

# Protokoll Koordinatenmesstechnik (KMT1)

messungsidee

## 2. Theoretische Betrachtungen

In diesem Praktikum KMT1 geht es um das Vermessen eines Werkstückes (siehe Praktikumsanleitung S.50) mit verschiedenen Messmethoden. Dabei sollen bei den verwendeten Messgeräten der Aufwand bei der Messgerätevorbereitung und die Messungsgenauigkeit verglichen und gewertet werden. Desweiteren soll festgestellt werden, ob die zum Einsatz kommenden Geräte überhaupt für die zu messenden Objekte/Formelemente genutzt werden können. Es handelt sich zum einen um ein Zweikoordinatenmessgerät ZKM 05-250D und zum anderen um einen digitalen Messschieber, also nach der klassischen Methode. Gemessen werden 5 Längen (L1 - L5 siehe.S.50) . In einem weiteren Versuch wird an einem 3D Universal-Koordinatenmessgerät ein Werkstück mit vielen unterschiedlichen Formelementen vermessen.

Das Grundanliegen bei jeder Messung sollte eine tolerierbare Gesamtmessunsicherheit bei möglichst geringem Messaufwand sein. Um dies realisieren zu können, muss man Aufbau und Wirkungsweise der in Frage kommenden Geräte verstehen, damit man mögliches Fehlerpotenzial infolge Handhabungsfehler minimiert.

Bei dem im Praktikum verwendeten Werkstück (im 1. Versuch) handelt es sich um ein sehr einfaches plattenähnliches / flächiges Teil: es bedeutet, dass man es in einer Arbeitsebene (x-y-Ebene) vermessen kann. Zum besseren Verständnis möglicher Messfehler wird an dieser Stelle der Aufbau + Wirkungsweise der beiden verwendeten Geräte vom 1. Versuch erklärt.

Koordinatenmessgerät ZKM 05-250D

Grundgestell: Kreuztisch mit den Führungen für x- und y-Achse, z-Achse als Ständerbauform mit Grundplatte fest verbunden  
Zusätzliche Beleuchtung des Tisches von unten mit telezentrischem Strahlengang für Messungen im Schattenbildverfahren.  
Jede Koordinatenachse mit inkrementellen Wegmesssystem ausgestattet (mit Rechner gekoppelt)

Messpunktaufnahme:

Optoelektrisch (siehe auch Fragenbeantwortung Frage 5) *Es ist nicht*  
Messpunkt wird optisch (mit Zielmarken im Zwischenbild) angefahren und bei Erreichen des Messpunktes wird Taster ausgelöst und Koordinaten im Rechner gespeichert

Tastensystem: schaltender Taster nach Renishaw, an z-Führung angebracht (mit Rechner online gekoppelt) *no*

Rechner: PC mit Softwareprogramm MAUS (Mess-Auswertungssprache), über Schnittstelle mit ZKM gekoppelt

*hallo Sie sind bitte so freundlich  
und garantieren Fachbegriffe  
grausam hohes Niveau,  
Inhalt unexakt.*

### 3. Fragenbeantwortung aus der Versuchsanleitung (9.5.)

#### zu 1.: Vorteile / KMG

im allg. genauere Messergebnisse, als bei klassischen Messmethoden (Messschieber analog / digital)  
universelle Prüfkörperkonturen messbar  
keine (aufwendige) Prüflehren notwendig  
Ausrichtung des Prüfkörpers auf dem Messtisch am Gerätekoordinatensystem ist nicht nötig: Körper-KS lässt sich in  
Geräte-KS transformieren  
rechnergestützte Fehlerkorrektur von Geräteeffekten (elast. Verformung infolge Eigengewicht der Bauteile und der Messkraft, Kugeldeformation > Hertzsche Pressung < durch Messkraft, Tastkugellagekorrektur durch unterschiedliche Anfahrrichtungen des Tasters an das Werkstück  
Möglichkeit zur Erhöhung der Lagegenauigkeit eines zu messenden Formelementes durch Erhöhung der Messpunkteanzahl über die Mindestpunktzahl, die ein Formelement beschreibt, hinaus: gewöhnlich das 3 bis 5fache an Punkten / je mehr Punkte, desto genauer die Lagebestimmung (Gaußsche Ausgleichsrechnung: bestmögliche Einpassung durch Minimierung der Summe der Abstandsquadrate zum zu bestimmenden Formelement)

#### Nachteile / KMG

Gerätekosten hoch, da hoher Herstellungsaufwand  
Aufwand der Neuprogrammierung der Sollkontur einer neuen Prüfkörperform  
Messunsicherheiten lassen sich nicht einfach pauschalisieren: sie sind abhängig von der Messmethode / Messverfahren, der Prüfkörperoberfläche Anzahl der Messpunkte und deren Lage zueinander: sie sollten möglichst gleichmässig am Formelement verteilt sein ( z.B.: Bestimmung von Kreismittelpunkten und -radien, sowie Parallelitäten von Geraden zueinander )  
Einfluss der Hertzschen Pressung ist abhängig vom Prüfkörperwerkstoff, d.h., für jeden neuen Werkstoff muss der Taster neu kalibriert werden

#### Fazit

Einsatz von KMG möglichst bei einer großen Werkstückanzahl, damit eine Neuprogrammierung der Computersoftware für neue Formelemente/Berandungskonturen möglichst selten vorkommt (aufwendig → zeitintensiv)

Möglichst Messungen an einfachen Werkstückgeometrien durchführen, damit das Programmieren der Berandungskontur des Prüflings möglichst schnell geht

Bei weichen Prüfkörperwerkstoffen die kontaktlosen Messmethoden (optoelektr.) den Methoden mit Tastsystemen vorziehen. Falls dies aus Gründen der zu großen Oberflächenrauheit nicht möglich ist, sollten möglichst große Tastkugelradien verwendet werden ( um den Einfluss der Hertzschen Flächenpressung zwischen Kugel und Werkstückoberfläche klein zu halten, es kann sonst ein zu großer Messfehler infolge von Deformationen an Tastkugel u. Werkstückoberfläche entstehen )

#### zu 2.:

Die Genauigkeit der Messergebnisse könnte sich wie folgt verbessern lassen:

- möglichst viele Messpunkte erfassen: desto genauer kann das Formelement approximiert werden
- Gleichverteilung (Abstände) der Messpunkte an dem zu messenden Formelement
- Einflüsse der Umgebung auf Messunsicherheiten ( nichtgerätespezifisch ) möglichst bei allen Messungen konstant halten

#### zu 3.:

Bei den Verdichtungsoperationen werden die aufgenommenen Messpunkte mittels Ausgleichsrechnung zu einem Formelement berechnet. Die Ausgleichsrechnung bezieht sich dabei auf das vorher programmierte formideale Ersatzelement, welches als Berechnungsgrundlage dient.

Die hier verwendete Rechnung ist nach dem Verfahren von C.F. Gauß: das gespeicherte, ideale

Formelement wird so in die vorher angefahrenen und gespeicherten Koordinatenpunkte eingepasst, das die Summe der quadratischen Abstände dieser Punkte zum vorliegenden Formelement minimal wird.  
( Fehlerrechnung nach Gauß )

*was hat das mit Fehlerrechnung zu tun?*

#### zu 4.

Bei klassischen Messverfahren, z.B. Messschieber, können konvexe Flächen oder Konturberandungen schlecht oder gar nicht gemessen werden, dies trifft auch auf Bohrungen und sonstige konkave Formen zu. Beispielsweise können beim Bestimmen v. Bohrungsdurchmessern mit einem Messschieber gleich mehrere Fehler auftreten: es ist fast nicht möglich die größte Sehne  $\rightarrow$  Durchmesser zu finden, da es für das menschl. Auge nicht mehr im hundertstel mm-Bereich erfassbar ist (Bedienungsfehler).

Durch die Messkraft, die aufzubringen ist, werden elast. Deformationen am Messschieber und Prüfling hervorgerufen. Ausserdem kommt es bei kleineren Radien zu Messfehlern, wenn die Kontaktfläche des Messschiebers an 2 Punkten am Werksstück aufliegt: die dadurch am Kreis hervorgerufene Sehne verfälscht das Messergebnis.

Winkelmessungen (Innenwinkel) sind auch nur mit Aufwand durch klassische Methoden durchführbar. Das Bestimmen von Bohrungs-/Kreismittelpunkten und Mittelpunktabständen ist nach klassischen Methoden nicht realisierbar.

#### zu 5. Aufbau eines 3D-KMG:

Grundsätzlich besteht es aus 2 Hauptkomponenten: dem Messgerät an sich und dem online gekoppelten Rechner für die Messauswertung.

Messgerät:  $\rightarrow$  Grundgestell aus 3 senkrecht aufeinander stehenden Linearführungen mit je 1 Freiheitsgrad, also jede Führung bildet 1 Achse des Koordinatensystems. Jede Führung hat ein Antriebssystem und ist durch Kugelumlaufeinheiten (gespannt) gelagert. Ausserdem ist an jede Führung ein inkrementales Wegmesssystem angeschlossen.

Die konstruktive Anordnung der Führungen lässt sich durch 4 Grundbauarten unterscheiden:

- 1.: in Ständerausführung (Kreuztisch für x und y-Koordinaten + Ständer, fest am Grundgestell verbunden, für die z-Koordinaten)
- 2.: in Portalform ( Tisch lässt sich nur in x-Richtung bewegen, darüber feststehendes Portal, (am Grundgestell befestigt): daran wird der in y-Richtung beweglich gelagerte Ständer für die Bewegung in z-Richtung bewegt
- 3.: in Auslegerform ( die Führung der x-Richtung trägt die beiden anderen Führungen an einem einseitigen Ausleger: an diesem ist die z-Führung ,in y-Richtung beweglich gelagert, befestigt )
- 4.: in Brückenform ( ein Kreuztisch für "x" und "y" trägt die z-Führung, dieser Tisch ist über dem Messraum angeordnet, sodass der Prüfling unbewegt bleibt  $\rightarrow$  für lange Bauteile gut geeignet)

$\rightarrow$  Messpunkterfassung durch Taster oder berührungslos durch optische Verfahren (Schattenbildverfahren durch telezentrische Beleuchtung des Prüflings v. unten und in Zwischenbildebene befindlichen Visiermarken werden zum anfahren des dort vorhandenen reellen Zwischenbildes genutzt, per elektr. Auslöser wird der gewählte Messpunkt gespeichert) Tastsysteme werden meist an der z-Führung befestigt

Messauswertung: über eine im angeschlossenen Rechner integrierte Software (z.B. "MAUS"), die schon Formelemente gespeichert haben muss. Dann werden diese Elemente in die Messpunkte durch Ausgleichsrechnung nach Gauß, Tschebyscheff.. einpasst. Es muß vor Beginn der Messungen ein Prüffolgeplan erstellt werden, damit man am effektivsten die Messergebnisse über die Rechner-Auswertung erhält.  
Weiterhin nimmt das MAUS-Programm Fehlerkorrekturen an Tastsystemen vor, es korrigiert den Messwert um den verwendeten Tastkugelradius in Abhängigkeit von seiner Antastrichtung.

#### zu 6.:

Das Abbe'sche Komparatorprinzip fordert eine fluchtende Anordnung von Messsystem und das am Prüfling zu messenden Maßes, also eine direkte Messung. An einem KMG (z.B. in Portalbauweise) ist dies gar nicht möglich, da sie mit inkrementalen Wegmesssystemen ausgerüstet sind, d.h., es erfolgt die Umwandlung einer gemessenen Länge in die Anzahl an Umdrehungen des Spindelantriebes der einzelnen Führungen.

*muss nicht sein.*

*Wird so*

#### 4. Durchführung des 1. Versuches

Werkstückvermessung mit KMG ZKM 05-250D (optoelektrisch)

Anfahren der zu vermessenden Formelemente über mehrere Punkte und Messdatenübertragung und -speicherung im PC durch Betätigung eines Tasters. Die zu vermessenden Formelemente wurden in einer bestimmten Reihenfolge abgearbeitet, d.h., es wurde vorher ein Prüffolgeplan festgelegt. Es wurden die Formelemente Geraden und Kreise zuerst vermessen, um damit später ihre Abstände, Winkel oder Schnittpunkte zu berechnen. Dabei wurde jedes Element ca. mit dem 3...5fachen seiner zur eindeutigen Bestimmung notwendigen Mindestmesspunktezahl angefahren.

Der Prüffolgeplan sah wie folgt aus:

Messungen: 1. G1 2. G2 3. K4 4. G5 5. G6 6. K9 7. K8 8. K3  
 G....Gerade K....Kreis  
 (Messungen wurden zum Teil wiederholt: deshalb diese Reihenfolge)

Berechnungen: 1. L1 2. W1 3. L4 4. P7 5. L3 6. L2 7. L5  
 Berechnungssyntax : siehe Protokollausdruck

Als Ziel stand die Erfassung der Längen L1 bis L5 und ihre Messgenauigkeit, um mit den Werten einen Vergleich zu den Werten für L1 bis L5 vom Messschieber (klassische M.) anzustellen.

Messdaten / Fehlereinflüsse

Messunsicherheit/Messschieber(digital) = 0.04mm

Messunsicherheit/ZKM 05-250D =  $3,5+0,7 \times K+L/60$  [ $\mu\text{m}$ ]  
 K...Kantenqualität [0-4], hier als 1 gesetzt  
 L....Messlänge [mm]

Längen: [mm]	L1	L2	L3	L4	L5
Nennmaß	20	28	57,4	14	20
Oberes Abmaß	+0,04	+0,15	+0,05	Allg.:+0,2	+0,05
Unteres Abmaß	0	-0,15	-0,05	Allg.: -0,2	-0,05
<b>Messung mit KMG ZKM-05 250D</b>					
Messwert	19,9989	27,9979	57,3088	14,1735	22,3056
Messunsicherheit	0,0045	0,0047	0,0052	0,0044	0,0046
Toleranzhaltig	Nein	Ja	nein	Ja	nein
Gerät geeignet	Ja	Ja	ja	Ja	ja
<b>Klassische Messung (Messschieber-digital)</b>					
Messwert	20,04	28,1(*)	57,5065(*)	14,25	nicht messbar
Messunsicherheit			0,04		
Toleranzhaltig	Ja	Ja	Nein	nein	%
Gerät geeignet	Nein	Nein	Nein	ja	nein
					%

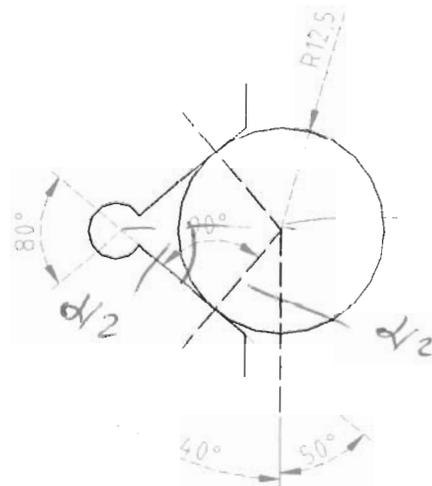
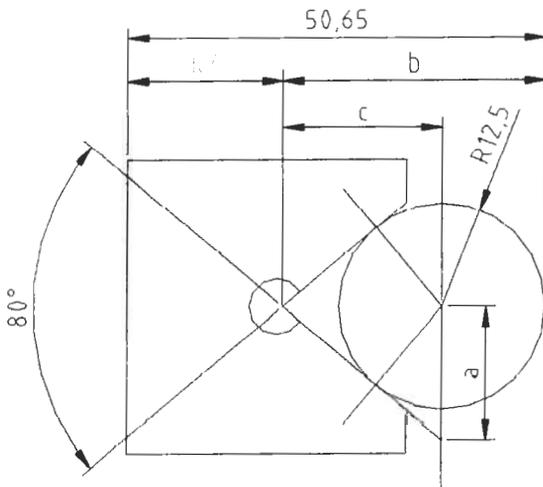
(\*).....errechnete Werte

*\* Längen ungenügend l. ist nicht messbar!*

#### Klassische Messung für Konstante k (rot)

Hier geht es um die Bestimmung der Länge L3 über den "Umweg" einer Winkellehre, da ein angenommener Schnittpunkt mit einem Messschieber nicht möglich ist. Dazu wird es nötig die Lehre mit einem eingelegten Zylinderstift zu messen. Dadurch wird die konstante k bei bekannten Öffnungswinkel der Lehre bestimmt und damit L3 durch das Messen der Gesamtlänge D (Lehre + Werkstück)

E=50,65mm (gemessen mit Messschieber)  
 R=12,5mm



### Rechengang zur Bestimmung von L3:

$$\cos 40^\circ = R/a \rightarrow a = r / \cos 40^\circ$$

$$\tan 40^\circ = a/c \rightarrow c = a / \tan 40^\circ \rightarrow c = (R / \cos 40^\circ) / (\sin 40^\circ / \cos 40^\circ)$$

$$b = c + R \rightarrow b = R / \sin 40^\circ + R$$

$$k = E - b$$

$$k = E - R(1/\sin 40^\circ + 1)$$

$$k = 18,70\text{mm}$$

$$k = 50,65 - 12,5 \cdot (1 + 1/\sin 40^\circ) = 18,7034$$

$$D - k = L3 \quad D = 76,21\text{mm} \rightarrow \underline{L3 = 57,5065\text{mm}}$$

## 5. Versuchsauswertung

Es ist einiges an Aufwand zum Messen eines Werkstückes auf der ZKM 05-250D nötig.

- 1.: Werkstückzeichnung muß vor Messbeginn in geometrische Grundelemente zerlegt werden und im Rechner gespeichert sein. *haben Sie das gemacht*
- 2.: Werkstück muss entgratet und gereinigt werden, damit genügend hohe Kantenqualität vorliegt
- 3.: Hauptfehlerquelle ist beim Anfahren der Messpunkte: es erfordert einiges an Erfahrung jede Kante gleich zu "treffen". Abhilfe wäre die Erhöhung der Messpunkteanzahl, bedeutet aber auch mehr Zeitaufwand.
- 4.: Ausrichtung des Prüflings am Geräte-KS ist nicht nötig, da Werkstück-KS in Geräte-KS transformierbar ist
- 5.: Datenerfassung und Auswertung ist aufgrund des einfachen Programmaufbaus schnell erledigt
- 6.: im Vergleich beider Messsysteme wurde gezeigt, dass das ZKM durch seine geringe Messunsicherheit ( $< 6 \mu\text{m}$ ) in der Lage ist, die Maße und geforderten Toleranzen am Werkstück zu überprüfen.
- 7.: Im Gegensatz zum Messschieber ließen sich alle Maße mit der ZKM bestimmen

## 6. Zweiter Versuch (Demo)

Hier ging es um die Handhabung einer 3D Universal-Koordinatenmessgerät in Portalbauart mit einem induktiven Messtaster. *was soll dieses Thema?*

Als erstes wurden uns die Arbeitsschritte zum Starten der Messungen erläutert:

Dabei mußte zuerst der Nullpunkt des Gerätekoordinatensystems im Arbeitsraum angefahren werden, das inkrementale Messsystem arbeitet deshalb mit Bezugspunkt, um Fehlerkorrekturen (Tasterdurchmesser, Anfahrrichtung...) über die Software durchführen zu können.

Das Kalibrieren Des verwendeten Tasters erfolgt an einer am Gerätetisch befestigten Kalibrierkugel mit bekanntem Durchmesser. Sie wird aus allen 3 Achsenrichtungen angefahren und die Software kann nun Fehlerkorrekturen im Bezug auf Anfahrrichtung, Versatz usw. durchführen.

Weiterhin muss am Werkstück ein Nullpunkt (Werkstück-KS) festgelegt werden, dazu wird eine

Bezugsfläche, eine Normale dazu und ein zugehöriger Punkt bestimmt.

Bei den Messungen an sich wird der Taster an die zu überprüfende Kontur herangefahren bis beim Antasten ein akustisches Signal die aufgenommenen Messdaten bestätigt und der nächste Punkt angefahren werden kann.

### Auswertung

- Bedienung erfolgt einfacher und schneller als bei der ZKM, es werden automatisch die Formelemente erkannt, die über einen Bedien-Bildschirm interaktiv angezeigt werden.
- bei der Messpunktaufnahme erkennt die Steuerung
- Als weiterer Vorteil ist die konstante und sehr geringe Messkraft anzusehen, d.h., sie ist nicht vom Bediener abhängig.
- durch die konstruktive Ausführung der Führungen (Luftgelagert) arbeitet diese Maschine mit einer höheren Genauigkeit, als eine ZKM 05-250D

*was zu beweisen wäre*

### Literaturangabe:

- Weise, Schröter Fertigungsmesstechnik und Qualitätssicherung, 2./3. Studienbrief
- Fertigungsmesstechnik, Oldenbourg V. 1998

*Mit einer solchen Leistung werden Sie  
in absehbarer Zeit kann Ihr Studium  
erfolgreich abschließen, mal sehen  
was die Klausuren ergibt*

\*\*\*\*\*  
 \* TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN  
 \* Institut für Fertigungsmeßtechnik und Qualitätssicherung  
 \*  
 \* Koordinaten-Meßauswertung mit Programmsystem MAUS (2D) - XT/AT  
 \* (C) MWH/RL  
 \*\*\*\*\*

PROTOKOLL

Betrieb/Einrichtung : TUD / Meßlabor KMT  
 Werkstück - Bez. : 08-15 Zeichnungs-Nr. : 1  
 Datum : 26.04.1982 Nutzer : Praktikum  
 Meßgerät : 2D/3D-Koordinatenmeßgerät  
 Taster-Durchmesser : 0.0000  
 Rechner : IBM-kompatibel, Herkules-Grafik-Karte, Festplat  
 MAUS-Programm :  
 Soll-Daten : IST-Daten :  
 Bemerkungen : Auswertung nach DIN 1101

FORM - ABWEICHUNGEN

Geraden Nr	X	Y	Winkel	S	N	Fäbw	Tol.	Tol-Üb
1	-18.1461	-1.0127	-7.5816	0.0058	5	0.0154		
2	-14.8520	18.7241	-7.0698	0.0071	10	0.0248		
5	-122.2980	-64.0244	47.1446	0.0187	5	0.0516		
6	-127.4948	-35.3736	-32.5724	0.0129	5	0.0269		
10	-94.3796	-21.4174	28.7417	0.0000	0	0.0000		

Kreise Nr	X	Y	Radius	S	N	Fabw	Tol.	Tol-Üb
3	-154.1975	-54.2233	6.8899	0.0239	8	0.0709		
4	-34.5617	11.3886	6.9954	0.0069	4	0.0123		
8	-135.7998	-41.3827	1.2862	0.0202	8	0.0666		
9	-154.3009	-54.3773	10.1332	0.0494	8	0.1508		

Punkte Nr	X	Y
7	-107.5421	-48.1203

MAß - ABWEICHUNGEN

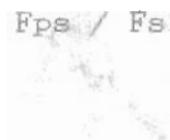
Längen Nr	SOLL-IST-Vergleich Ist	Nenn	o.Abm	u.Abm	Abw	Tol-Üb
2	27.9979 L2					
3	57.3088 L3					
4	14.1735 L4					
5	22.3056 L5					
7	16.6774					
10	19.9989 L1					
30	47.1756					
40	21.1690					

Winkel Nr	SOLL-IST-Vergleich Ist	Nenn	o.Abm	u.Abm	Abw	Tol-Üb
1	0.00110"					

Längen	Lage-Abweichungen			
Nr	Ist	Tol.	Diff	Tol-Üb
6	0.1786			

Bezeichnungen:

X,Y : Schwerpunkt/Kreismitelpunkt  
 Fabw : Formabweichung Fg / Fk / Flp  
 S : Standardabweichung  
 N : Anzahl der Meßpunkte  
 Tol : Toleranz für Lageabweichung Fp / Fr Fps / Fs  
 Abw : Differenz zwischen Ist- und Nennmaß  
 Tol-Üb: Toleranzüberschreitung



MAUS-Programm :  
 Soll-Daten : IST-Daten

- |                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| <del>1 G1=Q</del>      | 21 P7=G5,G6             |
| <del>2 G1=Q</del>      | <del>22 L30=P7,K9</del> |
| 3 G1=Q                 | 23 L30=P7,K9            |
| 4 G2=Q                 | 24 L3=L30+K9            |
| 5 L1=G1,G2             | 25 K8=Q                 |
| 6 L10=G2,G1            | 26 K3=Q                 |
| 7 W1=G1,G2             | 27 G10=K4,K3 L2         |
| <del>8 K3=Q</del>      | 28 L5/PG10=K8,K3        |
| <del>9 K3=Q</del>      | 29 L7/PG2=K8,K3         |
| 10 K4=Q                | 30 L6/P=G1;G2           |
| 11 L2=K3,K4            | 31 L6/P=G1,G2           |
| 12 L40=L2-K3           | 32 PROTO                |
| 13 L4=L40-K4           |                         |
| <del>14 G5=Q</del>     |                         |
| <del>15 G6=Q</del>     |                         |
| <del>16 P7=G5,G6</del> |                         |
| <del>17 K9=Q</del>     |                         |
| 18 G5=Q                |                         |
| 19 G6=Q                |                         |
| 20 K9=Q                |                         |