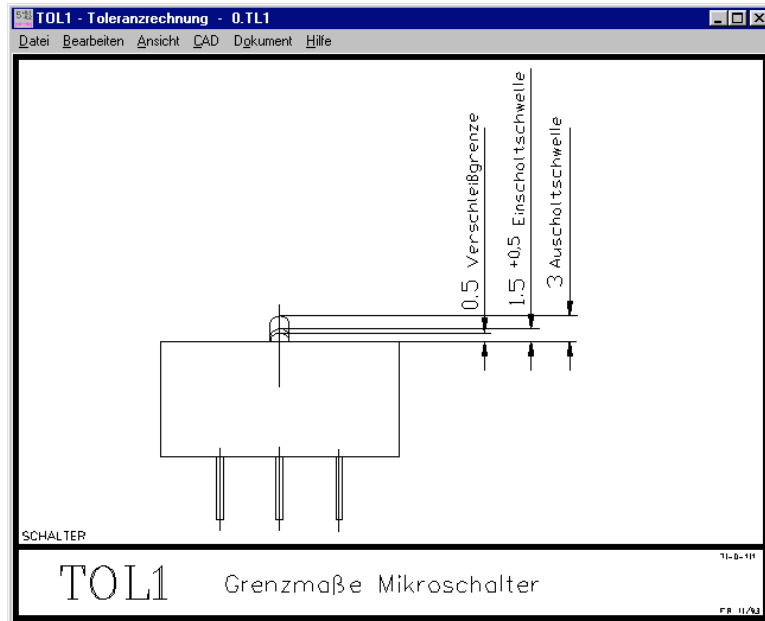


7. Berechnungsbeispiel

Anhand eines Beispiels soll die Anwendung der Toleranzrechnung gezeigt werden. Es soll ein Sicherheitsschalter konstruiert werden, der bei Betätigung eine Anlage abschaltet.

Als Schaltelement wird ein Mikroschalter verwendet, von dem folgende Maßzeichnung vorliegt:



Für eine sichere Betätigung ergeben sich damit folgende Schaltbereiche für das Stellglied:

Stellung aus: > 3.3 mm d.h. der Betätigungsknopf muss völlig entlastet sein

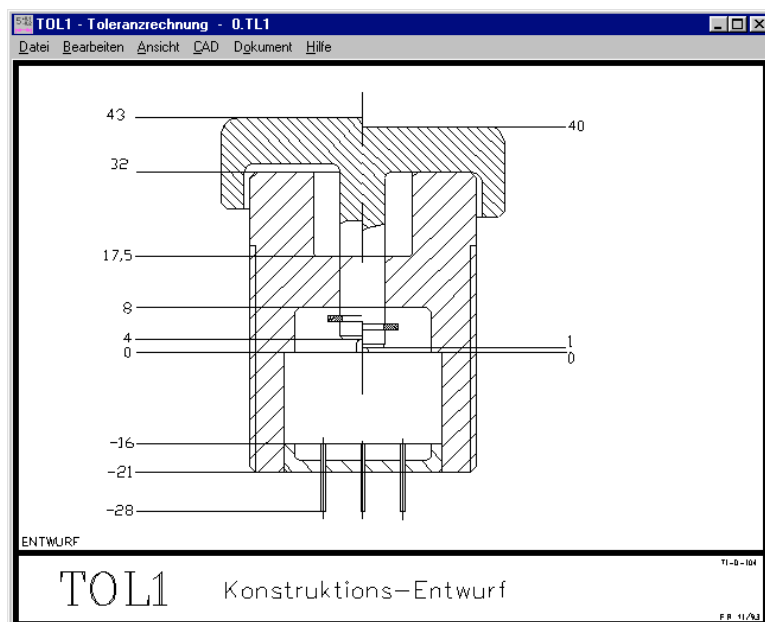
Stellung ein: > 1.5 mm : Umschalten noch nicht gewährleistet

< 0.5 mm : Beschädigung möglich

Anhand der Toleranzrechnung soll überprüft werden, ob diese Schaltpunkte eingehalten werden. Außerdem sollen die Gesamtabmessungen mit Toleranzen festgestellt werden.

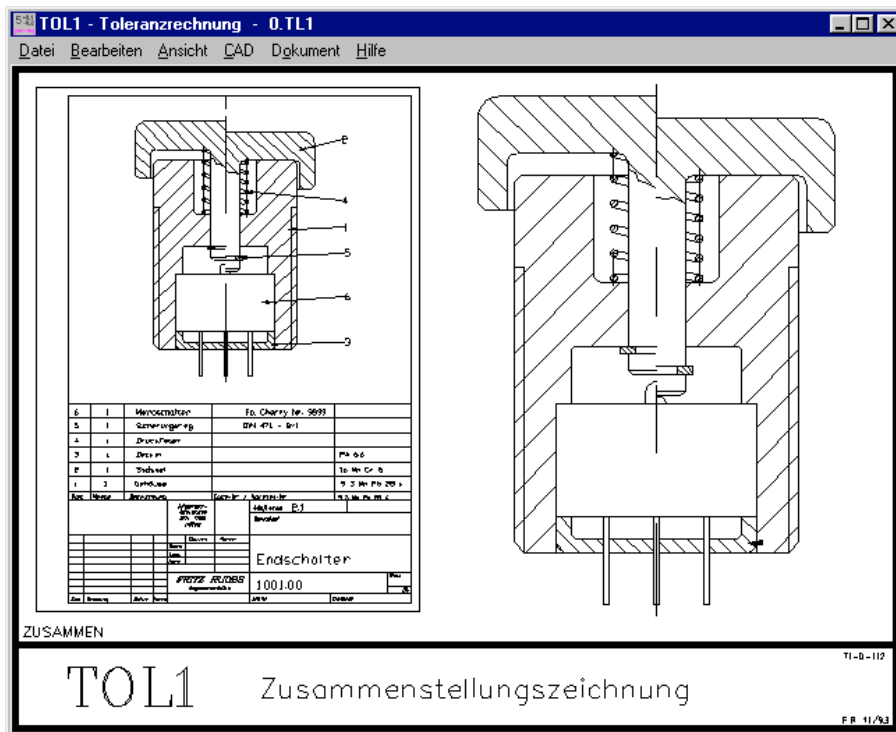
7.1. Entwurf

Als erstes wird ein Entwurf erstellt. Der Mikroschalter wird in ein Gehäuse eingebaut und mit einem Deckel verschlossen. Der Mikroschalter wird mit einem Stößel gegen die Kraft einer Druckfeder betätigt.



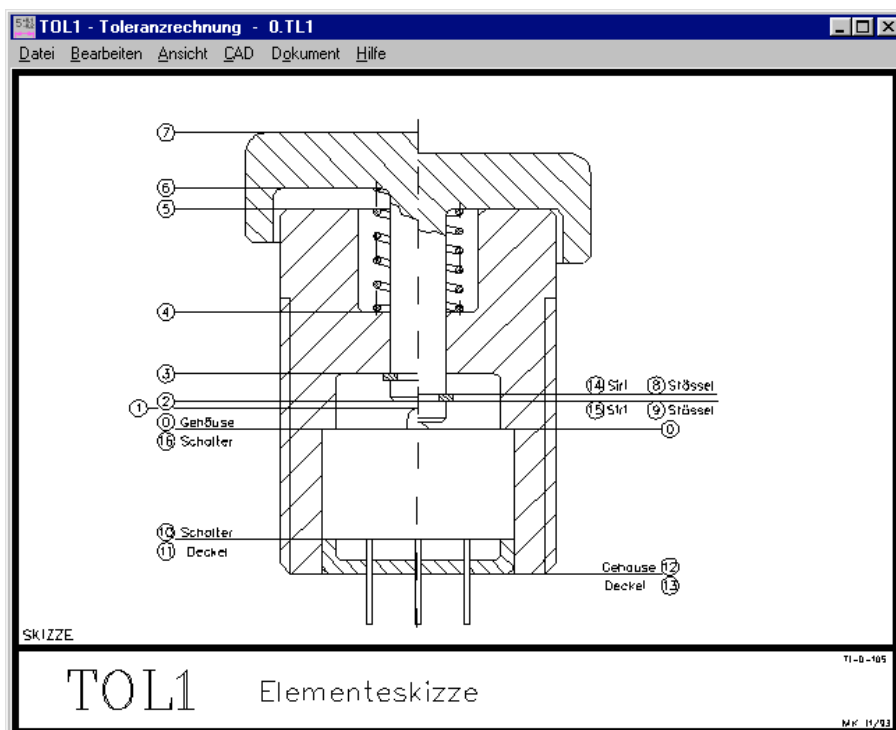
7.3. Zusammenstellung und Stückliste

In Zusammenstellungszeichnung und Stückliste sind die Zeichnungsteile Gehäuse, Stößel und Deckel, das Kaufteil Schalter sowie die Normteile Sicherungsring und Druckfeder nochmals aufgeführt.



7.4. Elementeskizze

Mit der Elementeskizze beginnt die Vorbereitung zur Toleranzrechnung. Das Element 0 ist die als Wurzelement gewählte Schalterebene. Alle weiteren Maßelemente werden in beliebiger Reihenfolge durchnummeriert. Für die Berechnung der Schaltsicherheit würde es zwar genügen, nur die daran beteiligten Elemente aufzuführen. Da hinterher jedoch oft noch das eine oder andere Maß zusätzlich berechnet werden soll, z.B. Gesamtabmessungen, werden gleich alle wichtigen Elemente in Elementeskizze und Elementetabelle aufgenommen.



7.5. Elementetabelle

Für die Toleranzrechnung des Endschalters müssen gleich zwei Elementetabellen erstellt werden, und zwar für Schalterstellung 'aus' und Schalterstellung 'ein'.

Wir beginnen mit Schalterstellung 'aus' und zwar mit dem Gehäuse, weil hier das Wurzelement 0 enthalten ist. Zuerst kommen die Elemente, welche das Wurzelement 0 als Vorgänger enthalten, also das Element 12. Anhand von Einzelteilzeichnung und Elementeskizze werden jetzt Vorgängerelement, Richtung des Maßvektors, Nennmaß sowie obere und untere Toleranzgrenze ermittelt und in die Elementetabelle eingetragen (siehe auch 5.2.1. Eingabe). Vorgängerelement von 12 ist 0, die Richtung -, das Maß 21 ± 0.1 . Es folgen die Elemente, die auf 12 aufbauen, also 3 und 5, und als letztes Gehäuseelement die Nr.4. Jetzt kommen die Elemente des Mikroschalters, dessen Element 16 unmittelbar an Element 0 des Gehäuses anliegt. Für Oberflächenrauheit und Schmutzablagerungen kann jedoch eine Fügetoleranz von ± 0.05 eingetragen werden. Als nächstes folgen die Elemente 1 und 10 des Mikroschalters. Das nächste zu erfassende Bauteil ist der Deckel, dessen Element 11 wiederum mit Element 10 des Schalters bis auf die Fügetoleranz übereinstimmt. Da die Verbindung des Stößels zum Gehäuse in dieser Schaltstellung über einen Sicherungsring hergestellt wird, müssen zuerst dessen Elemente 14 und 15 beschrieben werden. Zuletzt kann dann der Stößel mit seinen Elementen 2, 6, 7, 8 und 9 eingetragen werden.

Zusammenfassend eine logisch richtige Reihenfolge bei Erfassung der Elemente in der Elementetabelle:

12 - 3 - 5 - 4 - 16 - 1 - 10 - 11 - 13 - 14 - 15 - 9 - 8 - 2 - 6 - 7

Für die Erstellung der Elementetabelle in Schaltstellung 'ein' kommen 2 Möglichkeiten in Betracht:

1. Neuerfassung aller Elemente wie oben beschrieben
2. Abänderung der unterschiedlichen Daten

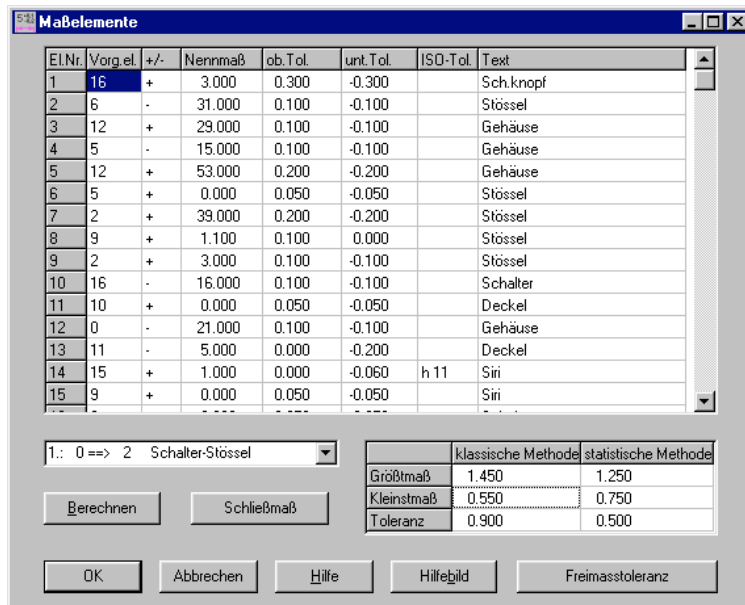
Hier soll die zweite Möglichkeit betrachtet werden, wobei sich die Frage stellt, was sich gegenüber der Schaltstellung 'aus' ändert. Wegen der unterschiedlichen Verbindung zwischen Stößel und Gehäuse ändern sich die Vorgänger der beteiligten Elemente. Bestand diese Verbindung in Stellung 'aus' zwischen den Elementen 3 - 14 - 15 - 9, so wird sie jetzt durch die Elemente 5 - 6 realisiert. Dadurch ergeben sich folgende Änderungen:

- Element 6 erhält Vorgängerelement 5
- Element 2 erhält Vorgängerelement 6
- Element 9 erhält Vorgängerelement 2
- Element 14 erhält Vorgängerelement 15
- Element 15 erhält Vorgängerelement 9

Die Maße und Toleranzen müssen entsprechend vertauscht werden.

7.6. Toleranzrechnung mit TOL1

Wenn Sie die Elementetabellen vorliegen haben, kann TOL1 gestartet werden. Mit dem Passwort TRAIN arbeiten Sie im Übungs-User TRAIN. S_EIN und S_AUS sind die Toleranzrechnungsdateien für Schalterstellung ein und aus. Sie können über das Dateimenü eingelesen werden. Unter "Bearbeiten-Elemente" können die 16 Elemente eingegeben werden.



Dann werden die kritischen Abstände eingegeben. Bei Schaltstellung 'aus' ist dies 1 => 2 und bei Schaltstellung 'ein' 0 => 2.

Mit "Ansicht->Krit.Abstände" können die Ergebnisse ausgegeben und überprüft werden.

```

=====
MASSAUFBAU : 0 <= 12 <= 5 <= 6 <= 2
=====
-----
1. Klassische Methode mit konstanter Verteilung:

    0 ==> 2      Größtmaß   :   1.450           0.450
                  Nennmaß    :   1.000           1.000 -----
Schalter-Stößel  Kleinstmaß  :   0.550           -0.450
-----

2. Statistische Methode mit Gaußscher Normalverteilung

    0 ==> 2      Größtmaß   :   1.250           0.250
                  Mittelmaß   :   1.000           1.000 -----
Schalter-Stößel  Kleinstmaß  :   0.750           -0.250
-----

```

Ist alles in Ordnung, wird die Datei gesichert unter dem Namen S_EIN. Die bereits vorhandene Datei S_EIN wird überschrieben. Die Dateien S_EIN und S_AUS kann man sich ausdrucken lassen.

Auszug S_AUS (Endschalter in Stellung 'aus')

Beispieldatei
 Endschalter in Schaltstellung "aus"
 zum Anwendungsbeispiel aus dem TOL1-Handbuch

El.	Vorg.	±	Nennmaß	ob.Abm.	unt.Abm.	ISO	Text
1	16	+	3.000	0.300	-0.300	.....	Sch.kopf
2	9	-	3.000	0.100	-0.100	.....	Stößel
3	12	+	29.000	0.100	-0.100	.....	Gehäuse
4	5	-	15.000	0.100	-0.100	.....	Gehäuse
5	12	+	53.000	0.200	-0.200	.....	Gehäuse
6	2	+	31.000	0.100	-0.100	.....	Stößel
7	2	+	39.000	0.200	-0.200	.....	Stößel
8	9	+	1.100	0.100	0.000	.....	Stößel
9	15	+	0.000	0.050	-0.050	.....	Stößel
10	16	-	16.000	0.000	-0.200	.....	Schalter
11	10	+	0.000	0.050	-0.050	.....	Deckel
12	0	-	21.000	0.100	-0.100	.....	Gehäuse
13	11	-	5.000	0.000	-0.200	.....	Deckel
14	3	+	0.000	0.050	-0.050	.....	Siri
15	14	-	1.000	0.000	-0.060	h11	Siri
16	0	+	0.000	0.050	-0.050	.....	Schalter

Schließmaße bei konstanter Verteilung

Distanz	Nennmaß	ob.T.	u.Tol.	Größtmaß	Kl.maß	Bemerkung
1 2	1.000	0.810	-0.750	1.810	0.250	Spiel Schalter
12 13	0.000	0.600	-0.200	0.600	-0.200	Deckel-Gehaeuse
12 7	64.000	0.560	-0.500	64.560	63.500	Gesamtlänge
5 6	3.000	0.660	-0.600	3.660	2.400	Schaltweg

Schließmaße bei Gaußscher Normalverteilung

Distanz	Mit.maß	ob.T.	u.Tol.	Größtmaß	Kl.maß	Bemerkung
1 2	1.030	0.358	-0.358	1.388	0.672	Spiel Schalter
12 13	0.200	0.187	-0.187	0.387	0.013	Deckel-Gehaeuse
12 7	64.030	0.257	-0.257	64.287	63.773	Gesamtlänge
5 6	3.030	0.275	-0.275	3.305	2.755	Schaltweg

Schließmaße

Spiel Schalter
 Deckel-Gehaeuse
 Gesamtlänge
 Schaltweg

Der kleinste Abstand zwischen Schalterknopf und Stößel (1 => 2) ist 0.25 mm, was als Sicherheit verbleibt.

Aus Berechnung 12 => 13 wird ersichtlich, daß der Deckel um höchstens 0.2 mm gegenüber dem Gehäuse erhaben und maximal 0.6 mm versenkt ist.

Distanz 7=>12 ist die Gesamtlänge des Endschalters.

Distanz 5=> 6 ist der Schaltweg, der demnach zwischen 2.4 mm und 3.66 mm schwanken kann.

Das gleiche Ergebnis erhält man übrigens, wenn man die Distanz 3=>14 in Schaltstellung 'ein' berechnet.

Ausdruck S_EIN (Endschalter in Schalterstellung 'ein')

```
-----
TOL1 - Toleranzrechnung      Version 9.0
Lizenz-Nr. 0098 * * * SIEMENS AG Bad Neustadt
H:\APPS\TP\TRAIN\S_ein.TOL   Datum: 03/15/1999   Zeit: 15:47
-----
```

Beispieldatei
Endschalter in Schaltstellung "ein"
zum Beispiel aus dem TOL1-Handbuch

```
=====
```

El.	Vorg.	±	Nennmaß	ob.Abm.	unt.Abm.	ISO	Text
1	16	+	3.000	0.300	-0.300	.....	Sch.knopf
2	6	-	31.000	0.100	-0.100	.....	Stößel
3	12	+	29.000	0.100	-0.100	.....	Gehäuse
4	5	-	15.000	0.100	-0.100	.....	Gehäuse
5	12	+	53.000	0.200	-0.200	.....	Gehäuse
6	5	+	0.000	0.050	-0.050	.....	Stößel
7	2	+	39.000	0.200	-0.200	.....	Stößel
8	9	+	1.100	0.100	0.000	.....	Stößel
9	2	+	3.000	0.100	-0.100	.....	Stößel
10	16	-	16.000	0.100	-0.100	.....	Schalter
11	10	+	0.000	0.050	-0.050	.....	Deckel
12	0	-	21.000	0.100	-0.100	.....	Gehäuse
13	11	-	5.000	0.000	-0.200	.....	Deckel
14	15	+	1.000	0.000	-0.060	h11	Siri
15	9	+	0.000	0.050	-0.050	.....	Siri
16	0	+	0.000	0.050	-0.050	.....	Schalter

```
999
-----
```

Schließmaße bei konstanter Verteilung

```
=====
```

Distanz	Nennmaß	ob.T.	u.Tol.	Größtmaß	Kl.maß	Bemerkung
0 2	1.000	0.450	-0.450	1.450	0.550	Schalter-Stößel
14 3	3.000	0.660	-0.600	3.660	2.400	Schaltweg
13 12	0.000	0.300	-0.500	0.300	-0.500	Abschl.deckel
12 7	61.000	0.550	-0.550	61.550	60.450	Gesamtlänge

```
-----
```

Schließmaße bei Gaußscher Normalverteilung

```
=====
```

Distanz	Mit.maß	ob.T.	u.Tol.	Größtmaß	Kl.maß	Bemerkung
0 2	1.000	0.250	-0.250	1.250	0.750	Schalter-Stößel
14 3	3.030	0.275	-0.275	3.305	2.755	Schaltweg
13 12	-0.100	0.187	-0.187	0.087	-0.287	Abschl.deckel
12 7	61.000	0.304	-0.304	61.304	60.696	Gesamtlänge

```
-----
```

=====

Schließmaße

=====
Schalter-Stößel
Schaltweg
Abschl.deckel
Gesamtlänge

Der kleinste Abstand zwischen Schalerebene und Stößel ist 0.55 mm, was eine noch verbleibende Sicherheit von 0.05 mm bis zur Verschleißgrenze von 0.5 mm bedeutet. Für den größten Abstand mit 1.45 mm bleibt ebenfalls eine Sicherheit von 0.05 mm gegenüber der Schaltgrenze mit 1.5mm.

7.7. Optimierung

Eigentlich könnte man mit dem Ergebnis so zufrieden sein, sind doch alle Forderungen eingehalten. Um eine zusätzliche Sicherheit zu schaffen, soll jedoch versucht werden, die Differenz zwischen Größt- und Kleinstmaß des Abstands $0 \Rightarrow 2$ zu reduzieren, um hier eine größere Reserve als die 0.05 mm zu haben. Hierfür gibt es 2 Möglichkeiten:

1. Verkürzung des Maßaufbaupfades
2. Verkleinerung der Toleranzen

Beide Methoden werden jetzt ausprobiert.

7.7.1. Optimierung durch Verkürzung des Maßaufbaupfades

Anhand der Elementeskizze werden jetzt alle Elemente innerhalb eines Bauteils zusammengefasst. Sind von einem Bauteil mehr als 2 Elemente vorhanden, so kann der Maßaufbau auf das erste und letzte Element des Bauteils zusammengefasst werden.

```
Gehäuse          Stößel
-----
MASSAUFBAU: 0 => 0 <= 12 <= 5 <= 6 <= 2
-----
1. Klassische Methode mit konstanter Verteilung:
0 ==> 2          Größtmaß   :   1.450           0.450
                  Nennmaß    :   1.000           1.000 -----
Schalter-Stößel  Kleinstmaß  :   0.550           -0.450
-----
```

In unserem Beispiel ergibt sich damit folgende Änderung:

Element 5 erhält Vorgängerelement 0, Maß 32 +/- 0.15

Nach Neuberechnung erhält man folgende Ausdrücke auf Bildschirm und Drucker:

```
-----
MASSAUFBAU: 0 => 0 <= 5 <= 6 <= 2
-----
1. Klassische Methode mit konstanter Verteilung:
0 ==> 2          Größtmaß   :   1.300           0.300
                  Nennmaß    :   1.000           1.000 -----
Schalter-Stößel  Kleinstmaß  :   0.700           -0.300
-----
```

```
-----
TOL1 - Toleranzrechnung                               Version 3.0
Lizenz-Nr. 0001 * * * XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
User: TRAIN  Datei: S_EIN_1  Datum: 5.1.1989  Zeit: 15:56
-----
```

Beispieldatei mit optimiertem Maßaufbau
Endschalter in Schaltstellung "ein"
zum Beispiel aus dem TOL1-Handbuch

```
-----
Element  Vorgänger  Richtung  Nennmaß  ob.Toleranz  unt.Toleranz
-----
1         16           1         3.000    0.300       -0.300
2         6            -1        31.000   0.100       -0.100
3         12           1         29.000   0.100       -0.100
-----
```

4	5	-1	15.000	0.100	-0.100
5	0	1	32.000	0.150	-0.150
6	5	1	0.000	0.050	-0.050
7	2	1	39.000	0.200	-0.200
8	9	1	1.100	0.100	0.000
9	2	1	3.000	0.100	-0.100
10	16	-1	16.000	0.000	-0.200
11	10	1	0.000	0.050	-0.050
12	0	-1	21.000	0.100	-0.100
13	11	-1	5.000	0.000	-0.200
14	15	1	1.000	0.000	-0.060
15	9	1	0.000	0.050	-0.050
16	0	1	0.000	0.050	-0.050

999

Relativmaße bei konstanter Verteilung

```
=====
Distanz  Nennmaß  ob.T.  u.Tol.  Größtmaß  Kl.maß  Bemerkung
=====
```

0	2	1.000	0.300	-0.300	1.300	0.700	Schalter-Stössel
13	12	0.000	0.200	-0.600	0.200	-0.600	Abschl.deckel
12	7	61.000	0.600	-0.600	61.600	60.400	Gesamtlänge

```
-----
```

7.7.2. Optimierung durch Verkleinerung der Toleranzen

Zuerst schaut man sich die Ausgabe der kritischen Abstände auf Bildschirm nochmals an.

```
-----
MASSAUFBAU: 0 => 0 <= 12 <= 5 <= 6 <= 2
-----
```

1. Klassische Methode mit konstanter Verteilung:

```
0 ==> 2          Größtmaß   :   1.450           0.450
                  Nennmaß     :   1.000           1.000  -----
Schalter-Stössel  Kleinstmaß  :   0.550           -0.450
-----
```

Man sieht, daß sich der Abstand 0 => 2 aus 4 Maßen zusammensetzt. Von einem, mehreren oder allen vier Maßen kann nun die Toleranz geändert werden.

Im Beispiel wurde geändert:

5 =>12 von 53 +/- 0.2 in 53 +/- 0.1
12 => 0 von 21 +/- 0.1 in 21 +/- 0.05

Nach Neuberechnung erhält man folgende Ausgabe auf Bildschirm und Drucker:

```
-----
MASSAUFBAU: 0 => 0 <= 12 <= 5 <= 6 <= 2
-----
```

1. Klassische Methode mit konstanter Verteilung:

```
0 ==> 2          Größtmaß   :   1.300           0.300
                  Nennmaß     :   1.000           1.000  -----
Schalter-Stössel  Kleinstmaß  :   0.700           -0.300
-----
```

```

-----
TOL1 - Toleranzrechnung                               Version 4.0
Lizenz-Nr. 0001 * * * XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
User: TRAIN   Datei: S_EIN_2   Datum: 5.1.1989   Zeit: 16:56
-----

```

Beispieldatei mit Optimierung durch Verkleinerung der Toleranzen
 Endschalter in Schaltstellung "ein"
 zum Beispiel aus dem TOL1-Handbuch

```

-----
Element   Vorgänger   Richtung   Nennmaß   ob.Toleranz   unt.Toleranz
-----
  1         16           1       3.000     0.300       -0.300
  2          6          -1      31.000     0.100       -0.100
  3         12           1      29.000     0.100       -0.100
  4          5          -1      15.000     0.100       -0.100
  5         12           1      53.000     0.100       -0.100
  6          5           1         0.000     0.050       -0.050
  7          2           1      39.000     0.200       -0.200
  8          9           1         1.100     0.100         0.000
  9          2           1         3.000     0.100       -0.100
 10         16          -1      16.000     0.000       -0.200
 11         10           1         0.000     0.050       -0.050
 12          0          -1      21.000     0.050       -0.050
 13         11          -1         5.000     0.000       -0.200
 14         15           1         1.000     0.000       -0.060
 15          9           1         0.000     0.050       -0.050
 16          0           1         0.000     0.050       -0.050
999

```

Relativmaße bei konstanter Verteilung

```

=====
Distanz   Nennmaß   ob.T.   u.Tol.   Größtmaß   Kl.maß   Bemerkung
=====
  0    2     1.000   0.300  -0.300     1.300     0.700   Schalter-Stössel
-----
 13   12     0.000   0.200  -0.600     0.200    -0.600   Abschl.deckel
-----
 12    7    61.000   0.550  -0.550    61.550    60.450   Gesamtlänge
-----

```

Man sieht, daß hier mit einer anderen Methode das gleiche Ergebnis von 1 ± 0.3 erzielt wurde. Noch günstigere Werte erhält man bei Berechnung der Abstände nach der Gaußschen Normalverteilung, die im nächsten Kapitel beschrieben wird.