

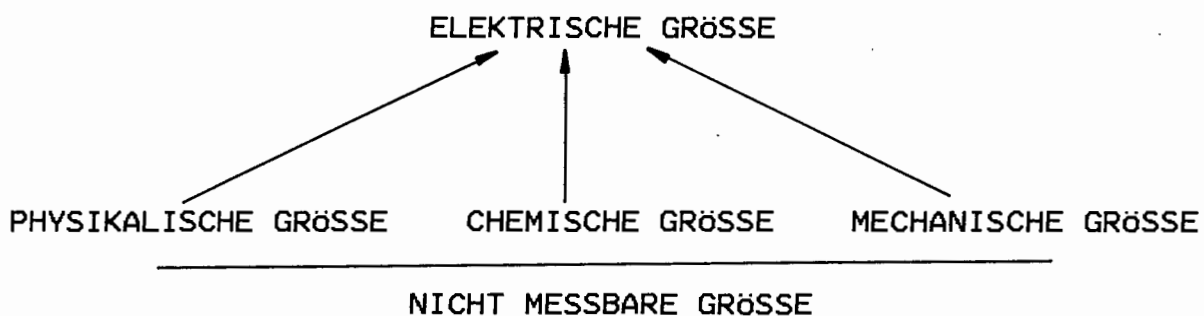
Reparat MTD 1990

# SENSORIK ODER ELEKTRISCHES MESSEN NICHTELEKTRISCHER GRÖSSEN:

Das Messen von Strom- und Spannungsänderungen ist relativ einfach, Strom- und Spannungsänderungen können erfaßt und weiterverarbeitet werden. Diese Änderung von elektrischen Größen (Strom, Spannung) kann entweder direkt beeinflußt werden oder, und das ist der häufigere Fall, indirekt durch Bauteilwertänderung, wie Widerstand, Kondensator oder Spule, die durch verändern des Ohm-, Kapazitäts- oder Induktivitätswertes eine Strom- bzw. Spannungsänderung hervorrufen. Es besteht auch die Möglichkeit Halbleiterbauelemente einzusetzen.

Will man nun Temperatur, Feuchte, Lichtintensität, das Vorhanden sein von Gas oder aber auch Kraft oder Beschleunigung messen, so muß man diese physikalische, chemische oder mechanische Größe in eine elektrische Größe umwandeln.

Bild 1: Größen



D.h., z.B. eine physikalische Änderung bewirkt eine Widerstandsänderung, welche wiederum eine Strom- oder Spannungsänderung zur Folge hat. Man muß also die physikalische, chemische oder mechanische Größe auf eine elektrische Größe zurückführen.

Weiters gibt es noch "nicht meßbare Größen", die nicht, auch nicht unter den besten Verhältnissen, in eine elektrische Größe umgewandelt werden können. Es besteht auch nicht die Möglichkeit diese nicht meßbare Größe z.B. in eine physikalische Größe umzusetzen und diese physikalische Größe in eine elektrische. Eine solche nicht meßbare Größe ist z.B. die Zeit. Wir können die Zeit zwar mit einer Uhr bestimmen, geben uns aber selber vor, daß das eine Sekunde, das eine Minute, usw. ist. Es ist schon richtig, daß wir z.B. die Temperatur auch einteilen und sagen, das ist  $1^{\circ}\text{C}$  und das sind  $100^{\circ}\text{F}$ .... Der Unterschied besteht darin, daß wir Messen, wir berühren einen Gegenstand und sagen, die Temperatur des Gegenstandes beträgt  $30^{\circ}\text{C}$ . Bei der Bestimmung der Zeit ist das nicht möglich. Wir können nicht die Hände in die Höhe halten und feststellen, das ist eine Sekunde, sondern wir geben sie uns selber vor.

*Annahme Sonnenuhr  
Hier wird der Winkel der Sonnenstrahlen  
gemessen und der geworfene Schatten des Stabes  
auf eine Skala projiziert*

Zurück zu den Größen, die wir erfassen können.  
Hier seien nun einige Beispiele angeführt:

## PHYSIKALISCHE GRÖSSEN:

Temperatur, Schall, Lichtintensität, Feuchte, Luftdruck, Magnetfeld, Radioaktivität, Staubgehalt,...

#### CHEMISCHE GRÖSSEN:

Gaskonzentration, PH-Wert, Wasseranalyse,...

#### MECHANISCHE GRÖSSEN:

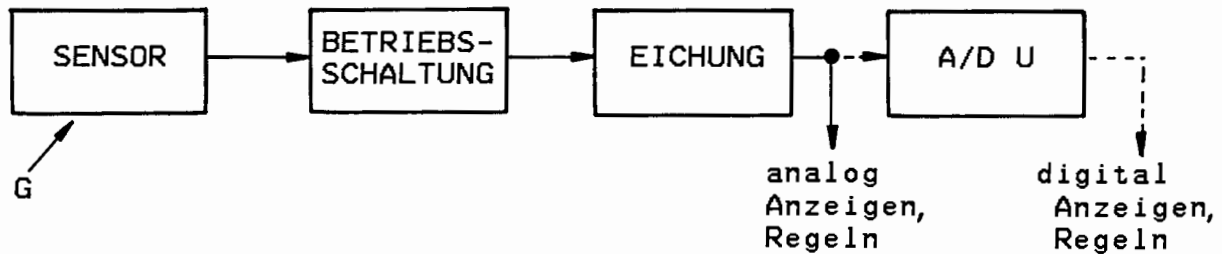
Kraft, Druck, Verdrehung, Verbiegung, Beschleunigung, Drehzahl, Weg, Winkel, Strömungsgeschwindigkeit,...

#### ELEKTRISCHE GRÖSSEN:

Strom, Spannung

Wie schaut die Verwirklichung einer solchen Messung aus?

Bild 2: Prinzip



Um eine physikalische, chemische oder mechanische Größe in eine elektrische Größe umzusetzen, ist ein Wandler oder ein sogenannter Sensor notwendig. Auf den Sensor wirkt die Größe  $G$  ein. Damit der Sensor überhaupt funktioniert muß eine Betriebs-schaltung vorhanden sein, d.h. er muß mit Strom und Spannung versorgt werden bzw. die Betriebsschaltung muß die Wertänderung des Sensors erfassen. Das Ausgangssignal könnte bereits angezeigt werden. Hier befindet sich aber noch das wichtige Element "Eichung" im Blockschaltbild. Der Sensor muß natürlich auch geeicht werden. Das geeichte Ausgangssignal kann nun analog weiter verarbeitet oder angezeigt werden, über einen Analog/Digital-Umsetzer kann dies auch digital erfolgen.

Betrachten wir uns zunächst einige Sensoren:

#### TEMPERATUR:

PTC-Widerstand (Positive Temperature Coefficient - Kaltleiter),  
NTC-Widerstand (Negative Temperature Coefficient - Heißleiter),  
Thermoelement, Transistor, Dioden, Schwingquarz,...

#### TEMPERATUR ÜBER WÄRMESTRAHLUNG:

Pyrometer, Pyroelement,...

#### LICHTINTENSITÄT:

Fotowiderstand (LDR - Light Dependent Resistor), Fotodiode,  
Fototransistor, Fotomultiplier, Infrarotdetektor,...

#### SCHALL:

dynamisches Mikrofon, Kondensator-Mikrofon, Kristall-Mikrofon,  
Ultraschalldetektor,...

#### MAGNETFELD:

Magnetwiderstand (MDR - Magnetic Dependent Resistor),  
Induktionsspule, Hall-Element, Feldplatte, Magnetdiode,...

#### LUFTFEUCHTE:

Feuchte-Kondensator, Feuchte-Widerstand,...

#### GAMMA-STRAHLUNG:

Geiger-Müller-Zählrohr,...

#### GASKONSENTRATION:

Keramikwiderstand, MOSFET, Absorptionsspektrum, Verbrennungsspule,...

#### STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEIT:

Flügelrad, Hitzdraht-Aneometer, Echolot,...

#### KRAFT, DRUCK, VERDREHUNG, VERBIEGUNG, BESCHLEUNIGUNG:

DMS-Widerstand (DehnungsMeßStreifen),...

#### WINDGESCHWINDIGKEIT:

Löffelrad,...

#### WEG (LINEAR):

potentiometrischer Weggeber, induktiver Weggeber, optischer Schrittweggeber,...

#### WINKEL:

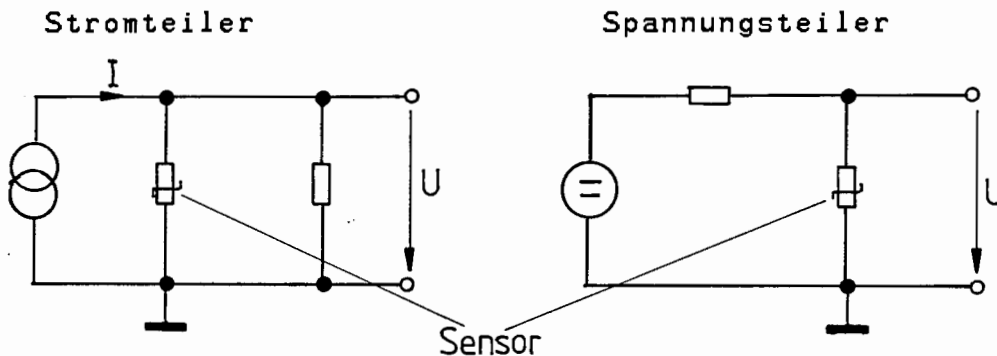
optischer Schrittwinkelgeber, magnetischer Schrittwinkelgeber, kapazitiver Schrittwinkelgeber,...

usw.

Diese genannten Elemente können genauso wie herkömmliche Bauteile in Schaltungen integriert werden.

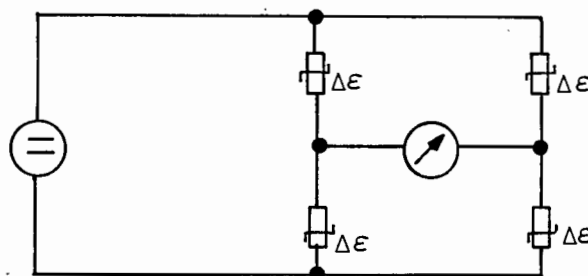
Die einfachste Lösung (für Widerstandssensoren -> PTC, NTC, LDR, MDR, DMS,...) ist der Strom- und der Spannungsteiler.

Bild 3: Strom- und Spannungsteiler



Die Strom- bzw. Spannungsquelle dient zur Versorgung. Je nach Widerstandsänderung des Sensors ändert sich die Stromaufteilung bzw. der Spannungsabfall.

Bild 4: Brückenschaltung



Bei der Auswertung einer mechanischen Größe hat man meistens mehrere DMS auf einen Gegenstand befestigt (geklebt, gekittet), die sich relativ zueinander bei Verbiegung oder Verdrehung des Gegenstandes verändern. Die Auswertung erfolgt in einfachster Weise mit einer Brückenschaltung. Bild 4 zeigt eine Vollbrücke

mit 4 DMS (z.B. für die Messung einer Verdrehung). Die Spannungsquelle dient wieder zur Versorgung, zur Messung verwendet man ein Galvanometer im Brückenkreis. Für die Aufnahme einer Verbiegung benötigt man nur 2 DMS. Hierzu führt man 2 DMS als Festwiderstände aus. Man spricht dann von einer Halbbrücke.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin den Sensor in eine Verstärkerschaltung ein zu beziehen, wie es Bild 5 für eine Lichtmessung und Bild 6 für eine Schallmessung zeigen.

Bild 5: Verstärkerschaltung mit Operationsverstärker

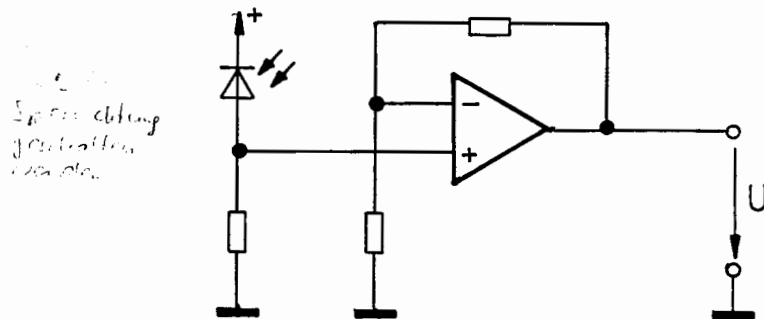
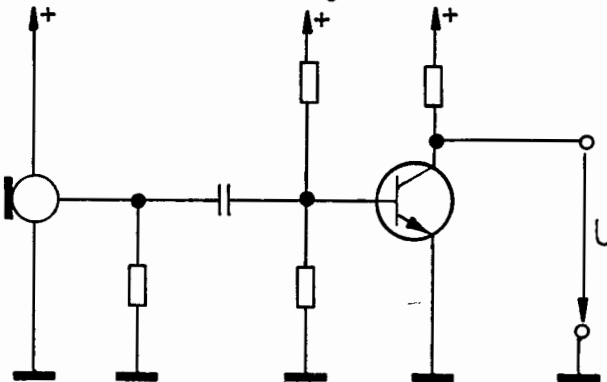
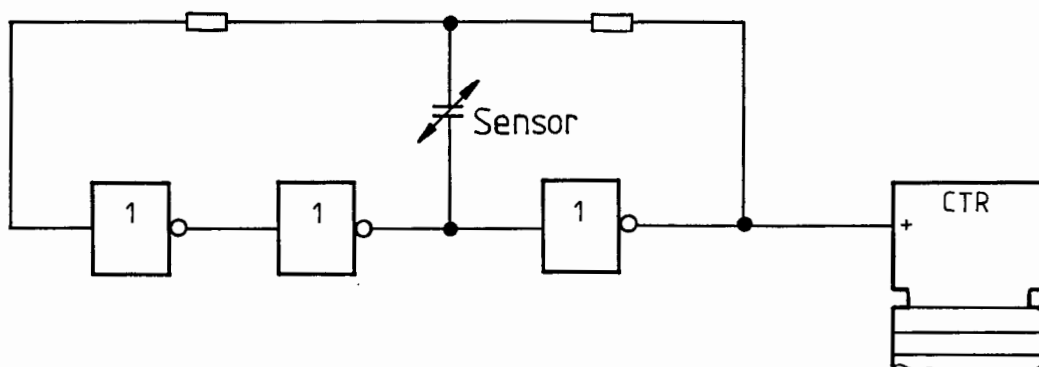


Bild 6: Verstärkerschaltung mit Transistor



Eine digitale Lösung zeigt Bild 7, z.B. für die Feuchtemessung.

Bild 7: Zählerschaltung



Die 3 Inverter, die 2 Widerstände und der Feuchte-Kondensator bilden zusammen einen Rechteckgenerator, der zwischen den HIGH- und LOW-Pegeln der Gatter hin- und her-pendelt. Die Frequenz wird durch die Widerstände und den Kondensator bestimmt, d.h. je nach dem wie sich die Kapazität verändert, so ändert sich auch die Frequenz. Daraus folgt: Ändert sich die Luftfeuchtigkeit, so ändert sich der Kondensatorwert und damit auch die Frequenz, und der nachgeschaltete Zähler wird entweder langsamer oder schneller zählen.

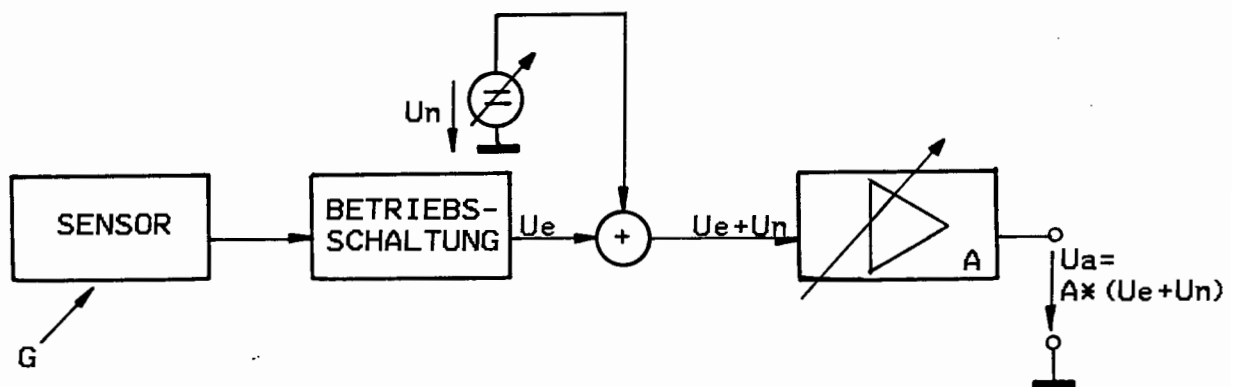
Betrachten wir uns nun das Kapitel "Eichung":

Will man z.B. wissen ob ein Magnetfeld vorhanden ist oder

nicht, so bedient man sich einfach eines Reed-Kontaktes. Wird ein Dauermagnet in die Nähe des Reed-Kontaktes gelegt, so wird der Kontakt schließen, d.h. ein Magnetfeld ist vorhanden. Entfernt man den <sup>Magnet</sup> wieder wird der Kontakt geöffnet, das Magnetfeld ist nicht mehr vorhanden. Will man z.B. Temperatur messen, so wird man sich sicherlich nicht damit begnügen, ob Temperatur da ist oder nicht, sondern man will wissen, um welche Temperatur (um welchen Temperaturwert) es sich handelt. Und das möglichst genau, nicht daß bei herrlichstem Sonnenschein und Badewetter ein Temperatur von  $-5^{\circ}\text{C}$  angezeigt wird, wo man normalerweise einen Wintermantel anzieht. D.h. wir müssen unseren Sensor eichen.

Manche Sensoren sind so eng toleriert, daß eine Eichung nicht erforderlich ist, wenn man auch in der Betriebsschaltung ausreichend eng tolerierte Bauelemente einsetzt. In diesem Fall läßt sich der Sensor sogar ohne Nacheichung austauschen. In einer derart glücklichen Situation befindet man sich jedoch nur bei einigen Temperatursensoren. Im allgemeinen Fall ist bei einem Sensorwechsel immer eine neue Eichung erforderlich. Bei hohen Genauigkeits-Anforderungen kann sogar eine regelmäßige Nacheichung notwendig sein.

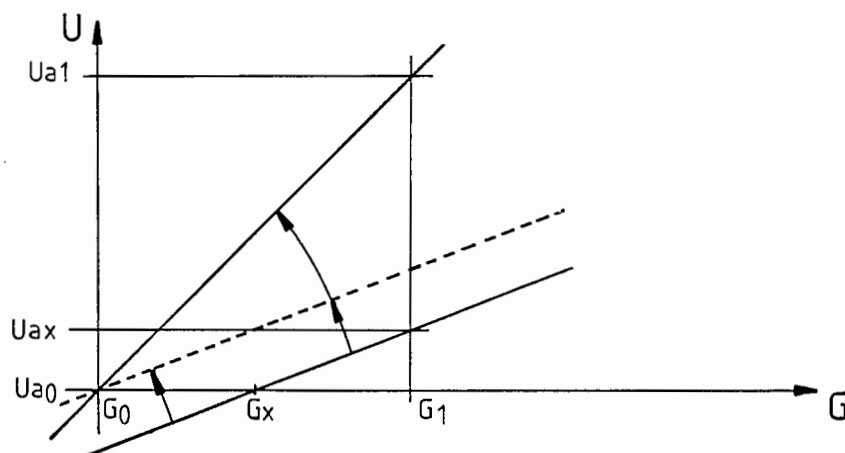
Bild 8: Prinzipielle Anordnung zur Eichung von Sensorsignalen durch Abgleich des Nullpunktes  $U_n$  und der Verstärkung  $A$



Eine Eichung des Analogsignales kann folgend erfolgen (Bild 8):

Auf den Sensor, der in der Betriebsschaltung liegt, wirkt wieder die Größe  $G$  ein. Zu der Ausgangsspannung  $U_e$  der Betriebsschaltung wird eine Spannung  $U_n$  dazu addiert. Man verschiebt also den Spannungswert. Das Prinzip liegt nun darin, daß diese Eichschaltung eine Nullpunkt und eine Verstärkungskorrektur ermöglicht. Normalerweise wird mit  $U_n$  der Nullpunkt abgeglichen.

Bild 9: Veranschaulichung eines Eichvorganges: zuerst Nullpunkt-abgleich, dann Verstärkungsabgleich



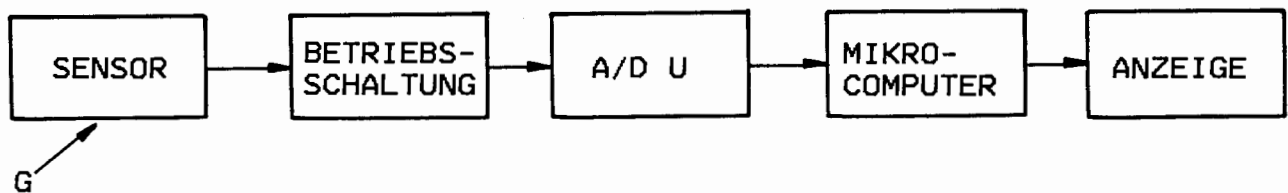
Vorgangsweise:

Zum Nullpunktabgleich legt man an den Sensor die zum Meßwert  $U_a=0$  gehörige Größe  $G=G_0$  an. Dann gleicht man mit  $U_n$  die Ausgangsspannung auf  $U_a=0$  ab. Dieser Abgleich ist von der zufälligen Einstellung der Verstärkung  $A$  unabhängig; man muß lediglich sicherstellen, daß  $A \neq 0$  ist. In Bild 9 erfolgt durch den Nullpunktabgleich eine Parallelverschiebung der Eingangskennlinie durch den Nullpunkt. Zum Verstärkungsabgleich legt man die Größe  $G_1$  an und eicht mit der Verstärkung  $A$  die Ausgangsspannung  $U_{a1}$  ab. Der Nullpunktabgleich wird dadurch nicht beeinträchtigt, weil bei der Verstärkungseinstellung lediglich der Faktor  $A$  verändert wird. Man erkennt, daß die umgekehrte Reihenfolge nicht zu einem genauen Abgleich führt. Es ist demnach zwingend erforderlich, daß der Nullpunkteinsteller vor dem Verstärkungseinsteller im Signalpfad liegt. Die Schaltung kann also nicht anders angeordnet werden.

Bei einem linearen Sensor ist diese Methode einfach, ist der Sensor nicht linear, so müssen in die Schaltung Nichtlinearitäten eingebaut werden oder ein nichtlinearer Verstärker verwendet werden.

Eine weitere Möglichkeit ist einen Computer zu Rate zu nehmen, d.h. eine computergestützte Eichung durchführen.

Bild 10: Computergestützte Eichung



Die Ausgangsspannung der Betriebsschaltung wird durch einen Analog/Digital-Umsetzer in ein digitales Signal umgewandelt und dieses dem Computer zugeführt. Nun stehen alle Schranken offen, und man kann ein Programm schreiben, in dem alle Einflüsse und Nichtlinearitäten des Sensors berücksichtigt werden. In Bezug mit dem Computer ist die Ausgabe auf einer Anzeige auch kein Problem mehr.

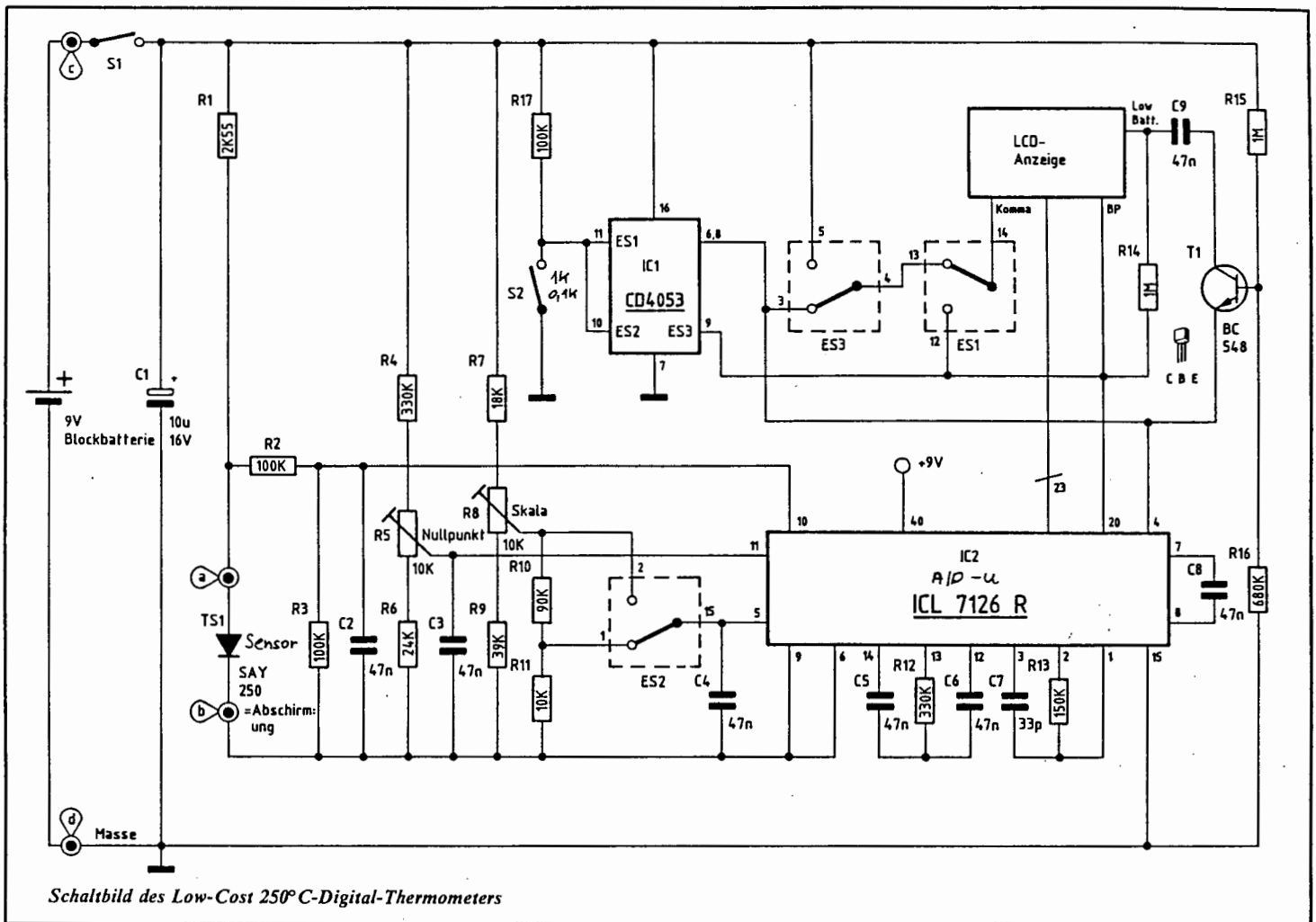
Von großer Interesse ist nun die Anwendung oder die praktische Auswertung. Das folgende Kapitel zeigt einige Schaltungen und Sensoren zur Messung von physikalischen, chemischen oder mechanischen Größen.

#### 1.) TEMPERATURMESSUNG:

Siehe Bild 11.

Bei dem Temperatursensor SAY 250 handelt es sich um einen polarisierten Halbleitersensor, der die Temperatur in einen Widerstand umsetzt, wobei der Widerstandswert leicht überproportional zur Temperaturerhöhung ansteigt.

Bild 11: Temperaturmessung



## 2.) LUFTFEUCHTEMESSUNG:

Bild 12: Luftfeuchtemessung

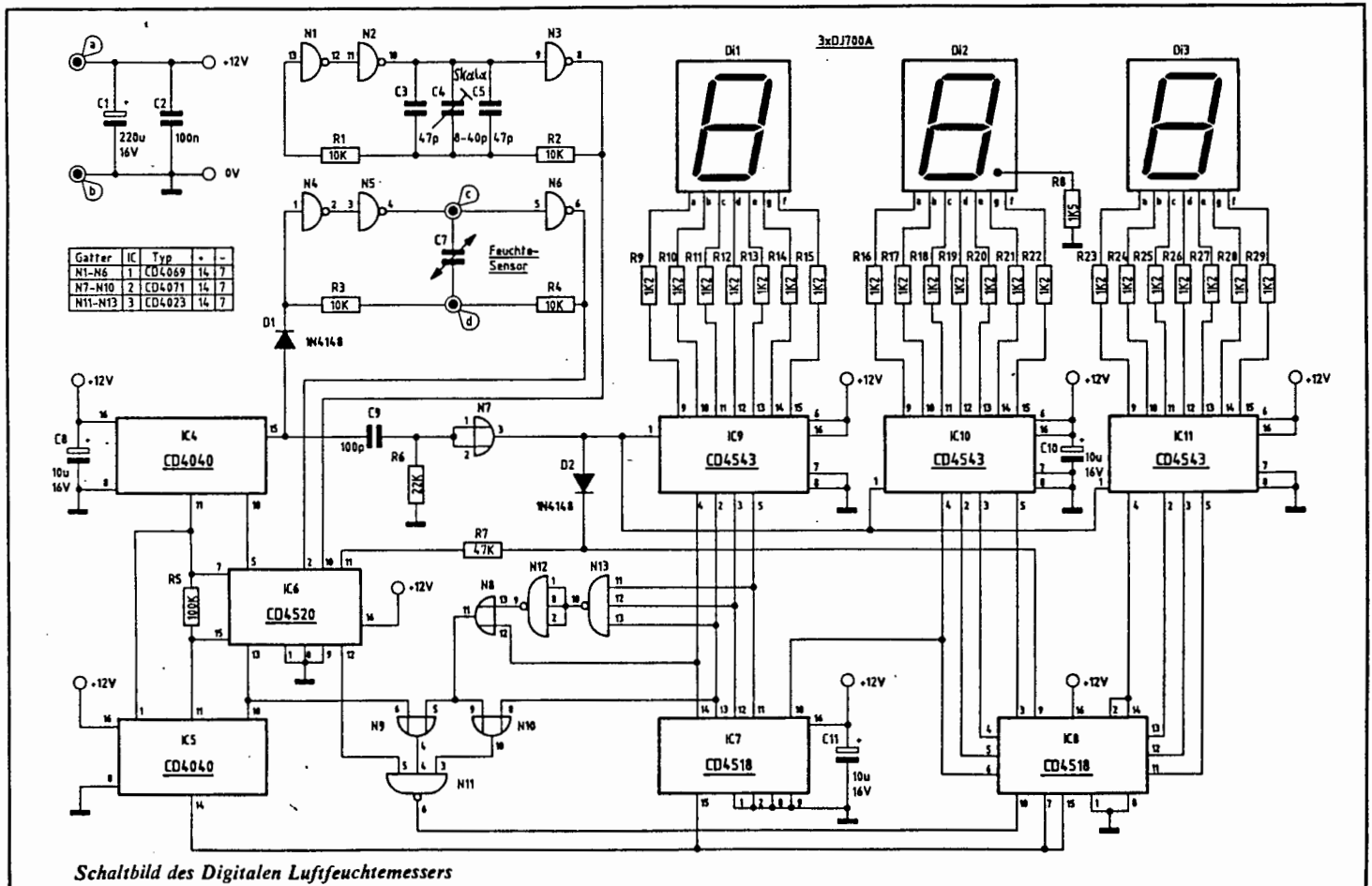
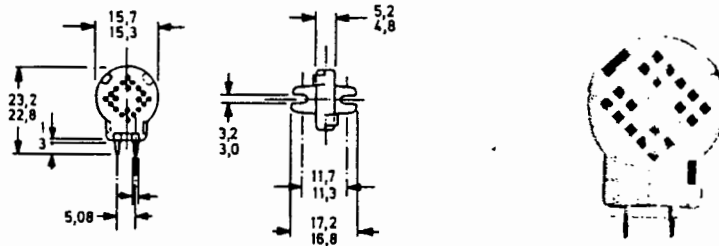


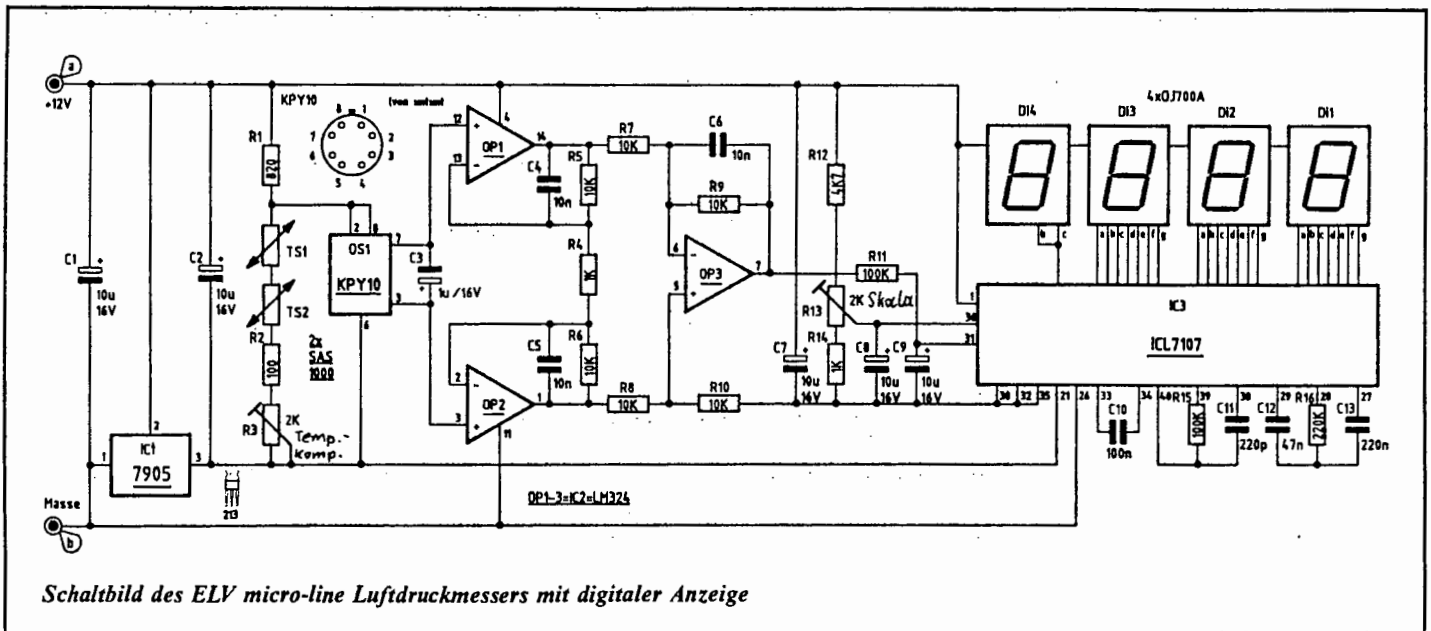
Bild 13: Feuchtesensor (Feuchte-Kondensator -> VALVO)



Der Feuchtesensor besteht aus einem perforierten Kunststoffgehäuse, in das eine beidseitig mit einem Goldfilm bedampfte Spezialfolie eingespannt ist und das für die Montage auf einer Printplatte geeignet ist. Die Folie stellt das Dielektrikum eines Plattenkondensators dar, während die beiden Goldfilme die Elektroden bilden. Unter Einfluß der Luftfeuchte ändert sich die Dielektrizitätskonstante der Folie und damit die Kapazität des Kondensators. Ein besonderer Vorteil dieses Feuchtesensors ist die verhältnismäßig große Kapazitätsveränderung in bezug auf die relative Luftfeuchtigkeit, während ein Nachteil in dem nichtlinearen Kurvenverlauf liegt.

### 3.) LUFTDRUCKMESSUNG:

Bild 14: Luftdruckmessung



Schaltbild des ELV micro-line Luftdruckmessers mit digitaler Anzeige

Bild 15: Temperatursensor SAS 1000 (a),  
Luftdrucksensor KPY 10 (b) (->SIEMENS)



Bei dem Luftdrucksensor des Types KPY 10 handelt es sich um ein Bauelement, in dessen Gehäuse sich eine Miniatur-Meßbrücke befindet, die mit DMS aufgebaut ist. Über ein Röhrchen kann die Außenluft eintreten. Die an den Anschlußbeinchen 3 und 7 der Meßbrücke auftretende Spannung, ist dem Luftdruck direkt proportional. Die Spannung, die der Drucksensor abgibt, ist außerordentlich gering (es werden nur wenige  $\mu\text{V}/\text{mbar}$  abgegeben). Weiters ist der Drucksensor verhältnismäßig temperaturabhängig. Es ist daher unbedingt erforderlich, eine exakt dimensionierte Temperaturkompensation einzubauen, ansonsten kann eine Druckänderung auf der Anzeige vorgetäuscht werden, die in Wirklichkeit gar nicht existiert. Eine Kompensation des Temperaturganges des Drucksensors wird mit den beiden Temperatursensoren SAS 1000 vorgenommen.

#### 4.) INFAROTERKENNUNG:

Bild 16: Infrarot-Detektor

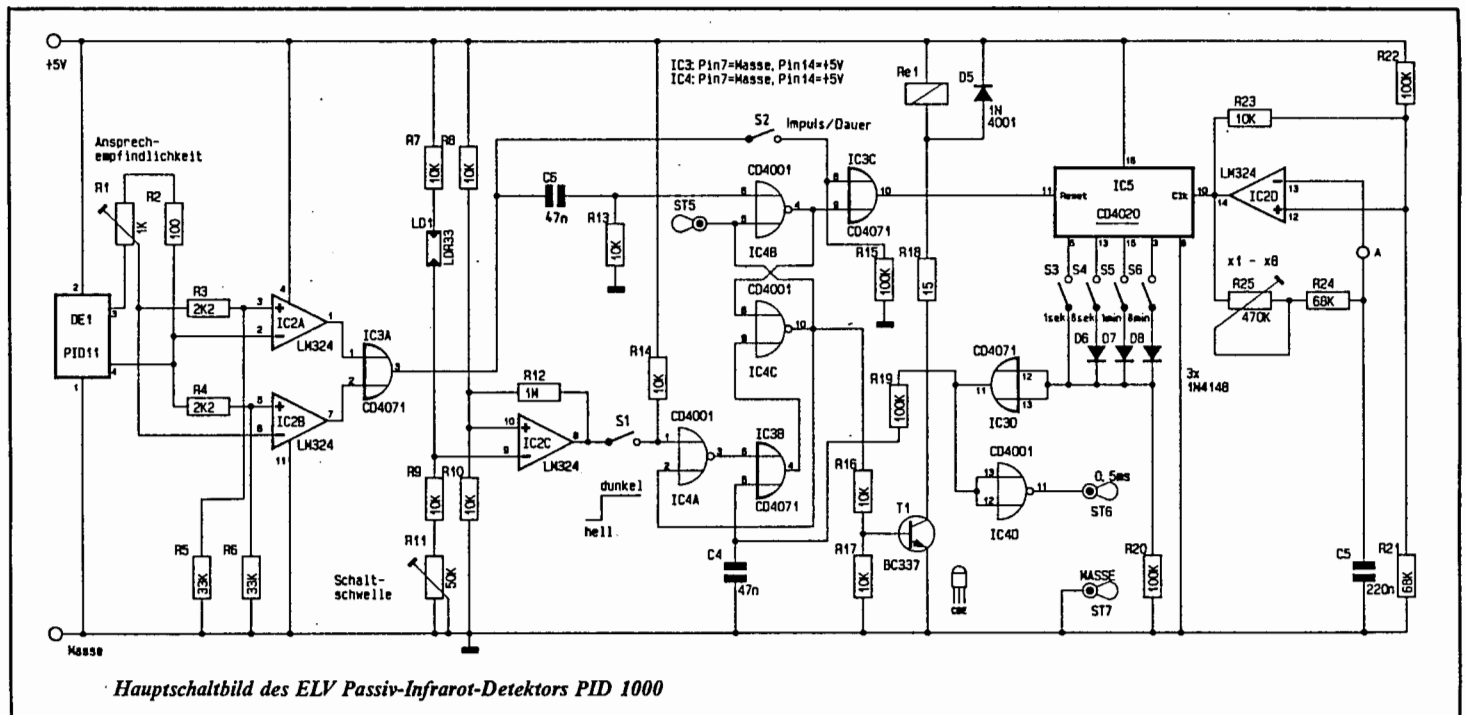
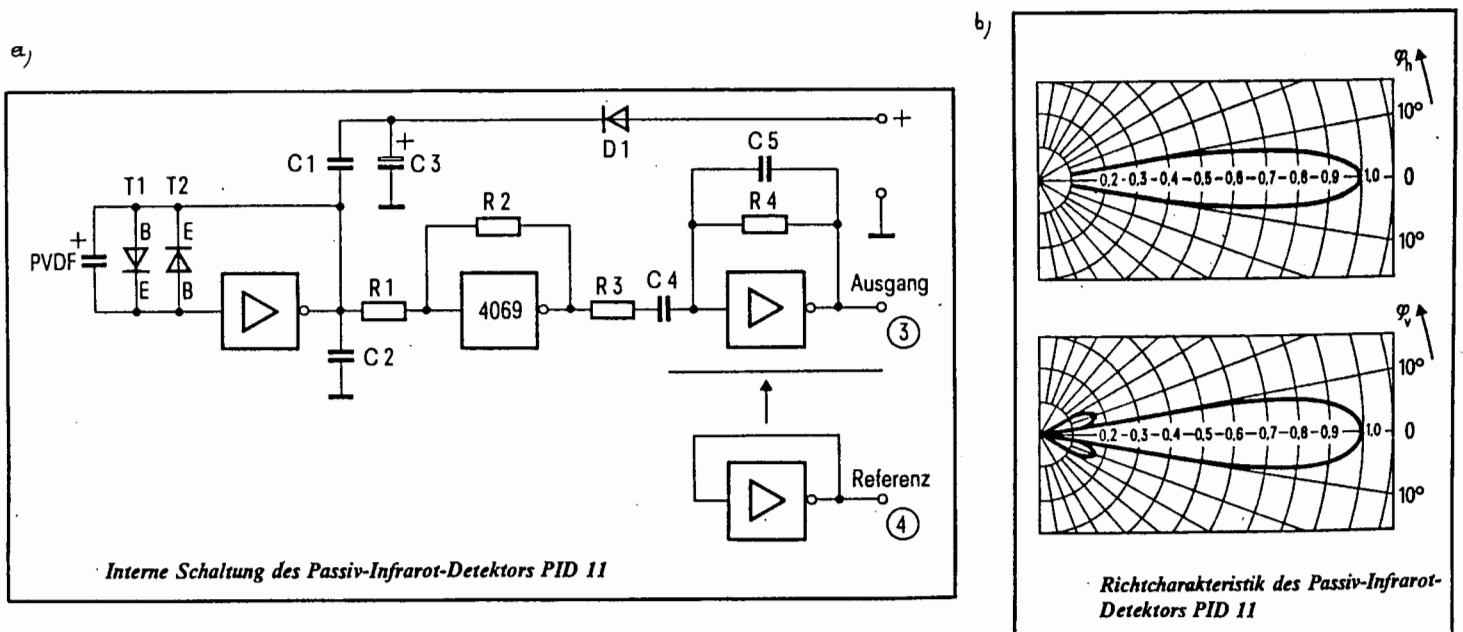


Bild 17: Infrarotsensor PID 11 (SIEMENS)  
interne Schaltung (a) und Richtcharakteristik (b)

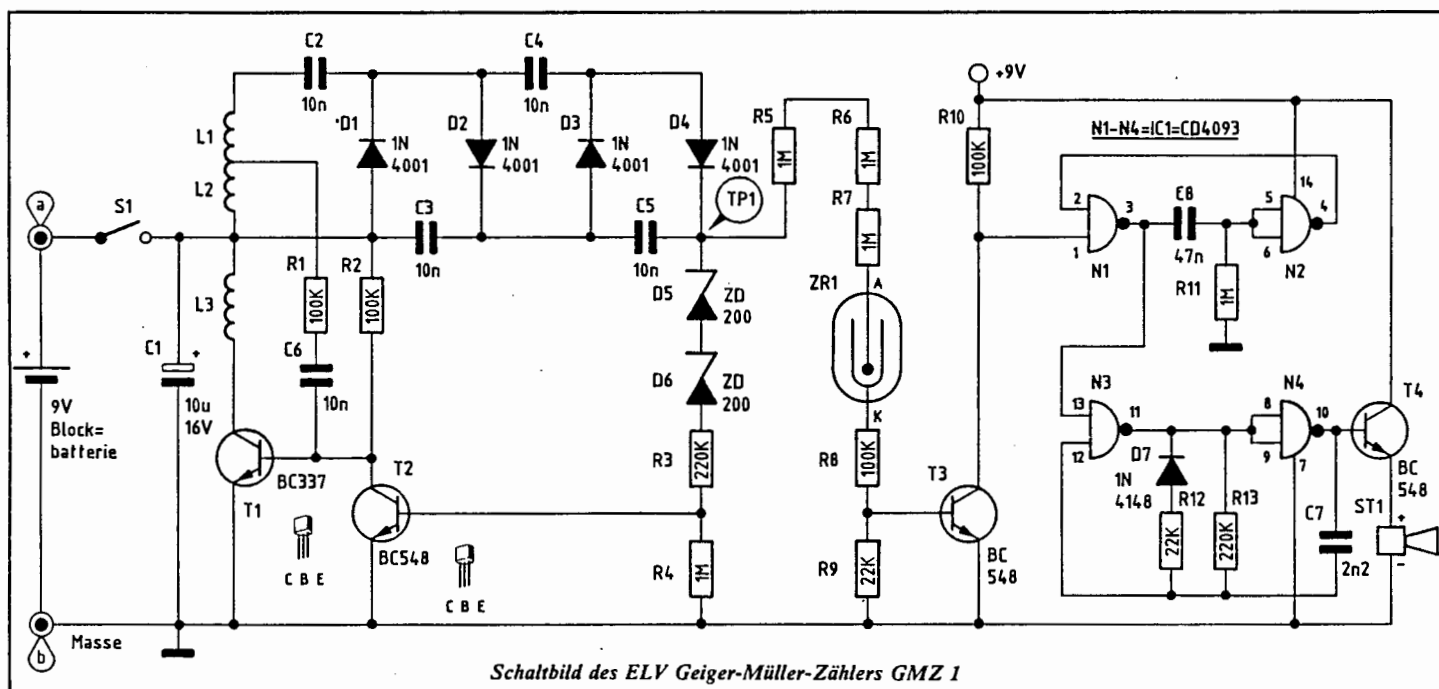


Der Passiv-Infrarot-Detektor PID 11 ist im wesentlichen aus folgenden Elementen aufgebaut: Jalousieblende, optisches Fenster, Parabolreflektor, Sensorelement, 3-stufige Verstärkerschaltung und Gehäuse.

Die Jalousieblende verhindert das Einfallen von Streulicht auf den Sensor und bestimmt zusammen mit dem Parabolreflektor die Richtcharakteristik des Detektors. An der Rückseite trägt die Jalousieblende ein infrarotdurchlässiges optisches Fenster zum Schutz vor Luftströmungen und chemischen Einflüssen. Der Parabolreflektor fokussiert die Infrarot-Strahlung auf das Sensorelement und dient an seiner Rückseite als Halter für die Verstärkerplatine. Gegen elektrische Störeinflüsse ist der Detektor durch ein Gehäuse aus leitendem Kunststoff abgeschirmt. Das Sensorelement besteht aus einer etwa 10µm dicken PVDF-Folie (pyroelektrischen Polymer Polyvinylidenfluorid-Folie -> spezielle Kunststofffolie), die mit einem Rahmen so im Parabolreflektor gehalten wird, daß das Sensorelement im Brennpunkt des Reflektors sitzt. Um zu vermeiden, daß auch eine Änderung der Raumtemperatur zu einem Signal führt, arbeitet der PID 11 nach dem Kompensationsverfahren, wodurch sich Signale aufheben, die nicht auf Temperaturänderungen im Erfassungsbereich zurückzuführen sind.

## 5.) GAMMA-STRAHLUNGSERKENNUNG:

Bild 18: Geiger-Müller Zähler



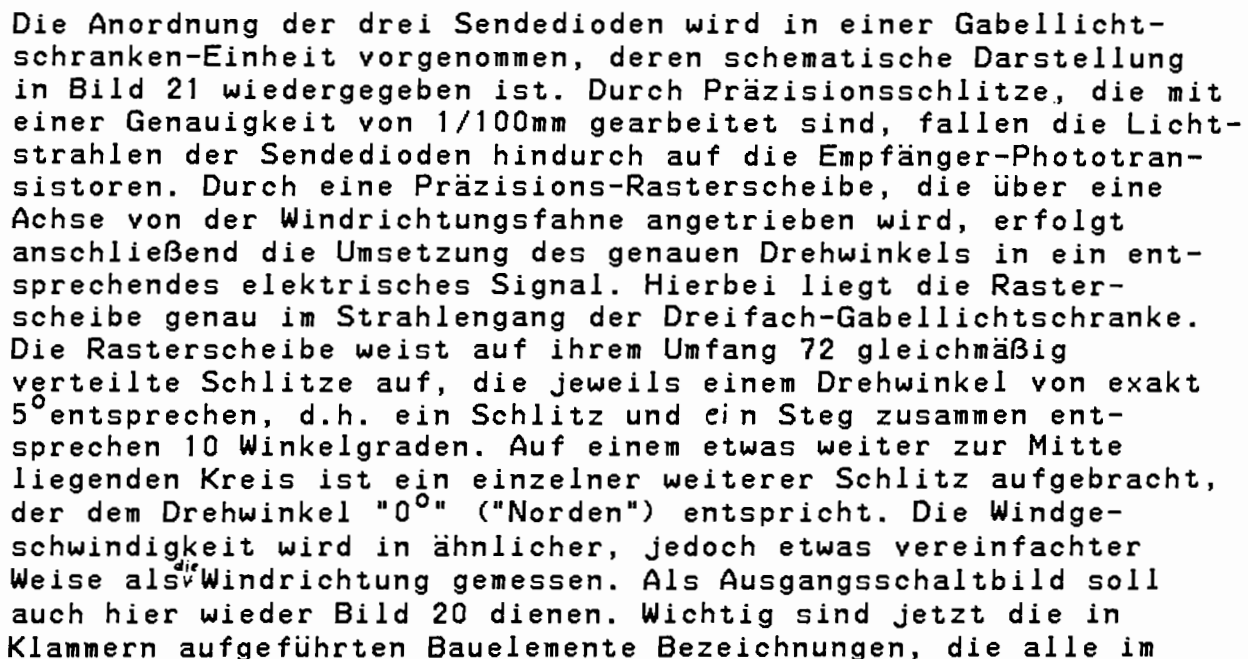
Bei dem Sensor (Zählrohr) handelt es sich um Qualitätszählrohr des Types ZP 1310 (VALVO), das eine gute Empfindlichkeit für Gamma-Strahlung besitzt. Zwar können auch stärkere Beta-Strahlungen registriert werden, jedoch ist hier die Empfindlichkeit gering. Immer, wenn ausreichende Strahlendosis auf das Zählrohr gelangt ist, wird es gezündet und ein kurzer Stromimpuls, dessen Dauer nur wenige Mikrosekunden beträgt, wird abgegeben.

## 6.) ULTRASCHALL-BEWEGUNGS-ERKENNUNG: (Anwendung als Alarmgeber)

Siehe Bild 19.

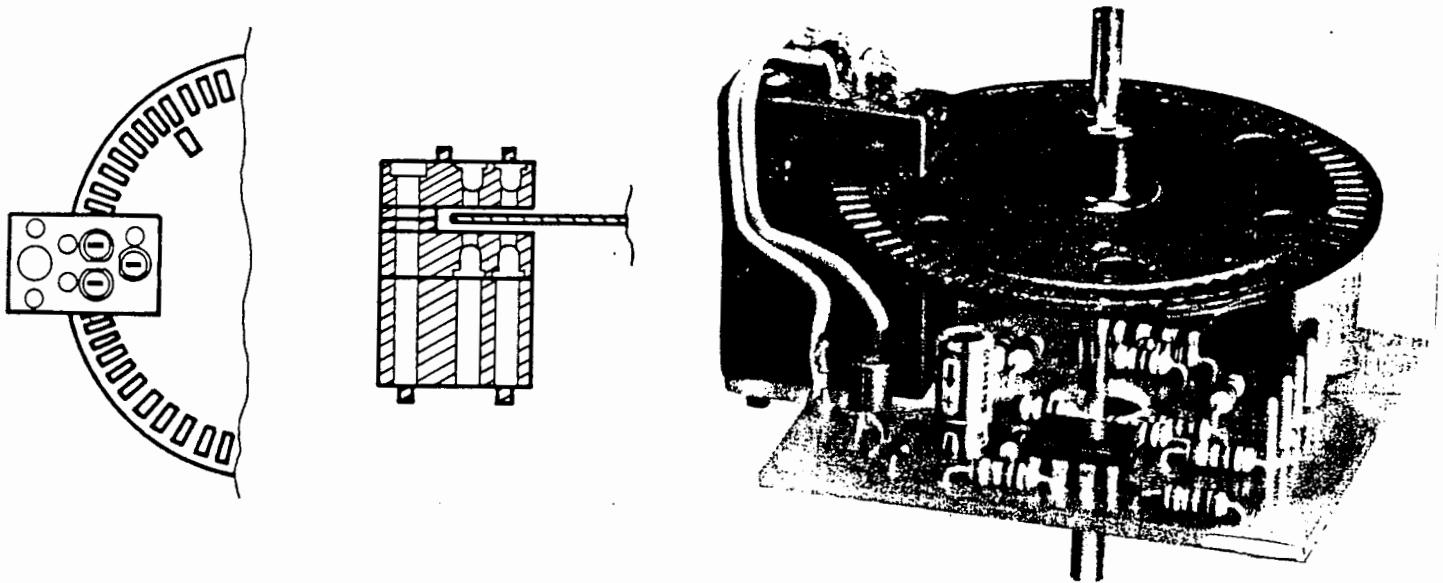
### Schaltbild des Ultraschall-Bewegungs-Detektors/Alarmgebers





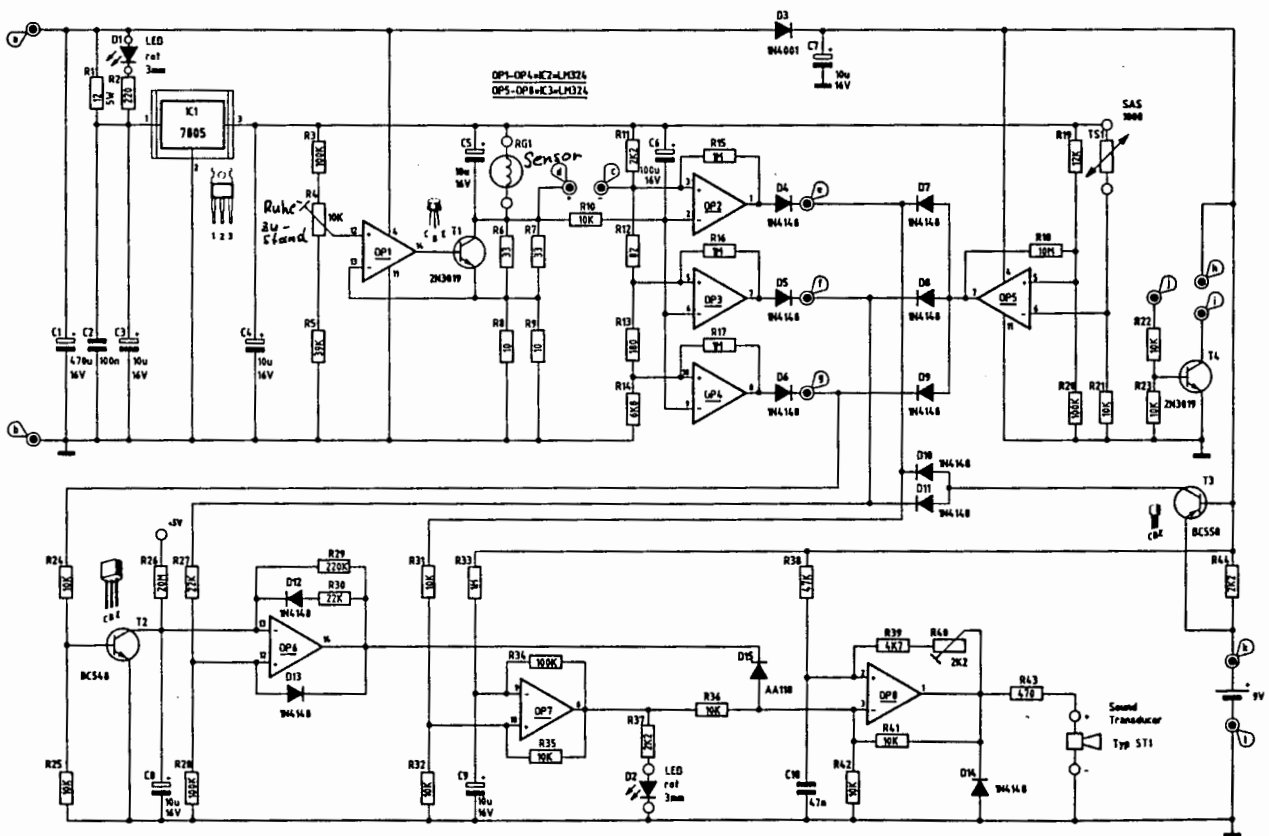
Bereich 700ff liegen. Der gesamte rechte Schaltungsteil (OP 803, 804 mit Zusatzbeschaltung) sowie 2 Sendedioden entfallen ersatzlos. Angetrieben wird hier die Rasterscheibe über ein dreiflügeliges Windrad (Flügelrad), dessen Drehzahl der Windgeschwindigkeit proportional ist. Pro Umdrehung entstehen hier 72 Impulse, entsprechend der Teilung der Rasterscheibe.

Bild 21: Schema und Innenaufbau der Windmessung



## 8.) GAS- UND RAUCHERKENNUNG:

Bild 22: Gas-/ Rauch und Temperaturerkennung



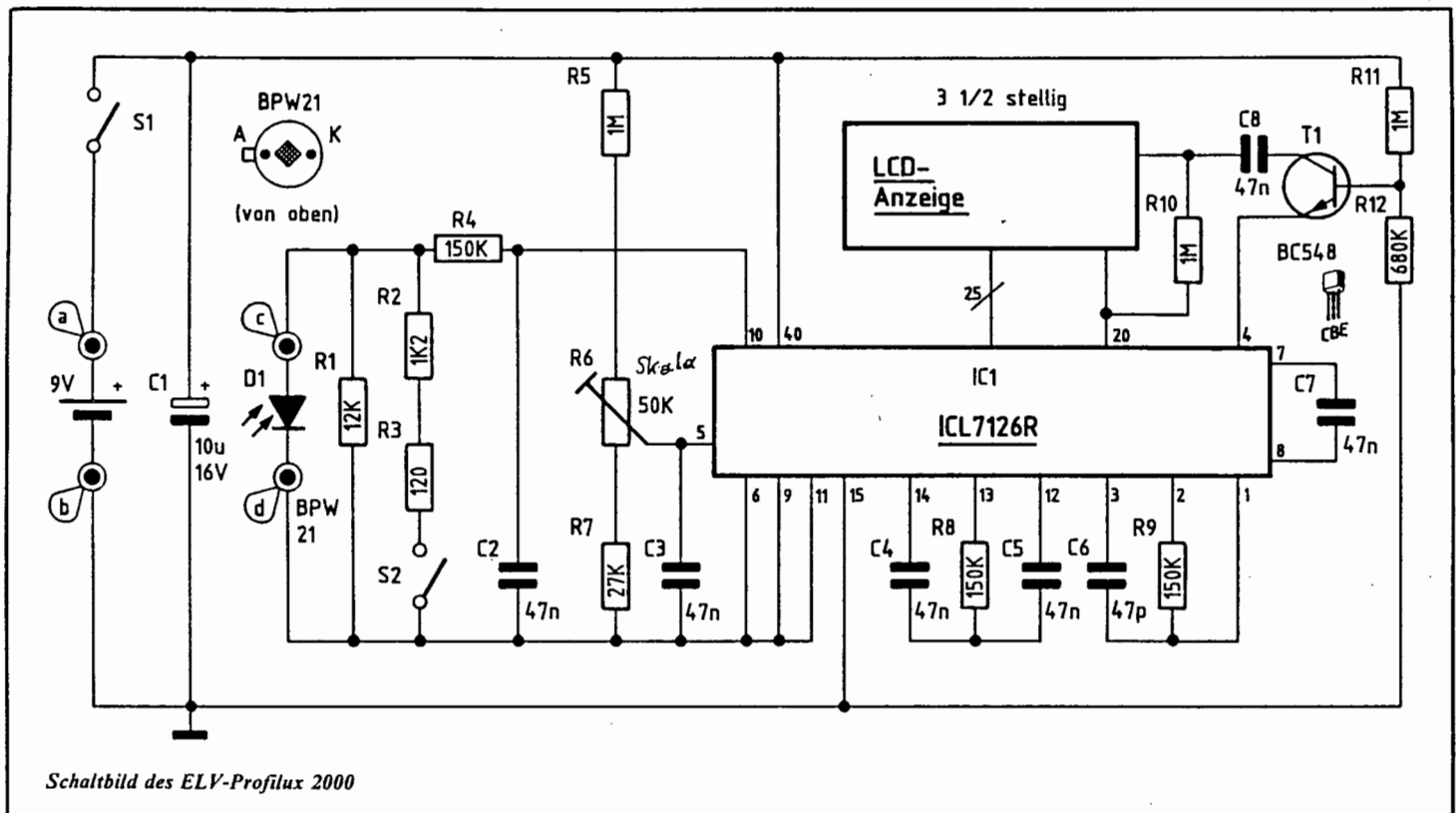
Schaltbild des ELV micro-line Gas-/Rauch- und Temperaturmelders

Die Meßwendel des Gas-/Rauch-Sensor RG 1 (VALVO) besteht aus reinem Platin, wobei die Oberfläche nach einem besonderen Verfahren erheblich vergrößert wurde. Hilfsweise kann man sich die Struktur wie die eines Schwammes vorstellen, der aus reinem

Platin besteht. Hierdurch wird die Oberfläche im Verhältnis zur Masse wesentlich vergrößert und die Empfindlichkeit entsprechend gesteigert.

## 9.) LICHTINTENSITÄTSMESSUNG

Bild 23: Lichtintensitätsmessung:



Als Meßwertaufnehmer dient bei dieser Schaltung der Lichtsensor (Fotodiode) des Types BPW 21. Der Kurzschlußstrom dieses Bauelementes ist mit guter Linearität direkt der Beleuchtungsstärke proportional.

## 10.) HELLIGKEITSMESSUNG:

Bild 24: Helligkeitsmessung

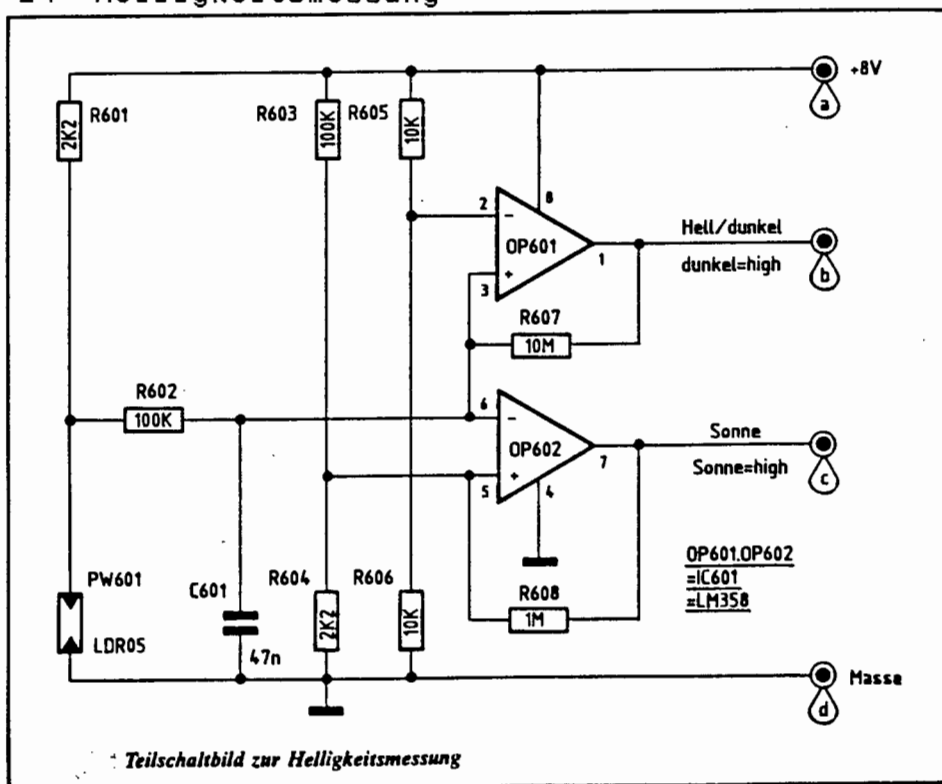
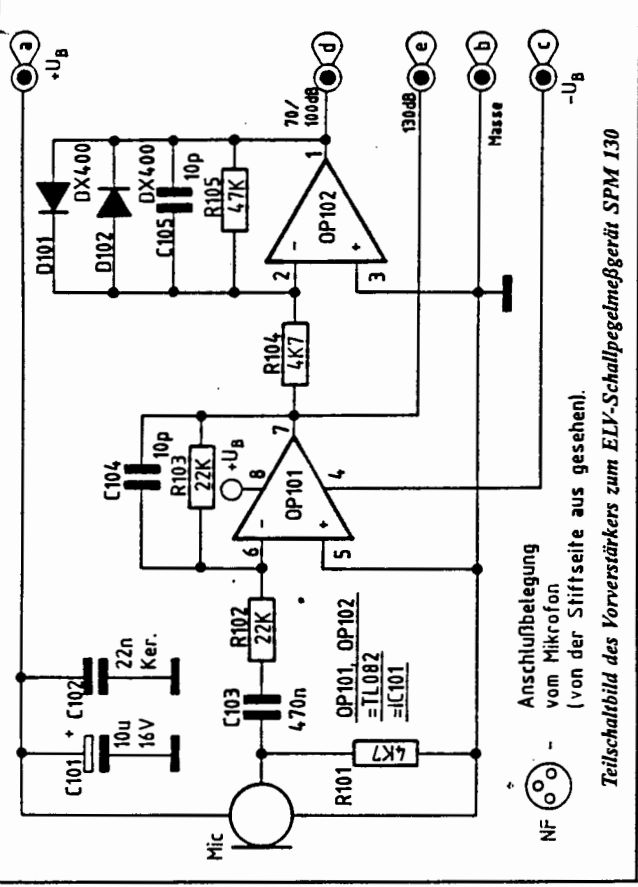


Bild 25: Vorverstärker zur Schallpegelmessung



Teilschaltbild des Vorverstärkers zum ELY-Schallpegelmeßgerät SPM 130

Zur Registrierung der Umgebungshelligkeit wird der Photowiderstand LDR 05 herangezogen. Im Lastkreis des Photowiderstandes liegt der Arbeitswiderstand R601. Je nach einfallender Lichtstärke bewegt sich der Spannungsabfall am LDR im Bereich von 0 bis 5V. 0V entspricht hierbei starker Sonneneinstrahlung, während 5V Dunkelheit signalisiert.

### 11.) SCHALLPEGELMESSUNG:

Die zu messende Schallstärke wird von einer besonders hochwertigen Elektret-Mikrofonkapsel (Druckempfänger) des Types KE 4-211-2 (SENNEHEISER) in Back-Elektret-Technik mit integriertem Impedanzwandler empfangen. Der Übertragungsbereich liegt zwischen 20Hz bis 20KHz. Ideal sind der hohe Geräuschspannungsabstand und der große Dynamikbereich (von ca. 35dB bis ca. 135dB) sowie Körperschallunempfindlichkeit durch Back-Elektret-Technik. Das Mikrofon arbeitet in einem Vorverstärker.

Bild 26: Schallpegelmessung

