

Homepage: <http://www.home.hs-karlsruhe.de/~kero0001/>  
 E-Mail: [Kessler\\_Robert@web.de](mailto:Kessler_Robert@web.de)

# Auswuchtmaschine :

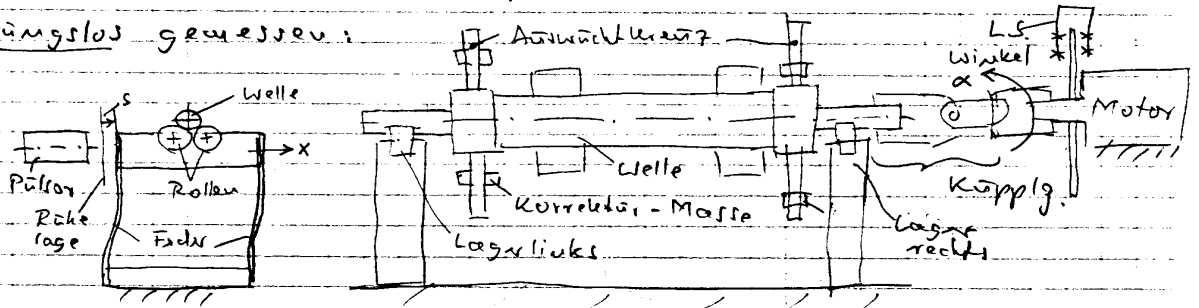
## Scan-Bilder aus Vorlesung Physikalische Messtechnik

Dr. Kessler Physikalische Messtechnik 30.6.88 Theorie Auswucht 1  
Zur Theorie der Auswucht-Maschine [2 Ebenen]

### 1) Anordnung und Signalgewinnung

[Vgl. Dipl. Arbeit Theo Kappenborgs]

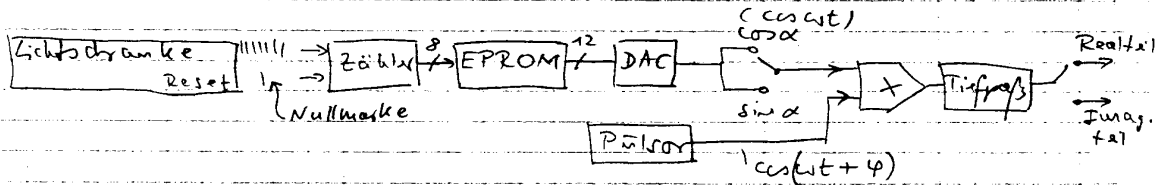
Die auszuwuchtende "Welle" liegt waagrecht (in z-Richtung) auf zwei Rollenlagern. Die Lager können sich gefedert [Parallelführung] reibungsfrei waagrecht bewegen [x-Richtung]. Die Auslenkungen links, rechts ( $s_L, s_R$ ) werden mit je einem "Pulser" berührungsfrei gemessen:



Mit dem Motor rotiert eine inkrementale Lichtschranke (256 "Schlitze") mit einem Null-Schleitz (photographisch erzeugt).

Die Lichtschrankenimpulse adressieren eine EPROM [Reset mit der Null-Markte]. In der EPROM ist der Sinus und Cosinus des Drehwinkels  $\alpha$  programmiert, ein 12 Bit DAC liefert als Analogspannung den  $\sin(\alpha)$  bzw.  $\cos(\alpha)$ .

Das Pulser-Signal wird mit dem  $\cos(\alpha)$  bzw.  $\sin(\alpha)$  multipliziert.  $\cos(\alpha)$  liefert den Realteil,  $\sin(\alpha)$  den Imaginärteil der Schwingung  $s(\alpha)$  ( $\alpha = \omega t$ ).



Störfrequenzen werden mit dem Tiefpaß eliminiert [im Prinzip]:

$$\underbrace{\cos(\omega t + \varphi)}_{\text{Nutzsignal}} + \underbrace{\cos(\omega_{\text{Stör}} t)}_{\text{Stör-Signal}} \cdot \underbrace{\cos(\omega t)}_{\text{Ausg. DAC}} = \frac{1}{2} \cos \varphi + \frac{1}{2} \cos(2\omega t + \varphi) + \frac{1}{2} \cos((\omega - \omega_{\text{Stör}}) t) + \frac{1}{2} \cos((\omega + \omega_{\text{Stör}}) t)$$

Komprimiert:

zur Tiefpaß-Eckfrequenz

- a) tief: Störfrequenz unterdrückt, aber Einstellzeit lang ↑ geht nicht durch Tiefpaß
- b) höher: " nicht so gut unterdrückt, dafür Einstellzeit kürzer

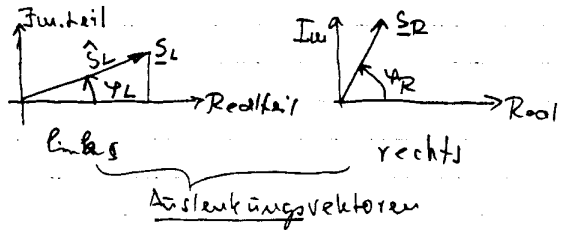
Theorie Auswucht 2

2 Aufstellung der Matrixgleichung

(a) vorläufige Bezeichnungen:  $\left. \begin{matrix} L \hat{=} \text{links} \\ R \hat{=} \text{rechts} \end{matrix} \right\} r, i \hat{=} \text{Realteil, Imaginärteil}$

Bei der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  der Welle sind infolge der Unwuchten  $U_L, U_R$  die an den Meßstellen gemessenen Auslenkungen periodisch mit Amplitude  $\hat{s}_L, \hat{s}_R$  und Phase  $\varphi_L, \varphi_R$

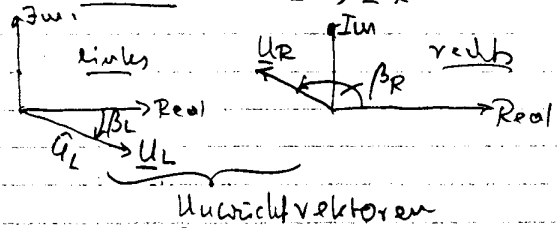
(1) links  $s_L = \hat{s}_L \cdot \cos(\omega t + \varphi_L)$   
 oder komplex geschrieben:  $\underline{s}_L$



(2) rechts  $s_R = \hat{s}_R \cdot \cos(\omega t + \varphi_R)$  komplex:  $\underline{s}_R$

Die Auslenkungen werden durch die Unwuchten  $U_L, U_R$  verursacht:

(3) links  $U_L = \hat{u}_L \cdot \cos(\omega t + \beta_L)$   
 komplex:  $\underline{u}_L$



(4) rechts  $U_R = \hat{u}_R \cdot \cos(\omega t + \beta_R)$

! Für nicht zu große Unwuchten kann man einen linearen Zusammenhang zwischen Ursache (= Unwucht) und Wirkung (Auslenkung) annehmen:

(5)  $\left. \begin{matrix} \underline{s}_L = \underline{K}_{LL} \cdot \underline{u}_L + \underline{K}_{RL} \cdot \underline{u}_R \\ \underline{s}_R = \underline{K}_{LR} \cdot \underline{u}_L + \underline{K}_{RR} \cdot \underline{u}_R \end{matrix} \right\} \begin{matrix} LL \hat{=} \text{linke Unwucht} \rightarrow \text{linke Auslenkung} \\ RL \hat{=} \text{rechte " } \rightarrow \text{" " " } \end{matrix}$

(6)  $\left. \begin{matrix} \underline{s}_L = \underline{K}_{LL} \cdot \underline{u}_L + \underline{K}_{RL} \cdot \underline{u}_R \\ \underline{s}_R = \underline{K}_{LR} \cdot \underline{u}_L + \underline{K}_{RR} \cdot \underline{u}_R \end{matrix} \right\} \begin{matrix} LR \hat{=} \text{linke " } \rightarrow \text{rechte " } \\ RR \hat{=} \text{rechte " } \rightarrow \text{" " " } \end{matrix}$

Die (zunächst) unbekannteren Koppelkoeffizienten  $\underline{K}_{LL} \dots \underline{K}_{RR}$

bestimmen die Systemeigenschaften. Kennt man die  $K$  Werte, kann man aus den gemessenen Auslenkungen  $\underline{s}_L, \underline{s}_R$  die unbekannten Unwuchten berechnen und daraus Korrekturvorschläge zum Auswuchten.

Theorie Auswucht 3

(7)  $\underline{s}_L = \underline{K}_{LL} \cdot \underline{u}_L + \underline{K}_{RL} \cdot \underline{u}_R$  Auslenkung des linken Lagers

Diese komplexe Gleichung mittels Real- u. Imaginärteilen geschrieben und ausmultipliziert sind nach Real- u. Imag. teil geordnet:

$\underline{s}_L = s_{Lr} + j \cdot s_{Li} = (K_{LLr} + j K_{LLi}) \cdot (u_{Lr} + j u_{Li}) + (K_{RLr} + j K_{RLi}) \cdot (u_{Rr} + j u_{Ri})$   
 ausmultipliziert:  
 $s_{Lr} + j s_{Li} = (K_{LLr} u_{Lr} - K_{LLi} \cdot u_{Li} + K_{RLr} \cdot u_{Rr} - K_{RLi} \cdot u_{Ri}) + j (K_{LLi} u_{Lr} + K_{LLr} \cdot u_{Li} + K_{RLi} \cdot u_{Rr} + K_{RLr} \cdot u_{Ri})$

Diese Gleichung kann man als Matrixgleichung schreiben, wobei die erste Zeile der Realteil ist, die zweite " " Imag. Teil " "

(8)  $\begin{pmatrix} s_{Lr} \\ s_{Li} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_{LLr} & -K_{LLi} \\ K_{LLi} & K_{LLr} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_{Lr} \\ u_{Li} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} K_{RLr} & -K_{RLi} \\ K_{RLi} & K_{RLr} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_{Rr} \\ u_{Ri} \end{pmatrix}$

! man beachte die Symmetrie der Koeffizienten  $K_{LLr} \dots K_{RLr}$

in entsprechender Weise ergibt sich für die Auslenk. des rechten Lagers:

(9)  $\underline{s}_R = \underline{K}_{LR} \cdot \underline{u}_L + \underline{K}_{RR} \cdot \underline{u}_R$ , als Matrix:

(10)  $\begin{pmatrix} s_{Rr} \\ s_{Ri} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_{LRr} & -K_{LRi} \\ K_{LRi} & K_{LRr} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_{Lr} \\ u_{Li} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} K_{RRr} & -K_{RRi} \\ K_{RRi} & K_{RRr} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_{Rr} \\ u_{Ri} \end{pmatrix}$

odn. die beiden Matrixgleichungen (9) u. (10) als 4 zeilige Matrizen-gleichg. geschrieben:

(11)  $\begin{pmatrix} s_{Lr} \\ s_{Li} \\ s_{Rr} \\ s_{Ri} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_{LLr} & -K_{LLi} & K_{RLr} & -K_{RLi} \\ K_{LLi} & K_{LLr} & K_{RLi} & K_{RLr} \\ K_{LRr} & -K_{LRi} & K_{RRr} & -K_{RRi} \\ K_{LRi} & K_{LRr} & K_{RRi} & K_{RRr} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_{Lr} \\ u_{Li} \\ u_{Rr} \\ u_{Ri} \end{pmatrix}$

(b) odn. schließlich mit Rechen-gereigneter Bezeichnung:

(12)  $\begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{mit Beacht. der Symmetrie:}} \begin{pmatrix} c_{11} & -c_{21} & c_{13} & -c_{23} \\ c_{21} & c_{11} & c_{23} & -c_{13} \\ c_{31} & -c_{41} & c_{33} & -c_{43} \\ c_{41} & c_{31} & c_{43} & -c_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{pmatrix}$

Auslenkungsvektor  $\begin{cases} s_1 = \text{Realteil links} \\ s_2 = \text{Fw. " } \\ s_3 = \text{Real rechts} \\ s_4 = \text{Fw. " } \end{cases}$  System-Matrix  $\begin{cases} u_1 = \text{Realteil links} \\ u_2 = \text{Fw. " } \\ u_3 = \text{Real rechts} \\ u_4 = \text{Fw. " } \end{cases}$

Theorie Auswucht 4

3. Bestimmung der Matrix-Elemente durch 3 Messläufe

Für die Matrixgleichung

$$\begin{pmatrix} s_1 \\ \vdots \\ s_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & \dots & c_{13} & \dots \\ c_{21} & \dots & c_{23} & \dots \\ c_{31} & \dots & c_{33} & \dots \\ c_{41} & \dots & c_{43} & \dots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_4 \end{pmatrix}$$

4
4
4
4

bekannt
unbekannt

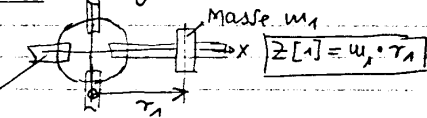
sind **12 Unbekannte** enthalten  
 a) 4 Unwucht Komponenten  $u_1, \dots, u_4$   
 b) 8 Matrixelemente  $c_{11} \dots c_{41}; c_{13} \dots c_{43}$

diesen 12 Unbekannten stehen nur 4 gemessene Größen  $s_1 \dots s_4$  (Schwingungsweg links & rechts) gegenüber.

! Um das Problem zu lösen, werden zwei weitere Messungen durchgeführt, wobei aber jeweils vorher eine bekannte Zusatzunwucht angebracht wird.

Für Folgendes wird eine bekannte Zusatzunwucht in  $+x$  Richtung links (Lauf 1) bzw. in  $+x$  " rechts (Lauf 2) angebracht.

Null-Lauf (ohne Zusatzunwucht)



**Lauf 1:** Erfolgreich Zusatzunwucht  $z[1]$  in  $+x$  Richtung links ist jetzt der Unwuchtvektor in der 1. Komponente geändert worden:  $u_1 \rightarrow u_1 + z[1]$ ; die Matrixgleichg. ist jetzt

Lauf 1:

$$\begin{pmatrix} s_1[1] \\ s_2[1] \\ s_3[1] \\ s_4[1] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & c_{44} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 + z[1] \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{pmatrix}$$

Lauf 0: (ohne Zusatzunwucht)

$$\begin{pmatrix} s_1[0] \\ s_2[0] \\ s_3[0] \\ s_4[0] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{pmatrix}$$

Folglich ist die Differenz dieser beiden Gleichungen:

$$\begin{pmatrix} s_1[1] - s_1[0] \\ s_2[1] - s_2[0] \\ s_3[1] - s_3[0] \\ s_4[1] - s_4[0] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & \cdot & \cdot & \cdot \\ c_{31} & \cdot & \cdot & \cdot \\ c_{41} & \cdot & \cdot & \cdot \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z[1] \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Es ergeben sich also aus dem Lauf 0 (ohne Zusatz) in dem Lauf 1 (Zusatzunwucht in  $+x$  links) die Matrixelemente der 1. Spalte

oder ausmultipliziert:

$$\begin{aligned} s_1[1] - s_1[0] &= c_{11} \cdot z[1] & \Rightarrow c_{11} &= \frac{s_1[1] - s_1[0]}{z[1]} \\ s_2[1] - s_2[0] &= c_{21} \cdot z[1] & \Rightarrow c_{21} &= \frac{s_2[1] - s_2[0]}{z[1]} \\ s_3[1] - s_3[0] &= c_{31} \cdot z[1] & \Rightarrow c_{31} &= \frac{s_3[1] - s_3[0]}{z[1]} \\ s_4[1] - s_4[0] &= c_{41} \cdot z[1] & \Rightarrow c_{41} &= \frac{s_4[1] - s_4[0]}{z[1]} \end{aligned}$$

allgemein:

$$c_{i1} = \frac{s_i[1] - s_i[0]}{z[1]}$$



Theorie Auswucht 5

Beim Lauf 2 wird die Züßatz imwücht links wieder aufmontiert und dafür eine Züßatz imwücht  $Z[2]$  rechts in +x Richtung angebracht.

Aus der Differenz der Matrixgleichungen Lauf 2 und Lauf 0 ergibt sich die Gleichg.

$$\begin{pmatrix} s_1[2] - s_1[0] \\ s_2[2] - s_2[0] \\ s_3[2] - s_3[0] \\ s_4[2] - s_4[0] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cdot & \cdot & c_{13} & \cdot \\ \cdot & \cdot & c_{23} & \cdot \\ \cdot & \cdot & c_{33} & \cdot \\ \cdot & \cdot & c_{43} & \cdot \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ Z[2] \\ 0 \end{pmatrix} \Rightarrow c_{i3} = \frac{s_i[2] - s_i[0]}{Z[2]}$$

[2] = Schwingweg - Lauf 2  
[0] = " " " " " 0

! durch die 3 Messläufe 0, 1, 2 ohne sind mit bekannten Züßatz imwüchten ergeben sich also die Elemente der ersten und dritten Spalte der System-Matrix. Die anderen beiden Spalten ergeben sich aus der Symmetrie (s. Gl. 12).

Damit sind alle Matrixelemente bekannt.

4. Berechnung der Unwüchten durch Lösen des Gleichungs-Systems.

Um die im ursprünglichen Zustand des Rotors enthaltenen Unwüchten  $U_1, \dots, U_4$  ( $\cong$  Lauf 0) zu berechnen, muß das Gleichungssystem gelöst werden,

$$\begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & & & \\ & \cdot & & \\ & & \cdot & \\ & & & c_{44} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{pmatrix}$$

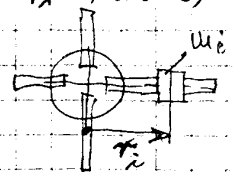
wobei  $s_1, \dots, s_4$  die Schwingwege des Null-Laufs sind.

Zur Programm wird das mittels des Hilfsprogramms "Mathpack" nach der Gauß'schen Eliminationsmethode durchgeführt. Der zugehörige Prozeduraufruf lautet (vgl. Programm)

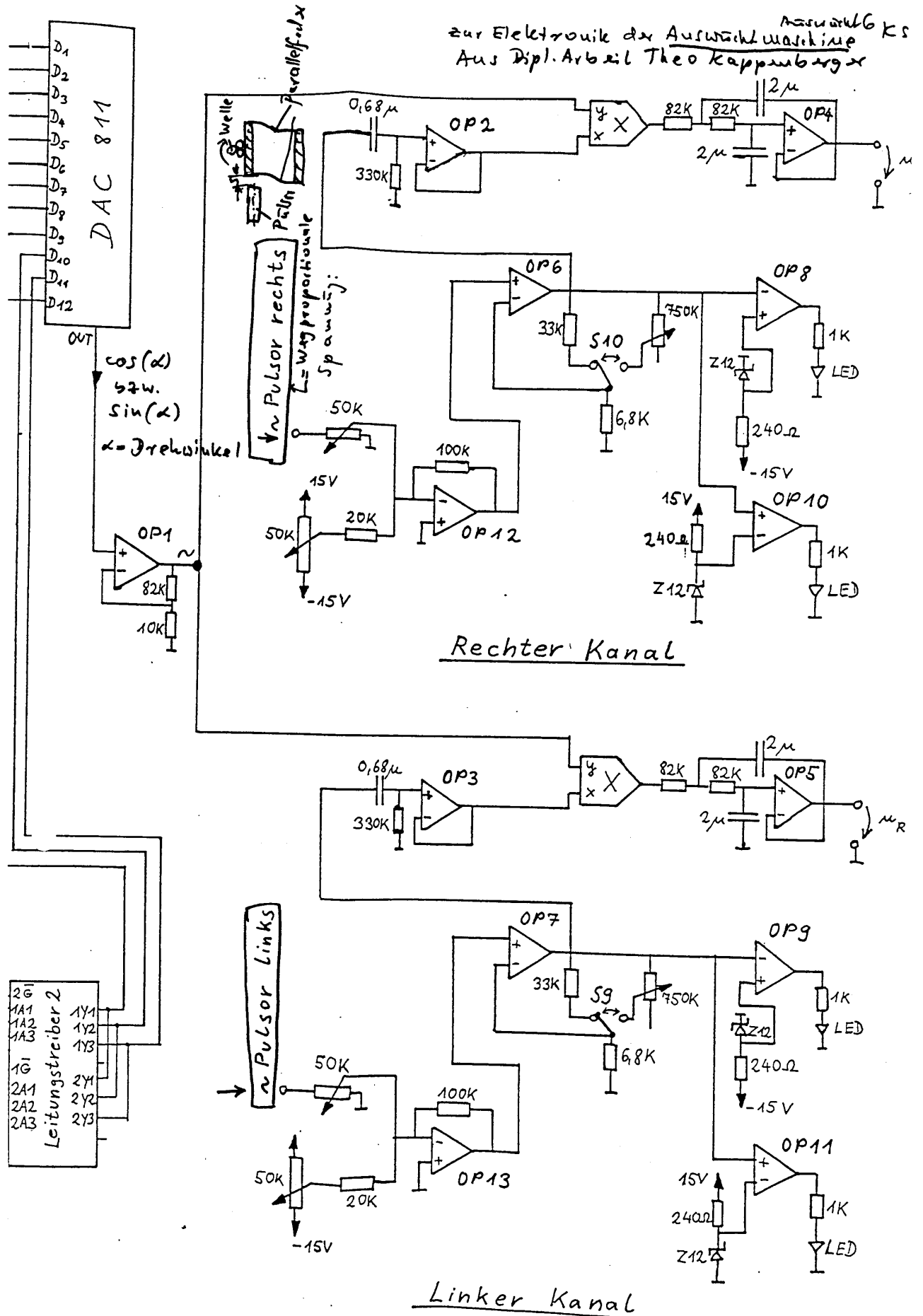
gaussel(c, unwücht, vektor, 4, 4, error);  
 ↑ Matrix                      ↑ Auslenkg.                      ↑ 4x4 Matrix

Aus den berechneten Unwücht Komponenten ergeben sich sofort die anzubringenden Korrektur unwüchten:

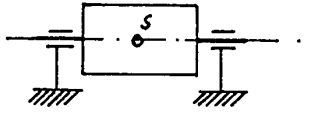
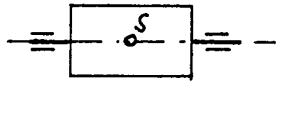
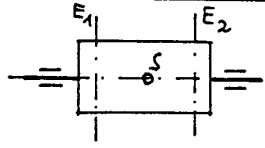
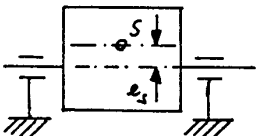
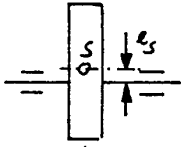
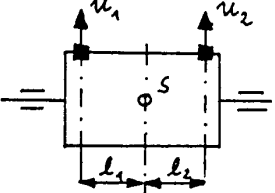
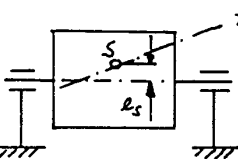
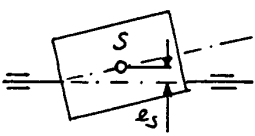
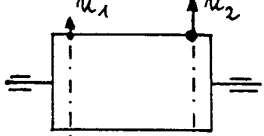
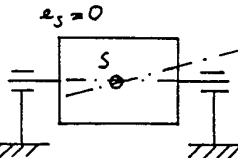
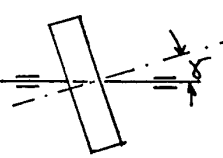
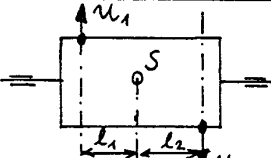
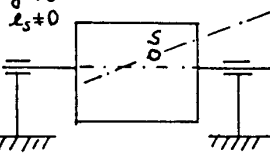
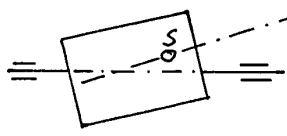
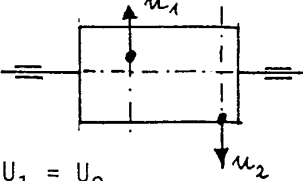
links ist in +x Richtg. anzubringen  $M_1 \cdot r_1 = -U_1$  ( $w_i = \text{Masse}$ ,  $r_i = \text{Radius}$ )  
 " " " +y " " "  $U_2 \cdot r_2 = -U_2$   
 rechts " " +x " " "  $U_3 \cdot r_3 = -U_3$   
 " " " +y " " "  $U_4 \cdot r_4 = -U_4$



zur Elektronik der Auswuchtmaschine K5  
 Aus Dipl. Arbeit Theo Kappenberg



Auswucht 7

| Lage von Schwerpunkt und zentraler Hauptträgheitsachse zur festen Drehachse $z^*$  | Praktische Beispiele  | Entstehung der Unwucht durch Ansetzen von Übermassen an einen völlig ausgewuchteten Rotor  |
|--|---|--|
|  <p>kein Schwerpunktsfehl.<br/>kein Achsenfehler</p>                          |  <p>vollkommen ausgewuchteter Rotor</p>  |   |
|  <p>Nur Schwerpunktsfehler<br/>Achsen parallel</p>                           |  <p>Achsenenkr. exzent. Kreisscheibe<br/>statisch unwuchtig</p>                       |  <p><math>U_1, U_2</math> in einer Ebene<br/><math>U_1 = U_2, l_1 = l_2</math></p>                                       |
|  <p>Achsen + Schwerpunktsf.<br/>Achsen schneiden sich außerhalb S</p>       |  <p>Versatz durch einseitigen Kugellagerradialschlag<br/>quasi-statisch unwucht.</p> |  <p><math>U_1</math> und <math>U_2</math> haben gleiche Richtung<br/>aber <math> U_1  \neq  U_2 </math></p>             |
|  <p>Nur Achsenfehler<br/>Achsen schneiden sich im Schwerpunkt S</p>         |  <p>Zentrische, schrägsteh. Kreisscheibe<br/>Momentenunwucht</p>                     |  <p><math>U_1</math> und <math>U_2</math> liegen in der selben Ebene<br/><math>U_1 \cdot l_1 = U_2 \cdot l_2</math></p> |
|  <p>Schwerp.+Achsenfehler in versch. Ebenen<br/>Kein Achsenschnittpunkt</p> |  <p>dynamisch unwuchtig</p>  |  <p><math>U_1 = U_2</math><br/><math>U_1</math> und <math>U_2</math> in versch. Axialebenen</p>                         |

Auswucht 9  
 Progr. Ausw 1

{ Auszuege aus Programm auswavg2 : Auswuchten in zwei Ebenen 30.6.88  
 R. Kessler }

```

procedure konstanten;
begin
    ma[1] := 2.32; ma[2] := 3.5; { Korrektur-Massen in Gramm }
    br[1] := 5.8; br[2] := 8.5; { Breite der " in mm }
    r0 := 16.5; { Naben_Radius des Auswuchtkreuzes }
end;
    
```

```

procedure matrixelemente_setzen; { D28, 6.4.88 }
begin
    
```

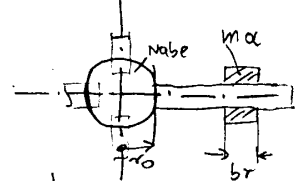
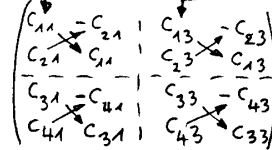
```

    for i:=1 to 4 do c[i,1]:=(s[i,1]-s[i,0])/z[1];
    for i:=1 to 4 do c[i,3]:=(s[i,2]-s[i,0])/z[2];
    
```

```

    c[2,2]:=c[1,1]; c[1,2]:=-c[2,1];
    c[2,4]:=c[1,3]; c[1,4]:=-c[2,3];
    c[4,2]:=c[3,1]; c[3,2]:=-c[4,1];
    c[4,4]:=c[3,3]; c[3,4]:=-c[4,3];
    
```

Symmetrie  
 der Matrix



Matrix c hat  
 zwar 16 Elemente  
 $c_{11} \dots c_{44}$ , aber  
 nur 8 sind un-  
 abhängig:  
 (Spalten 1, 3)  
 die anderen 8 ergeben sich  
 aus der Symmetrie

```

    for j:=1 to 4 do { Matrixelemente speichern : }
        for i:=1 to 4 do csp[nr,i,j]:= c[i,j];

    write(' Messwerte: ');
    gotoxy(15,wherey);
    writeln('coslinks sinlinks cosrechts sinrechts Zusatzunwucht');
    for j:=0 to 2 do
        begin
            write(' Lauf ',j,' : ');
            for i := 1 to 4 do
                begin
                    gotoxy(17+10*(i-1),wherey);
                    write(s[i,j]:3:3 );
                    gotoxy(58,wherey);
                    if j=0 then write('Verst = ',verst);
                    if j in [1,2] then
                        write('(',chm[j],', ',chpos[j],') ',wert[j]:2:1 );
                    end;
                end;
            writeln;
        end;

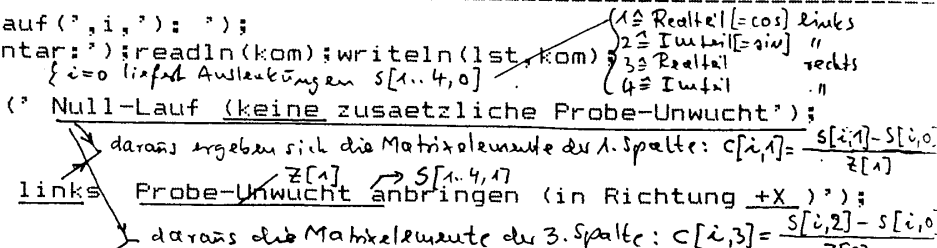
end; { matrixelemente setzen }
    
```

```

procedure messlauf(i: integer );
var sum : real; mfreq : integer; kom: string[80];
begin
    
```

```

    writeln('-----');
    write('Messlauf(',i,'): ');
    write('Kommentar: '); readln(kom); writeln(1st,kom);
    if i=0 then { i=0 liefert Auslenkungen s[1..4,0] }
        writeln(' Null-Lauf (keine zusaetzliche Probe-Unwucht) ');
    if i=1 then
        writeln(' links Probe-Unwucht anbringen (in Richtung +X) ');
    if i=2 then
        begin
            writeln(' rechts Probe-Unwucht anbringen (in Richtung +X) ');
            writeln(' ( die Probe-Unwucht links entfernen ! ) ');
        end;
    
```



Auswucht 9  
 Progo. Ausw. 2

```

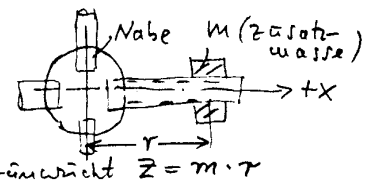
if i in [1,2] then
begin
write(' Zusatzmasse (gross/klein) <Eingabe g oder k>      : ');
repeat read(chm[i]) until chm[i] in ['k','g']; writeln;

if chm[i]= 'k' then begin m[i]:= ma[1]; breite[i]:= br[1]; end;
if chm[i]= 'g' then begin m[i]:= ma[2]; breite[i]:= br[2]; end;

writeln(' Soll Position der Probeunwucht als lichter Abstand<a> ')
write (' oder als Radius-Aenderung <r> angegeben werden? <a/r>:
repeat read(chpos[i]) until chpos[i] in ['a','r']; writeln;
case chpos[i] of
'a': begin
write(' lichter Abstand (mm): ');
readln( liwei[i] );

r[i]:=r0+breite[i]/2 +liwei[i];
wert[i]:= liwei[i];
end;
'r': begin
write(' Radius-Aenderung (mm) : ');
readln( r[i] );
wert[i]:= r[i];
end;
end;
z[i]:=m[i]*r[i]; { = Zusatz-Unwucht }
end;

```



```

writeln(' ( je 5 Messwerte eingeben, Korrektur mit x ) ');
write(' Cosinus spannung links (milliVolt): ');
messwert_holen(1,i); { Auslenkung s[1,i] = Realtteil, links, Lauf i }
                     {  $\leq \cos$   $\leq 1$  }

```

```

write(' Sinus spannung links (milliVolt): ');
messwert_holen(2,i);
s[2,i]:=richt*s[2,i]; { Auslenkung s[2,i] = Imag.teil, links, Lauf i }
                     {  $\leq \sin$   $\leq 2$  }

```

```

write(' Cosinus spannung rechts (milliVolt): ');
messwert_holen(3,i);
{ Auslenkung s[3,i] = Realtteil, rechts, Lauf i }
{  $\leq \sin$   $\leq 3$  }

```

```

write(' Sinus spannung rechts (milliVolt): ');
messwert_holen(4,i);
s[4,i]:= richt*s[4,i];
writeln;
{ Auslenkung s[4,i] = Imag.teil, rechts, Lauf i }
{  $\leq \cos$   $\leq 4$  }

```

```

sum := 0; for mfreq:=1 to 4 do sum:=sum + frequenz[mfreq,i];
freqmittel[i]:=sum/4;
messwerte_auf_drucker(i);
end;

```

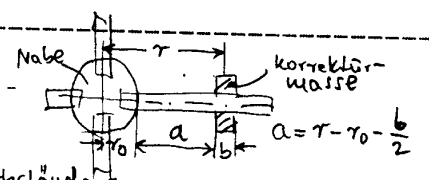
Auswucht 10  
 Progr. Ausw. 3

```

{ $I gaussel.p }
(* Maschinen-Programm des Programm pakets
MATHPACK, Gauss-sches Eliminationsverfahren
zur Loesung linearer Gleichungs-Systeme,
erfordert den KoProzessor 8087 *)
procedure gleichung_loesen;
begin
    for i:=1 to 4 do vektor[i]:=s[i,0];
    gaussel(c,unwucht,vektor,4,4,error);
    { loest das Gleichungs-System C * unwucht = vektor,
    dabei c = matrix [1..4,1..4],
    unwucht = zu berechnender Unwuchtvektor [1..4]
    s[i,0]=vektor = gemessene Auslenkungen [1..4] }
end;
matrix-Gleichung: 
$$\begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \text{unwucht}[1] \\ \text{unwucht}[2] \\ \text{unwucht}[3] \\ \text{unwucht}[4] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{vektor}[1] \\ \text{vektor}[2] \\ \text{vektor}[3] \\ \text{vektor}[4] \end{pmatrix}$$

    Vektor[1]=Realtail links
    Vektor[2]=Fmag.H links
    Vektor[3]=Realtail rechts
    Vektor[4]=Fmagtail rechts

procedure korrekturvorschlaege;
{berechnet aus dem durch Loesung des Gleichungs-systems berechneten
Unwuchtvektor Korrekturvorschlaege fuer Radian, an die
Korrekturmassen anzubringen sind:
Index 1 fuer Masse 1,
" 2 " " 2 }
begin
    { writeln; }
    write(' Vorschlaege fuer Radian [bzw Abstaende] der Korrektur-Massen');
    writeln(' ( in mm )');
    writeln(' -----');
    for i:= 1 to 4 do { i=1 @ x links
                     2 @ y links
                     3 @ x rechts
                     4 @ y rechts }
        begin
            rkor1[i]:= - unwucht[i]/ma[1] ; } Radian
            rkor2[i]:= - unwucht[i]/ma[2] ; }
            akor1[i]:= abs(rkor1[i]) -r0-br[1]/2 ; } Abstaende a
            akor2[i]:= abs(rkor2[i]) -r0-br[2]/2 ; }
        end;
    writeln(' Richtung mit kleiner Masse mit grosser Masse');
    writeln(' -----');
    for i:=1 to 4 do
        begin
            gotoxy(19,wherey); write(rkor1[i]:2:2);
            if akor1[i]>0 then write(' [',sign(rkor1[i])*akor1[i]:2:1, ']')
            else Write(' Gegenmasse ');
            gotoxy(40,wherey); write(rkor2[i]:2:1 );
            if akor2[i]>0 then write(' [',sign(rkor2[i])*akor2[i]:2:1, ']')
            else Write(' Gegenmasse ');
            writeln;
            if i = 2 then writeln;
        end;
    gotoxy(1,wherey-5);
    writeln('links x ');
    writeln('links y '); writeln;
    writeln('rechts x ');
    writeln('rechts y ');
end;
    
```



Auswucht 11  
 Progr. Ausw 4

```

{-----Hauptprogramm-----}
begin
  clrscr;
  writeln(' Auswuchten mit der 2-Ebenen-Maschine' );
  writeln(' -----');
  konstanten; { Masse in Breite der Korrekturmassen; Nebusradius r0 }
  nr:=0;
  write(' Drehrichtung (v. Motor gesehen) <rechts=r, links=l> ');
  repeat read(chricht) until chricht in ['r','l']; writeln;
  if chricht = 'r' then richt:=-1 else richt:= 1;
  write('Verstaerkung < 1 oder 10> : '); xpos:=wherex;
  read(verst);
  if not( verst in [1,10]) then begin gotoxy(xpos,wherey);clreol;end;
  until verst in[1,10];
  writeln;
  repeat
  nr:=nr+1;
  writeln('----- Messung Nr ', nr, ' -----');
  alte_Messung_fragen;
  repeat
  messlauf(0); { ohne Zusatzunwucht Real- in 3-wegteil links in rechts messen }
  ev_schon_damit_Unwucht_berechnen(chnl, chuber); s[1..4,0]
  until (chnl <> 'j') or (chuber <> 'j') ;
  write('Mess-laeufe mit Zusatz-Unwuchten?<j/n> ');
  repeat read(chzus) until chzus in['j','n']; writeln;
  if chzus = 'j' then
  begin
    for laufi := 1 to 2 do messlauf(laufi);
    matrixelemente_setzen; => System-Matrix C
    gleichung_loesen; => Unwuchtvektor [1..4]
    if error then writeln('singulaer')
    else
    begin
      ( for i:=1 to 4 do
        writeln('unwucht['',i,'] = ',unwucht[i]:2:2);
        writeln(lst);
        for i:=1 to 4 do
        write(lst,' Unwucht['',i,'] = ',unwucht[i]:2:2 );
        writeln(lst); )
      korrekturvorschlaege;
      messung_in_record(nr);
      auf_disk;
    end;
  end;
  writeln;
  write('weitere Messungen?<j/n> :');
  repeat read(ch) until ch in['j','n']; writeln;
until ch <> 'j';
end.

```

Lauf 1: Zusatzunwucht  
 $z[i] in + x links$   
 Lauf 2: Zusatzunwucht  
 $z[i] in + x rechts$