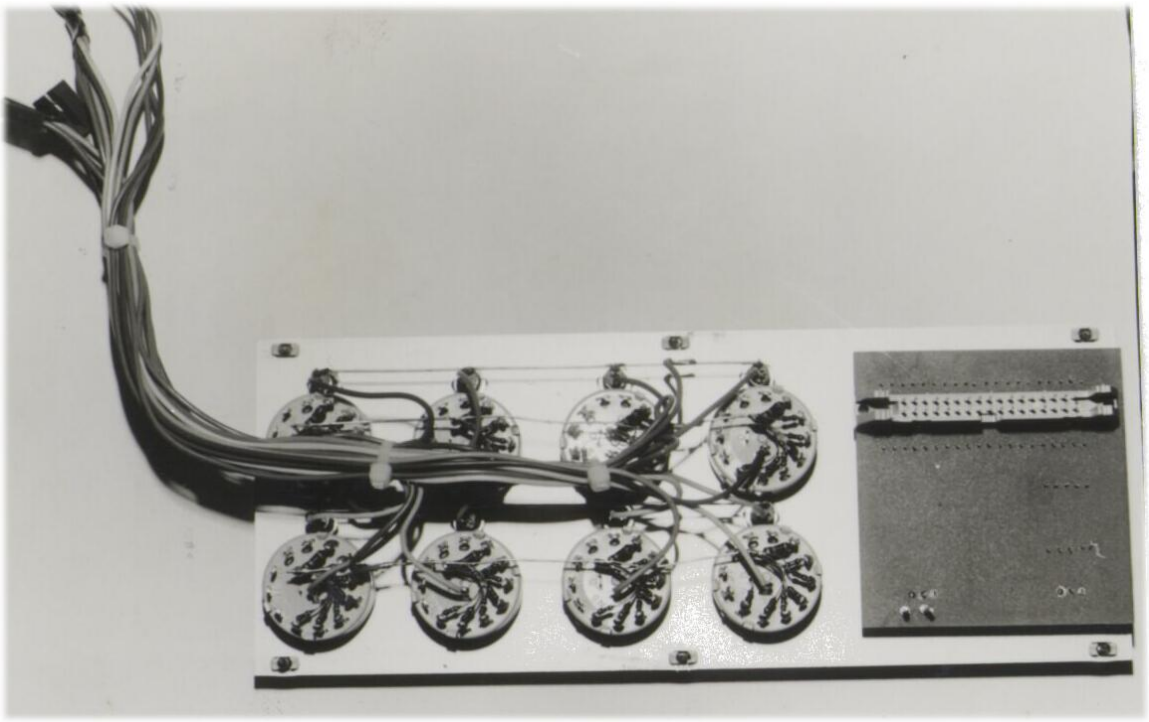
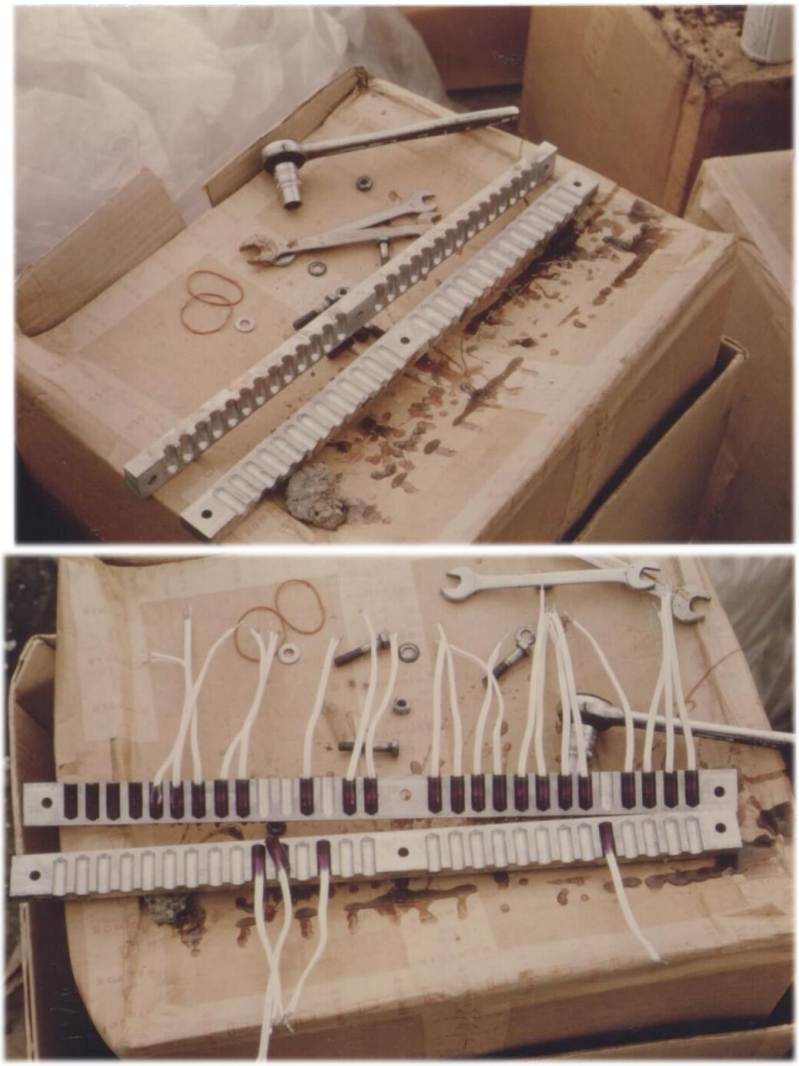


Foto 9: Ansicht Frontplatte von hinten (montagefertig)

3.4.3 Vergusswerkzeug

Um die Messfühler billig, schnell und optisch gut vergießen zu können, muss ein Vergusswerkzeug hergestellt werden.

Die Fühler werden mit den Anschlussdrähten an ein ca. 20 cm langes 2adiges Kabel gelötet, und dann ca. 30 cm tief vergossen. Das Werkzeug besteht aus zwei Aluminiumschienen 400x 10 x 30 mm, die an der Breitseite mit drei 8 mm Schrauben zusammen fixiert und dann von oben mit 28 Bohrungen ä 13 mm versehen sind (Sacklöcher). Vor dem Vergießen werden die beiden Hälften mit einem Trennwachs behandelt. Anschließend werden die Hälften verschraubt, die Fühler in die Bohrungen gesteckt und mit einem Polyester-Harz vergossen. Nach der Aushärtezeit von ca. 30 min. werden die Schrauben wieder gelöst und die vergossenen Fühler fallen aus dem Werkzeug heraus.



Fotos 10 a,b,c: Vergußwerkzeug

3.4.4 Serienbau

Die Platinen werden laut Vorlage (Film von dem jeweiligen Layout) in Fremdarbeit geätzt und gebohrt. Front- u. Rückwände werden in Fremdarbeit laut Bohrplan und Layout mit den Bohrungen und Durchbrüchen versehen und im Siebdruckverfahren bedruckt. Das Bestücken der Platinen wird mit Hilfskräften durchgeführt; verzinnt werden die Platinen in einem Lötbad (genau und schnell).

Ausnahmen bilden die Anzeige- u. Querplatine, die beidseitig bestückt sind und mit Hand verlötet werden müssen.

Die Montage der Gehäuse, LED's, Schalter und Buchsen geschieht ebenfalls mit Hilfskräften.

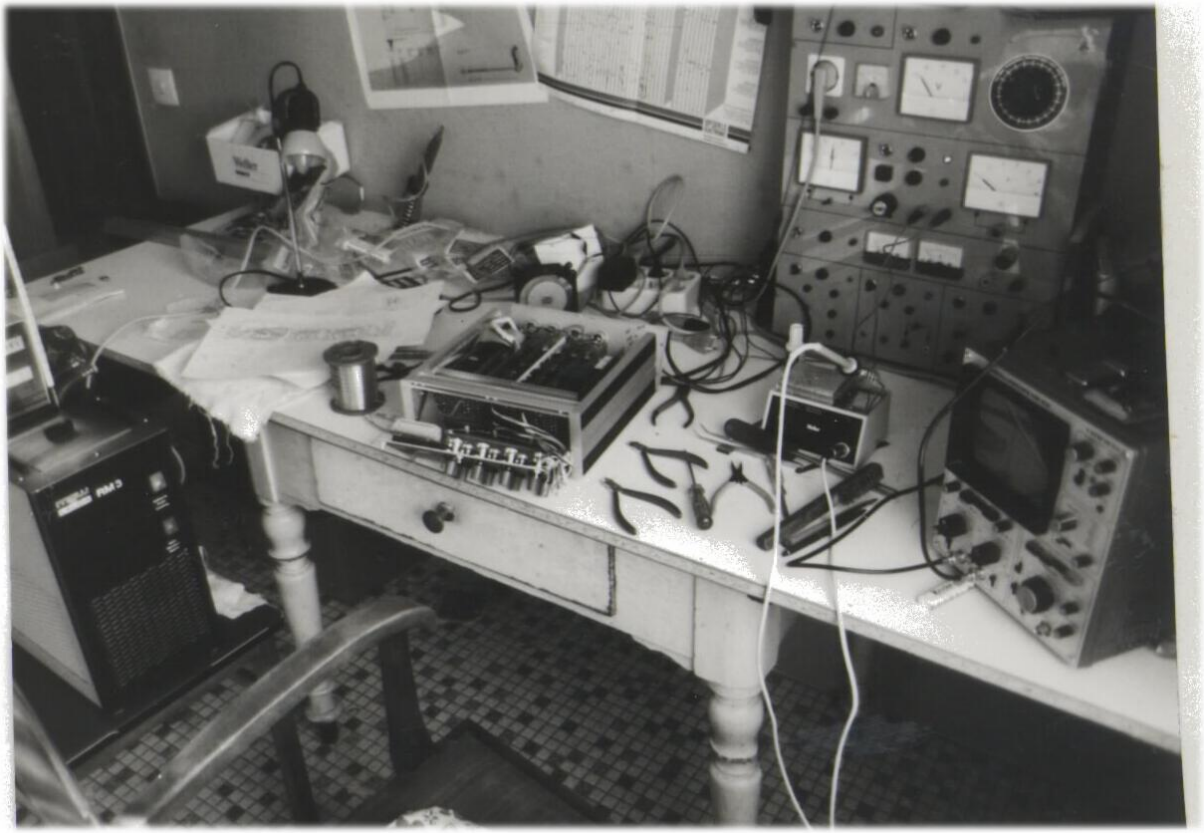


Foto 11: Prüfplatz

Zum Eichen dient als Bezugstemperatur ein Temperatur-Normal von der Fa. Lauda. Eine elektrisch nichtleitende, hochreine; Temperierflüssigkeit (Siliconöl), kann durch Wahlschalter (in $^{1}/_{10}$°C-Schritten) zwischen -20 und +99,9°C gehalten werden.

Mit dem Temperatur-Normal wird zuerst der Nullabgleich, dann die Verstärkung und zuletzt die Untertemp.-Warnung abgeglichen

Foto 12: Alle Seriengeräte vor der finalen Montage

Foto 13: Temperatur-Normal

3.4.5 Ansichten der finalen Geräte

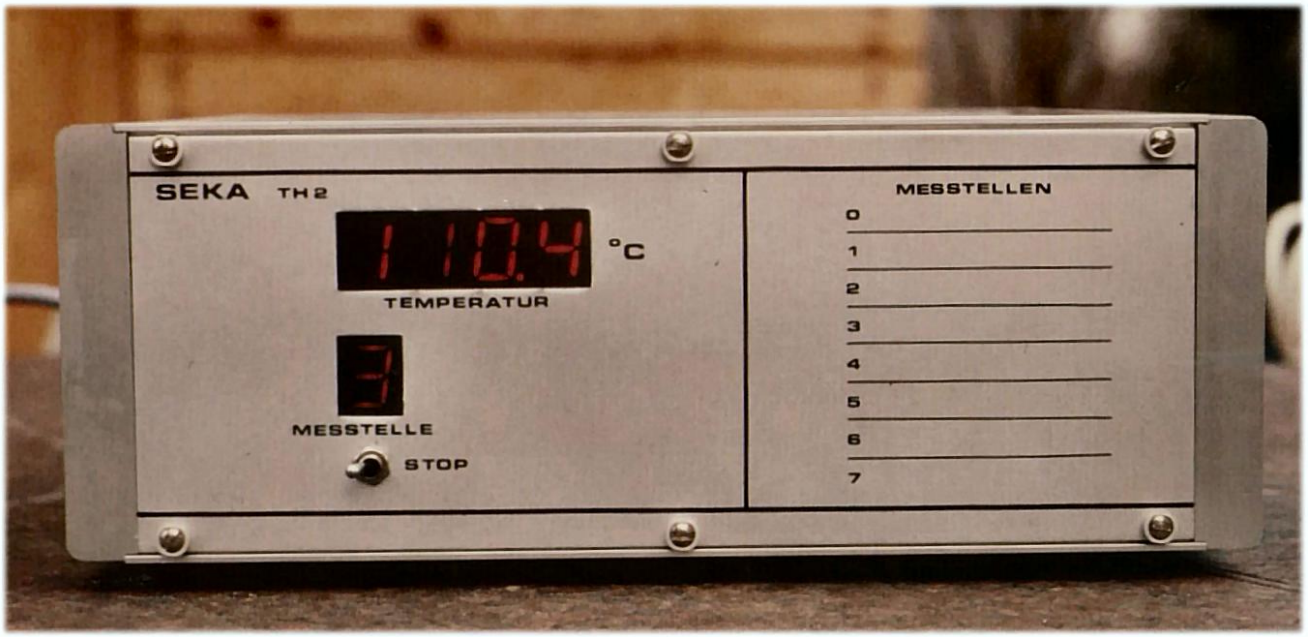


Foto 14: Fern-Thermometer TH2

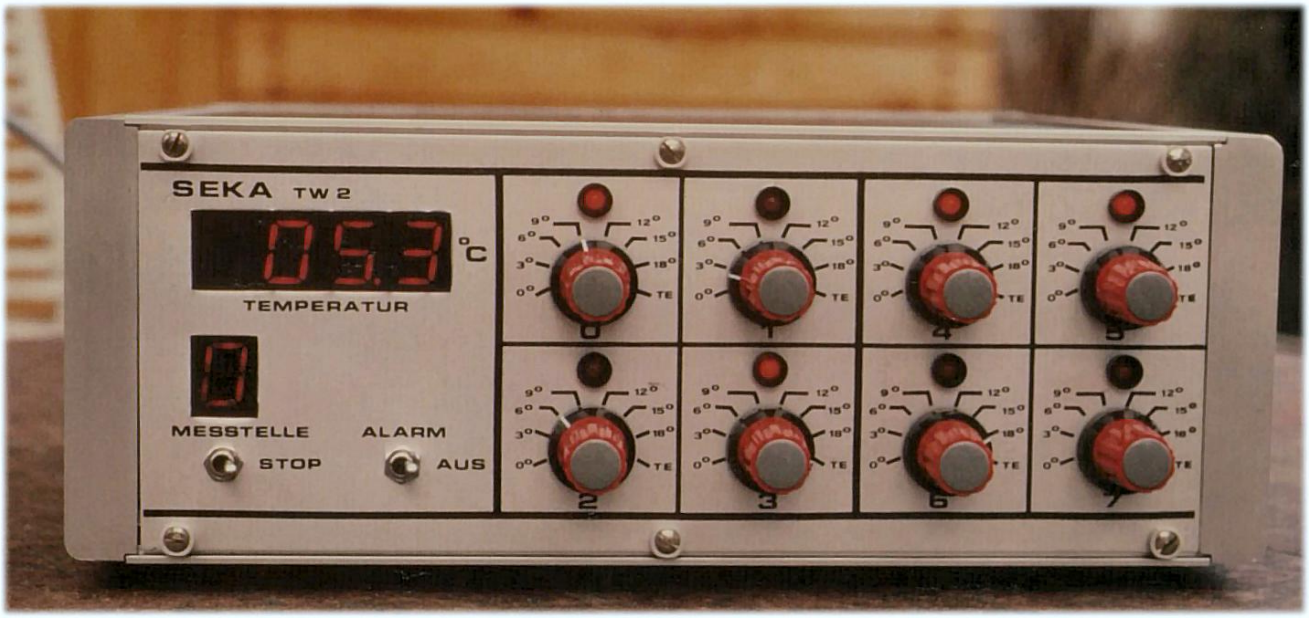


Foto 15: Fern-Thermometer und Warner TW2

3.5 Abtastfrequenz des Thermometers

In der Betrachtung der Abtastfrequenz gehen zwei Größen ein:

a) Arbeitsfrequenz des ADU
b) Taktfrequenz der Messstellenanzeige

zu a): Die Arbeitsfrequenz wird bei dem "Dual-Slope"-Verfahren generell bei einem Vielfachen von 50Hz liegen, um eventuelle Störspannungen durch Netzbrummen zu eliminieren (siehe 1.3.1 und 3.3.2.4). Außerdem muss die Arbeitsfrequenz groß genug sein, um bei einem Wechsel der Messstellenanzeige die "neue" Temperatur "sofort" anzuzeigen.

Die vom Hersteller Bedingungen empfohlene Beschaltung erfüllt die o.a. Arbeitsfrequenz (Taktfrequenz des Oszillators) bei gegebener Dimensionierung

f_c = 50 kHz ≡ t_c = 20 µsec

Die Abtastfrequenz oder ein Messzyklus (siehe 1.3.1; 3 Phasen ist bei Vollaussteuerung

I	II	III
$t_{auto\ zero}$ +	$t_{integ.\ U\ Mess}$ +	$t_{integ.\ U\ ref}$

Mit Phase I = 1000 bis 3000 Takte, Phase II = 1000 Takte und Phase III = 0 bis 2000 Takte ergibt sich die Dauer eine Messzyklussees

f_{ab} = ca. 3 Hz ≡ t_{ab} = ca. 0,33sec.

Mit dem verwendeten ADU läßt sich eine max. Abtastfrequenz von

$f_{ab\ max}$ = ca. 12,5 Hz ≡ $t_{ab\ max}$ = 80 ms

erreichen, allerdings wird dann die Wandlung stark nichtlinear.

zu b): Der Taktgenerator der Messstellumschaltung arbeitet mit einer Frequenz zwischen $t_{c\ min}$ = 700 ms und $t_{c\ max}$ = 30 sec (siehe 3.3.2.1). Da jeweils bei T/2 um eine Stelle weitergeschaltet wird, und ein Betrachter ca. 3 - 5 sec. braucht, um die Temperatur und Messstelle wahrzunehmen und zuzuordnen, erscheint eine Taktfrequenz von ca.

$t_{c\ anzeige}$ = ca. 7 sec, entspricht

$t_{c\ generator}$ = $tc_{\ anzeige}$ * 2

$t_{c\ generator}$ - 7 sec. * 2 = <u>14 sec</u>

angebracht.

3.6 Verwendete Abkürzungen

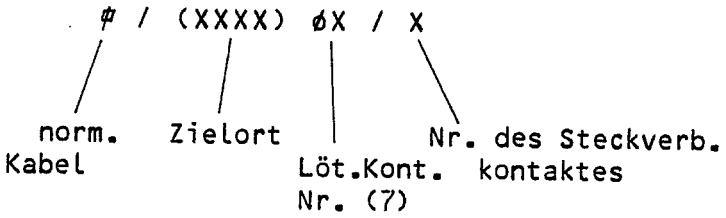
ADU	Analog/Digital Umsetzer; A/D-Wandler
f_e	Eingangs- od. Signalfrequenz
f_c	Taktfrequenz
f_{ab}	Abtastfrequenz
OpAmp	Operational Amplifier; Operationsverstärker
Q	Quant = U_{LSB}
t_A	Apertur-Jitter (1.3.4.2 f)
t_L	Zeit, die ein Signal auf logisch Low (0) ist
t_H	Zeit, die ein Signal auf logisch High (1)
U_L	Spannung, die log. Low (0) entspricht
U_H	Spannung, die log.High (1) entspricht
U_{LSB}	LSB = Least Significant Bit; niederwertigstes Bit, hier die Spannung, die der kleinsten darstellbaren Zahl entspricht.
U_{MSB}	MSB = Most Significant Bit; höchstwertigstes Bit; hier die Spannung, die der größten darstellbaren Zahl entspricht.
U_{max}	Max. Eingangsspannung (identisch mit U_{MSB} u. U_{ref})
U_{Mess}	Mess- od. Eingangsspannung
U_o	Versorgungsspannung
U_{ref}	Referenz- od. Bezugsspannung
U_s	Spannung eines Schaltpunktes
V_{cc}	Positive Versorgungsspannung (+5V od. +15V)
V_{dd}	Negative Versorgungsspannung (-5V od. -15V)

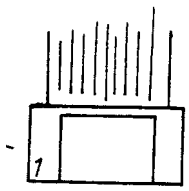
4 Technische Unterlagen

4.1 Erläuterungen der Symbole in den technischen Unterlagen

X steht als Variable für Ziffern

o	Kontakt einer 13poligen Steckverbindung
oX	dto., jdeoch mit zugehöriger Nummer
(XXXX)	Zielort einer Verbindung (die ersten beiden Stellen bezeichnen die Seiten-Nr., die letzten beiden bezeichnen die Zielposition der Zeichnung; siehe die Koordinaten oben und unten)
[XX]	Zielorte und Bauteile für das 15Volt Netzteil
ϕ	Lötkontakt auf der Platine „Wire-Panel (Nr. 7)
ϕX / X	von Lötkontakt Nr. zum Steckverbinder Kontakt Nr.
X / ϕX	vom Steckverbinder Kontakt zum Lötkontakt Nr.
*(XXXX)	Zielort von einem Flachkabel





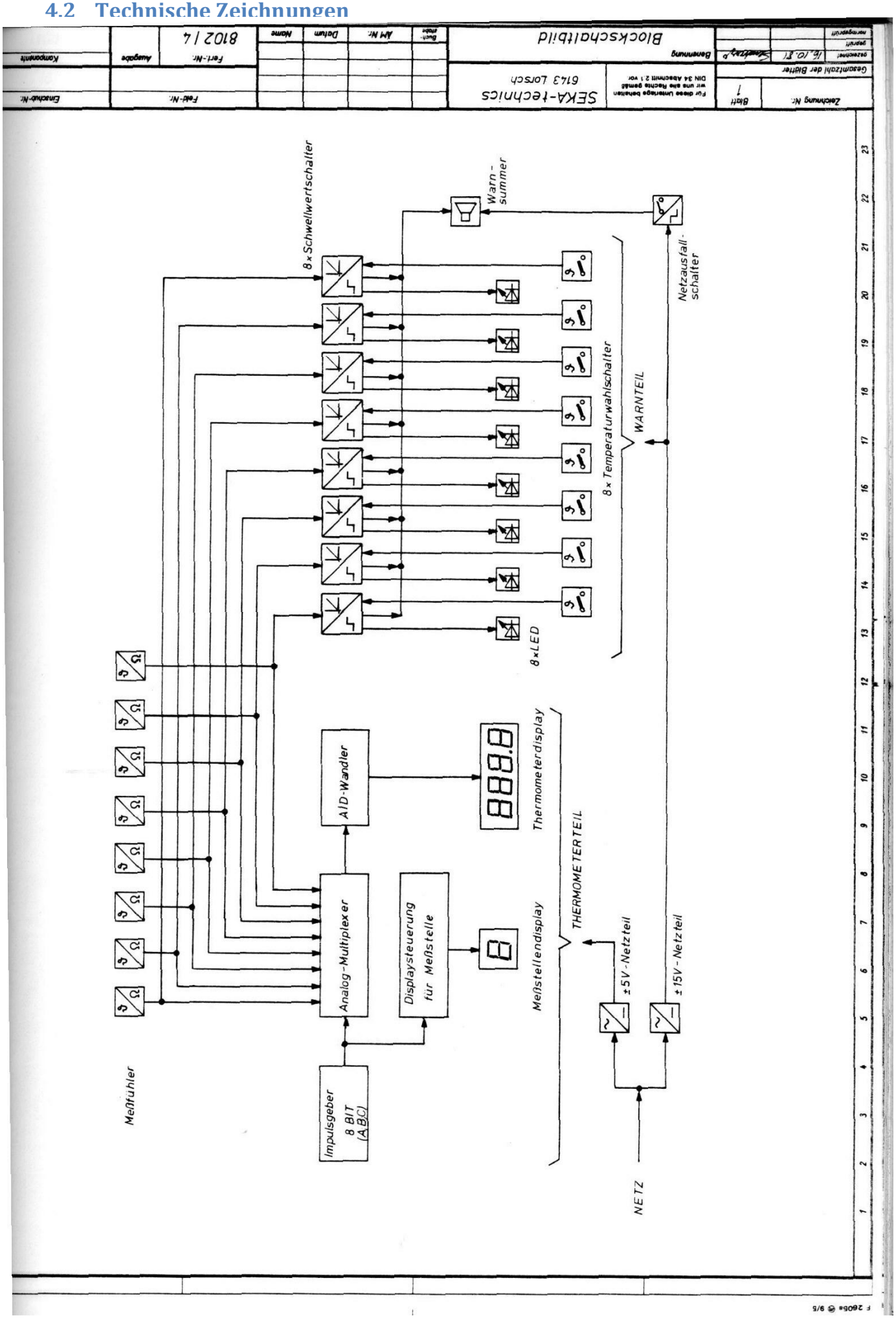
Flachkabel – Steckverbindungen

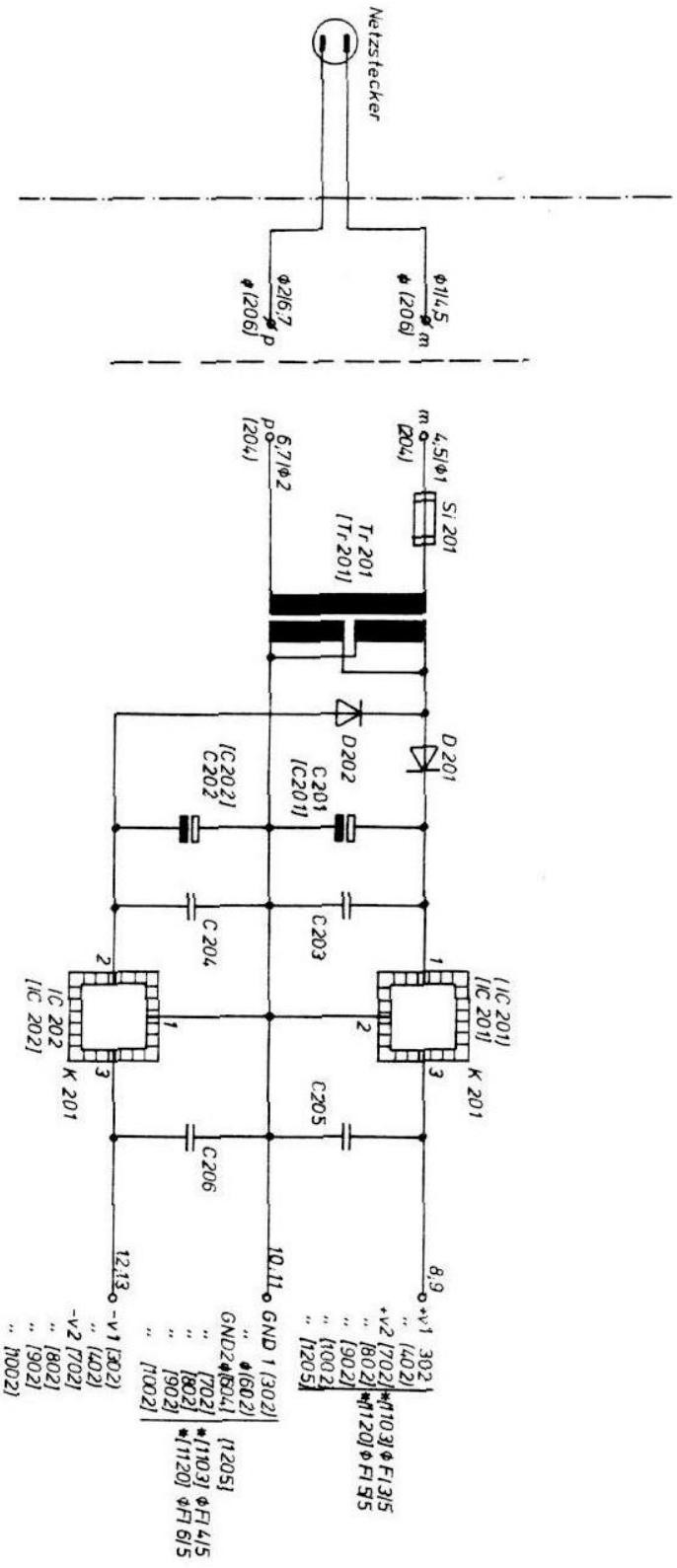
//Fl X/X	Flachkabel Nr. / Kontakt Nr.
//Bu X/X	Buchse von Flachkabel Nr. / Kontakt Nr.

Großbuchstaben = Bauteile

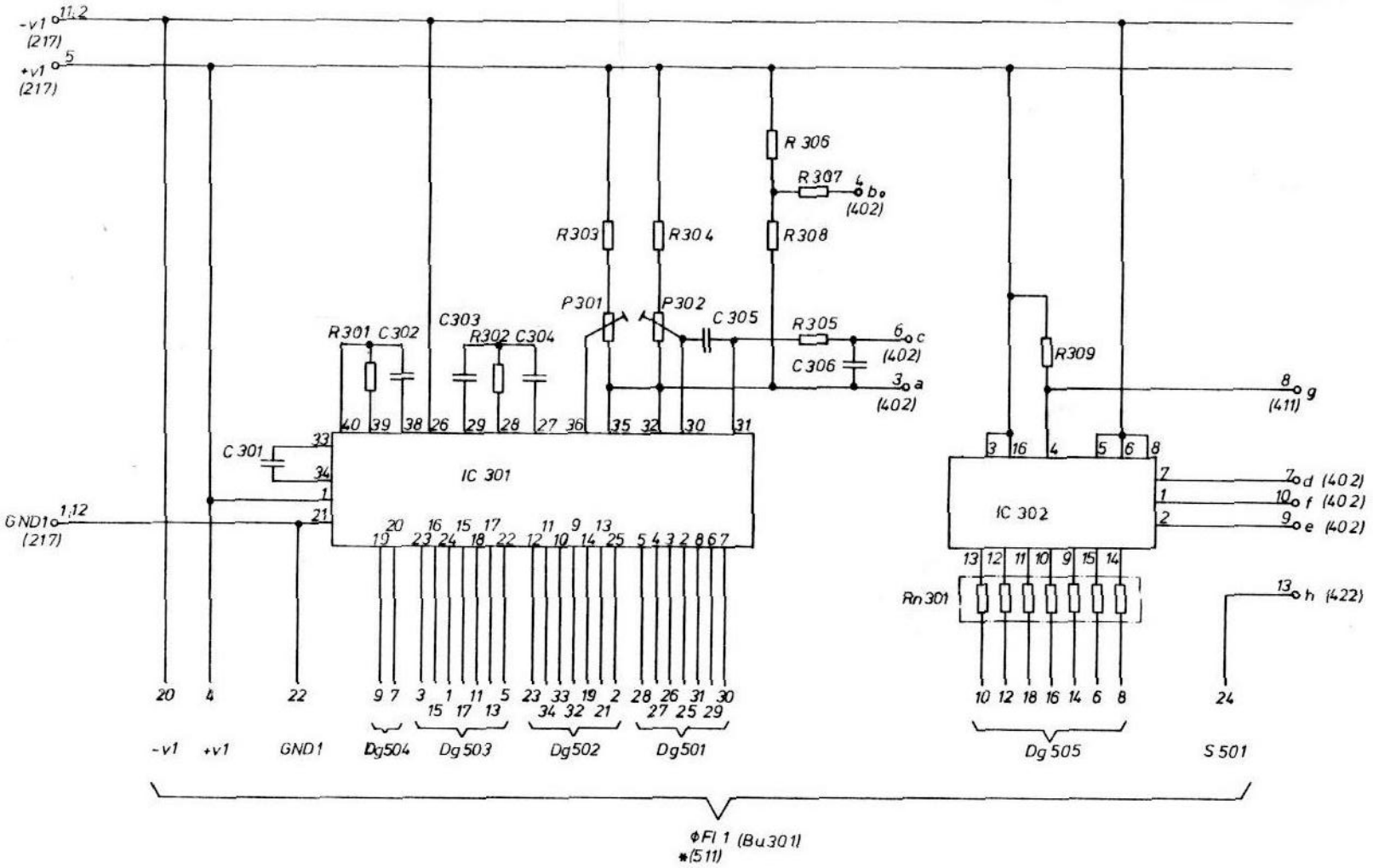
Kleinbuchstaben = Klemmenbezeichnungen

4.2 Technische Zeichnungen





Zeichnung Nr.	Blatt 2	Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte gemäß DIN 34 Abschnitt 2.1 vor	SEKA-technics 6143 Lorsch			Feld	Einschub-Nr.
Gesamtzahl der Blätter						Power Supply	1;[9]
gezeichnet 1.C.10.81		Benennung				Fert.-Nr.	Ausgabe / Komponente
geprüft		Netzteil ±5V; [±15V]				810214	P 1.01
normgeprüft			Buchstabe	ÄM Nr.	Datum	Name	



Einschub-Nr. 2

Komponente P 2.02

Feld Thermo

Fert.-Nr. 8102/4

Ausgabe

Name

Datum

ÄM Nr.

Buchstabe

SEKA-technics
6143 Lorsch

Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte gemäß DIN 34 Abschnitt 2.1 vor.

Benennung A/D-Wandler / Meßstellen-anzeige

Blatt 3

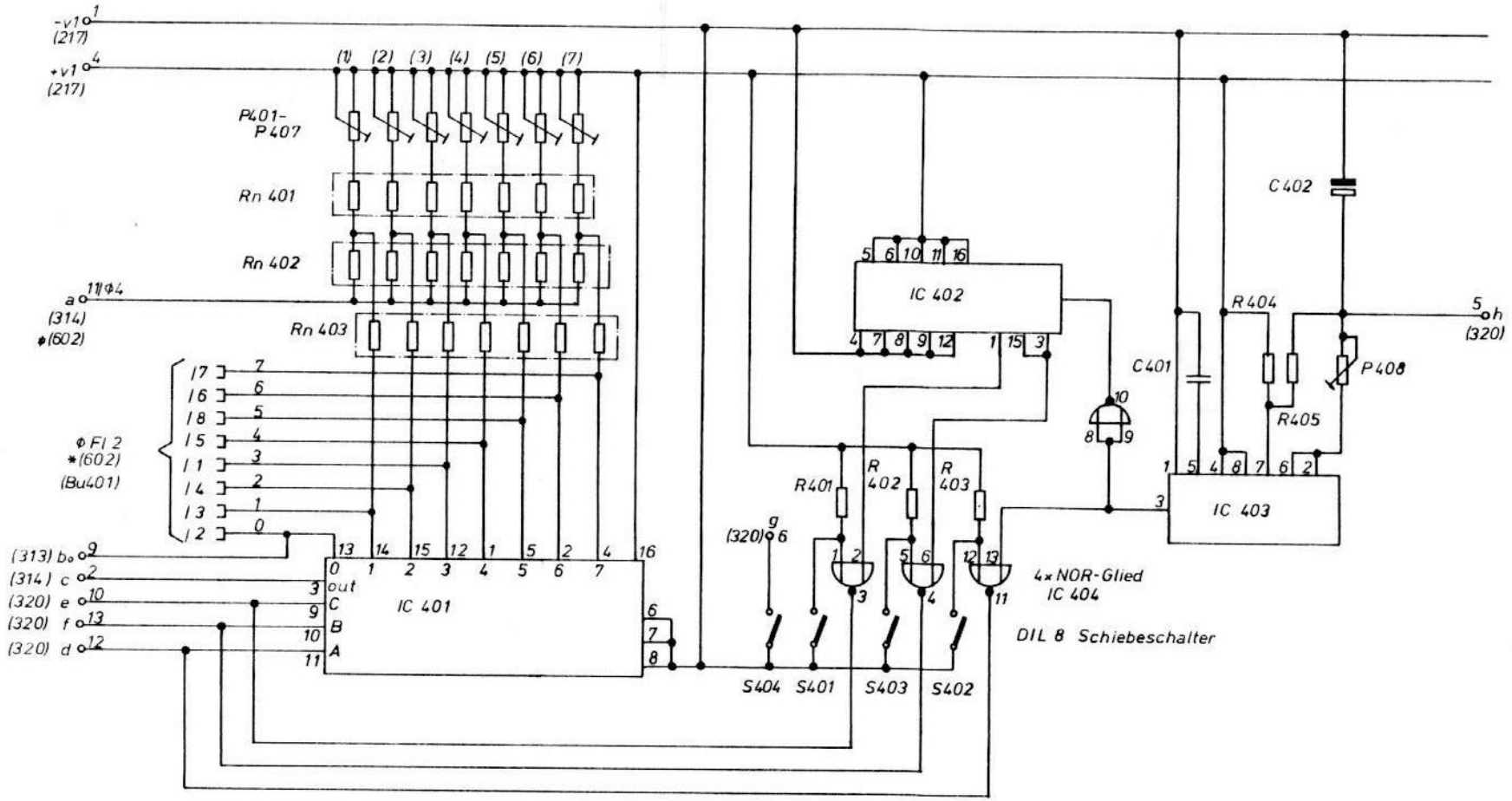
Zeichnung Nr.

Gesamtzahl der Blätter

Gezeichnet 12.10.81

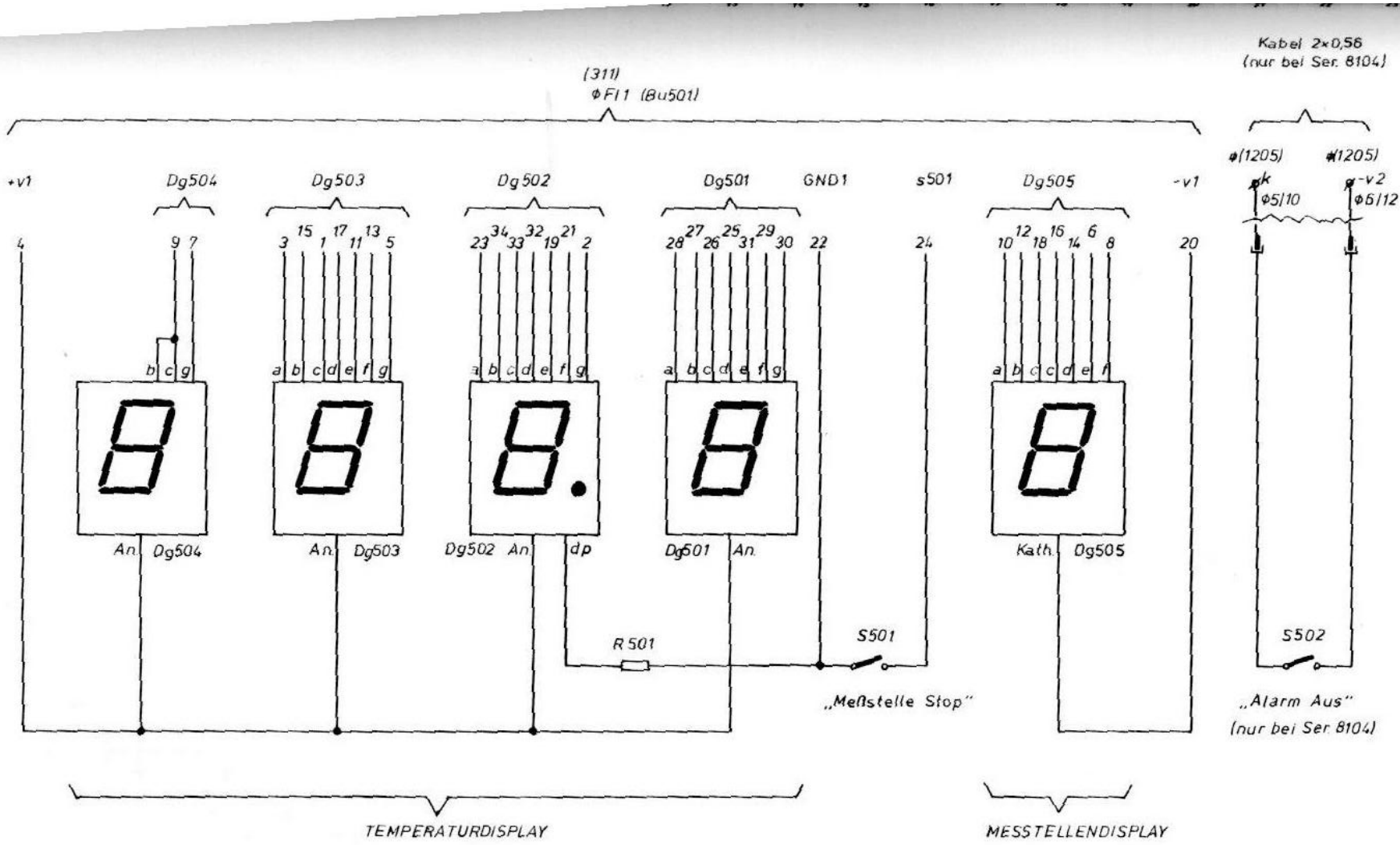
Geprüft

Freigegeben

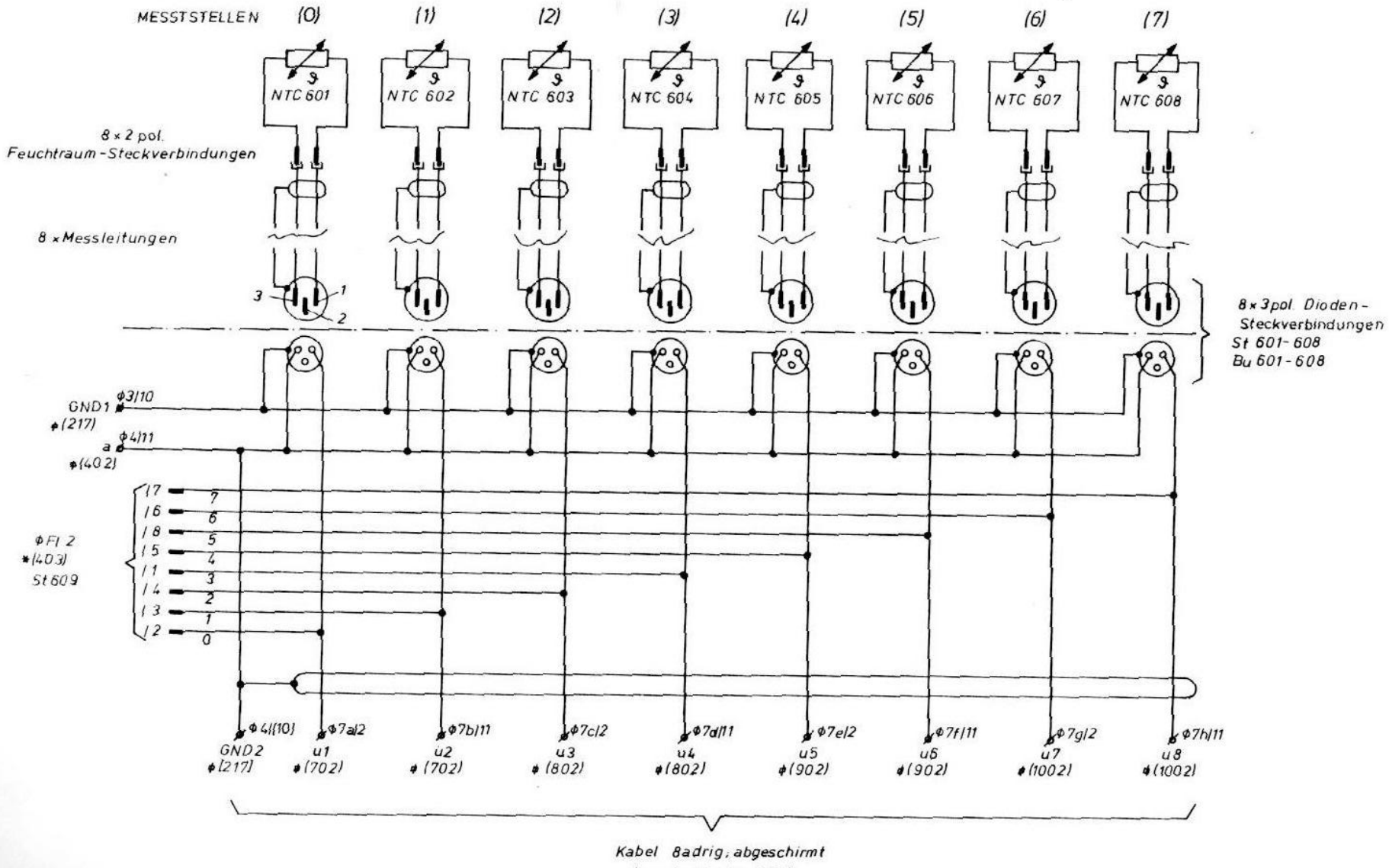


Einschub-Nr.	3
Komponente	P 3.04
Feld	Messeing.
Fert.-Nr.	8102/4
Ausgabe	
Name	
Datum	
AM Nr.	
Buchstabe	
Blatt	4
Gesamtzahl der Blätter	
Zeichnung Nr.	
Benennung	Messeingang / Umschaltung
	SEKA-technics 6143 Lorsch
	Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte gemäß DIN 34 Abschnitt 2.1 vor.
gezeichnet	27.10.81
geprüft	
normgeprüft	

F 2605a @ 9/5

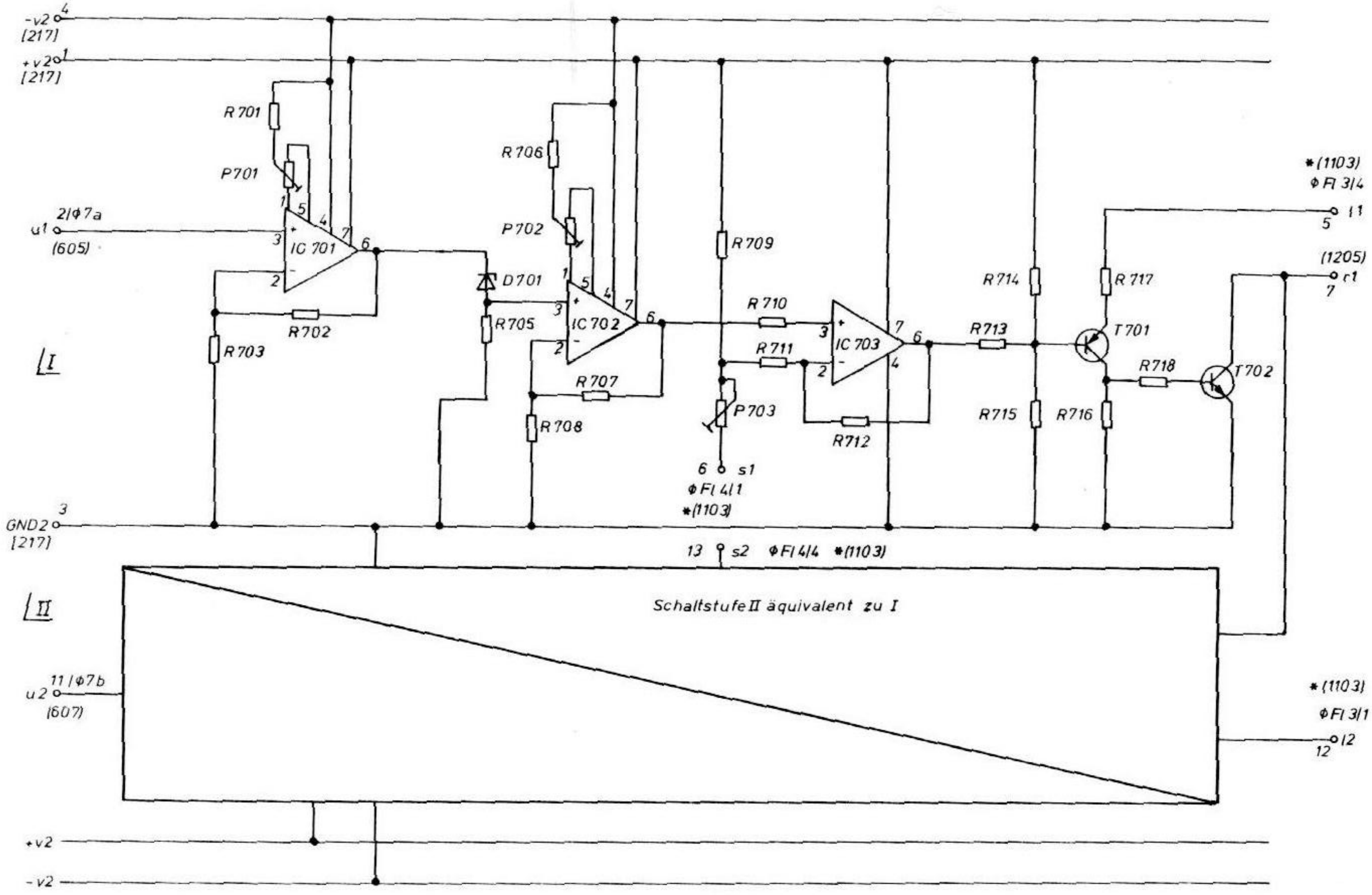


Einschub-Nr.
Front II.
Komponente
P 6.02
Feld
Digit. Display
Ausgabe
Fert.-Nr.
810214
Name
Datum
ÄM Nr.
Buchstabe
SEKA technics
6143 Lorsch
Digital-Anzeige
Bezeichnung
Blatt
5
Zeichnung Nr.
Anzahl der Blätter



Einschub-Nr.: Rückfront
Komponente
Feld: Input-Panel
Fert.-Nr.: 8102/4
Ausgabe
Name
Datum
AM Nr.
Buchstabe
SEKA-technics
6143 Lorsch
Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte gemäß DIN 34 Absatz 2.1 vor.
Benennung: Meßfühler-Anschluß
Blatt 6
Zeichnung Nr.
Gesamtzahl der Blätter
gezeichnet
geprüft
freigegeben

F 2605a © 9/5



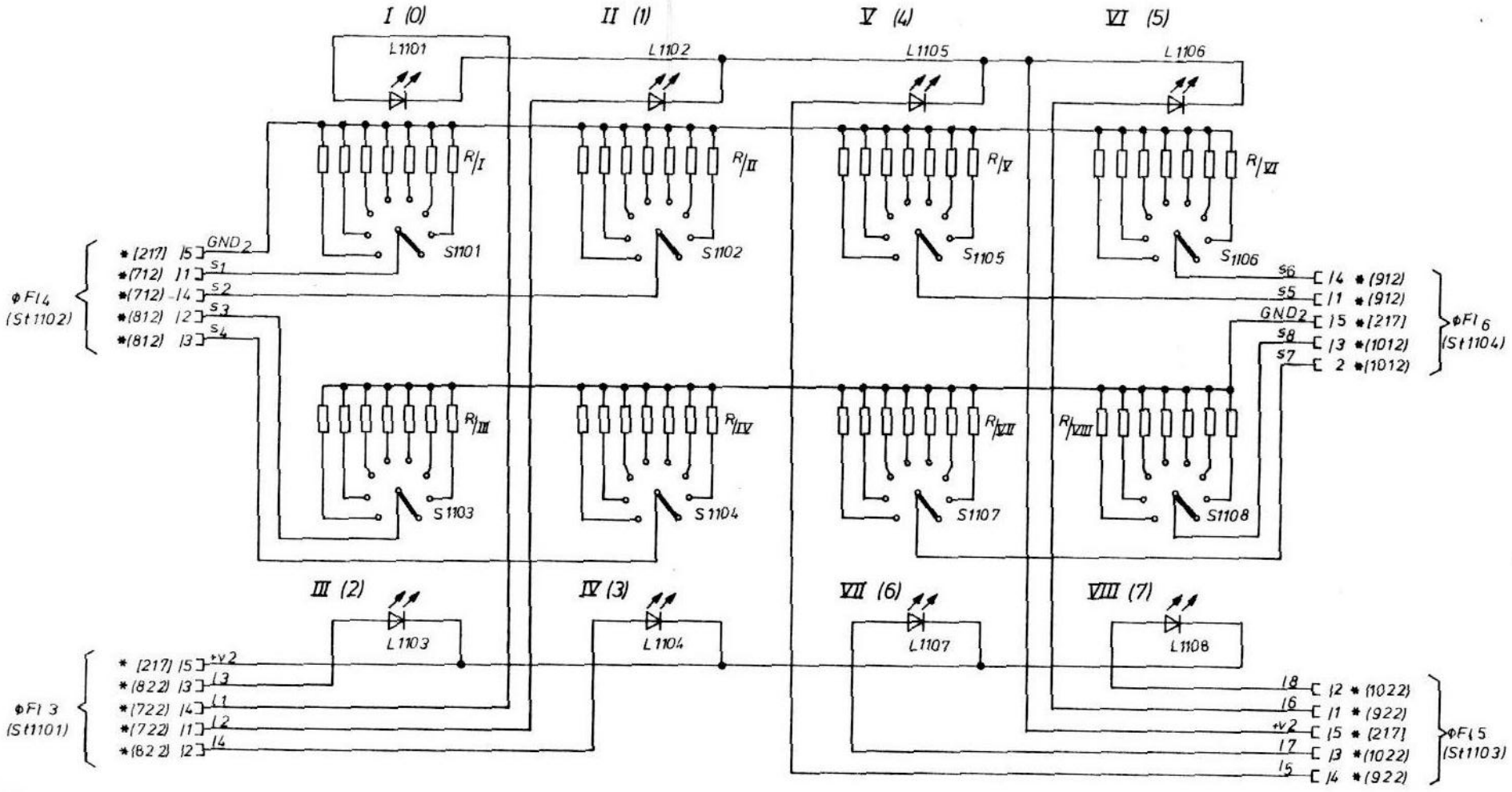
Bauteile der Schaltstufen I-VIII sind identisch
In der Stückliste Index beachten (röm. Ziff.)

Einschub-Nr.	4
Komponente	P 4.03
Feld	Low-Temp.
Fert.-Nr.	8104
Ausgabe	
Buchstabe	A
AM-Nr.	R 704
Datum	9.12.81
Name	[signature]
Zeichnung Nr.	
Blatt	7
Gesamtzahl der Blätter	
gezeichnet	21.10.71 [signature]
geprüft	
normgeprüft	
Benennung	Schaltstufe-Untertemp. I; II

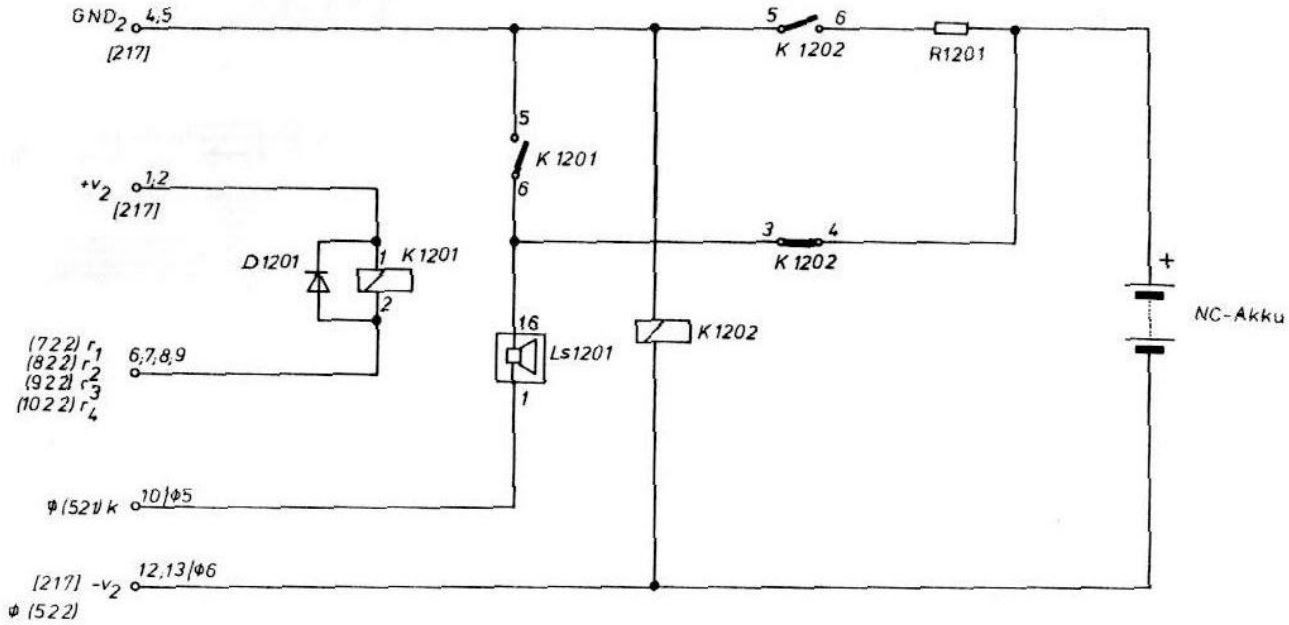
Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte gemäß DIN 34 Abschnitt 2.1 vor

SEKA-technics
6143 Lorsch

F 2605a 9/5



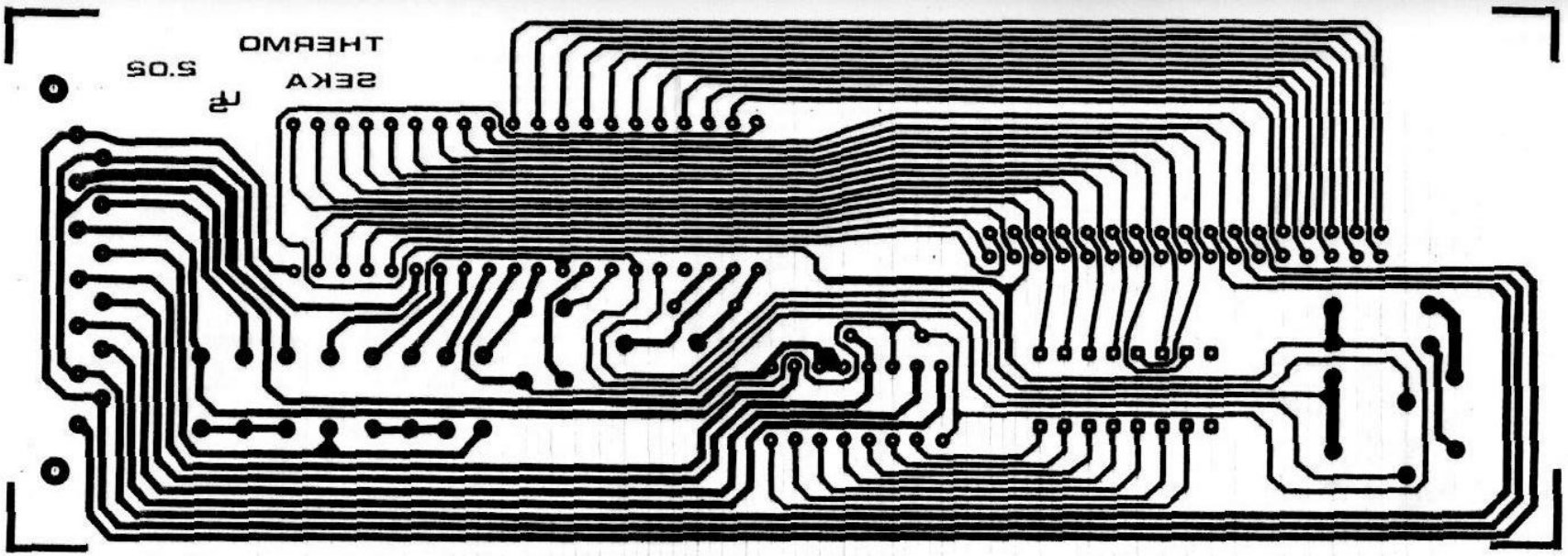
Einschub-Nr.: Front - re.
Komponente
Feld
Fert.-Nr.: 8104
Ausgabe
Name
Datum
Änd Nr.
Buchstabe
SEKA-technics 6143 Lorsch
Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte gemäß DIN 34 Abschnitt 21 vor.
Benennung: Front-Verdrahtung
Blatt 11
Zeichnung Nr.
Gesamtzahl der Blätter



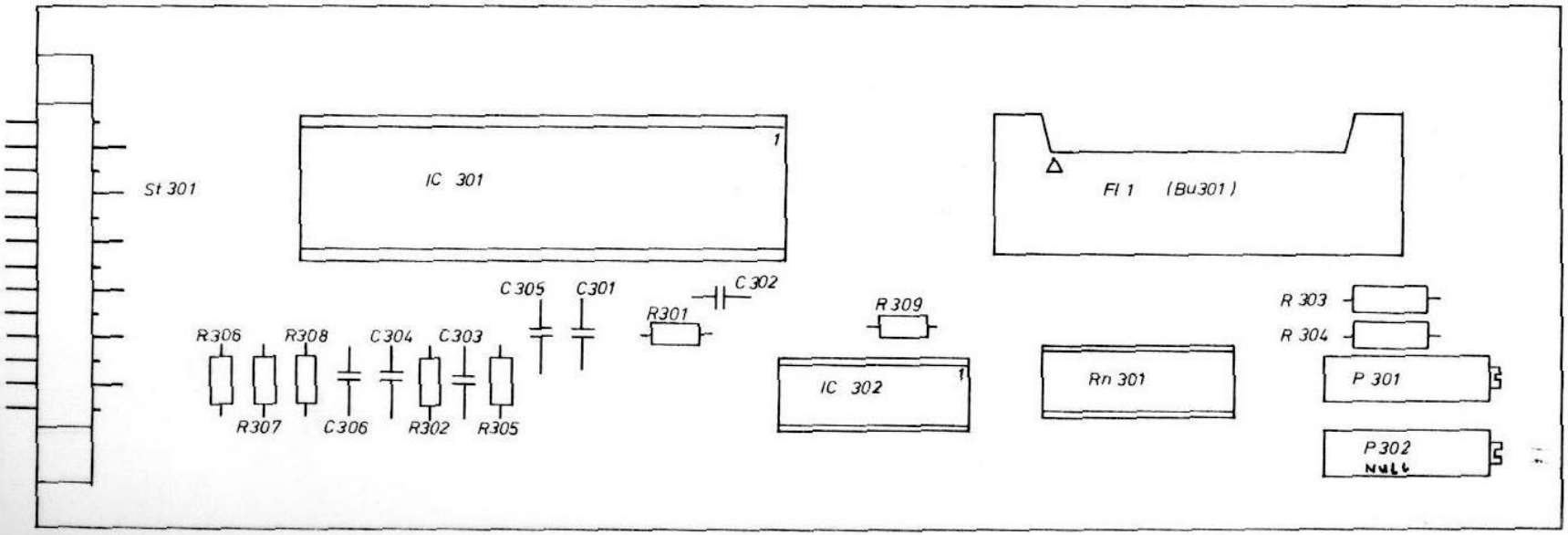
Kontake in Ruhestellung (stromlos)

Einschub-Nr.	8
Komponente	P 5.02
Alarm	
Fert.-Nr.	8104
Ausgabe	
Name	
Datum	
AM Nr.	
Buchstabe	
SEKA-technics 6143 Lorsch	
Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte gemäß DIN 34 Abschnitt 2.1 vor.	
Benennung	Relais-Warnplatine
Blatt	12
Zeichnung Nr.	
Gesamtzahl der Blätter	
gezeichnet	12.10.81
geprüft	
normgeprüft	

F 2605a ® 9/5



M=2:1



Einschub-Nr.	2
Komponente	P 2.02
Feld-Nr.	Thermo
Fert.-Nr.	8102 / 4
Ausgabe	
Buchstabe	
AM Nr.	
Datum	
Name	

SEKA technics
6143 Lorsch

Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte gemäß DIN 34 Abschnitt 2.1 vor.

Benennung: Bestückungsplan / Layout

Zeichnung Nr.

Blatt 13

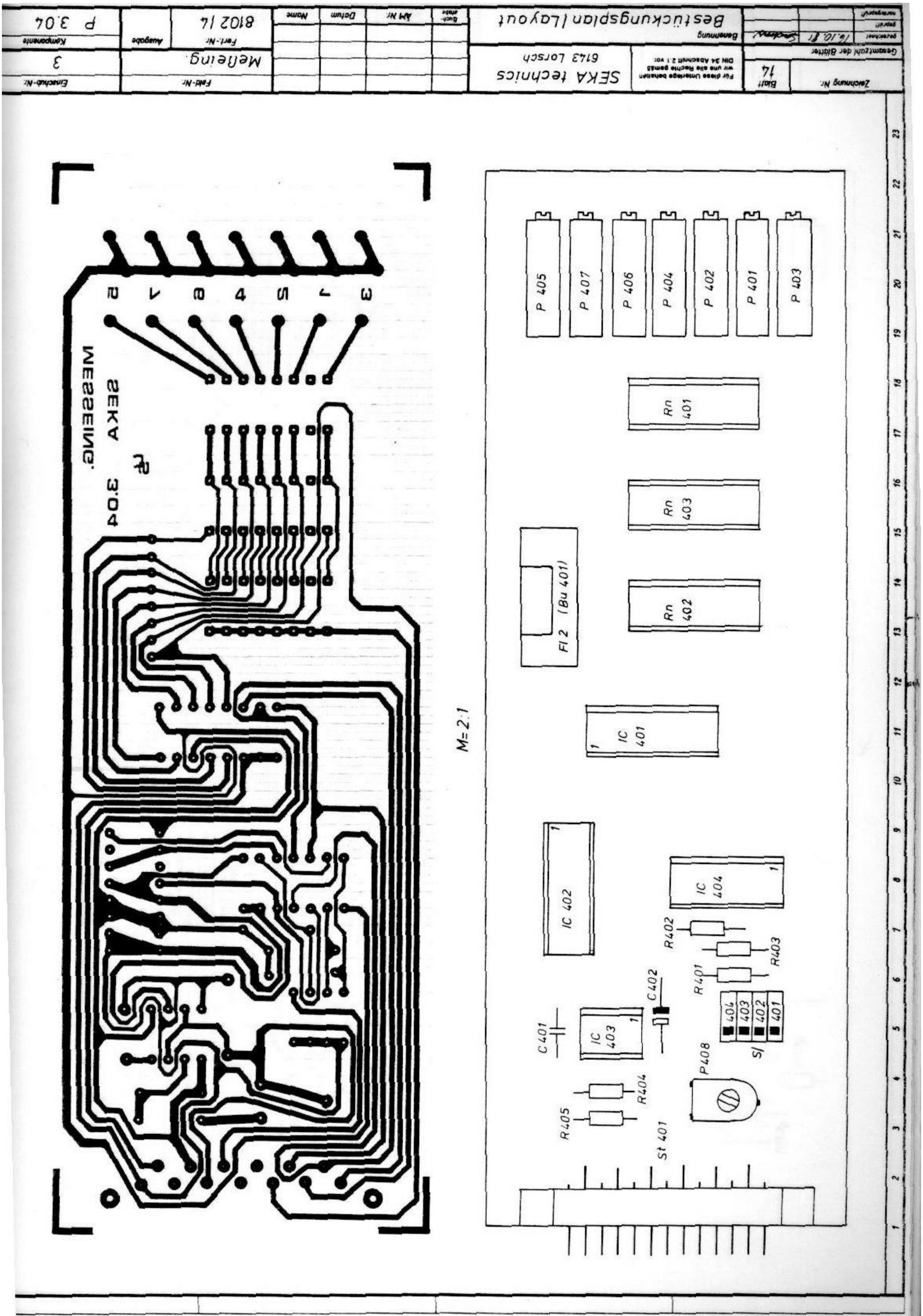
Gesamtzahl der Blätter

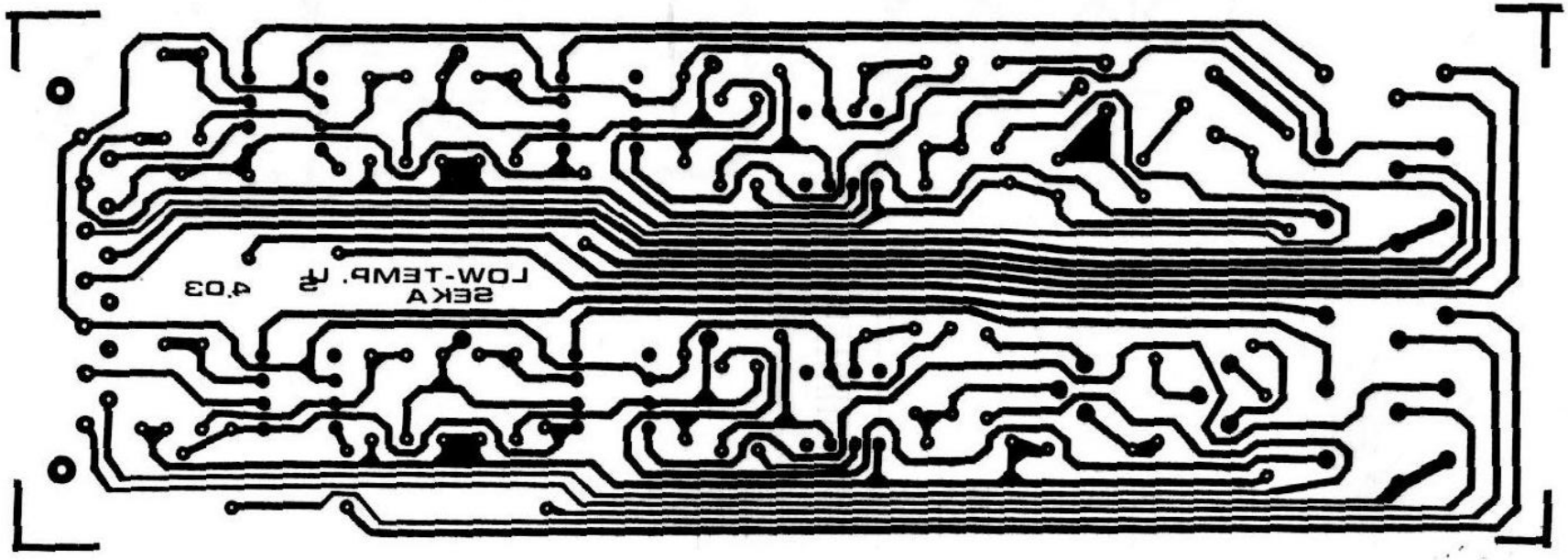
gezeichnet 16.10.81

geprüft

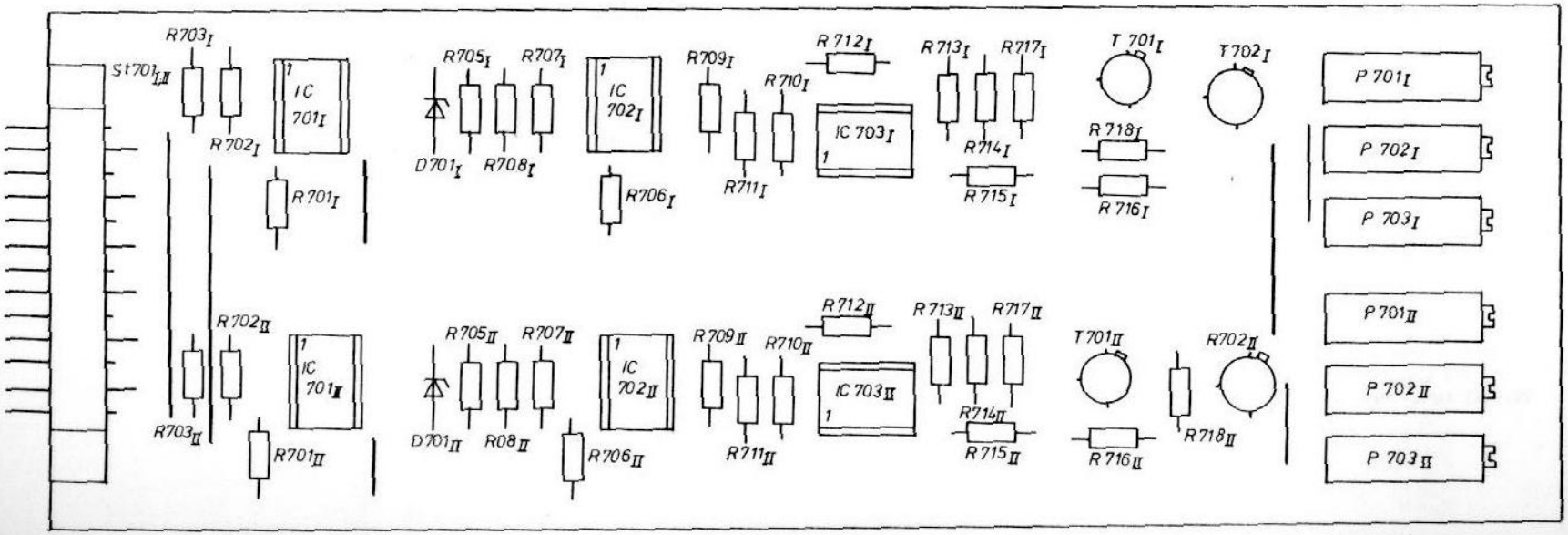
freigegeben

F 2605a ® 9/5


Bestückungsplan (Layout)
SEKA technics
6143 Lorsch
Meßeing.
8102/14
P 3.04
3
SEKA 3.04
MESSEING.
M=2:1
P 405
P 407
P 406
P 404
P 402
P 401
P 403
Rn 401
Rn 403
Rn 402
Fl 2 (Bu 401)
IC 401
IC 402
IC 404
IC 403
R402
R403
R401
C402
C401
S/
P408
R404
R405
St 401



M = 2:1



Einschub-Nr.	4,5,6,7				
Fabr.-Nr.	Low Temp.	Ausgabe	Komponente		
Fert.-Nr.	8104		P 4.03		
			Name	Sandberg	
			Datum	8.12.81	
			Änderung		
FA	R 704	AM Nr.	Bearbeitung		

SEKA-technics
6143 Lorsch

Für dieses Urheberrecht behalten wir uns alle Rechte gemäß DIN 34 Abschnitt 2.1 vor.

Blatt 15

Zeichnung Nr.

Gesamtzahl der Blätter

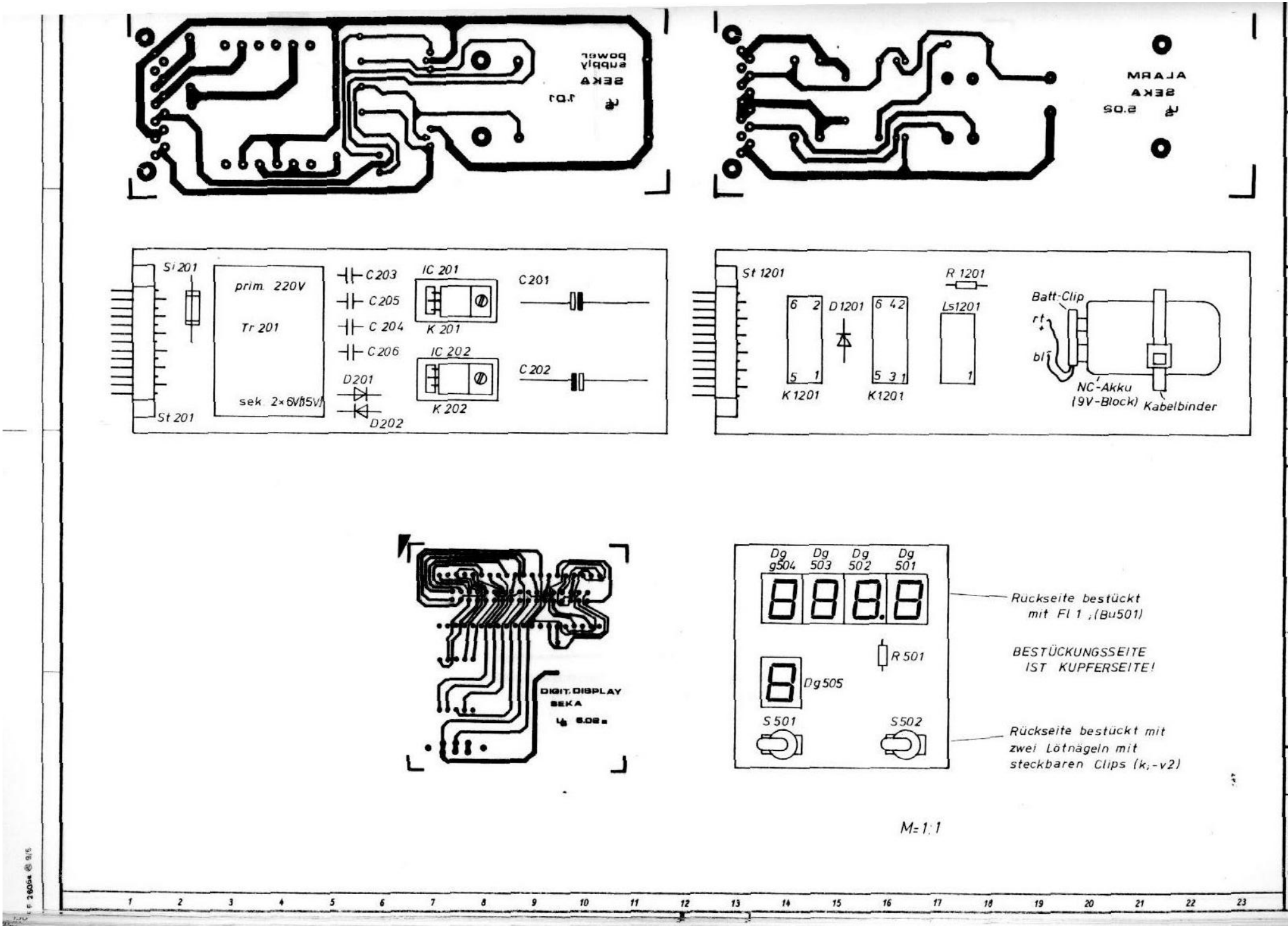
Benennung

Bestückungsplan / Layout

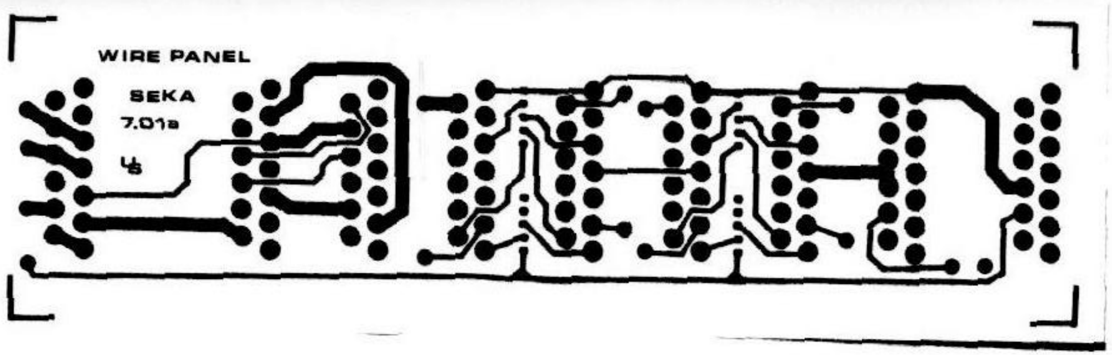
gezeichnet
geprüft
freigegeben

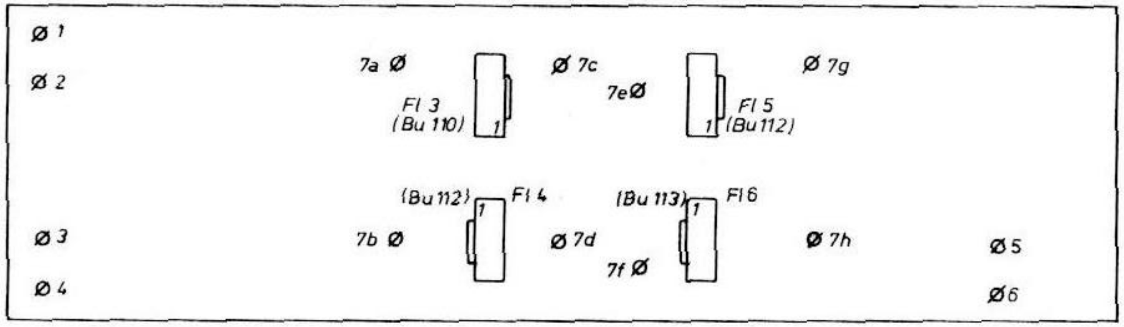
16.12.81

F 2805 ® 9/5



SEKA
supply
power
1.01
ALARM
SEKA
5.05
Si 201
prim. 220V
Tr 201
sek. 2×6V(15V)
St 201
C 203
C 205
C 204
C 206
D201
D202
IC 201
K 201
IC 202
K 202
C201
C 202
St 1201
6 2
5 1
K 1201
D1201
6 4 2
5 3 1
K1201
R 1201
Ls1201
1
Batt-Clip
rt
bl
NC-Akku
(9V-Block)
Kabelbinder
DIGIT. DISPLAY
SEKA
Dg g504
Dg 503
Dg 502
Dg 501
R 501
Dg505
S 501
S502
Rückseite bestückt mit Fl 1 ,(Bu501)
BESTÜCKUNGSSEITE IST KUPFERSEITE!
Rückseite bestückt mit zwei Lötnägeln mit steckbaren Clips (k;-v2)
M=1:1
Einschub-Nr.
1,9;8;Front
Komponente
P.1.01;5.02;6
Feld-Nr.
Power Supply; Alarm; Digit. Display
Ausgabe
Fert.-Nr.
8102 /4
Name
Datum
ÄM Nr.
Buchstabe
SEKA-technics
6143 Lorsch
Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte gemäß DIN 34 Abschnitt 2.1 vor.
Benennung
Bestückungsplan/Layout
Blatt
16
Zeichnung Nr.
Gesamtzahl der Blätter
gezeichnet
geprüft
normgeprüft



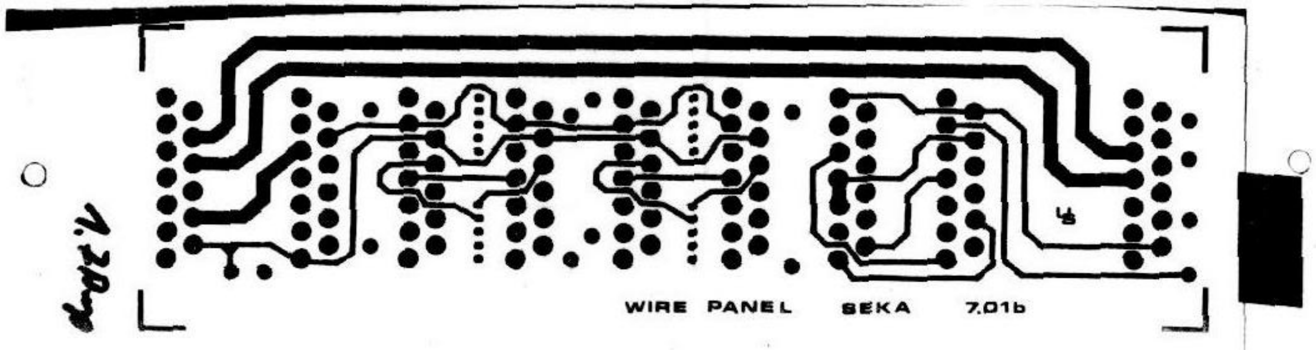


Platine doppelseitig kaschiert u. durchkontaktiert

Ø Lötstützpunkte

Rückseite ist mit 3/bzw. 9 Buchsenleisten bestückt. Bu 101 - Bu 103/ bzw. Bu 109

Ansicht von vorne (Seite a)



Zeichnung Nr.

Blatt 17

Gesamtzahl der Blätter

gezeichnet 16.10.81

Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte gemäß DIN 34 Abschnitt 2.1 vor.

SEKA - technics
6143 Lorsch

Benennung: Bestückungsplan

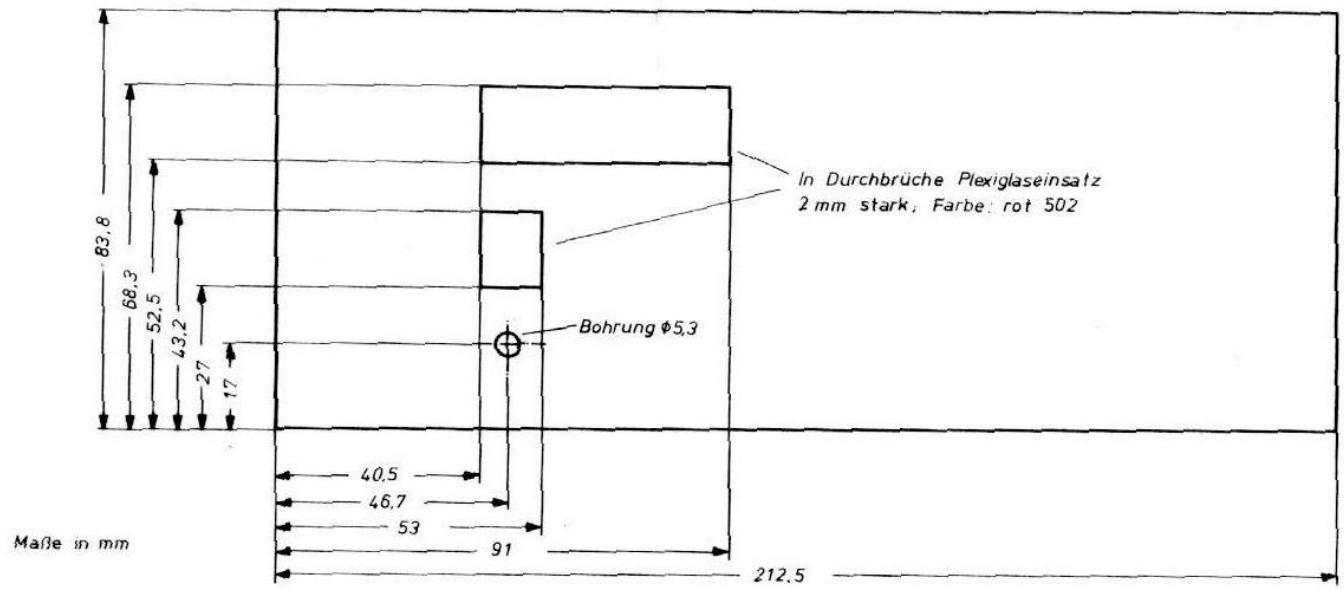
Einschub-Nr.: Front

Feld-Nr.: Wire Panel

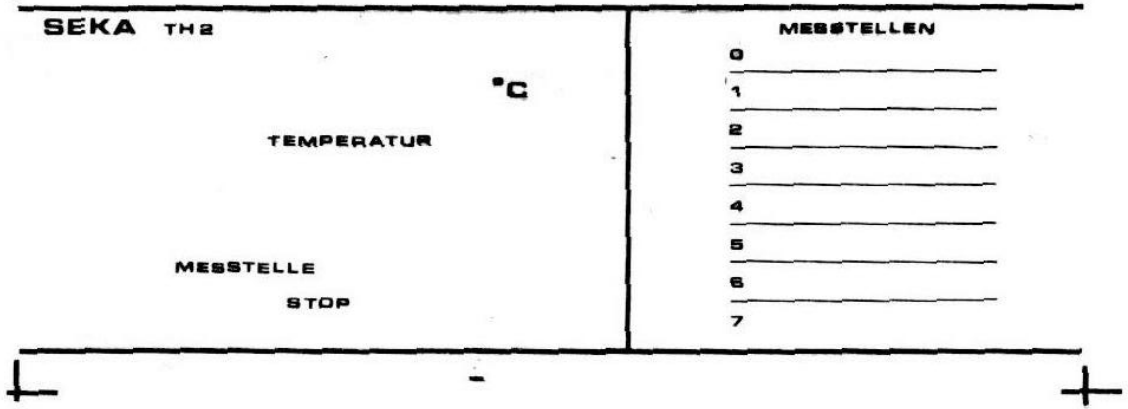
Fert.-Nr.: 810214

Ausgabe

Komponente: P. 7.01a/b

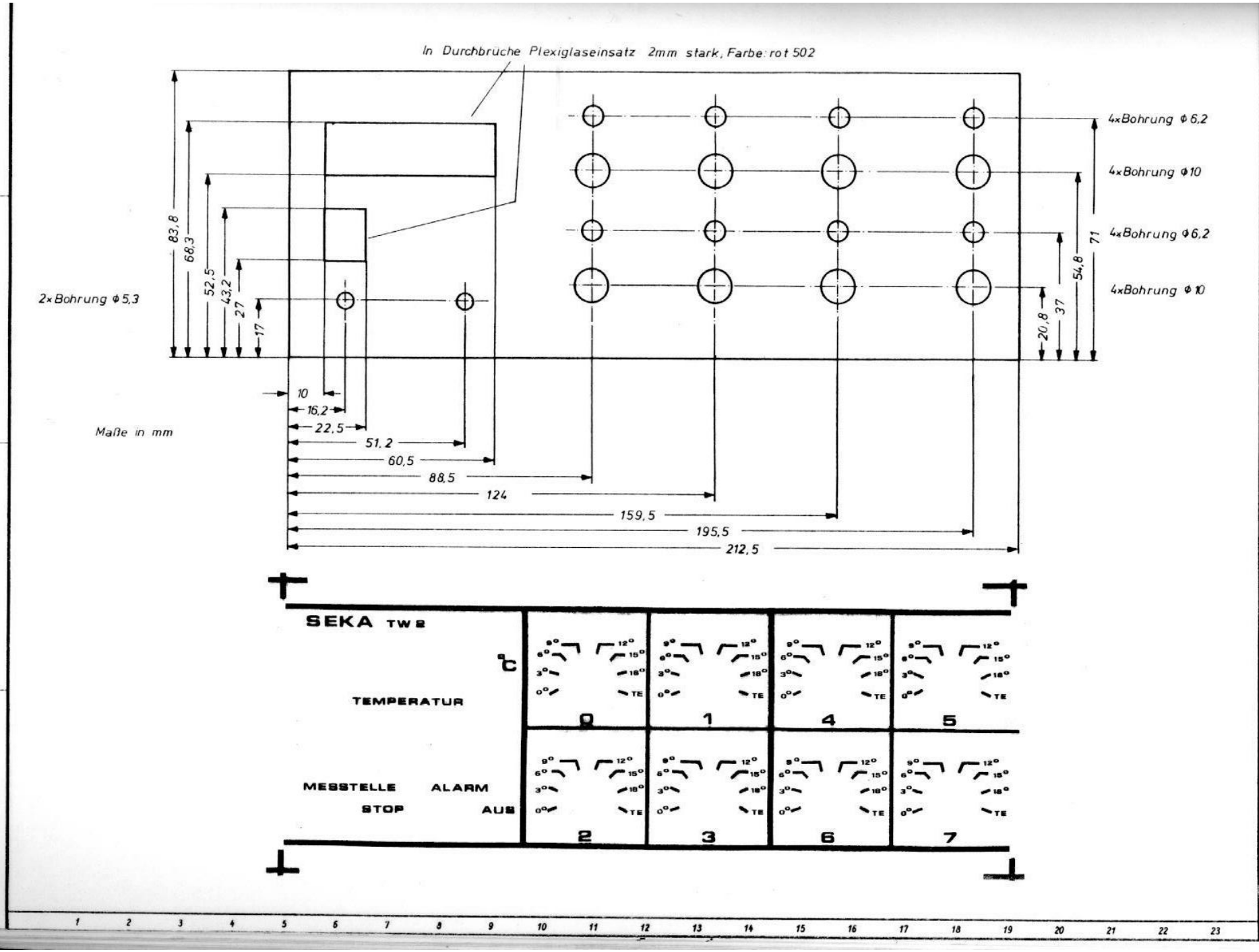


Maße in mm

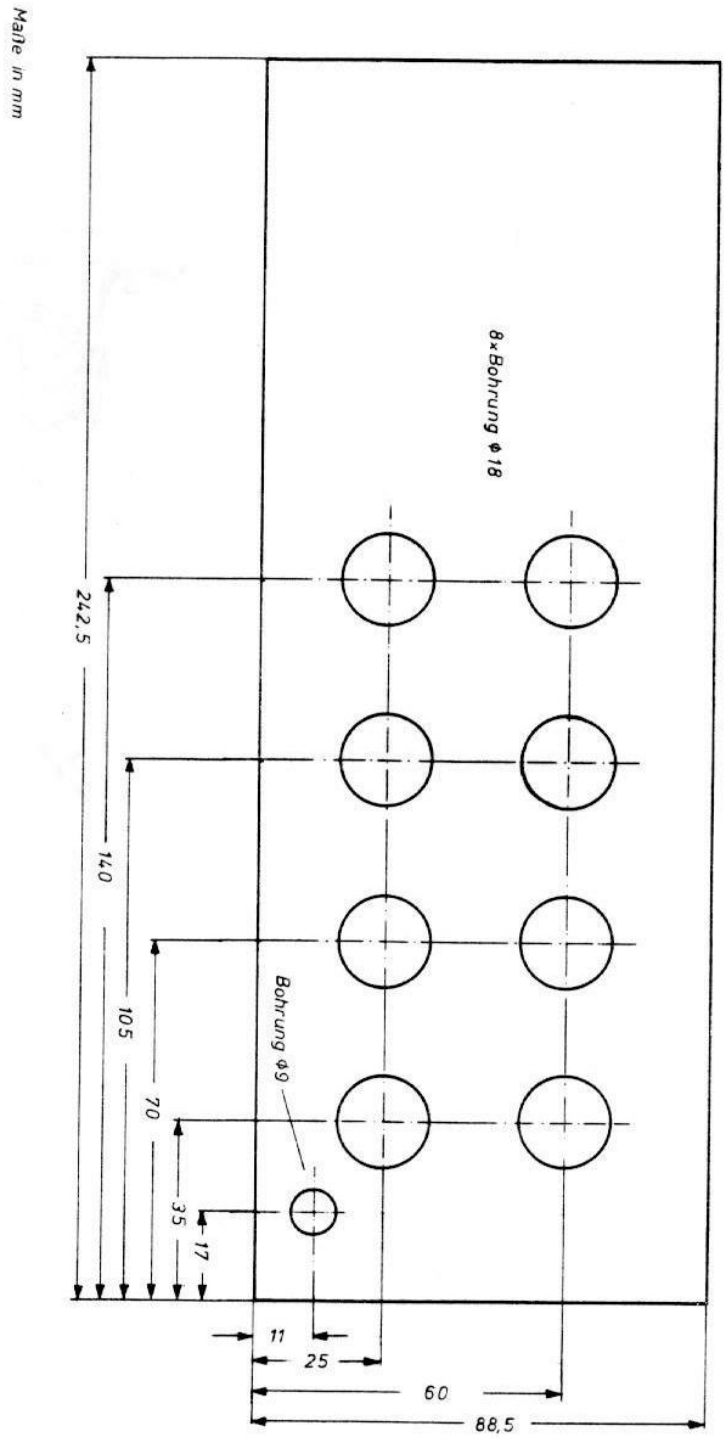


Einschub-Nr.		Komponente	
Feld-Nr.		Ausgabe	
Fert.-Nr.	8102		
Name			
Datum			
Änd. Nr.			
Änderung			
Zeichnung Nr.		Blatt 18	
Bezeichnung	Frontplatte TH-Serie		
	SEKA technics 6143 Lorsch		

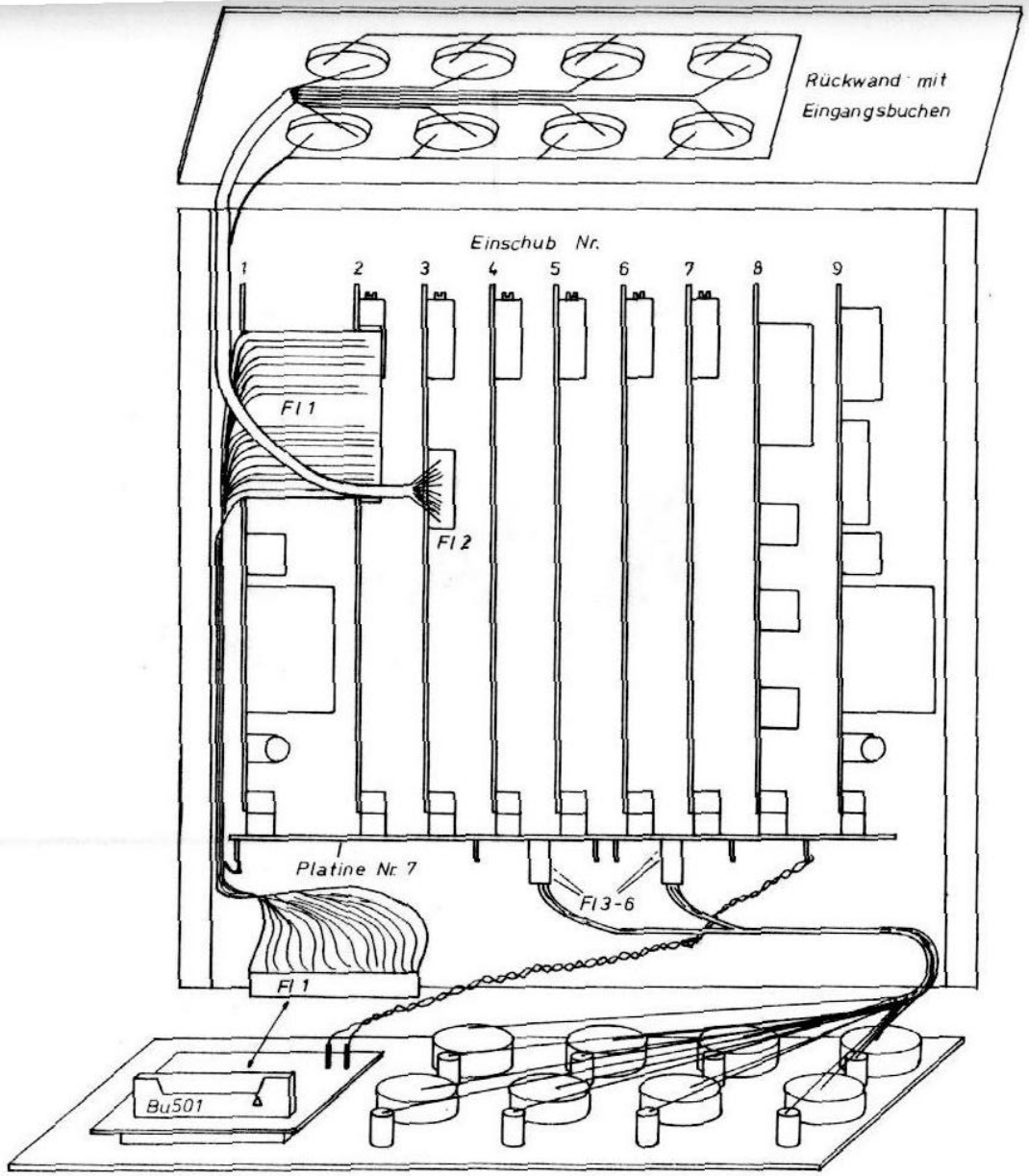
F 2805a ® 9/5


In Durchbrüche Plexiglaseinsatz 2mm stark, Farbe: rot 502
4xBohrung Φ 6,2
4xBohrung Φ 10
4xBohrung Φ 6,2
4xBohrung Φ 10
2xBohrung Φ 5,3
83,8
68,3
52,5
43,2
27
17
71
54,8
37
20,8
10
16,2
22,5
51,2
60,5
88,5
124
159,5
195,5
212,5
Maße in mm
SEKA TW2
°C
TEMPERATUR
MESSTELLE ALARM
STOP AUS
0
1
4
5
2
3
6
7
TE
Einschub-Nr.
Komponente
Feld-Nr.
Ausgabe
Fert.-Nr.
8104
Name
Datum
ÄM Nr.
Buchstabe
SEKA technics
6143 Lorsch
Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte gemäß DIN 34 Abschnitt 2.1 vor.
Benennung
Frontplatte TW-Serie
Zeichnung Nr.
Blatt
19
Gesamtzahl der Blätter
gezeichnet
17.10.81
geprüft
normgeprüft

F 2605a ® 9/5



Zeichnung Nr.	Blatt 20	Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte gemäß DIN 34 Abschnitt 2.1 vor.	SEKA technics 6143 Lorsch					Feld-Nr.		Einschub-Nr.
Gesamtzahl der Blätter										
gezeichnet	17.10.81	Sendrenl	Benennung					Fert.-Nr.	Ausgabe	Komponente
geprüft			Rückplatte	Buchstabe	ÄM Nr.	Datum	Name	8102/4		
normgeprüft										



Ansicht von oben, ohne Gehäusedeckel und vordere Modulschienen

Gerätebestückung TW-Serie

Einschub-Nr.	
Komponente	
Feld-Nr.	
Ausgabe	
Fert.-Nr.	8102/4
Name	
Datum	
AM Nr.	
Buchstabe	
Zeichnung Nr.	
Blatt	21
Gesamtzahl der Blätter	
gezeichnet	17.10.81
geprüft	
normgeprüft	

Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte gemäß DIN 34 Abschnitt 2.1 vor.

SEKA-technics
6143 Lorsch

Benennung
Montagezeichnung

F 2605a ® 9/5

SEKA technics
SEKA-technics
6143 Lorsch
SEKA-Schriftzug

Stck	Benennung	Normblatt Zeichng. Nr	Bez.	lfd. Nr	Bestell-Nr.	Distributor
1	Platine	1.01	pow.sup.	1		
1	Steckerleiste	St 201	13 pol	2	G17 D13 A4 DEBM	Spoerle
2	Sicherungsclip	Sc 201		3	19520	"
1	Sicherung	Si 201	100mA/F	4	19201/92mA/F	"
1	Trafo	Tr 201	2x6V/5W	5	TFB 468/010-01-N2	"
4	Kondensator	C 203-206	33nF	6	1818-0,33/63	"
2	Kondensator	C 201-202	2200uF	7	020-2200/16	"
2	Diode	D 201-202	1N4004	8	1N4004	"
1	Spannungsregler	IC 201	7805	9	7805	"
1	Spannungsregler	IC 202	7905	10		"
2	Kühlkörper	K 201-202		11	SK13/35/SA-220	"
	Abweichende Bauteile für ± 15 V Netzteil					
1	Trafo	(Tr201)	2x12V/5	(5)	TFB 468/013-01-N2	"
2	Kondensator	(C 201-202)	1000uF	(6)	020-1000/25	"
1	Spannungsregler	(IC 201)	7815	(9)		"
1	Spannungsregler	(IC 202)	7915	(10)		"

				Maßstab	
				POWER SUPPLY	
		Datum	Name	STÜCKLISTE	
		Bearb. 9.12.81	Sendro.		
		Gepr.		± 5V (± 15V) NETZTEIL	
		Norm			
					Blatt 23
Zust.	Änderung	Datum	Name		Bl.

Stck	Benennung	Normblatt Zeichng. Nr	Bez.	lfd. Nr	Bestell-Nr.	Distributor
1	Platine	2.02	thermo	1		
1	Steckerleiste	St 301	13 pol	2	G17 D13 A4 DEBM	Spoerle
1	Scotchflex-Buchsenleiste	Bu 301	34 pol	3	3414 - 6000/0000	"
1	Widerstandsnetzwerk	Rn 301	8x 1k	4	4116 R - 001 - 1k	"
1	Widerstand	R 307	1,5 k	5	SK 2 - 5 xxx	"
1	" "	R 306	5,6 k	6	"	"
1	" "	R 309	10 k	7	"	"
2	" "	R 301-302	100 k	8	"	"
1	" "	R 308	150 k	9	"	"
1	" "	R 304	220 k	10	"	"
1	" "	R 303	470 k	11	"	"
1	" "	R 305	1 M	12	"	"
2	Trimmpoti	P 301-302	100 k	13	0612-310/ 100 k	"
1	Kondensator	C 302	100 p	14	P1ROC 700-100	"
1	"	C 306	1 n	15	1806-1000/100	"
1	"	C 305	10 n	16	1848-0,01/100	"
2	"	C 301+304	100 n	17	1807-0,1 /63	"
1	"	C 303	220 n	18	1807-0,22/63	"
1	IC ≠ A/D Wandler	IC 301	ICL7107	20		Spezial-Elektr
1	IC ≠ BCD-zu-7-Segm.Cod.	IC 302	CD4511	21		Spoerle
1	IC-Fassung	(301)	DIL 40	23	C 834002	"
1	IC-Fassung	(302)	DIL 16	24	C 831602	"

Maßstab

THERMO

	Datum	Name
Bearb.	9.12.81	Sendro.
Gepr.		
Norm		

STÜCKLISTE

A/D WANDLER - MESSTELLENANZ.

Blatt 24

Bl.

Zust. | Änderung | Datum | Name

Stck	Benennung	Normblatt Zeichng. Nr	Bez.	lfd. Nr	Bestell-Nr.	Distributor
1	Platine	P 3.04	messein.	1		
1	Steckerleiste	St 401	13 pol	2	G17 D13 A4 DEBM	Spoerle
1	Bu.Leiste m. St.u. Kab.	Bu 401	8 pol	3		
1	Widerstandsnetzwerk	Rn 401	8x2k7	4	4116 R - 001-2,7 k	"
1	" " " "	Rn 402	8x150 k	5	4116 R - 001-150 k	"
1	" " " "	Rn 403	8x1k5	6	4116 R - 001-1,5 k	"
4	Widerstand	R 401-404	10 k	7	SK 2 - 5 xxx	"
1	" "	R 405	100 k	8	"	"
7	Trimmpoti/10-Gang	P 401-407	4,7 k	10	0612 - 310/ 4,7 k	"
1	Kondensator	C 401	10 n	12	1848-0,01/100	"
1	Elko	C 402	4,7 u	13	ETS-4,7/10	"
1	IC ≠ 8 Kanal Anal. MUX	IC 401	CD 4051	15		"
1	IC ≠ 2x JK-Flip-Flop	IC 402	CD 4027	16		"
1	IC ≠ Präz. Timer	IC 403	NE 555	17		"
1	IC ≠ 4 x NOR-Glied	IC 404	CD 4001	18		"
1	DIL-Schalter	S401-404	4xein	20	DSS 104	Knitter
1	IC-Fassung	(555)	DIL 8	22	C 830802	Spoerle
1	" "	(4001)	DIL 14	23	C 831402	"
1	" "	(401/402)	DIL 16	24	C 831602	"

Maßstab

MESSEING.

	Datum	Name
Bearb.	9.12.81	Sendrow.
Gepr.		
Norm		

STÜCKLISTE
MESSEINGANG / UMSCHALTUNG

Blatt 25 Bl.

Zust.	Änderung	Datum	Name

Stck	Benennung	Normblatt Zeichng. Nr	Bez.	lfd. Nr	Bestell-Nr.	Distributor
1	Platine	P 6.02	di disp.	1		
1	Scotchflex-Bu-Leiste	Bu 501	34 pol	2	3414-6000/0000	Spoerle
1	Widerstand	R 501	820 R	3	SK 2 - 5 xxx	"
4	Display	Dg 501-504	TIL 701	4		"
1	"	Dg 505	TIL 702	5		"
2	Kippschalter	S 501-502	1xum	7	MS 244	ITT
2	Lötnagel mit Clip	(k; -v2)		8		

Zust.	Änderung	Datum	Name

	Datum	Name
Bearb.	9.12.81	Sendrow.
Gepr.		
Norm		

Maßstab

DIGIT. DISPLAY

STÜCKLISTE

DIGITAL-ANZEIGE

Blatt 26 Bl.

Stck.	Benennung	Normblatt Zeichng. Nr	Bez.	lfd. Nr	Bestell-Nr.	Distributor
1	Platine	P. 4.03	Low.temp	1		
1	Steckerleiste	St 701	13 pol	2	G17 D13 A4 DEBM	Spoerle
4	Widerstand	R 717+718	1 k	4	SK 2 - 5 xxx	"
10	" "	R 701;706 713;714;716	1,5 k	5	"	"
2	" "	R 715	6,8 k	6	"	"
10	" "	R 705;708 709-711	10 k	7	"	"
2	" "	R 703	33 k	8	"	"
2	" "	R 707	100 k	9	"	"
2	" "	R 702	470 k	10	"	"
2	" "	R 712	2,2 M	11	"	"
4	Trimmpoti	P 701+702	47 k	13	0612-310/ 47 k	"
2	Trimmpoti	P 703	1 k	14	0612-301/ 1 k	"
2	Zenerdiode	D 701	ZPY 6V8	16		"
2	Transistor	T 701	BC 557	17		"
2	Transistor	T 702	BC 144	18		"
6	IC ≠ Präz. OpAmp	IC 701-703	TL081C	19		"
6	IC-Fassungen	(710-703)	DIL 8	21	C 830802	"

Jede Platine ist mit 2 Schaltstufen bestückt, wobei die Schaltstufen von I - VIII durchnummeriert sind. Die Bauteile sind auf Blatt 7 einmal bezeichnet. Aus diesem Grund ist auch die Stückzahl der Bauteile in dieser Stückliste doppelt so groß wie die Angabe der verwendeten Bauteile. Pro Platinenbestückung ist also einmal die Anzahl der Bauteile dieser Stückliste zu verwenden.

Warnung I; II Platine 1; Einschub 4
Warnung III;IV Platine 2; Einschub 5
Warnung V; VI Platine 3; Einschub 6
Warnung VII; VIII Platine 4; Einschub 7

BEI GERÄTEBESTÜCKUNG MIT 8 MESSTELLEN BAUTEILSTÜCKZAHL X 4!!!

Maßstab			
LOW-TEMP.			
	Datum	Name	
Bearb.	9.12.81	Sendrow.	STÜCKLISTE SCHALTSTUFE-UNTERTEMPERATUR
Gepr			
Norm			
			Blatt 27
			Bl.

Zust.	Änderung	Datum	Name

Stck	Benennung	Normblatt Zeichng. Nr	Bez.	lfd. Nr	Bestell-Nr.	Distributor
1	Platine	P 5.02	alarm	1		
1	Steckerleiste	St 1201	13 pol	2	G17 D13 A4 DEBM	Spoerle
1	Widerstand	R 1201	5,6 k	4	SK 2 - 5 xxx	"
1	Relais	K 1201	1xein	6	V 23100 -V6001-A101	Siemens
1	Relais	K 1202	1xein/aus	7	V 23100 -V6002-A112	"
1	Warntongeber	Ls 1201		9	DIDA 512	Spoerle
1	Diode	D 1201	1N914	11		"
1	9 V Akku (Nennsp. 8,4v)			13		Emmerich
1	Batterie-Clip für 9V-Block			14		"
1	Kabelbinder			16	PLT 1 M	Spoerle
	Querplatine (Wire-Panel)					
1	Platine	P 7.01	wir.p.	1		
9	Buchsenleiste	Bu 101-109	13 pol	2	G17 D13 A3 DABM	Spoerle
4	St.Leiste mit Bu.u.Kabel	St 1101-04	5 pol	3		
12	Lötfahnen					
	Bei Serie 8102 statt 9 nur 3Buchsenleisten				(Bu 101 - 103; siehe Blatt 17)	

Zust	Änderung	Datum	Name

	Datum	Name
Bearb.	9.12.81	Sendrow.
Gepr.		
Norm		

Maßstab

ALARM / WIRE PANEL

STÜCKLISTE
RELAIS-WARNPLATINE
QUERPLATINE

Blatt 28
Bl.

Stck	Benennung	Normblatt Zeichng. Nr	Bez.	lfd. Nr	Bestell-Nr.	Distributor
1	Gehäuse (Schroff/Luxusgehäuse)			1	20219-084	Spoerle
1	Frontplatte			2	30219-207	"
9	Führungsschienen			3	20219-019	"
1	Einbausatz für Karten			4	30814-111	"
1	zus. Modulschiene hinten mit Schrauben (M4)			5		"
2	Winkelprofil ohne Griff			6	20814-042	"
4	Vierkantmutter für Z-Schiene			7	21100-425	"
1	Netzkabel mit Stecker	Blatt 2		9	402/2	"
8	Buchsen	Bu 601-608	3 pol	10	Mab 3100 S	"
8	Stecker; arretierbar	St 601-608	3 pol	11	Mas 3100	"
8	Temperatur-Fühler	NTC 601-608	KTY10A	13	Q62705-K1	Siemens
60 cm	Kabel 8x0,56 qmm; abgeschirmt		nur bei Serie 8104 (Blatt 6)			
20 cm	Kabel 2x1 qmm		nur bei Serie 8104 (Blatt 5)			
25 cm	Flachkabel	Blatt 3	34 pol	17	3365-34	Spoerle
2	Scotchflex Steckerleist.	Blatt 3/5	34 pol	18	3431-1002	"
8	Leuchtdioden	L1101-1108	rot	20	LD-32 S	"
8	Stufenschalter	S1101-1108	7xein	21	Ø 26 mm	
8	Widerstand	R 1101 I-VIII	5,1 k	33	MK 02 - xxx	Spoerle
8	" "	R 1102 I-VIII	7,5 k	34	"	"
8	" "	R 1103 I-VIII	11 k	35	"	"
8	" "	R 1104 I-VIII	16 k	36	"	"
8	" "	R 1105 I-VIII	24 k	37	"	"
8	" "	R 1106 I-VIII	43 k	38	"	"
8	" "	R 1107 I-VIII	100 k	39	"	"
500 gr.	Polyesterharz			40		
8	Meßkabel je nach Bedarf	2x0,96 qmm; abgeschirmt				HPM
8	Kupplungen für Feuchtraum	Blatt 6	2 pol	43	Stak 20	Spoerle
8	Stecker " " "	Blatt 6	2 pol	44	Stas 20	"
8	Sicherungsbügel			45	Stasi 1	"
	Schaltdraht		0,5mm	47		

Zust.	Änderung	Datum	Name

	Datum	Name
Bearb.	9.12.81	Sendrow.
Gepr.		
Norm		

Maßstab

STÜCKLISTE
GEHÄUSE/FRONT-U.RÜCKPLATTE
MESSFÜHLER

Blatt 29 Bl

5 Quellenverzeichnis

1. Digitale Elektronik
   Ing.F.Doktor / Dipl.Ing.J.Steinhauer
   Phillips-Fachbuch ; Hamburg; 1973

2. Analoge Schaltkreise Hans Stiefken
   Hüthing Verlag; Heidelberg; 1971

3. Halbleiterschaltungstechnik
   U.Tietze / Ch.Schenck
   Springer Verlag; Berlin, Heidelberg;

4. Das TTL-Kochbuch
   Texas-Instruments; Freising; 1975

5. Pocket-Guide
   Texas-Instruments; Freising; 1976

6. CMOS-Data Book
   Motorola; 1977

7. Lineare Schaltungen
   Siemens Datenbuch 1979/80

8. Applikation Nr. A016/A017/A018/ICL 7107
   SE-Elektronik KG, München Intersil

9. ELV-Journal Nr. 5; 6; 7; 8; 11
   Fachmagazin für angewandte Elektronik
   Elektr. Literatur Verlag; Leer; 1980/81

10. Elektor; Halbleiterheft 1980/81
    Fachzeitschrift für Elektronik
    Elektor-Verlag; Gangelt; 1980