

Inhaltsverzeichnis

1. Kuzfassung
2. Bau des 'CD-Spektrographs'
 - 2.1 Idee
 - 2.2 Was ist ein Gitter
 - 2.3 Die Gitterkonstante der CD
 - 2.4 Der Aufbau
 - 2.5 Kostenvergleich
3. Die Technik
 - 3.1 Die Fotodiode
 - 3.2 Führung der Fotodiode
 - 3.3 Die Verstärkung
 - 3.4 Die Steuerplatine
4. Die Soft- / Hardware
 - 4.1 Das CAP-CS2
 - 4.2 Das Programm
5. Neue Überlegung
6. Anhang

2. Der Bau des 'CD-Spektrographs'

Vorwort:

Aus softwaretechnischen Gründen müssen wir Lambda (Wellenlänge) als Γ darstellen. Wir hoffen, daß dies nicht zu sehr stört.

Die Bilder entnehmen Sie alle dem Anhang.

2.1 Idee

Im letzten Jahr zeigte unser Mitschüler Andreas Goris, daß man mittels einer CD weißes Licht, wie mit einem Prisma oder einem Gitter, in seine Spektralfarben zerlegen kann (Die CD arbeitet hier als Spiegelgitter). Dadurch angeregt beschlossen wir ein 'CD-Spektroskop' zu bauen, welches quantitative Messungen erlaubt. Dazu mußte als erstes die Gitterkonstante der CD bestimmt werden. Wir benutzten dazu einen Laser, da er monochromatisches und nahezu punktförmiges Licht liefert:

2.2 Was ist ein Gitter

Ein Optisches Gitter ist eine Lichtdurchlässige Glas oder Plexiglasscheibe, die durch viele kleine Kratzer oder Verunreinigungen Stegweise Lichtdurchlässig. Diese Kratzer sind genauso breit wie die Lichtdurchlässigen Stege. Dies sieht dann stark vergrößert so aus: ■■■■■. Die Anzahl der Kratzer pro mm ist die Gitterzahl (hier 653 Linien pro mm). Zieht man aus der Gitterzahl den Kehrwert erhält man die Gitterkonstante (g_k), mit der man erst die verschiedenen Formeln berechnen kann. Die CD hat durch ihre digitale Aufzeichnungsweise, die nur Nullen und Einsen kennt, bedingt genauso wie ein Gitter durchlässige und undurchlässige Stege der gleichen Breite. Diese sind zwar nicht ganz regelmäßig, aber dies hat keine / kaum negative Auswirkungen auf die Funktionsweise. Der einzige Unterschied zwischen der CD und einem Gitter ist, daß die CD die gebrochenen Lichtstrahlen reflektiert, und nicht wie ein Gitter durchläßt.

2.3 Die Gitterkonstante der CD

Wie in Bild 1 gezeigt, richteten wir (unter Aufsicht von Herrn Stein) den Laserstrahl auf die CD. Über $\tan \alpha_k = \frac{a_{ik}}{x}$ ermittelten wir den Beugungswinkel α_k . Mittels der Gleichung für das Gitter $g_k \cdot \sin \alpha_k = k \cdot \Gamma$ konnten wir nun die Gitterkonstante g berechnen, da $\Gamma = 632,8$ nm und $k = 1$ (Spektrum der 1. Ordnung) bekannt waren.

2.4 Der Aufbau

Unser CD-Spektroskop sollte nicht zu unhandlich sein. Aus diesem Grund legten wir fest, daß das Spektrum im Bereich von 400 bis 800 nm auf eine Strecke von 16 cm abgebildet wird (2,5 nm pro mm). Daraus ergab sich eine Spektroskopgröße von ..cm*cm (Siehe folgende Rechnung und ABB.)

2.5 Kostenvergleich

Ein Reflektionsgitter mit einer Auflösung von 100 Linien pro Millimeter kostet zum Beispiel bei LEYBOLD 243.- DM. Ein CD Stück mit einer durchschnittlichen Auflösung 500 - 600 Linien pro Millimeter kostet ungefähr 10.- DM. Das heißt, daß die CD bei einer 5 - 6 mal so guten Auflösung nur $\approx 1/24$ igstel eines Markengitters kostet.

3. Die Technik

3.1 Die Fotodiode

Um die Intensität des Spektrums in Abhängigkeit der Wellenlänge mittels eines Schreibers oder Computers aufzeichnen zu können, informierten wir uns über die technischen Eigenschaften von Fotowiderständen und Fotodioden. Wir entschieden uns für die Fotodiode BPX 63 da sie eine lichtempfindliche Fläche von nur 1 mm^2 besitzt, außerdem hängt der Fotostrom nahezu linear von der Beleuchtungsstärke E (in Lux) ab (siehe Bild 5). Da die Empfindlichkeit S (in %) der Fotodiode aber auch von der Wellenlänge λ des Lichtes abhängt müssen die Angaben des Bildes 6 bei der Auswertung der Spektren berücksichtigt werden.

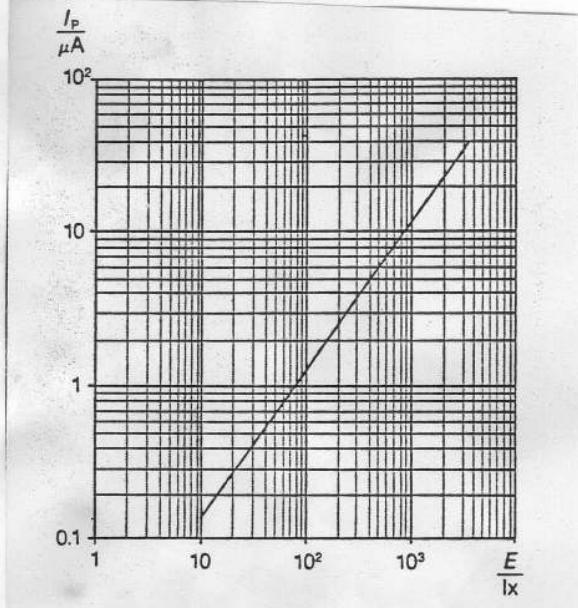


Bild 5

(Abhängigkeit des Photostroms von der Beleuchtungsstärke E)

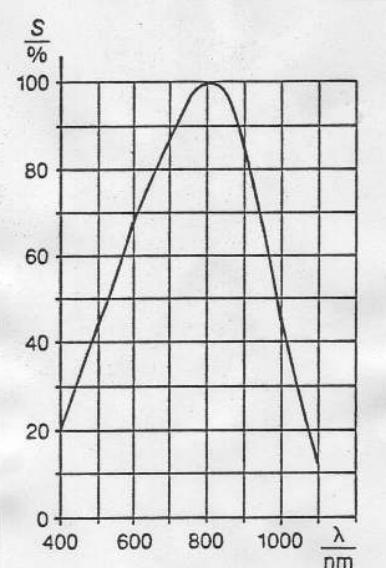


Bild 6

(Abhängigkeit der Empfindlichkeit S von der Wellenlänge)

3.2 Führung der Fotodiode

Die Fotodiode sitzt auf einem aus FISCHER-TECHNIK gebautem Wagen, der von einer Gewindestange der Größe M4 angetrieben wird und von zwei weiteren Gewindestangen geführt wird. Die Gewindestange mit einer Länge von 16 cm wird von einem Schrittmotor angetrieben. Dies erschien uns als die beste Lösung, da die Gewindestange eine sehr genaue Positionierung des Wagens zuläßt.

3.3 Die Verstärkung

Zum Verstärken der von der Fotodiode gelieferten Signale benutzten wir den Operationsverstärker LF 356. Der bipolare FET - Eingang (Feld-Effekt-Transistor) hat den Vorteil sehr hochohmig zu sein, wodurch ein geringer Eingangsfehlstrom erreicht wird. Der Verstärkungsfaktor kann über die Widerstände R_1 , R_2 und R_s um jeweils den Faktor 10 geändert werden. (Den Schaltplan entnehmen Sie bitte dem Anhang)

3.4 Die Steuerplatine

Einen Schrittmotor steuert man, indem man seine Anschlüsse umpolst. Will man den Schrittmotor mittels eines Computers ansteuern, so braucht man vier Ausgänge die im Wechsel sowohl positiv wie negativ sein müssen. Da dies etwas umständlich ist, wird dem Computer eine kleine Steuerschaltung nachgeschaltet, die das Umpolen und Umschalten der Anschlüsse für den Computer übernimmt. Diese Schaltung arbeitet mittels zweier Relais, wobei R_{e1} für die Umpolung der Anschlüsse zuständig ist und R_{e2} die Umschaltung der Anschlüsse übernimmt. Da die Relais einen etwas höheren Strom von $I \approx 50 - 100$ mA benötigen, der Computer aber so gut wie kein Strom zur Verfügung stellt, wird vor die Relais ein Transistor (BD 139) vorgeschaltet. Die beiden Widerstände (R_1 und R_2) begrenzen den Basisstrom, so daß der Computer und die beiden Transistoren nicht zerstört werden. R_3 und R_4 dienen zur Begrenzung des Stromes für den Schrittmotor. (Den Schaltplan entnehmen Sie bitte dem Anhang)

4. Die Hard- / Software

4.1 Das Cap-CS2

Als Interface zwischen Computer und Fotodiode / Schrittmotor benutzten wir das CAP-CS2 (ab hier "CAP" genannt) von der Firma LEYBOLD da uns dies von der Schule zur Verfügung gestellt wird und für unsere Zwecke vollkommen ausreicht. Das CAP besitzt zwei A/D-Eingänge, zwei D/A-Ausgänge und ein Relaisausgang, sowie vier TTL-Eingänge und vier TTL-Ausgänge und zwei digitale Eingänge (Lichtschrankeneingang) die aber für uns unwichtig sind. An den A/D-Eingang (Analog/Digital) schlossen wir die Fotodiode, an den D/A-Ausgang legten wir R_{e1} da dies für jeden Schritt des Schrittmotors umgeschaltet werden muß. Der D/A-Ausgang ist so programmiert, daß er als Steuerspannung $V = 3$ Volt abgibt, welche dann über T_1 verstärkt wird und R_{e1} ansteuert. R_{e2} legten wir an den Relaisausgang, da R_{e2} nur umgeschaltet werden muß, wenn man die Drehrichtung des Schrittmotors verändern will. Da die Schaltleistung des Relaisausgang des CAP sehr gering ist, wird der Steuerstrom, der durch den Relaisausgang fließt, über T_2 verstärkt, bevor er R_{e2} schaltet.

4.2 Das Programm

Das Steuerprogramm ist im TURBO-PASCAL 5.0 geschrieben, da uns die Unterrotieren zur Ansteuerung des CAP's nur für TURBO-PASCAL vorlagen. Das Programm mit integrierten Beschreibungen entnehmen Sie bitte dem Anhang.

5. Neue Überlegung

Als sich bei unserer Untersuchung herausstellte, daß das Spektrum durch Rotieren der CD um ihre eigene Achse bewegt werden kann, überlegten wir, daß man die Fotodiode fest installieren könnte und nur die CD mittels eines Schrittmotors mit einem sehr kleinen Schrittinkel drehen könnte. Dies hat den Vorteil, daß man erstens das 'CD-Spektrioskop' kleiner gestalten kann, da der Wagen, der die Fotodiode durch das Spektrum fährt, wegfällt und nur noch ein einziger 'Lichtstrahl' aus dem Spektrum von der CD zur Fotodiode 'übertragen' werden muß. Diesen 'Lichtstrahl' kann man dann über Umlenkspiegel im Zick-Zack durch das Gehäuse des Spektroskops 'laufen' lassen, wodurch sich die Auflösung stark erhöht, aber die Abmessungen des Spektroskops relativ klein bleiben. Ein möglicher mechanischer Aufbau befindet sich im Anhang.

6. Der Anhang

6.1 Das Programm

In dem unter diesem Text liegendem Kasten sehen Sie das Programm zur Ansteuerung des CAPs. Wie schon in Punkt 4.1 besagt wurde dieses Programm in TURBO-PASCAL 5.0 geschrieben. Die in {} gesetzten Bemerkungen dienen zur besseren Übersicht und Erklärung gedacht. Auf eine genaue Beschreibung wird hier deswegen verzichtet. Die etwas unübersichtliche Programmierung ist mit den nicht so guten TURBO-PASCAL Kenntnissen des Programmierers zu erklären.

```

program CD_Spekrograph;
uses CAP_CS2,CRT,DOS,GRAPH;
var
  dateiname          : file of shortint;
  r,ra,graphdriver,ms : integer;
  grafikmodus,i,x,y,fa : integer;
  ende               : boolean;
  wert               : array [1..1000] of shortint;
  datname            : string [12];
  taste,wahl         : char;
  am,aspm,as          : real;
procedure
  start,speichern,lesen,menu,enden,ausgeben;
begin
  menu:
  ende := false;
  begin
    REPEAT
      CLRSCR;
      TEXTCOLOR (0);
      TEXTBACKGROUND (15);
      WRITELN(" HTC ");
      WRITELN(" presents ");
      WRITELN(" the unlimite ");
      WRITELN(" CD - SPEKTROGRA ");
      WRITELN(" 1. > Messung Starten");
      WRITELN(" 2. > Messung speichern");
      WRITELN(" 3. > Messung lesen");
      WRITELN(" 4. > Messung ausgeben");
      WRITELN(" 5. > Ende");
      WRITE(" Ihre Wahl > ");
      wahl := READKEY;
      case wahl of
        '1' : GOTO start;
        '2' : GOTO speichern;
        '3' : GOTO lesen;
        '4' : GOTO ausgeben;
        '5' : GOTO enden;
      end;
    UNTIL Ende;
  end;

```



```

start:                               { Messung Starten}
begin
  CLRSCR;
  WRITELN;
  WRITELN;
  WRITE('Wie viele Schritte pro Messwert ____');
  READLN (aspm);
  am := 0;
  AD_Init (AD_B ,AD_3V); {AD-Eingang B am CAP auf 3V Empfindlichkeit}
  am := 1000 / aspm;
  WRITELN;
  WRITELN (am);
  WRITE ('Messung mit Return starten !!!');
  taste := READKEY;
  WRITELN ('Messung läuft !!! Bitte warten');
  ra := 0;
  r := 0;
  REPEAT
    wert[r] := AD (AD_B); {liest einen Wert von -178 bis 177 am AD-}
                           {Eingang B in die Variabel "wert" ein}
    IF aspm > 1 then
    ELSE DAV (DA_Y ,5 );
    begin
      REPEAT
        DAV (DA_Y , 5); {5V für einen Schritt des Schrittmotors}
        ra := ra +1
      UNTIL ra >= aspm;
    end;
    r := r + 1;
    WRITELN (r,' / ');
  UNTIL r >= am;
  WRITE ('Messung beendet');
  taste := READKEY;
  GOTO menu;
end;

speichern:                         {Speichern der Messergebnisse in der Datei}
                                   {(datname.dat)}
begin
  CLRSCR;
  WRITE ('Name der Datei (.dat wird angehängt) ____');
  READLN (datname);
  ASSIGN (dateiname,datname+' .dat');
  P

  { Testen ob Datei bereits vorhanden }

  begin
    {$I-}                                {Ausschalten des Abbruchs bei einem Fehler}
    RESET (dateiname); {Datei öffnen}
    IF IORESULT = 0 then {Wenn kein IO-Fehler exestiert Datei}

    { Datei exestiert bereits. Was tun ?? }

    begin
      GOTOXY (5,18);
      WRITELN ("Datei exestiert bereits !!!");
      WRITE ('Überschreiben ?? ( J / N / ESC )');
      taste := READKEY;
      IF ORD (taste) = 27 then {Bei ESC zurück zum Hauptmenu}
      begin
        CLOSE (dateiname);
        GOTO menu;
      end;
      IF taste = 'N' then

      begin                               {Datei schließen und neuen Namen eingeben}
        CLOSE (dateiname);
        GOTO speichern;
      end;

      {$I+}                                {Abbruch bei Fehler wieder einschalten}
      rewrite (dateiname); {Geöffnete Datei zum Überschreiben freigeben}
    end;
  end;
end;

```

```
for ra := 1 to r do
begin
  WRITE (dateiname,wert[ra]);      {Daten in die Datei schreiben}
end;

CLOSE (dateiname);
CLRSCR;
GOTO menu;
end;

lesen:          { Lesen von Werten aus der Datei datname.dat}

begin
CLRSCR;
WRITE ('Welcher Dateiname ? (.dat wird angehängt) ==>');
READLN (datname);
ASSIGN (dateiname , datname+'.dat');

{ Testen ob Datei exestiert }

begin
  {$I-};
  reset (dateiname);
  IF IORESULT <> 0 then {Wenn IO-Fehler vorliegt exestiert Datei nicht}
  begin
    GOTOXY (5,18);
    WRITELN ('Datei exestiert nicht oder kann nicht gelesen werden');
    WRITELN ('Bitte eine Taste drücken ESC = Hauptmenu');
    taste := READKEY;
    IF ORD (taste) = 27 then goto menu;
    GOTO lesen;
  end;
  {$I+};
end;

{ Lesen der Daten aus der Datei }

r := 0;
WHILE NOT EOF (dateiname) DO {solange Wiederholen bis EOF (End Of File)}
begin
  READ (dateiname , wert[r]);
  r := r + 1;
end;
GOTO menu;
end;

usgeben:        {Graphische Ausgabe der Messwerte}

begin
graphdriver := 7; {Nummer des Grafiktreibers (7 = Herkules)}
grafikmodus := 0;
INITGRAPH (graphdriver,grafikmodus,""); {Graphiktreiber initialisieren}
LINE (0,174,720,174); {Nulllinie}
MOVETO (0,174);
OUTTEXT ('O');
aspm := r / 348;
IF ROUND (aspm) < aspm then ms := ROUND (aspm) + 1;
ra := 0;
FOR i := 1 to ms do {Anzahl der Graphikseiten}
begin
  FOR x := 1 to 720 do
begin
  fa := wert [ra];
  y := 174+fa;
  ra := ra +1;
  IF y = 1 then
begin
  LINE (460,0,x,y);
  MOVETO (x,y);
end;
end;
```

```
end;
IF y > i then
begin
    LINETO(x,y);
end;

end;
OUTTEXTXY (1,1,'Bitte eine Taste !!!');
taste := READKEY;           { Nächste Graphikseite }
CLEARDEVICE;

end;
OUTTEXTXY (1,1,'Bitte eine Taste !!!');
taste := READKEY;           { Garphikbereich ausschalten}
CLOSEGRAPH;                 { und Hauptmenu aufrufen}
GOTO menu;

end;
enden;
end.
```

6.2 Berechnung von x

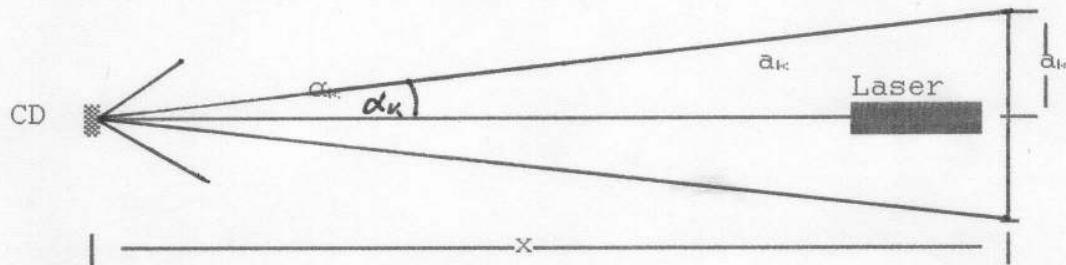


Bild 1

$$x = \frac{a_k}{\frac{\Gamma_2}{\sqrt{g^2 - \Gamma_1^2}} - \frac{\Gamma_1}{\sqrt{g^2 - \Gamma_2^2}}}$$

?

 $a_k = 16 \text{ cm}$ (Schirmgröße) $x = ?$ $\Gamma_1 = 400 \text{ nm}$ (Untere gewünschte Wellenlänge) $\Gamma_2 = 800 \text{ nm}$ (Obere gewünschte Wellenlänge) $k = 1$ (1. Maximum)
 $g = \frac{1 \text{ m}}{653082 \text{ LpM}} = 0.0000015$ (Gitterkonstante)

LpM = Linien pro Meter

$$x = \frac{0.16}{\frac{8^{-7}}{\sqrt{2.25^{-12} - 1.6^{-13}}} - \frac{4^{-7}}{\sqrt{2.25^{-12} - 6.4^{-13}}}} \Rightarrow$$

$$x = \frac{0.16}{0.5533 - 0.3152} \Rightarrow x = \frac{0.16}{0.2381} \Rightarrow$$

$$x = 0.6720 \text{ m} \Rightarrow x \approx 67 \text{ cm}$$

Bild 2
(Die Rechnung um x zu ermitteln)

6.3 Berechnung der Gitterkonstante

$$\tan \alpha_k = \frac{a_k}{x} = \frac{1,18 \text{ m}}{2,60 \text{ m}} \quad \alpha_k = \tan^{-1} 0,45384615 \Rightarrow a_k = 24,410737$$

$$g_k = \frac{k \cdot \Gamma}{\sin \alpha_k} = \frac{1 \cdot 632,8 \text{ nm}}{0,4132751} = \frac{6,328^{-7} \text{ m}}{0,4132751} = 1,5312^{-6} \text{ m}$$

$$\Rightarrow g = \frac{1}{g_k} \approx 653082 \text{ Linien pro Meter} \approx 653 \text{ Linien pro Millimeter}$$

Bild 3
(Die Rechnung für die Gitterkonstante)

(Diese Messung wurde an der Tafel, und nicht mit unserem CD-Spektroskop durchgeführt, deswegen weichen verschiedene Werte wie z.B. a_k von den oben genannten Werten ab, was aber keine Auswirkungen auf g hat)

6.4 Baupläne

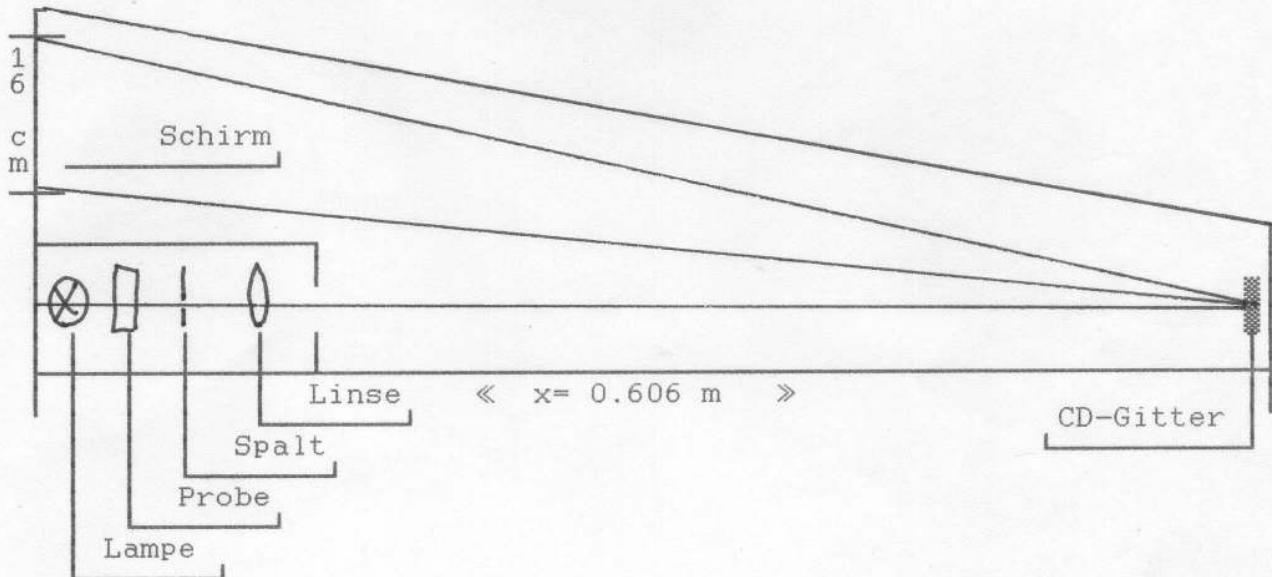


Bild 4 (Der mechanische Bauplan)

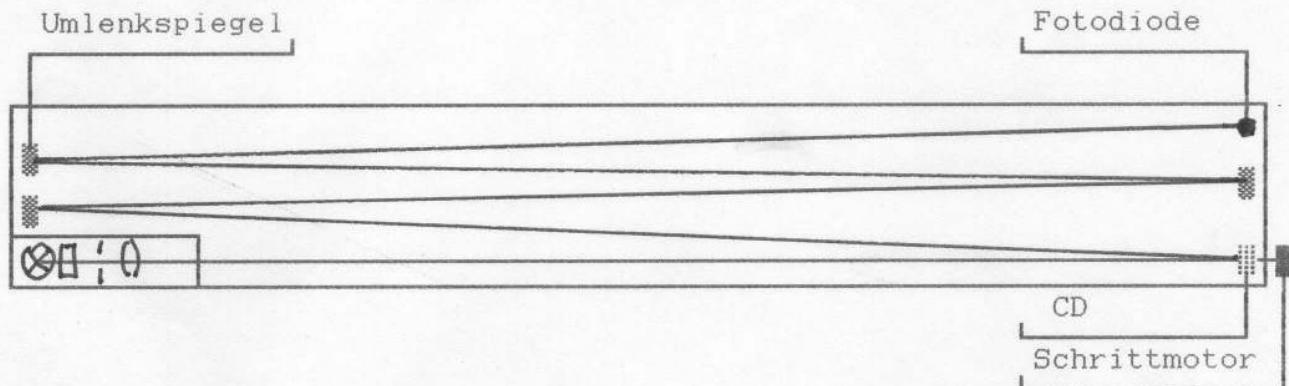
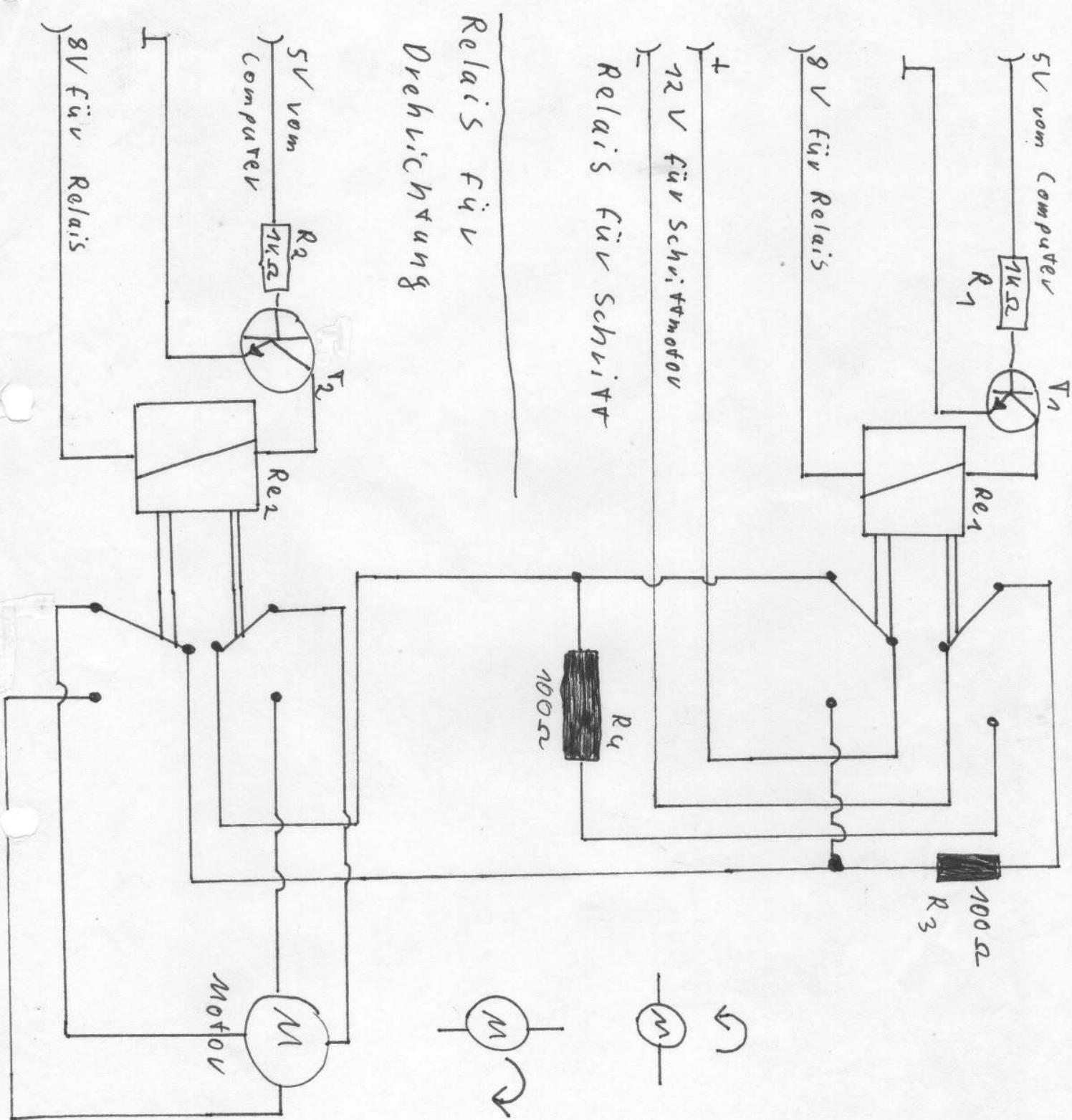


Bild 5
(Der mechanische Bauplan der Neuen Idee)

6.5 Literaturverzeichnis

1.
'Metzler Physik'
J. Grehn (Hg.)
2. Auflage
J. B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung Stuttgart
ISBN 3-476-50209-0
2.
'Praxis der Naturwissenschaften'
Heft 3/40 • 15. April 1991
Artikel:
Bestimmung der Intensitätsverteilung bei einem optischen Spektrum
Autor: F. Wörlein
S. 19 – 25
Aulius Verlag • Deubner & CO KG • Köln

Bild 7
Schaltplan der Steuerplatine