

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Projektentwicklungskriterien	4
3. Allgemeine Anmerkungen zu Dehnungsmeßstreifen	5
3.1 DMS- Arten.....	6
3.1.1 Technische Begriffe	8
3.1.2 DMS- Datenblatt	11
3.2 DMS- Schaltungen	12
3.3 Das Aufkleben von Dehnungsmeßstreifen	14
4. Die Schaltungen.....	16
4.1 Der Meßverstärker	16
4.2 Der A/D-Wandler	20
5. Erläuterung der Software	24
6. Technische Daten der Waage	28
7. Soll- Ist- Vergleich	29
8. Schlußbetrachtung	30
9. Literaturverzeichnis.....	31
10. Anhang	32

1. Einleitung

Womit kann man Gewichte messen?

Eine Waage ist ein Gerät zur Bestimmung des Gewichts von Körpern. Es gibt eine Vielzahl verschiedener Bauformen von Waagen, z.B. Hebel-, Neigungs-, Feder-, Dezimal- und Brückenwaagen. Sie messen das Gewicht auf ebenso verschiedene Art. Beispielsweise gibt es Waagen, bei denen die Umdrehungen einer Lochscheibe, die von einer Mechanik angetrieben wird, mittels einer Lichtschranke gezählt werden. Andere Fabrikate arbeiten mit Sensoren, deren Widerstand sich ändert, wenn auf sie Druck ausgeübt wird. Es gibt also sehr unterschiedliche Arten von Waagen, doch allen von ihnen ist gemeinsam, daß sie die von einem Körper ausgeübte Gewichtskraft in einen ablesbaren Wert umwandeln.

Für unser Projekt haben wir uns für den Bau einer „Biegebalkenwaage“ entschieden. Bei dieser Waage sind auf einem Biegebalken Dehnungsmeßstreifen aufgeklebt mittels derer man die Materialspannungen messen kann, die bei einer Belastung mit einem Gewicht auftreten. Um den Meßwert besser weiterverarbeiten zu können, lesen wir ihn auch mit dem PC bzw. mit Microsoft Excel ein.

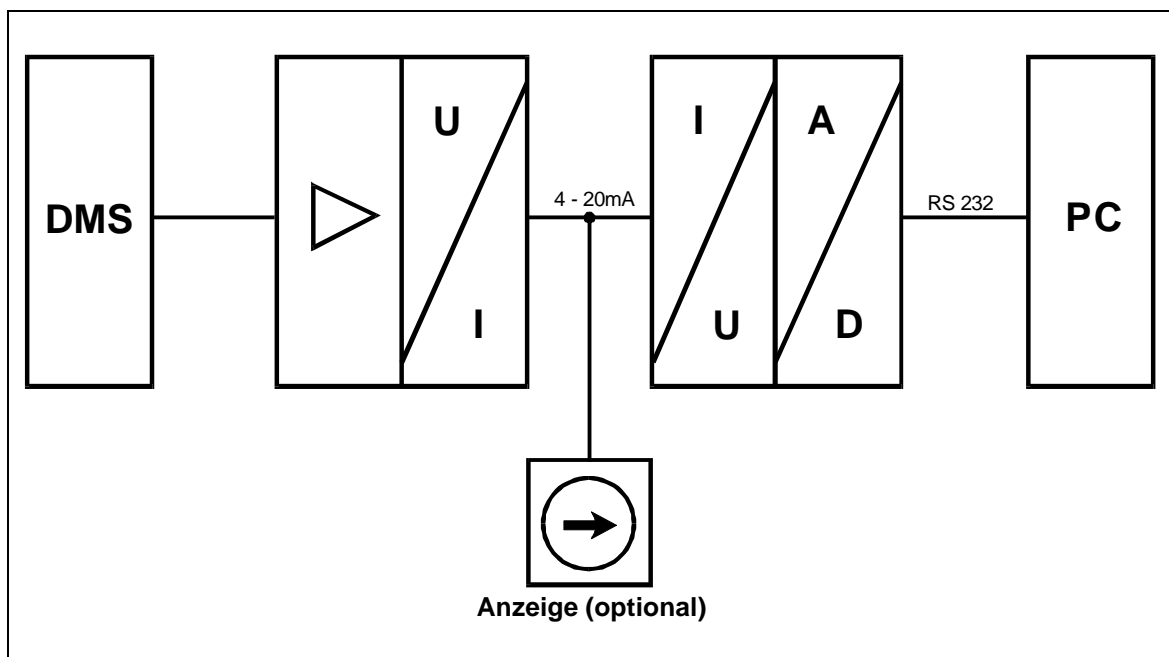


Abb.1: Waagenblockschaltbild

2. Projektentwicklungskriterien

Nachdem wir uns schon bei der Themenwahl auf eine Waage mit Dehnungsmeßstreifen festgelegt hatten, machten wir uns Gedanken zur genauen Ausführung. Nach langen Überlegungen entschieden wir uns für eine Biegebalkenkonstruktion, bei der die DMS im ersten Drittel geklebt und zur Vollbrücke geschaltet werden sollten. Bei den Dehnungsmeßstreifen fiel die Wahl auf Doppeldehnungsmeßstreifen, um das Aufkleben so einfach wie möglich zu machen, denn bei Einzel- DMS muß man darauf achten, daß sie immer auf die gleiche Stelle (Ober- und Unterseite des Biegebalkens) geklebt werden. Da man an DMS nur eine bestimmte Speisespannung anlegen darf und sie auf keinen Fall überschreiten sollte, entschieden wir uns für eine Brückenversorgung mittels Konstantstromquelle. Da uns jegliche Erfahrung mit Dehnungsmeßstreifen fehlte, konnten wir die Höhe des Ausgangssignals nicht im voraus berechnen. Deshalb nahmen wir einen speziellen Verstärker (INA 114), bei dem die Verstärkung extern in sehr weiten Grenzen eingestellt werden kann.

Des weiteren wählten wir für unsere Fernübertragung ein standardisiertes Ausgangssignal von $4 - 20\text{mA}$, da man damit eine Signalunterbrechung erkennen kann. Zusätzlich wird der Einfluß von Leitungswiderständen im Signalweg weitgehend vernachlässigbar. Um unser Projekt so vielseitig wie möglich zu gestalten, bauten wir zwei Platinen. Die erste dient zum Verstärken der Brückenspannung und der Spannungs- Stromwandlung. Die zweite Platine wandelt einen Strom von $4 - 20\text{mA}$ um in eine Spannung von $0 - 5\text{V}$, die dann einem 12-bit AD- Wandler zur Verfügung gestellt wird. Dieses digitale Signal wird dann galvanisch getrennt und über einen Schnittstellenwandler (MAX 232) auf die serielle Schnittstelle des PCs gegeben. Die gewandelten Daten werden dann mit Hilfe eines Excel- Makros eingelesen. Die Größe des Gewichtes wird auf dem Bildschirm angezeigt und kann beliebig weiterverarbeitet werden. Als Ideengeber diente uns ein Franzis- Buch mit dem Titel „Messen, Steuern und Regeln mit Word und Excel“ von den Autoren H.J. Berndt / B. Kainka.

3. Allgemeine Anmerkungen zu Dehnungsmeßstreifen¹

Schon im Jahre 1843 bemerkte Charles Wheatstone (Erfinder der Brückenschaltung), daß sich die elektrischen Widerstände von Drähten ändern, wenn man sie spannt. 1856 versuchte William Thomson, ein anderer englischer Physiker, diese Abhängigkeit nachzuweisen.

Er belastete einen freihängenden Metalldraht mit einem Gewicht. Dieser Draht bildete einen Teilwiderstand in der Wheatstoneschen Brückenschaltung. Bei dieser Belastung änderte sich der elektrische Widerstand um einen deutlich meßbaren Betrag. Der sogenannte Thomson- Effekt konnte aber nur unter extrem günstigen Laborbedingungen und nach langen Einstellarbeiten nachgewiesen werden.

Erst nach der Entwicklung elektronischer Verstärker gelang es im Jahre 1938 Arthur Claude Ruge einen funktionstüchtigen DMS zu entwickeln. Dazu klebte er einen dünnen Draht in Zick- Zack- Windungen auf Seidenpapier.

Diese Form des „elektr. Widerstands- Dehnungsmeßstreifen mit gebundenem metallischen Meßgitter“, wie der volle Name lautet, hat sich im Prinzip bis heute erhalten. Der moderne Dehnungsmeßstreifen, kurz „DMS“, ist das universellste und am häufigsten eingesetzte Meßelement zum elektrischen Messen zahlreicher mechanischer Größen, Er hat viele Vorteile, von denen hier die wichtigsten aufgezählt sind :

- kleine Bauweise, geringes Gewicht;
- hohe Auflösung;
- einfache Anwendung;
- großer Meßbereich;
- sehr gute Anpassungsfähigkeit an verschiedene Meßaufgaben und Nebenbedingungen durch große Produktpalette.

Es gibt neben dem elektr. Widerstands- DMS noch folgende andere DMS- Systeme, die jedoch nur geringe praktische Bedeutung haben:

- kapazitive DMS finden ihren Anwendungsbereich bei hohen Temperaturen;
- piezoelektrische DMS (z.B. aus Bariumtitanat);
- Mechanische DMS werden nur selten benutzt, sind nur an größeren Objekten anwendbar, geringe Meßgenauigkeit, Auswertung des Schrieb's (Kratzspur) mit dem Mikroskop erst nach Ausbau möglich.

¹ Vgl. Hoffmann, Einführung in Dehnungsmeßstreifen- Technik, Darmstadt 1976, S. 18 ff

3.1 DMS- Arten²

In diesem Kapitel sollen die wichtigsten bzw. gebräuchlichsten Dehnungsmeßstreifen dargestellt werden, denn von der zu lösenden Meßaufgabe hängt die Wahl der DMS- Geometrie ab.

Linearstreifen:

Sie weisen ein Meßgitter auf und messen die Dehnung in Meßgitterrichtung.

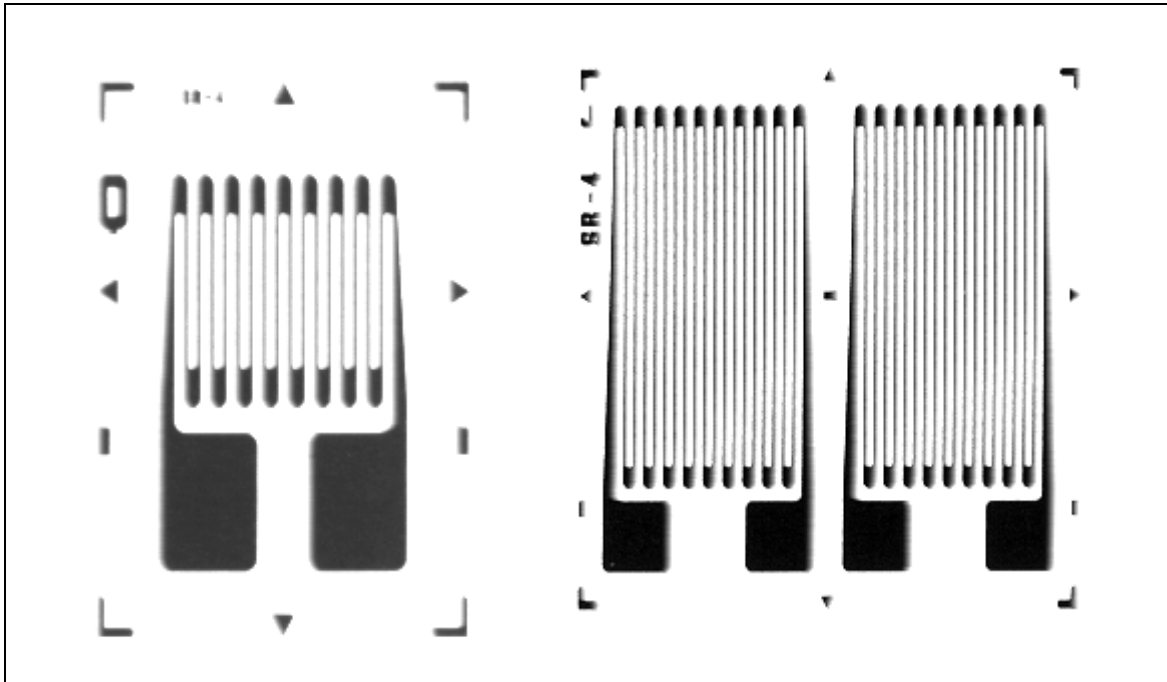


Abb.3.1.1: Linkes Bild =Linear- DMS; Rechtes Bild = Doppel- DMS

Die Bilder sind in diesem Kapitel zur besseren Ansicht vergrößert. So hat z.B. der Linear- DMS in Abb.3.1.1. eine Größe von 5,6 X 4,1mm im Original.

Linearstreifen mit zwei Meßgittern:

Der Doppel- DMS mißt die Dehnung in Meßgitterrichtung und findet oft Anwendung in Biegebalken. Er läßt sich sehr leicht zur Halb- bzw. Vollbrücke verschalten.

T- Rosetten mit zwei Meßgittern:

Diese DMS verfügen über zwei Meßgitter, die 90° Grad zueinander versetzt sind. Sie finden Anwendung, wenn ein zweiachsiger Spannungszustand vorliegt, dessen Hauptrichtung bekannt ist.

T- Rosetten erlauben es, die Dehnung in Krafrichtung und in der Querkontraktion gleichzeitig zu erfassen. Werden die beiden Meßgitter zu einer Halbbrücke verschaltet, erhält man eine sehr gute Temperaturkompensation und ein größeres Ausgangssignal.

² Vgl.HBM, DMS- Katalog 1999, S. 6 f

V- Förmige DMS:

Sie eignen sich besonders gut zur Messung an Wellen, die auf Torsion beansprucht sind. Dabei liegt ein zweiachsiger Spannungszustand vor, dessen Hauptnormalspannungen unter einem bestimmten Winkel zur Wellenrichtung verlaufen. Weiterhin lassen sich mit diesem DMS Scherkräfte ermitteln.

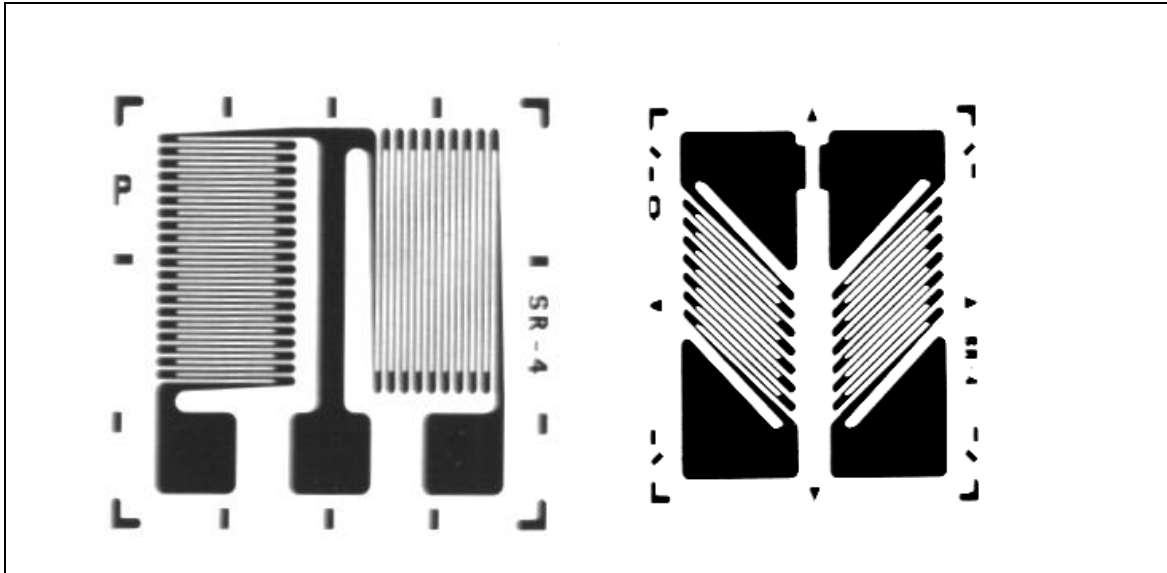


Abb.3.1.2: Linkes Bild = T- Rosette mit zwei Meßgitter; Rechtes Bild = V- Förmige DMS

Vollbrücken- DMS:

Diese speziellen Dehnungsmeßstreifen sind ideal zur Messung von Drehmomenten (Bestimmung von Scherspannungen) und werden oft als Vollbrücke für Biegebalken eingesetzt.

Membranrosetten:

Auch sie sind spezielle DMS, die als Membran- Druck- und Kraftaufnehmer eingesetzt werden.

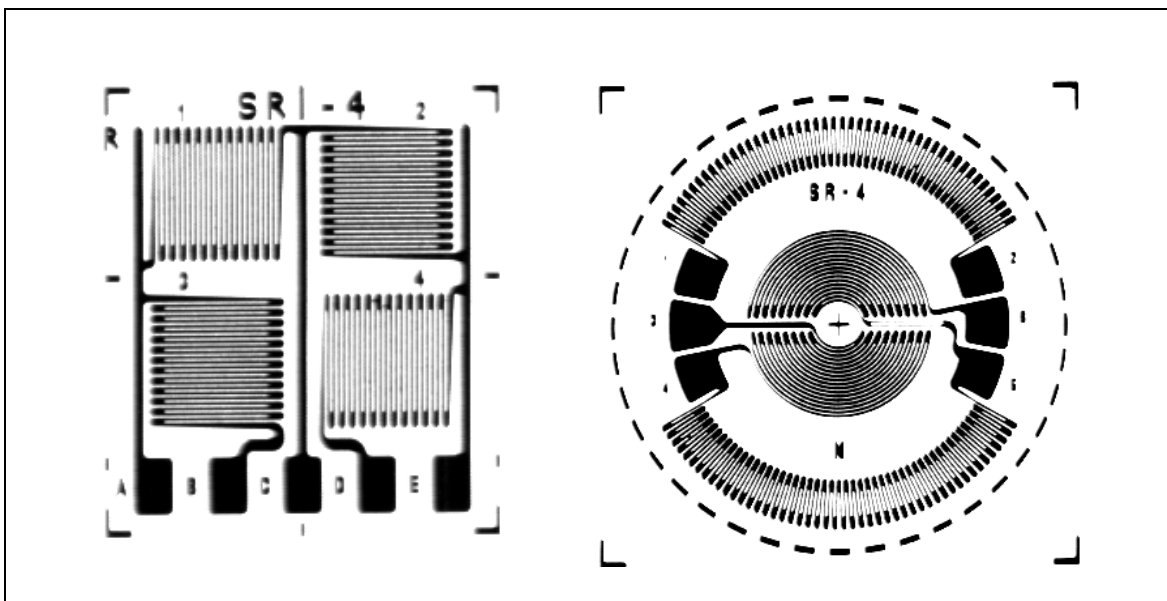


Abb.3.1.3.: Linkes Bild = Vollbrücke; Rechtes Bild = Membranrosette

3.1.1 Technische Begriffe³

Dehnungsmeßstreifen unterscheiden sich in ihrer Bauform. Dadurch entstehen natürlich auch charakteristische Unterschiede und verschiedene technische Daten. Nachstehend werden die wichtigsten Begriffe näher erläutert.

DMS- Abmessungen

Die angegebene aktive Meßgitterlänge **a** bezeichnet bei DMS die Nettolänge des Gitters ohne die Querbrücken (Umkehrstellen). Der Träger ist für eine optimale Funktion ausgelegt. Der Einfluß beim Beschneiden parallel zur Meßrichtung ist sehr gering. Das Kürzen der Trägerfolie senkrecht zur Meßgitterrichtung verändert die Empfindlichkeit und die Kriecheigenschaften des DMS. Es wird ein Mindestabstand zwischen Meßgitterende und Trägerkante von 1mm empfohlen.

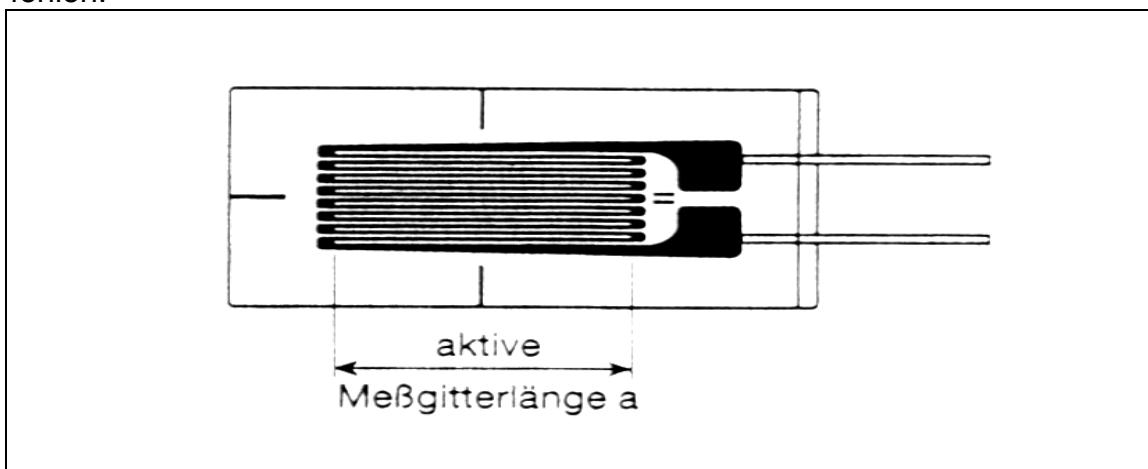


Abb.3.1.1.1: Schematische Darstellung eines DMS

DMS- Widerstand

Der DMS- Widerstand wird in Ohm angegeben und bezieht sich auf den unbelasteten, nicht aufgeklebten DMS bei Raumtemperatur. Die gebräuchlichsten Werte sind 120, 350, 700 und 1000 Ohm. Es hängt von den Randbedingungen der Meßaufgabe ab, welcher Widerstand optimal ist.

k- Faktor

Die Dehnungsempfindlichkeit **k** drückt das zahlenmäßige Verhältnis der Wandlung der mechanischen Größe Δl in eine analoge Größe ΔR aus (wird auf jeder DMS- Packung angegeben).

$$k = \frac{\Delta R / R}{\varepsilon}$$

k : k- Faktor
 ε : mechanische Dehnung
R : DMS- Widerstand
 ΔR : Widerstandsänderung

$$e = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\Delta R}{R}$$

³ Vgl. HBM, DMS- Katalog 1999, S. 8 f

Temperaturkoeffizient des k- Faktors

Der k- Faktor auf den DMS- Packungen gilt für Raumtemperatur. Er ändert sich mit der Temperatur. Bei dem Gitterwerkstoff Konstantan steigt der k- Faktor mit der Temperatur, bei Chrom- Nickel- Meßgitterfolien wird der k- Faktor mit steigender Temperatur kleiner.

Querdehnungsempfindlichkeit

DMS registrieren neben der Dehnung in Meßrichtung auch Dehnungen rechtwinklig zu dieser (Querdehnung). Diese Querdehnungsempfindlichkeit k_t beschreibt den Zusammenhang zwischen dieser Querdehnung ε_t und der resultierenden Widerstandsänderung und wird mit der gleichen Formel berechnet, wie der k- Faktor.

Dehnungsgrenze oder max. Dehnbarkeit

Die Dehnungsgrenze eines DMS hängt von den Eigenschaften des Gittermaterials, des Trägers und des zu DMS- Installation verwendeten Klebstoffes ab. Dieser Dehnungsbetrag ε wird jeweils für die positive und die negative Richtung angegeben, er ist den technischen Daten der jeweiligen DMS- Serie zu entnehmen.

Kleinster Krümmungsradius

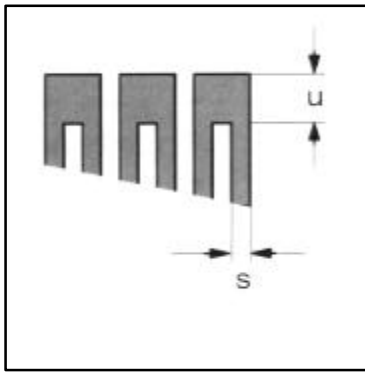
Die Flexibilität eines DMS wird durch den Krümmungsradius gekennzeichnet, dem er in jeweils einer Richtung standhält. Die Flexibilität ist auch abhängig vom Trägermaterial. Das Trägermaterial Polyimid ist so flexibel, daß die DMS praktisch um Kanten geklebt werden können. Andere Trägermaterialien sind zwar spröder, lassen sich aber durch thermisches Verformen an kleine Radien anbringen.

Dauerschwingverhalten

Wird ein DMS einer schnell wechselnden Belastung ausgesetzt, kann dies den Ausgangswiderstand des DMS ohne Last erhöhen, zum Ablösen des DMS vom Meßobjekt oder zur Unterbrechung des Meßgitters führen. Dieses Verhalten ist weitgehend unabhängig von der Frequenz.

Kriechanpassung

Bei einer konstanten Belastung wird sich ein Werkstoff langsam in Belastungsrichtung weiterverformen, er wird kriechen. Da Aufnehmer nur im streng elastischen Bereich verformt werden, handelt es sich um einen umkehrbaren Vorgang. Diese elastische Nachwirkung liefert einen zeitabhängigen Fehler mit positivem Vorzeichen. Wird ein DMS einer konstanten Belastung unterworfen, so ändert sich sein Widerstand langsam. Diese Veränderung des Meßsignals, eines gedehnten (oder gestauchten) DMS, erfolgt in Entlastungsrichtung. Das DMS- Kriechen erzeugt ein negatives Vorzeichen. Es läßt sich wie folgt erklären: das gedehnte Meßgitter wirkt ähnlich wie eine gespannte Feder, die Spannungen zwischen Meßgitter und Träger erzeugt (hauptsächlich im Bereich der Umkehrstellen des Meßgitters). Unter dem Spannungseinfluß entspannen sich die Kunststoffe des DMS und des Klebstoffes. Das DMS- Kriechen läßt sich durch die Größe der Umkehrstelle beeinflussen (siehe Abb.3.2.2). Im Idealfall lassen sich die elastische Materialnachwirkung (positiver Fehler) und das DMS- Kriechen (negativer Fehler) kompensieren. Dazu muß man experimentell den bestpassendsten DMS ermitteln.



Umkehrstellenlänge u
Stegbreite s

Abb.3.1.1.2: Erläuterung der Begriffe zur Kriechanpassung

Referenztemperatur


Sie ist die Umgebungstemperatur, auf die sich die technischen Daten der Dehnungsmeßstreifen beziehen. Diese Referenztemperatur liegt bei den meisten DMS bei 23°C.

Befestigungsmittel

Die gebräuchlichste Art, Dehnungsmeßstreifen mit dem Meßobjekt zu verbinden, ist das Kleben. Zu jedem DMS- Typ sind die verwendbaren Befestigungsmittel angegeben. Man unterscheidet zwischen kalt- und heißhärtenden Klebstoffen. Heißhärtende Klebstoffe erfüllen höhere Qualitätsansprüche und sind in einem größeren Temperaturbereich anwendbar als die kalthärtenden „Schnellklebstoffe“. Kalthärtende Klebstoffe lassen sich leicht verarbeiten und härten bei normalen Umgebungstemperaturen aus. Neben dem Kleben gibt es noch die Möglichkeit Spezial- DMS anzuschweißen. Bei der Punktschweißverbindung ist wenig Vorbereitung notwendig und setzt wenig Übung vom Applikateur voraus.

3.1.2 DMS- Datenblatt

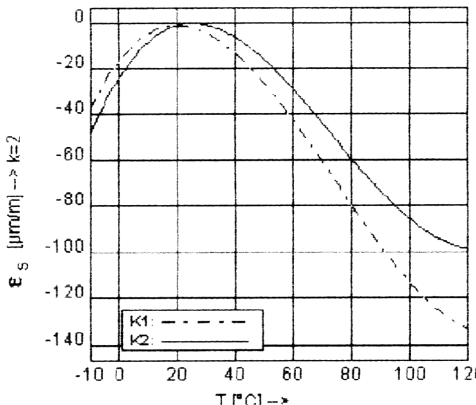
Bevor die DMS ausgeliefert werden, wird jeder einzelne Dehnungsmeßstreifen ausgemessen. In Abb. 3.3 sehen Sie dieses Protokoll für den von uns verwendeten DMS- Typen.

 Dehnungsmeßstreifen Strain Gauges Jauges d'extensométrie		Typ US-Type 6/350DK11G	
Widerstand Resistance Résistance	350 [Ω]	+ 0.35 [%] - 0.35 [%]	Stückzahl Quantity Quantité 5
k-Faktor Gauge factor Facteur k	2,09	± 0,7 [%]	mit <input type="checkbox"/> ohne <input checked="" type="checkbox"/> with without avec sans
Querempfindlichkeit Transverse Sensitivity Sensibilité transverse	-1.4 [%] - [%]	Temperaturkoeffizient des k-Faktors Temperature coefficient of gauge factor Coefficient de température du facteur k	104 ± 10 [10 ⁻⁶ /°C] (-10 ... +45 °C)
Temperaturkompensation: Angepaßt für Temperature Compensation: Compensated for Compensation de température: Compensation pour	α = 10.8 [10 ⁻⁶ /°C]	Artikel Nr. Part No. No. de Réf. 1-DK11G-6/350	Applikationshilfe Application aid Support d'aide à l'application
<input checked="" type="checkbox"/> Stahl Steel Acier	<input type="checkbox"/> Alumi- nium	<input type="checkbox"/> Sonstige Other Autre	Folienlos Lot Lot de la feuille A297/14
		Herstellungslos Batch Lot de fabrication 819764/00	

Alle technischen Daten nach OIML IR 62, bei Beachtung der abweichenden Toleranzangaben auch nach VDI/VDE 2635. Geben Sie bei Rückfragen bitte DMS-Typ und Herstellungs-Los an.

All technical data in accordance with OIML IR 62, also compliant with VDI/VDE 2635 if deviating tolerances are observed. In case of further inquiries please indicate gauge type and batch number.

Toutes caractéristiques techniques selon OIML IR 62 et VDI/VDE 2635 pour les indications différentes de tolérance. Pour toutes questions, indiquer le type de la jauge ainsi que le lot de fabrication.



$\epsilon_s(T) = -16.8 + 1.64 T - 4.74 \cdot 10^{-2} T^2 + 2.14 \cdot 10^{-4} T^3 + 0.0114 \cdot L \cdot (T-20) \mu\text{m/m} \pm 0.3 (\mu\text{m/m}) \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$

Temperaturgang der Dehnungsmeßstreifen bei Applikation auf Werkstoffen mit umseitig angegebenem Wärmeausdehnungskoeffizienten α. Gemessen bei kontinuierlicher Temperaturänderung.

Kennlinie 1: DMS ohne Anschlußbandchen

Kennlinie 2: DMS mit Anschlußbandchen (30 mm einfache Bandchenlänge). Bei gekürzten Bandchen liegt der Temperaturgang zwischen Kennlinie 1 und 2. Die numerische Darstellung erlaubt, den Temperaturgang für jede Bandchenlänge exakt zu errechnen.

T = Temperatur in °C L = einfache Bandchenlänge in mm

The **Thermal output** refers to strain gauges when bonded to materials with the coefficient of thermal expansion α given overleaf. Values are measured at a continuous temperature progression.

Curve 1: Gauges without connecting leads

Curve 2: Gauges with connecting leads (simple lead length of 30 mm). If the leads are shorter, then the thermal output lies between curve 1 and 2. The numeric approximation allows the calculation of the thermal output for any lead length.

T = temperature in °C L = simple lead length in mm

Comportement en température des jauges d'extensométrie appliquées sur des matériaux dont les coefficients de dilatation thermique α sont indiqués au verso. Mesuré au cours d'une variation continue de la température.

Courbe 1: Jauges sans fils de sortie

Courbe 2: Jauges avec fils de sortie (longueur unitaire du fil de 30 mm). Lorsque les fils sont plus courts, le comportement en température se trouvera entre les deux courbes 1 et 2. Le dernier terme de l'équation détermine avec exactitude l'influence des fils de sortie.

T = température en °C L = longueur unitaire des fils en mm

HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK
 HBM WÄGETECHNIK GMBH
 Im Tiefen See 45, D-64293 Darmstadt
 Tel.: +49-1805-22 32 49; Telefax: +49 / 61 51 / 80 35 86
<http://www.hbmwt.com>

wt 12 97 – 30.0 wd

Abb.3.1.2: Meßprotokoll der von uns verwendeten DMS

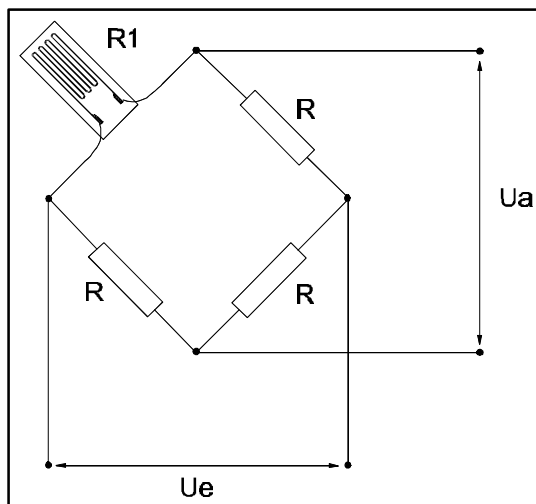
3.2 DMS- Schaltungen

Die im Meßobjekt erzeugte Dehnung bzw. Stauchung wird über den Klebstoff und das Trägermaterial des Dehnungsmeßstreifens auf das Meßgitter übertragen. Dadurch erfährt auch das Meßgitter eine Längenänderung, die sich wiederum in einer Widerstandsänderung bemerkbar macht. Diese Änderung ist direkt proportional der Dehnung.

ε : Dehnung
 R : Widerstand des DMS
 ΔR : Widerstandsänderung
 k : k- Faktor
 L : Ausgangslänge des Werkstückes
 ΔL : Längenänderung

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta R / R}{k}$$

Da die durch die Dehnung hervorgerufene Widerstandsänderung sehr klein ist, wird eine Wheatstonesche Brückenschaltung zur Umwandlung der Widerstands- in eine Spannungsänderung verwendet.



U_a : Meßspannung
 U_e : Speisespannung
 R_1 : DMS- Widerstand
 R : Festwiderstände

$$R = R_1$$

$$U_a = \frac{U_e}{4} * k * \varepsilon$$

Abb.3.2.1: Viertelbrücke

Bei der **Viertelbrückenschaltung** besteht die Schaltung aus dem DMS R_1 und drei Präzisionswiderständen R . Sie wird so genannt, weil nur einer der vier Widerstände ein „aktiver DMS“ ist und das Meßsignal erzeugt.

Die Schaltung dominiert im Anwendungsbereich „experimentelle Spannungsanalyse“ und in vergleichbaren Anwendungsgebieten. Sie arbeitet nicht sehr linear und ist sehr anfällig gegen Kabelwiderstände und Temperatur.

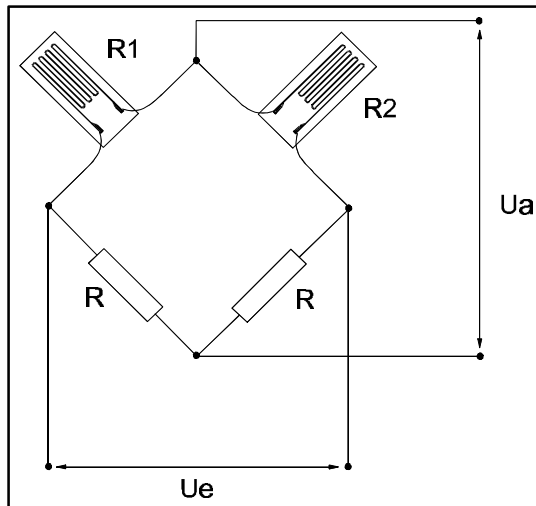


Abb.3.2.2: Halbbrücke

U_a : Meßspannung
 U_e : Speisespannung
 $R_1 - R_2$: DMS- Widerstand
 R : Festwiderstände

$$R_1 = R_2$$

$$U_a = \frac{U_e}{2} * k * \varepsilon$$

(Formel für zwei aktive DMS)

Eine Brückenschaltung mit zwei „aktiven DMS“ ergibt eine **Halbbrücke**. Sie wird aber auch häufig mit einem aktiven DMS und einem Kompensations- DMS verschaltet. Dieser passive DMS dient nur der Temperaturkompensation. Je nach Anordnung der DMS ergibt sich ein doppelt so hohes Meßsignal (im Vergleich zur Viertelbrücke). Diese Schaltung wird ebenfalls häufig zur Spannungsanalyse benutzt.

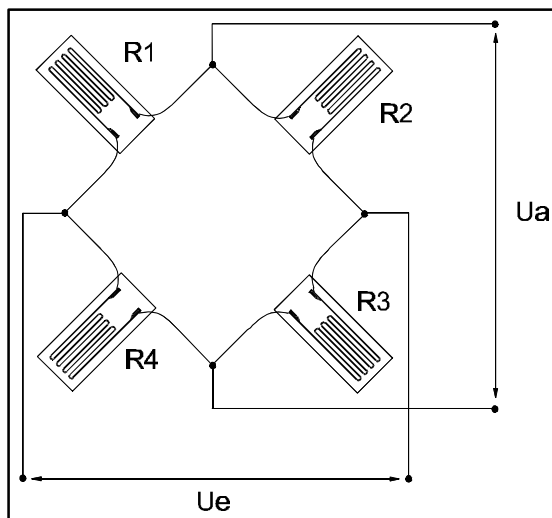


Abb.3.2.3: Vollbrücke

U_a : Meßspannung
 U_e : Speisespannung
 $R_1 - R_4$: DMS- Widerstand

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4$$

$$U_a = U_e * k * \varepsilon$$

Bei der **Vollbrückenschaltung** befindet sich in jedem Zweig ein Dehnungsmeßstreifen, der am Zustandekommen des Meßsignals aktiv beteiligt ist. Die Schaltung wird wegen ihrer günstigen Eigenschaften – größeres Meßsignal, automatische Kompensation von Störeffekten – vorzugsweise im Meßwertnehmerbau angewandt.

Zu den Brückenschaltungen ist zu Ende des Kapitels noch zu sagen, daß es eine Vielzahl von Schaltungen für Dehnungsmeßstreifen gibt. Man muß sich die jeweils geeignete Schaltung für seine Meßaufgabe aus der Fachliteratur her-

aussuchen. Auswahlkriterien dabei sind z.B. die Notwendigkeit einer Temperaturkompensation oder die Höhe des Meßsignals.

3.3 Das Aufkleben von Dehnungsmeßstreifen⁴

Das Aufkleben ist eine sehr gebräuchliche Art, Dehnungsmeßstreifen mit einem Meßobjekt zu verbinden.

Die Klebstoffe müssen folgende Anforderungen erfüllen:

1. Möglichst verlustloses Übertragen der Verformung des Meßobjektes auf den Dehnungsmeßstreifen
2. Stabiles Verhalten über einen möglichst großen Temperatur- und Dehnungsbereich
3. DMS und Meßobjekt dürfen nicht angegriffen werden.

Des weiteren sind folgende Kriterien wichtig :

- bei welcher Temperatur wird der DMS eingesetzt;
- aus welchem Werkstoff besteht der zu bemessene Meßkörper;
- welche Anforderung wird an die Langzeitstabilität gestellt.

Hat man diese Punkte geklärt, so kann man aus dem Zubehörkatalog der DMS-Hersteller den richtigen Kleber wählen. In den Katalogen kann man zwischen heißhärtenden- und kalthärtenden Klebstoffen wählen (siehe Kapitel 3.1.1 Technische Begriffe). Ist man sich aber unsicher, so sollte man sich vom Hersteller beraten lassen. Heißhärtende Klebstoffe sind im Meßgrößenaufnehmerbau üblich, aber auch dort, wo z.B. Maschinenteile vor dem Einbau appliziert bzw. zur Applikation ausgebaut werden können. Sie erfüllen einen hohen Qualitätsanspruch und sind in einem größeren Temperaturbereich anwendbar. Kalthärtende Klebstoffe haben als Anwendungsgebiet die experimentelle Spannungsanalyse. Sie lassen sich leicht und mit geringem Aufwand verarbeiten, da sie bei normalen Umgebungstemperaturen aushärten.

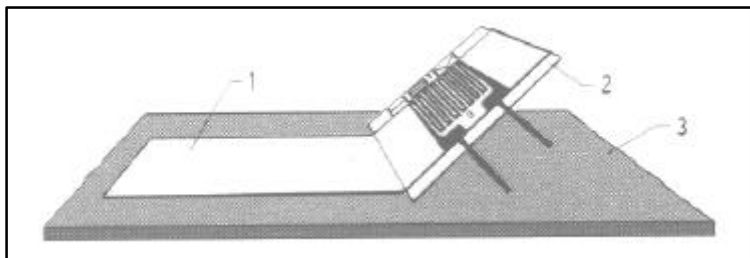
Bevor man mit dem Kleben beginnen kann, muß die Klebefläche vorbereitet werden. Sinn dieser Vorbereitung ist es, eine ebene, nicht zu rauhe, gut benetzbare Fläche zu schaffen. Die Vorbereitung könnte wie folgt ablaufen:

1. Grobreinigung der Meßstelle (Entfernung von Rost, Farbanstrichen und anderen groben Verunreinigungen)
2. Einebnen (Narben, Kratzer, Buckel und andere Unebenheiten beseitigen)
3. Entfetten (Anmerkung: Lösungsmittel müssen **chemisch rein** sein!)
4. Aufrauen (mit sehr feinen Schmirgelpapier oder einem feinen Sandstrahl)
5. Feinreinigung (den feinen Staub sorgfältig entfernen)

⁴ Vgl. HBM, Klebegebrauchsanweisung, S. 1 f

Man sollte den DMS nicht nachträglich reinigen, da sonst das Trägermaterial angegriffen werden könnte.

Im Folgenden wird der Klebevorgang mit einem kalthärtenden Klebstoff erklärt. Infolge der kurzen Reaktionszeit des Klebers ist ein Ausrichten der DMS nicht mehr möglich. Deshalb wird ein Stück Klebeband zur Fixierung auf die Oberseite des DMS geklebt. Dann den DMS auf die gereinigte Meßstelle legen, sorgfältig ausrichten (nach Markierungen) und festdrücken (Abb.3.3.1). Diese Konstruktion erlaubt es den Dehnungsmeßstreifen hochzuklappen, ohne seine Lage zu verändern. Jetzt einen Tropfen Klebstoff auf die Fläche geben und mit einem glatten Gegenstand (z.B. ein Stück Teflonband) in einem Zug zu einer gleichmäßigen Schicht abziehen (Abb.3.3.2).



1. Klebefolie
2. DMS
3. Applikationsfläche

Abb.3.3.1:Klebevorbereitung

Nach dem Auftragen des Klebstoffes, den DMS vorsichtig zurückklappen, einen Streifen Teflonfolie darüberdecken und den DMS fest und gleichmäßig mit dem Daumen andrücken. Den Druck solange aufrecht halten, bis der Klebstoff trocken ist. Nach wenigen Minuten die Schutzfolie abziehen und evtl. Anschlüsse aus dem Klebstoff ziehen.

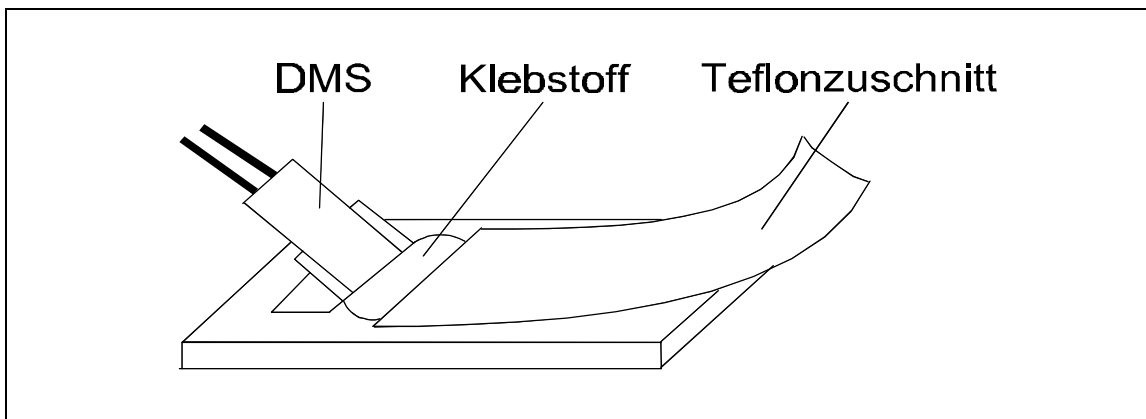


Abb.3.3.2:Aufbringen des Klebstoffes

Zum Schluß sollte man die Fläche mit dem DMS gegen äußere Einwirkungen wie z.B. Feuchtigkeit oder mechanische Beschädigung schützen, da schon geringe Schwankungen der Luftfeuchte die Meßsignale eines offenen DMS beeinflussen. Dies kann mit einem Kitt, transparentem Silikongummi, Lack oder einem Silikonharz geschehen (siehe Abb.3.3.3).

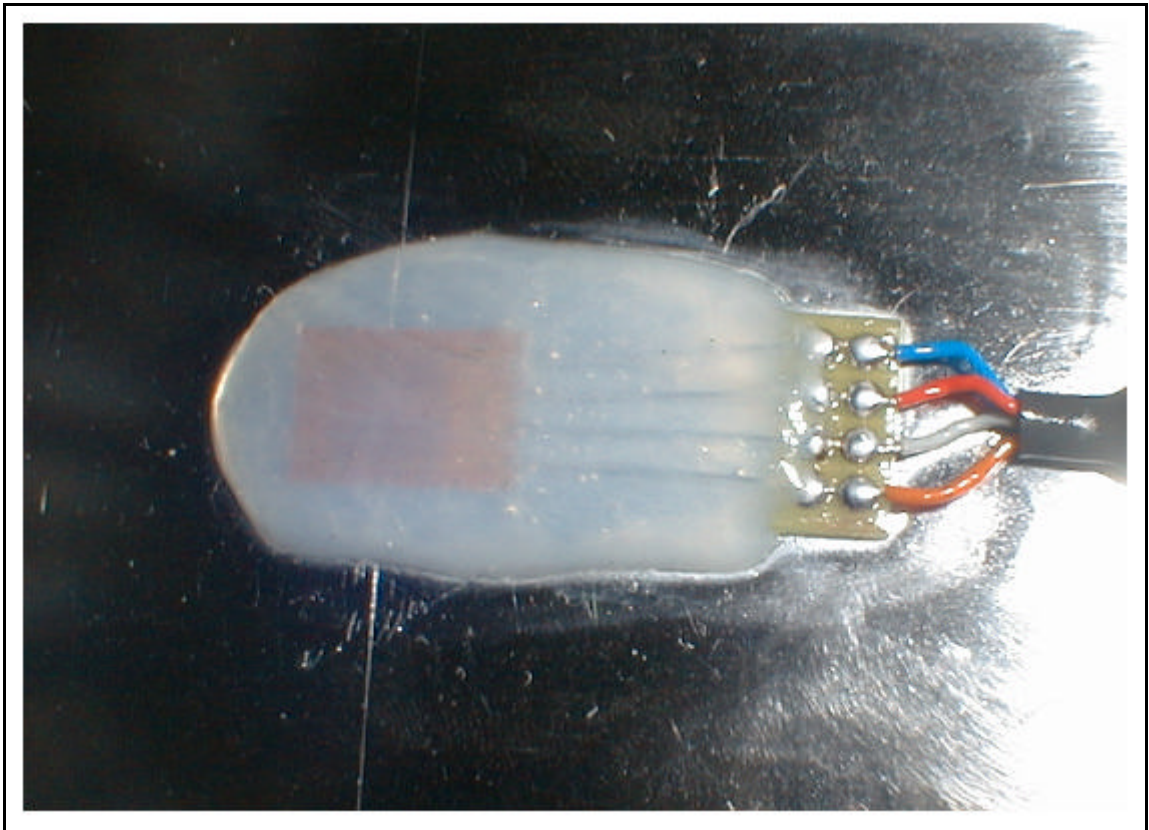


Abb.3.3.3: Beispiel eines DMS- Applikationsschutzes

4. Die Schaltungen

4.1 Der Meßverstärker

Der Meßverstärker hat im wesentlichen die Aufgabe, die sehr kleine Spannung (im μV - Bereich) welche von der DMS- Vollbrücke geliefert wird, zu verstärken und in einen Strom von 4 bis 20 mA entsprechend dem Wiegebereich umzusetzen.

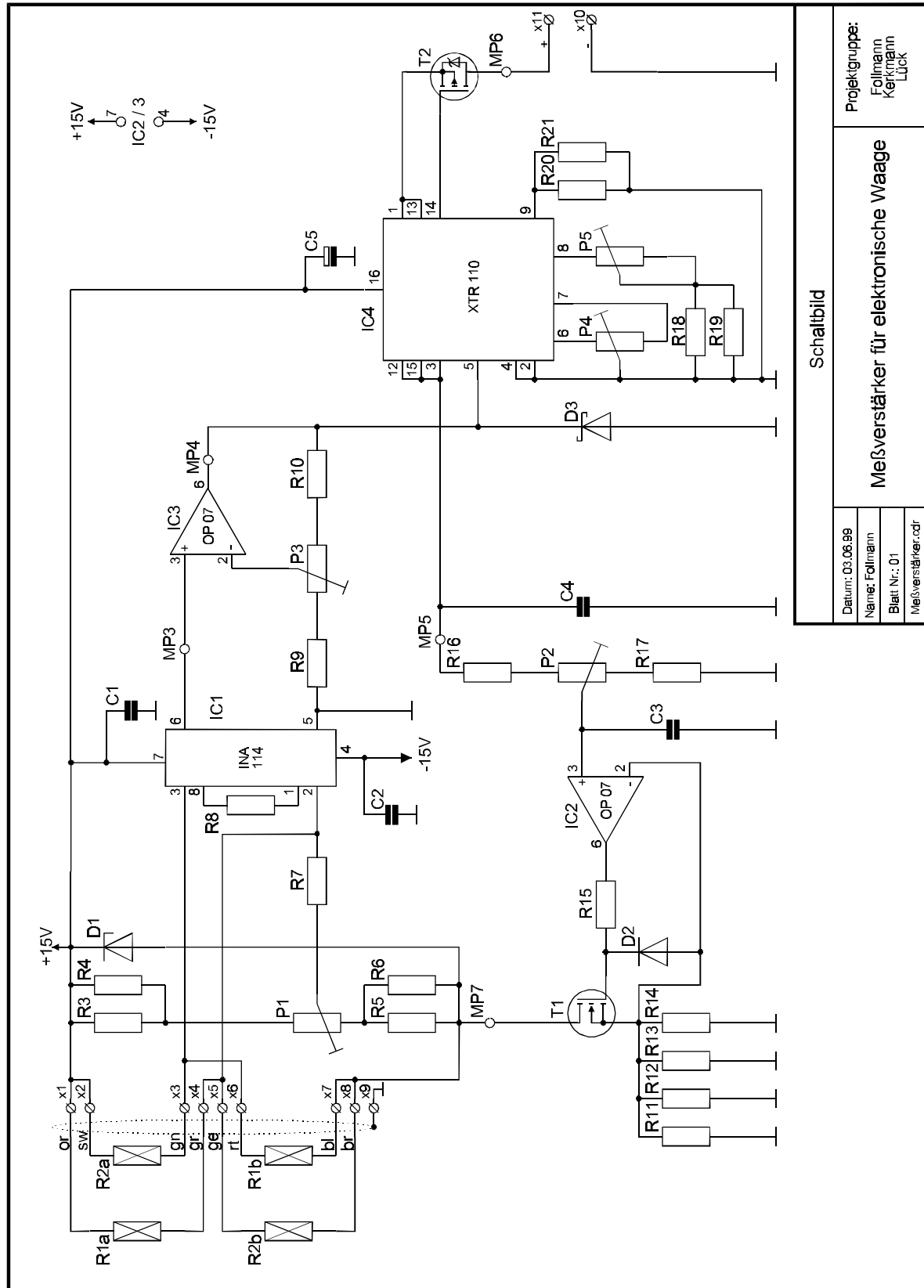
Bei der Versorgung der Meßbrücke haben wir uns für die Speisung mit einem Konstantstrom entschieden. Hierdurch haben störende Einflüsse wie z.B. Übergangswiderstände auf das Meßergebnis beinahe keinen Einfluß mehr. Die Stromquelle ist aufgebaut mit dem MOS- FET- Transistor T1 ,dem Operationsverstärker IC2 sowie der zugehörigen Randbeschaltung. Als Stromfühlerwiderstand wurden hier vier Widerstände R11 bis R14 parallel geschaltet um die Eigen erwärmung und damit die Temperaturdrift möglichst gering zu halten. Die erforderliche Referenzspannung wird vom Spannungs- Strom- Umsetzer IC4 über den Spannungsteiler R16, P2 und R17 abgeleitet. Der Brückenstrom ist mit P2 im Bereich von ca. 9mA bis 20mA einstellbar. Dies entspricht in unserem Fall einer Brückenspannung von 3,15V bis 7V (Brückenwiderstand ca. 350Ω). Der Hersteller der DMS gibt eine maximale Speisespannung von 14V vor. Damit die Dehnungsmeßstreifen durch eine zu hohe Speisespannung im Fehlerfall vor Überlast geschützt werden, begrenzt die Z- Diode D1 die Brückenspannung auf 8,2V. Der Offsetabgleich bzw. die Nullpunktkorrektur der Brücke geschieht mit Hilfe der Widerstände R3 – R7 sowie dem Poti P1, wobei der Nullpunkt nun an P1 verstellt werden kann. Die eigentliche Verstärkung der

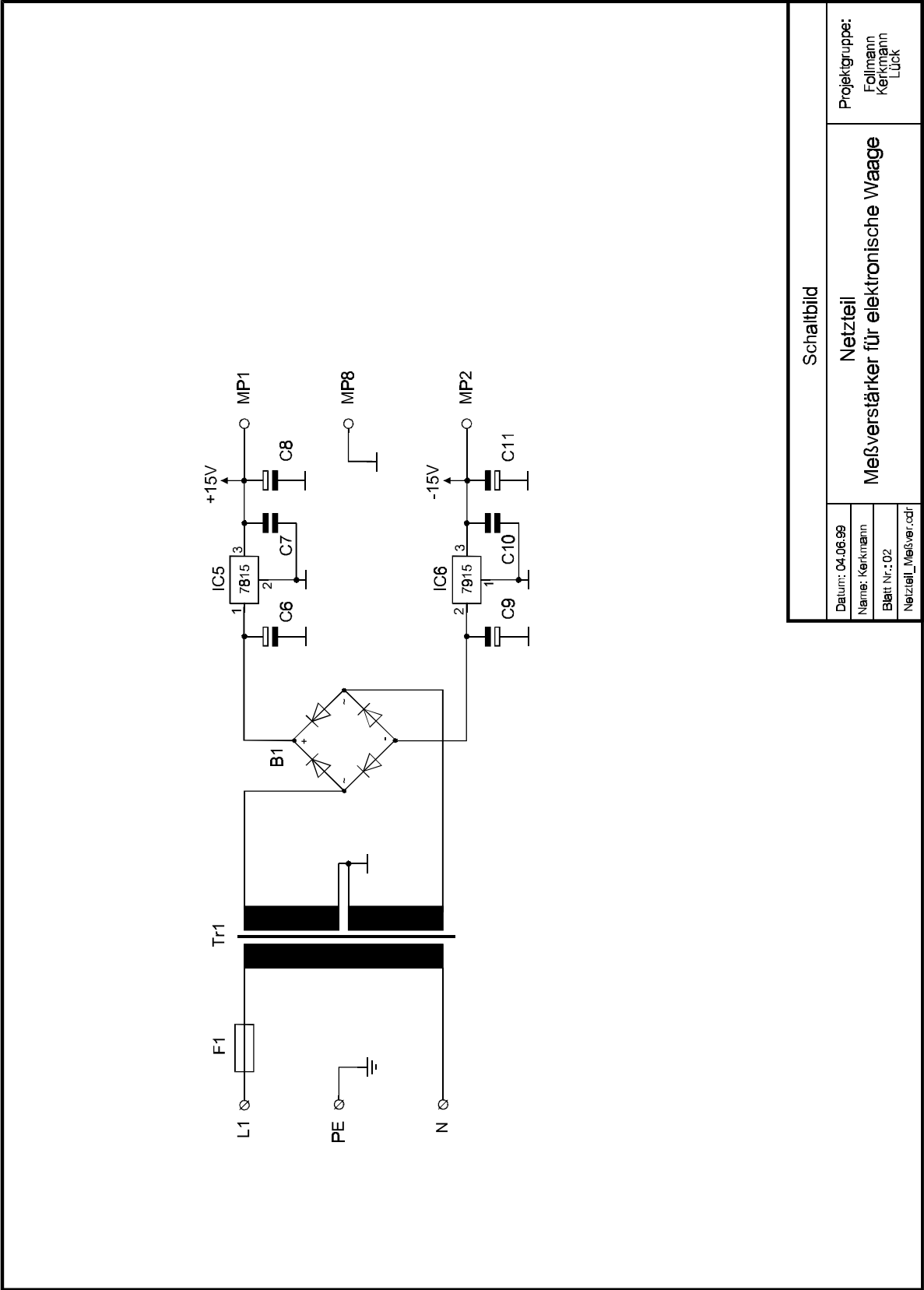
Brückenspannung wird von IC1, einem Instrumentenverstärker vom Typ INA114 vorgenommen. Mit diesem Baustein lassen sich Verstärkungsfaktoren bis zu 10000 erreichen. Mit einer typischen Eingangsimpedanz von $10^{10}\Omega$ bleibt die DMS- Brücke praktisch unbelastet. Weiterhin zur Auswahl dieses Bausteins beigetragen hat, die sehr hohe Gleichtaktunterdrückung von minimal 115dB. In unserem Fall haben wir mit $R8 = 18\Omega$ eine Verstärkung von 2779-fach eingestellt. Mit diesem Wert erhalten wir bei Maximalbelastung von 3,5kg (DMS-Spannung ca. 0,4mV !!) am Verstärkerausgang (MP3), aber noch nicht die für IC4 benötigten 5V. Es ist nicht empfehlenswert für R8 ein Poti einzusetzen, da der von uns geforderte Verstärkungsfaktor im Bereich von einigen wenigen Ohm liegt. Hier würden geringste Widerstandsschwankungen große Ausgangsspannungsänderungen hervorrufen. Die Restverstärkung übernimmt demzufolge der nicht invertierende Verstärker IC3 mit Randbeschaltung. An P3 läßt sich die Verstärkung zwischen 3,4 und 6 einstellen. Die jetzt an MP4 anstehende Spannung von 0V bis 5V entspricht einer Waagenbelastung von 0kg bis 3,5kg und wird IC4, einem Spannungs- Strom- Umsetzer vom Typ XTR110 zugeführt. Dieser Baustein wurde von uns durch die externe Beschaltung so programmiert, daß er mit Hilfe des MOS- FET- Transistors T2 eine Eingangsspannung zwischen 0V und 5V in einen Ausgangsstrom von 4mA bis 20mA umsetzt. Der Nullpunkt und das Bereichsende des Ausgangssignals lassen sich mit den Potis P4 und P5 beeinflussen. Die Schottky- Diode D3 schützt den Baustein vor zu großer negativer Eingangsspannung, die beim Ein- und Ausschalten der Betriebsspannung eventuell auftreten kann.

Beim Netzteil handelt es sich um eine Standardapplikation. Der Trafo Tr1 speist mit seinen zwei Sekundärwicklungen über den Brückengleichrichter B1 die Ladeelkos C6 und C9 sowie die beiden Spannungsregler IC5 und IC6. IC5 stabilisiert die positive Versorgungsspannung auf +15V und IC6 die negative Versorgungsspannung auf -15V.



Abb.4.1: Aufbau des Meßverstärkers





4.2 Der A/D- Wandler

Ziel der von uns entwickelten A/D- Wandlerschaltung ist es, ein normiertes Eingangssignal von 4mA bis 20mA mit einer Auflösung von 12 bit zu digitalisieren und als serielles Datenwort über eine galvanische Trennung der RS232-Schnittstelle eines PC zuzuführen.

Zunächst gilt es, das vom Meßverstärker kommende Stromsignal von 4 bis 20mA in eine hochgenaue Gleichspannung von 0V bis 5V für den A/D- Wandler umzusetzen. Der von der Waage kommende Strom verursacht an R1 einen Spannungsabfall von $-0,2V$ bis $-1,0V$. Nach dem nichtinvertierenden Verstärker IC2 steht an MP2 eine Spannung von $-1,25V$ bis $-6,25V$ an. Der invertierende Addierer IC4 zieht dem Signal eine Spannung von $1,25V$ ab, so daß an MP3 der gewünschte Bereich von 0V bis 5,0V ansteht. Der genaue Abgleich der beiden Verstärkerstufen erfolgt mit den Potis P1, P2 und P3. Die für den Addierer und den im folgenden beschriebenen A/D- Wandler benötigte hochgenaue und stabile Referenzspannung von 5,0V liefert IC2 ein Baustein vom Typ MAX875, an MP5. Die eigentliche Wandlung in ein digitales Signal übernimmt IC5. Dieser 12-bit Wandler, ein LTC1292, liegt an einer Versorgungsspannung von 5V, die IC1, ein 78L05, bereitstellt. IC5 arbeitet in einer Standardapplikation, die dem Herstellerdatenblatt entnommen wurde. Zum Schutz des Bausteins dienen die Schottky Dioden D1 bis D3 und der Widerstand R10. D1 und D3 verhindern zusammen mit R10, daß die Eingangsspannung des Wandlers viel größer bzw. viel kleiner als die Betriebsspannung werden kann. D2 soll vermeiden, daß beim Ein- und Ausschalten der Spannungsversorgung die Referenzspannung wesentlich höher als die Betriebsspannung werden kann. Für die Ablaufsteuerung des Wandelvorganges benötigt IC5 die beiden externen Steuersignale CS (Chip- Select) sowie CLK (Clock). Das serielle 12-bit Datenwort wird dann am Ausgang D_{out} bereitgestellt. Diese drei Leitungen stellen die Verbindung zu unserem PC her. Wie bereits erwähnt soll zur Erhöhung der Betriebssicherheit in den unterschiedlichsten möglichen Einsatzbereichen eine galvanische Trennung vom analogen Meßteil zum digitalen Teil eingefügt werden. Die eigentliche galvanische Trennung der drei Signale haben wir mit Hilfe der Optokoppler IC7, IC8 und IC9 realisiert. Für eine saubere Anpassung der Signalpegel an den LTC1292 sorgt IC6, ein Baustein mit vier NAND- Schmitt- Triggern (HEF 4093). Die rote Leuchtdiode D6 erlaubt eine Kontrolle der Aktivität auf der Datenleitung. Auf der Ausgangsseite der Optokoppler steht nun eine vom bisherigen Schaltungsteil ebenfalls galvanisch getrennte Spannungsversorgung von 5V zur Verfügung. Hier sorgt der Schnittstellentreiberbaustein IC10, ein MAX232, für die Konvertierung der TTL- Signale in die vom RS232-Standard geforderten Pegel von $-10V$, entsprechend H- Pegel, und $+10V$, entsprechend L- Pegel. Der MAX232 bietet hier den entscheidenden Vorteil, daß er mit einer einzigen Betriebsspannung von 5V auskommt und mit Hilfe interner Spannungswandler sowie minimaler Randbeschaltung die Spannungen von $\pm 10V$ generiert. Die Transistoren T1 und T2 arbeiten als Treiber für die Sendedioden in den Optokopplern IC7 und IC8. Zusätzlich ermöglichen die grüne LED D4 und die gelbe LED D5 eine optische Überwachung der vom PC übertragenden Steuersignale Chip- Select und Clock. Die Signale CLK bzw. CS werden über die Datenleitungen DTR (Data Terminal Ready) und RTS (Request To Send) der RS232-Schnittstelle übertragen.

Der Datentransport zum Rechner geschieht über die CTS (Clear To Send)-Leitung. Als Besonderheit bleibt noch die Hardwareerkennung mit Hilfe der DSR (Data Set Ready)- Leitung zu erwähnen. Hier liegt bei eingeschalteter A/D- Wandlerkarte ein Spannungspegel von +10V an, der von der Software ausgewertet wird. Für den Fall, daß die Hardware nicht betriebsbereit ist oder daß die Verbindung zum PC nicht korrekt hergestellt wurde, erscheint eine Fehlermeldung auf dem Bildschirm (siehe Abb.5.2).

Beim Netzteil für diesen Schaltungsteil handelt es sich nicht um einen Standardentwurf. Mit einem Schaltungstrick wird die Versorgungsspannung von $\pm 8V$ für den Analogteil und den A/D- Wandler sowie die galvanisch getr. Spannung von +5V für die Versorgung der RS232-Schnittstelle mit nur zwei getrennten Trafowicklungen erzeugt. Die erste Trafowicklung speist über den Brückengleichrichter B2 den Ladekondensator C18 und den +8V-Spannungsregler IC12. Die beiden Einweggleichrichter D7 und D8 laden die Kondensatoren C16 und C17 auf den Scheitelwert der Wechselspannung auf. Nun wird C21 abwechselnd in jeder Halbwelle über D9 und D10 aufgeladen. Somit erhalten wir eine auf Masse bezogene, ausreichend belastbare negative Spannung, die anschließend mit IC113 auf $-8V$ stabilisiert wird. Die zweite Wicklung von Tr1 lädt über B1 den Elko C13. IC11 stellt eine Spannung von 5V bezogen auf eine eigene Schaltungsmasse (GND**) bereit.

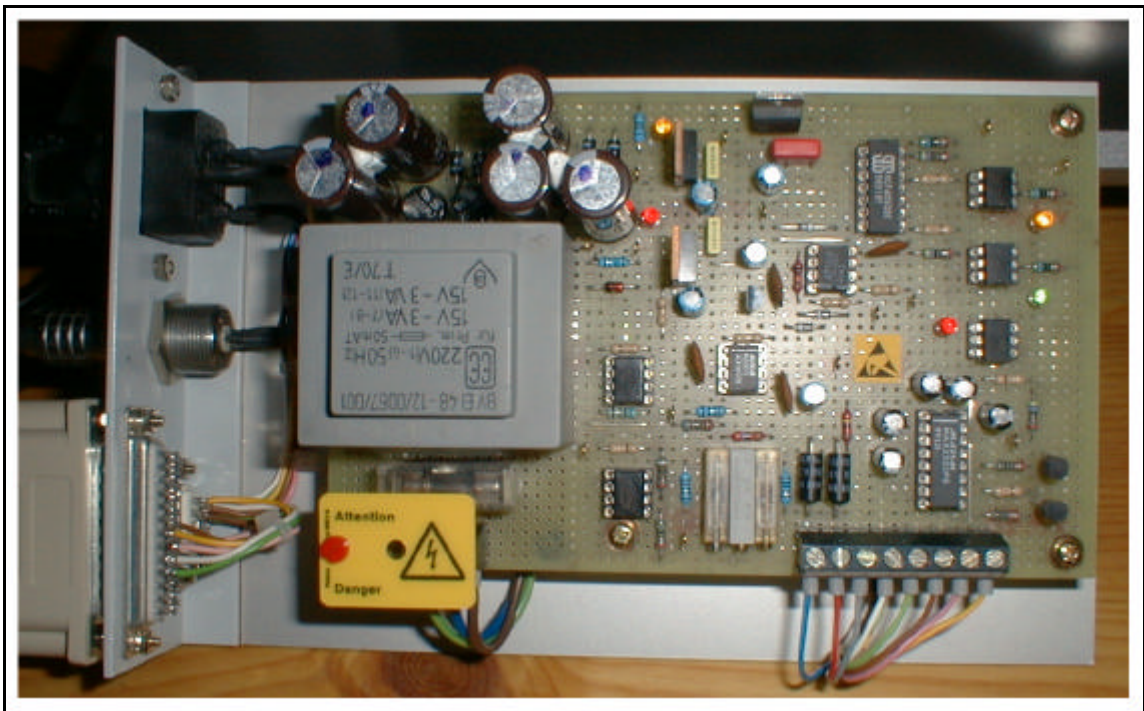
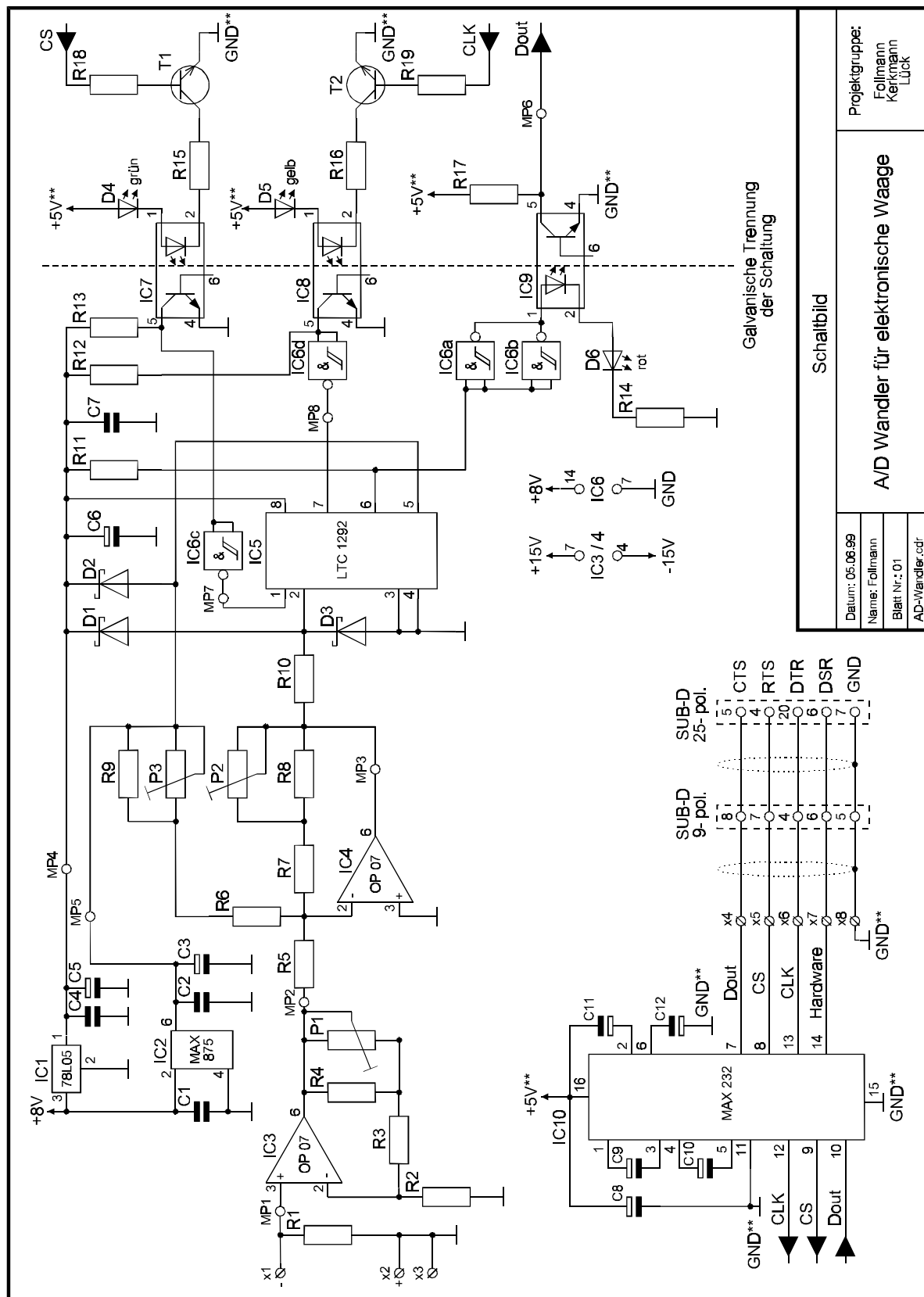
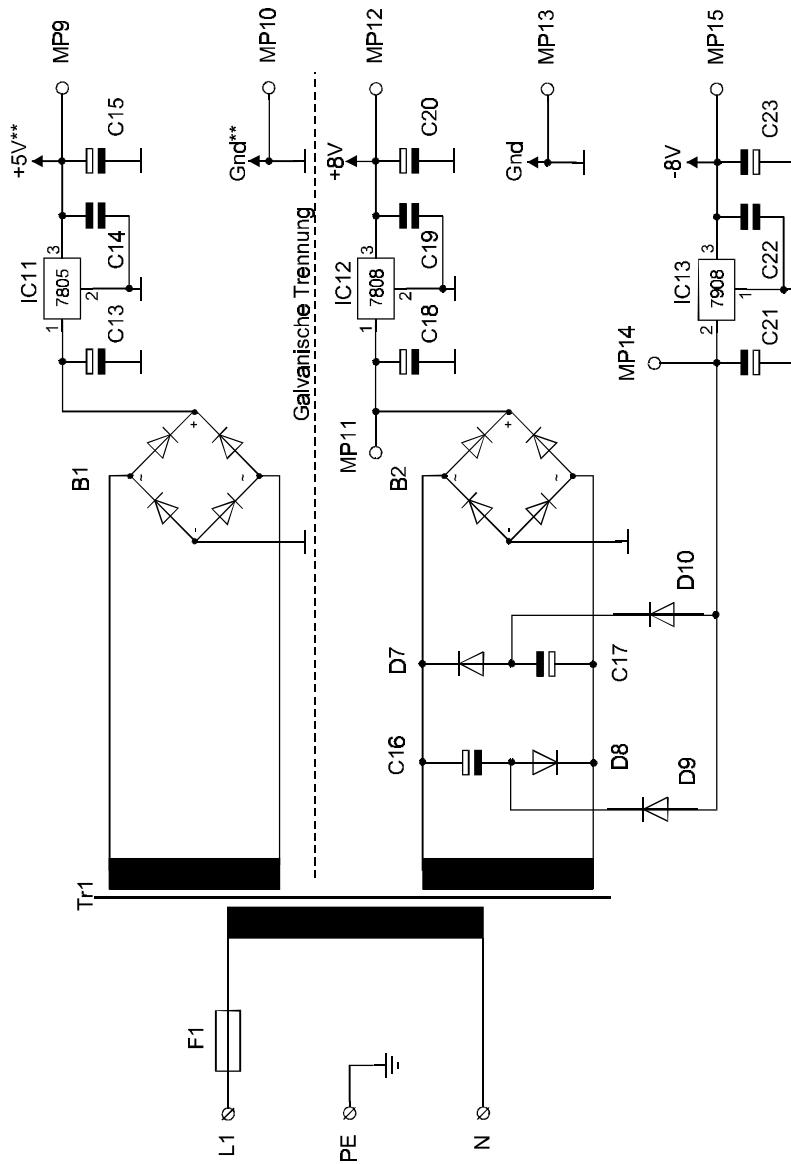


Abb.4.2 Aufbau des A/D Wandlers





Achtung!!
Die Massepotentiale Gnd und Gnd dürfen nicht miteinander verbunden werden!**

Schaltbild

Datum: 04.08.99	Netzteil A/D-Wandler für elektronische Waage	Projektgruppe: Follmann Kerkmann Luck
Name: Kerkmann		
Blatt Nr.: 04		
Netzteil_AD-Wan.doc		

5. Erläuterung der Software⁵

Bei der von uns verwendeten Software handelt es sich um ein VBA (Visual Basic Application) Programm. Die grundsätzliche Idee, unsere Anzeige auf dem PC darzustellen und die Daten weiter verarbeiten zu können, stammt aus dem Buch „Messen, Steuern, Regeln mit WORD und EXCEL“ aus dem Franzis-Verlag. Mit diesem Buch wird auch eine CD geliefert, auf der Anwendungsbeispiele und eine DLL (Dynamic Link Library) Datei vorhanden ist. Durch diese RSAPI.DLL ist es uns möglich, die serielle Schnittstelle direkt aus Microsoft Word oder Excel über die Anschlußbezeichnungen der Schnittstelle anzusprechen.

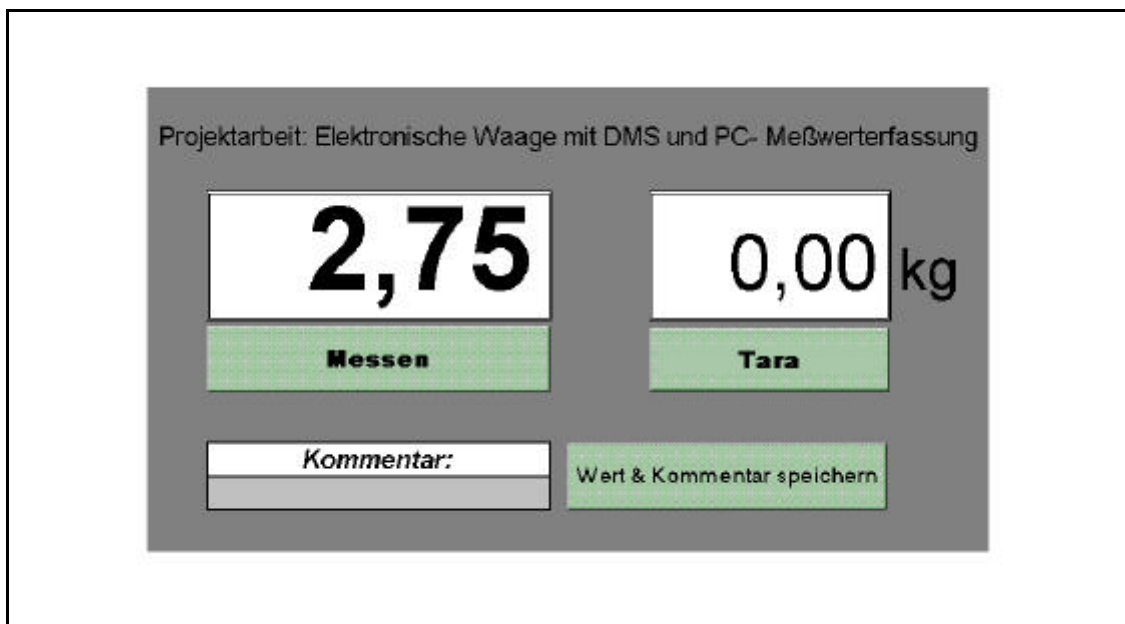


Abb.5.1: Benutzeroberfläche des Programms

```
Private Declare Sub OPENCOM Lib "RSAPI.DLL" (ByVal a As String)
Private Declare Sub CLOSECOM Lib "RSAPI.DLL" ()
Private Declare Sub RTS Lib "RSAPI.DLL" (ByVal Bit As Integer)
Private Declare Sub DTR Lib "RSAPI.DLL" (ByVal Bit As Integer)
Private Declare Sub DELAY Lib "RSAPI.DLL" (ByVal ms As Integer)
Private Declare Function CTS Lib "RSAPI.DLL" () As Integer
Private Declare Function DSR Lib "RSAPI.DLL" () As Integer
Dim zelle, z, frei, mess, just, BitWert, Wert, n
```

Im ersten Abschnitt des Listings werden die verwendeten Schnittstellenbefehle und Variablen deklariert.

⁵ Vgl. Berndt/ Kainka, Messen, Steuern und Regeln mit Word und Excel, Feldkirchen 1997, S. 23 ff

```
Sub messen_Click()  
  Sheets("Messen").Select  
  mess = (ByteLesen / 4096 * 3.5)  
  Cells(4, 2).Value = mess - Cells(4, 4)  
  Cells(12, 2).Select  
End Sub
```

Der **Sub „messen_Click“** wird ausgeführt, wenn der Button **Messen** angeklickt wird. Als erstes wird das Arbeitsblatt „Messen“ selektiert. In der 3. Zeile wird der anzuzeigende Wert „**mess**“ berechnet, **ByteLesen** ruft die gleichnamige Funktion auf, die später näher erläutert wird. Der eingelesene Wert wird durch den maximal zu erreichenden Bit- Wert geteilt, das ergibt den prozentualen Wert. Dieses Ergebnis wird jetzt mit 3,5 multipliziert, um auf eine Maximalanzeige von 3,5kg bei einem Ergebnis von 100% zu kommen.

Der Befehl **Cells(4, 2).Value = mess – Cells(4, 4)** zeigt den berechneten Wert in Zelle B4 minus den Tara Wert in Zelle D4 an. **Cells(12, 2)** selektiert die Zelle B12 in der ein Kommentar eingegeben werden kann.

```
Sub tara_Click()  
  Sheets("Messen").Select  
  just = (ByteLesen / 4096 * 3.5)  
  Cells(4, 4).Value = just  
  Cells(4, 2).Value = 0  
End Sub
```

Dieser Sub führt das Trieren aus, ist aber vom Aufbau her fast identisch mit dem zuvor erklärten Sub, deshalb wird darauf nicht weiter eingegangen.

```
Sub speichern_Click()  
  For z = 2 To 11  
    zelle = Sheets("Daten speichern").Cells(z,1)  
    If zelle = 0 Then  
      Sheets("Daten speichern").Cells(z,1).Value=Sheets("Messen").Cells(4,2)  
      Sheets("Daten speichern").Cells(z,2).Value=Sheets("Messen").Cells(12,2)  
    End  
    Else:  
  End If  
  Next z  
  Sheets("Messen").Select  
End Sub
```

„**speichern_Click**“ speichert den angezeigten Wert mit dem eingetragenen Kommentar im Arbeitsblatt „Daten speichern“, nachdem die nächste freie Zeile in diesem Blatt gefunden worden ist. Wir haben diese Liste bzw. Abfrage auf maximal 10 Werte begrenzt. Eine Erweiterung dieser Liste ist jederzeit in der 2. Zeile durch Änderung der For... Next- Schleife möglich.


```

Function ByteLesen()
  OPENCOM "COM1,9600,N,8,1"
  If DSR = 0 Then Fehler1
  If DSR = 0 Then End
  RTS 0
  RTS 1
  DELAY 10
  DTR 0                                '2 mal CLK
  DTR 1                                'um an richtiges MSB
  DELAY 10
  DTR 0                                'zu kommen
  DTR 1
  BitWert = 2048                        'mit 211 anfangen
  Wert = 0                             'Ergebnis
  For n = 1 To 12
    If CTS = 0 Then Wert = Wert + BitWert 'Bit lesen
    DELAY 10
    DTR 0                                'CLOCK 1
    DELAY 10
    DTR 1                                'CLOCK 0
    DELAY 10
    BitWert = BitWert / 2
  Next n                                '12 bit lesen
  ByteLesen = Wert
  CLOSECOM
  If Wert > 3642 Then Fehler2
End Function

```

Die **Funktion ByteLesen** ist das eigentliche Herzstück des Programms. Sie steuert das Einlesen der seriellen Daten über COM1. **OPENCOM "COM1,9600,N,8,1"** öffnet die Schnittstelle. Über die Leitung DSR fragen wir ab, ob die Hardware angeschlossen ist. Wenn dies nicht der Fall sein sollte, wird die Funktion **Fehler1** aufgerufen und das Programm beendet. Den High-Pegel auf DSR geben wir uns hardwaremäßig vor. Mit der RTS- Leitung steuern wir den CS (Chip Select) unseres 12- bit A/D- Wandlers an, der jetzt den momentanen Analogwert einliest und uns diesen dann seriell zur Verfügung stellt. Mit DTR sprechen wir den CLK (Clock) an. Es müssen erst 2 CLK's an den Chip gesendet werden, weil erst beim 3. CLK der gewandelte Datenblock ansteht (siehe Anhang Datenblatt LTC 1292 S.9). **BitWert** wird auf **2048** gesetzt, da der A/D- Wandler das MSB als erstes ausgibt. In der nun folgenden Schleife lesen wir Bit für Bit ein und geben ihm die zuständige Wertigkeit, die in der Zeile **BitWert = BitWert / 2** bis auf 1, also LSB halbiert wird. Nach dem Einlesevorgang wird COM1 wieder geschlossen. Sollte der zu übergebende Wert (Byte-Lesen) größer als 3642 (das entspricht ca.3,1 kg) sein, so wird die Funktion **Fehler2** ausgeführt.

```

Function Fehler1()
  Fehler1 = MsgBox("Keine Hardware gefunden!", , " Hardwareproblem!")
  Cells(4, 2).Value = 0
  Cells(4, 4).Value = 0
End Function

```

Wie zu sehen ist, wird hier die Meldung für nicht vorhandene Hardware (Abb.5.2) ausgegeben, die im folgenden so aussieht:



Abb.5.2: Meldung bei fehlender Hardware

Function Fehler2()

Fehler2 = MsgBox("Die Belastungsgrenze ist erreicht!", , "Achtung!")
End Function

Mit der 2. Fehlermeldung wird auf das Erreichen der Belastungsgrenze (Abb.5.3) hingewiesen.

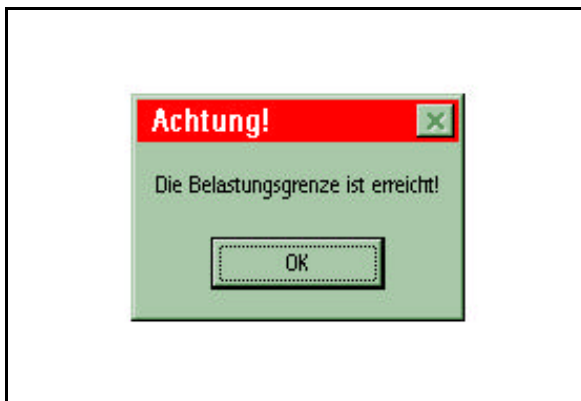


Abb.5.3: Warnung vor möglicher Überlastung

6. Technische Daten der Waage

Meßbereich:	0- 3,50 kg
Auflösung:	10 g
Meßverstärker- Karte:	Eingang: 0- 0,4 mV Ausgang: 4- 20 mA Bürde max. 500 Ω Betriebsspannung: 230 V
A/ D- Wandler Karte:	Eingang: 4- 20 mA Eingangswiderstand: 50 Ω Ausgang: RS 232 Schnittstelle Auflösung: 12 bit Betriebsspannung: 230 V
Software:	Makro unter Microsoft EXCEL™
Eigengewicht	19 kg

Kostenaufstellung:

- Waagenkonstruktion incl. DMS:	161,32 DM
- Meßverstärker- Karte incl. Zubehör:	143,45 DM
- A/ D- Wandler- Karte incl. Zubehör:	159,43 DM
Gesamt:	464,20 DM

7. Soll- Ist- Vergleich

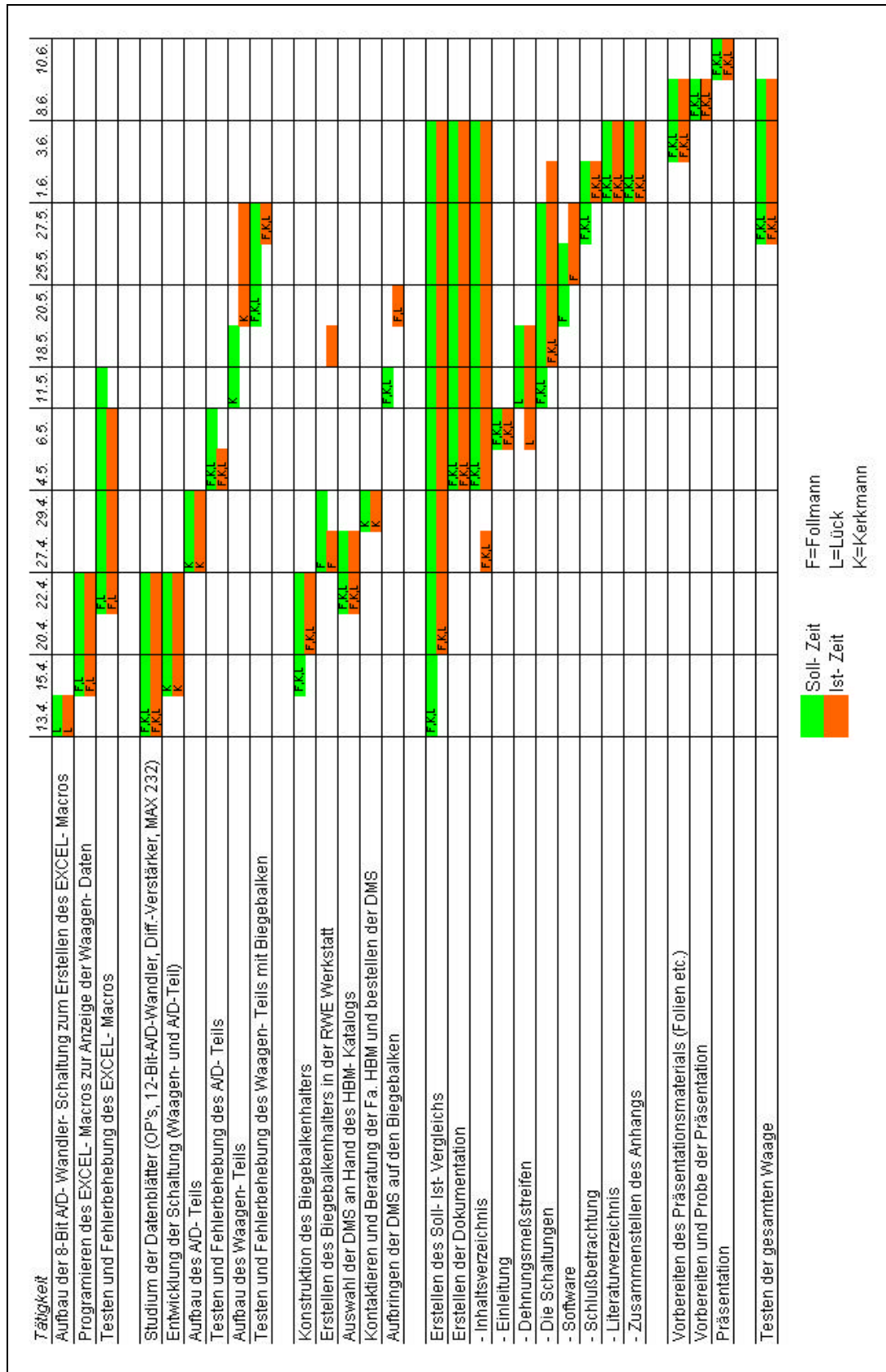


Abb.7: Soll- Ist- Vergleich

Bewertung:

Wie aus der Tabelle (Abb.7) ersichtlich ist, konnten wir unsere Zeitplanung zum größten Teil einhalten. Nachfolgend sind die Abweichungen mit Grund aufgelistet :

- „Aufbau des Meßverstärkers“
Lieferprobleme der IC's INA 114 und XTR 110
- „Erstellen des Biegebalkenhalters in der RWE Werkstatt“
Aufgrund wichtiger betrieblicher Belange konnte die Fertigstellung erst 1 1/2 Wochen später erfolgen.
- „Aufbringen der DMS auf den Biegebalken“
Dieses war eine Folge der verspäteten Fertigstellung der Biegebalkenkonstruktion.

Des weiteren war es unumgänglich, daß einige Schulstunden in den Privatbereich verlegt werden mußten, weil die Schule eine unzureichende Ausstattung aufweist (Computerausstattung, Meßgeräte usw.). Darüber hinaus empfanden wir es wieder einmal als sehr negativ, daß der gesamten Klasse für die Durchführung der Projektarbeit nur ein einziger Klassenraum zur Verfügung stand. Wegen des dadurch unvermeidlich hohen Geräuschpegels war ein konzentriertes Arbeiten nur schwer oder überhaupt nicht möglich.

8. Schlußbetrachtung

Die Wahl der projektorientierten Arbeit fiel auf ein Thema mit Dehnungsmeßstreifen, weil uns die Technologie der DMS Meßtechnik sehr interessierte. Am Anfang unserer Arbeit waren wir bezüglich dieser Thematik völlig unerfahren und legten unseren Schwerpunkt auf das Verarbeiten der DMS. Das Erstellen des Makros schätzten wir als sehr leicht ein.

Am Ende mußten wir feststellen, daß es genau umgekehrt war. Das Kleben und Verarbeiten der Dehnungsmeßstreifen hatte sich Dank sehr guter Beratung der Firma Hottinger Baldwin Meßtechnik (Lieferant unserer DMS) und der ausreichenden Literatur, die uns Herr Mayer und Herr Göris zu Verfügung gestellt hatten, als unproblematisch herausgestellt. Dafür hatten wir große Probleme mit dem 12- bit A/D- Wandler und der Anpassung unseres Makros. Bei der Fehlerbehebung mußten wir feststellen, daß unser Programm zu schnell für den A/D- Wandler war. Deshalb fügten wir einige Zeitverzögerungen (Delays) ein.

Insgesamt sind wir mit dem Ergebnis, unserer Waage, sehr zufrieden. Die Waage funktioniert so, wie wir es uns vorgestellt haben.

Das Arbeitsklima in der Gruppe war auch gut. Das mag vielleicht daran liegen, daß wir schon seit zwei Jahren eine Lehrgemeinschaft bilden.

9. Literaturverzeichnis

1. Knaurs:

Jugendlexikon, München 1968

2. Hoffmann:

Einführung in Dehnungsmeßstreifen- Technik, Darmstadt 1976

3. HBM:

DMS- Katalog 1999

4. HBM:

Klebegebrauchsanweisung

5. Berndt/ Kainka:

Messen, Steuern und Regeln mit Word und Excel, Feldkirchen 1997

Folgende Literatur wurde als Nachschlagewerk benutzt:

Beuth:

Bauelemente, Vogel- Verlag, Würzburg, 1989

Böhmer:

Elemente der angewandten Elektronik, Vieweg- Verlag, Braunschweig 1990

Härtl:

Halbleiteranschlußstabelle, Härtl- Verlag, Hirschau 1992

Nührmann:

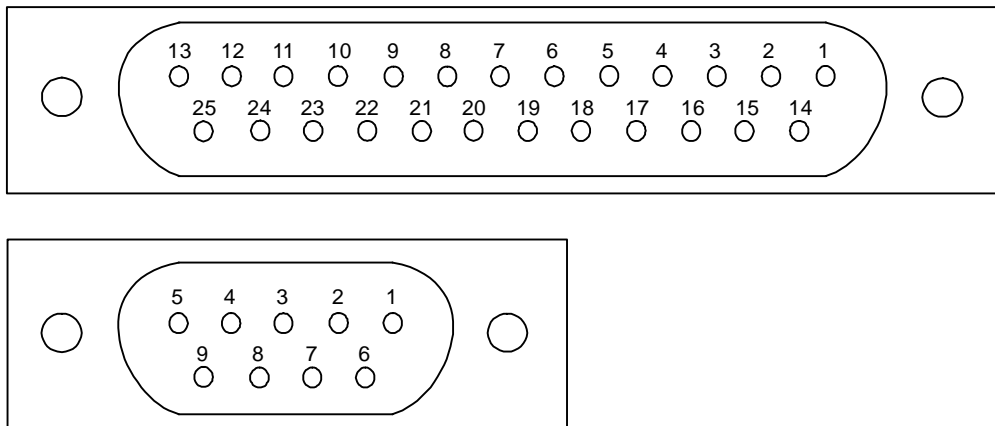
Das große Werkbuch Elektronik, Franzis- Verlag 1994

Tietze/ Schenk:

Halbleiter Schaltungstechnik, Springer- Verlag, Berlin 1993

10. Anhang

Anschlußbelegung der RS232- Schnittstelle vom PC



25 pol.	9 pol.	Anschlüsse
2	3	TxD (Transmit Data)
3	2	RxD (Receive Data)
4	7	RTS (Request To Send)
5	8	CTS (Clear To Send)
6	6	DSR (Data Set Ready)
7	5	GND (Ground)
8	1	DCD (Data Carrier Detect)
20	4	DTR (Data Terminal Ready)
22	9	RI (Ring Indicator)