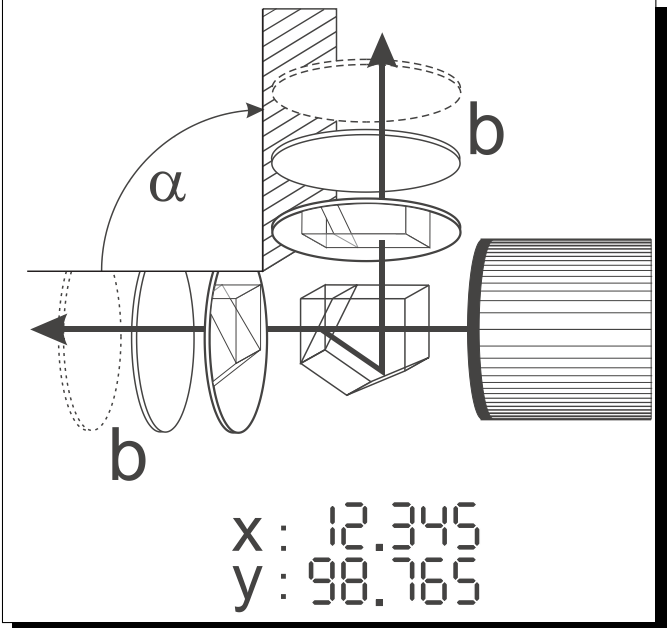
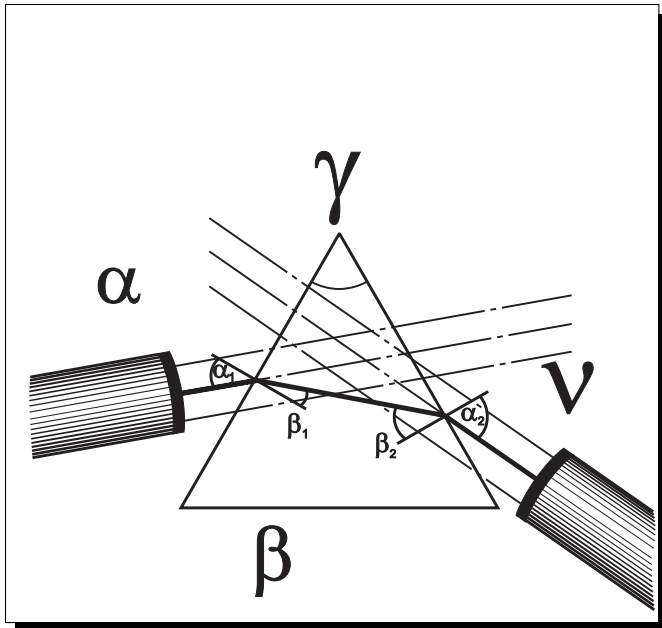


**Beispiele zur Anwendung
von Kollimatoren,
Fernrohren, visuellen und
elektronischen
Autokollimatoren**



Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	3
1.1 Verwendete Größen und ihre Formelzeichen	3
1.2 Verwendete Einheiten	3
1.3 So funktioniert Autokollimation	4
2 Anwendungen aus der optischen Industrie	5
2.1 Planparallelitätsprüfung von Keilen mit Kollimator und Autokollimator	5
2.2 Messung des Keilwinkels von undurchsichtigen Keilen und planparallelen Platten	6
2.3 Messung des Keilwinkels von durchsichtigen Keilen — Auswertung mit Doppelfadenkreuz	7
2.4 Messung des Keilwinkels von durchsichtigen Keilen — Auswertung mit Referenzspiegel	8
2.5 Messung des Keilwinkels von durchsichtigen Keilen — Gleichzeitige Messung von Keilwinkel und Brechungsindex	9
2.6 Messung des Keilwinkels von durchsichtigen Keilen — Auswertung mit Ablenkwinkel	10
2.7 Prüfung des 90°-Winkels eines 90°-Glasprismas im doppelten Durchgang	11
2.8 Prüfung des 45°-Winkels eines 90°-Glasprismas	12
2.9 Prüfung des 90°-Winkels eines 90°-Glasprismas im einfachen Durchgang	13
2.10 Relativmessung des Winkelfehlers von Prismen	14
2.11 Prüfung von Kameraobjektiven	15
2.12 Bestimmung der Krümmungsradien an konkaven sphärischen Flächen	16
2.13 Bestimmung der Krümmungsradien an konvexen sphärischen Flächen	17
2.14 Messung der Brennweite von Linsen und abbildenden Systemen	18
2.15 Messung der Schnittweite von Linsen und abbildenden Systemen	19
2.16 Messung des Zentrierfehlers von sphärischen Flächen	20
2.17 Messung des Zentrierfehlers von Linsen in Transmission mit Kollimator und Fernrohr	21
2.18 Messung des Zentrierfehlers von Linsen in Transmission mit Autokollimator und Spiegel	22
2.19 Prüfung der Ebenheit rauher Oberflächen mit Kollimator und Fernrohr	23
2.20 Prüfung der Ebenheit spiegelnder Flächen mit Autokollimator	24
2.21 Relativmessung des Winkelfehlers von undurchsichtigen Keilen und doppelseitigen Spiegeln	25
3 Anwendungen aus dem Maschinenbau	26
3.1 Parallelitätsprüfung von Flächen	26
3.2 Rechtwinkligkeitsbestimmung von zwei Flächen	27
3.3 Parallelstellen von Walzen	28
3.4 Messung der Winkelverkipfung des Schlittens	29
3.5 Messung des Rollwinkels	30
3.6 Geradheitsmessung	31
3.7 Ebenheitsmessung	32
3.8 Messung der Rechtwinkligkeit zwischen Spindel und Maschinenbett	33
3.9 Messung der Parallelität neben- oder übereinanderliegender Bohrungen	34
3.10 Prüfung der Genauigkeit von Rund- und Teiltischen	35

1 Einleitung

Autokollimatoren sind Messgeräte zur hochgenauen Richtungsprüfung. Haupteinsatzgebiete sind Kalibrier- und Messaufgaben in der optischen Industrie und im Maschinenbau.

Auf den folgenden Seiten sind aus der Fülle der Anwendungen von Autokollimatoren einige Beispiele aufgezeigt. Diese sind grob nach den hauptsächlichen Anwendungsfeldern - optische Industrie und Maschinenbau - klassifiziert. Mit dieser Zusammenstellung von Messbeispielen möchten wir Ihnen Anregungen zur Lösung Ihrer spezifischen Messprobleme bieten.

Die Beschreibung der Anwendungsbeispiele erfolgt zwar größtenteils für visuelle Auswertung der Autokollimationsbilder, in den meisten Fällen kann auch eine computergestützte Auswertung durch Anschluss einer CCD-Kamera erfolgen bzw. ein elektronischer Autokollimator ELCOMAT eingesetzt werden. Diese Art der Auswertung bieten neben einer Objektivierung der Messergebnisse noch die Vorteile einer größeren Genauigkeit und kürzeren Messzeit.

1.1 Verwendete Größen und ihre Formelzeichen

f'	: Bildseitige Brennweite
n	: Brechungsindex eines Mediums
x', y'	: Koordinaten in der Bildebene
$\Delta x', \Delta y'$: Abstände in der Bildebene
α, β	: Keilwinkel, Winkel zwischen Flächen, Kippwinkel
δ	: Ablenkungswinkel, Winkel zwischen Strahlrichtungen
σ	: Strahlwinkel gegenüber der Achse
ε	: Einfallswinkel
θ_x, θ_y	: Winkelablesung bei Fernrohren oder Autokollimatoren
$\Delta\theta_x, \Delta\theta_y$: Winkelabstände bei Fernrohren oder Autokollimatoren

1.2 Verwendete Einheiten

Soweit in den Gleichungen nicht anders vorgegeben müssen Abstände in mm und Winkel in Winkelsekunden angegeben werden. Die in den Formeln angegebenen Faktoren $[-206265'']$ und $[-3437,8']$ rechnen die Winkel in die Winkeleinheit Winkelsekunden bzw. Winkelminuten um.

1.3 So funktioniert Autokollimation

Das Autokollimationsfernrohr projiziert das Bild einer Strichmarke im parallelen Strahlengang (kollimiertes Licht) ins Unendliche. Ein in den Strahlengang eingebrachter Spiegel reflektiert das Lichtbündel wieder in den Autokollimator. Hierdurch entsteht das Autokollimationsbild.

Liegt der Spiegel senkrecht zur optischen Achse, wird das Strahlenbündel in sich zurückgeworfen. Wird der Spiegel um den Winkel α gekippt, treffen die Strahlen unter einem Einfallswinkel $\varepsilon = \alpha$ auf den Spiegel. Nach der Reflexion fallen die reflektierten Strahlen schräg in das Objektiv unter einem Winkel $\sigma = 2\varepsilon$ ein. Je nach Schräglage des reflektierten Strahlenbündels wandert das Autokollimationsbild mehr oder weniger aus.

Der Versatz des Autokollimationsbildes in x' - und y' -Richtung ist ein Maß für die Änderung der Winkellage des Spiegels. Winkelkalibrierte Autokollimatoren sind so konzipiert, dass sie den halben Strahlwinkel des reflektierten zur optischen Achse des Autokollimators $\sigma/2$ und damit die Winkeländerung α der Fläche des Planspiegels direkt anzeigen. Unter der Annahme, dass die Verkippung nur in y -Richtung erfolgt, ist der Ablesewinkel auf der Strichplatte $\Delta\theta_y$ gleich dem halben Winkel $\sigma/2$ zur Autokollimatorachse.:

$$\alpha = \frac{\sigma}{2} = \Delta\theta_y.$$

Die Winkeländerung lässt sich nach der untenstehenden Gleichung auch direkt aus dem Versatz des Strichplattenbildes $\Delta y'$ berechnen:

$$\alpha = \frac{\sigma}{2} = \frac{\Delta y'}{2f'}.$$

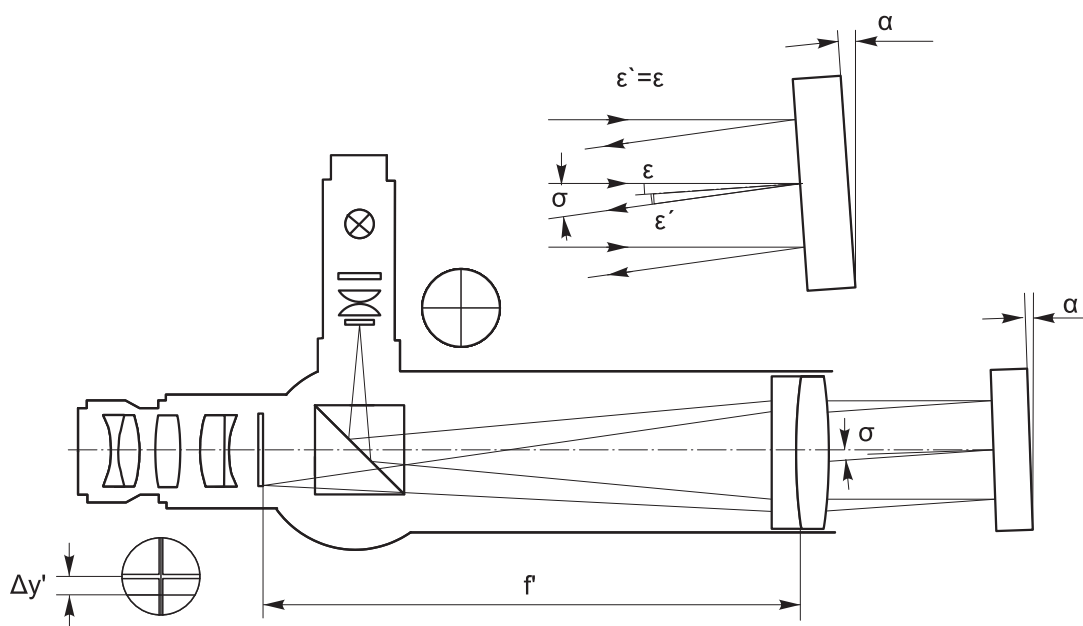
Im allgemeinen Fall einer Verkippung in x - und y -Richtung kann der Winkel mit Hilfe des Satzes von Pythagoras berechnet werden:

$$\alpha = \frac{\sigma}{2} = \sqrt{\Delta\theta_x^2 + \Delta\theta_y^2} = \frac{\sqrt{\Delta x'^2 + \Delta y'^2}}{2f'} [\cdot 206265''].]$$

Dabei ist:

- α : Kippwinkel des Reflektors in Bezug auf die optische Achse des Autokollimators
- σ : Strahlwinkel gegenüber der optischen Achse des Autokollimators
- $\Delta x', \Delta y'$: Versatz des Strichkreuzes
- f' : Brennweite des Autokollimators
- $\Delta\theta_x, \Delta\theta_y$: Ablesewinkel bei Autokollimatoren mit Winkelteilung

Der Versatz des Strichkreuzes kann z.B. an einer Strichplatte mit Millimereinteilung abgelesen oder mit einem Okularmikrometer ausgemessen werden.



2 Anwendungen aus der optischen Industrie

2.1 Planparallelitätsprüfung von Keilen mit Kollimator und Autokollimator

Aufbau:

- Ein Kollimator mit Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz)
- Ein Autokollimator mit Okularstrichplatte S127 und Doppelmikrometer
- Rundtisch mit Winkelteilung bzw. Goniometer
- Justierbare Halterung

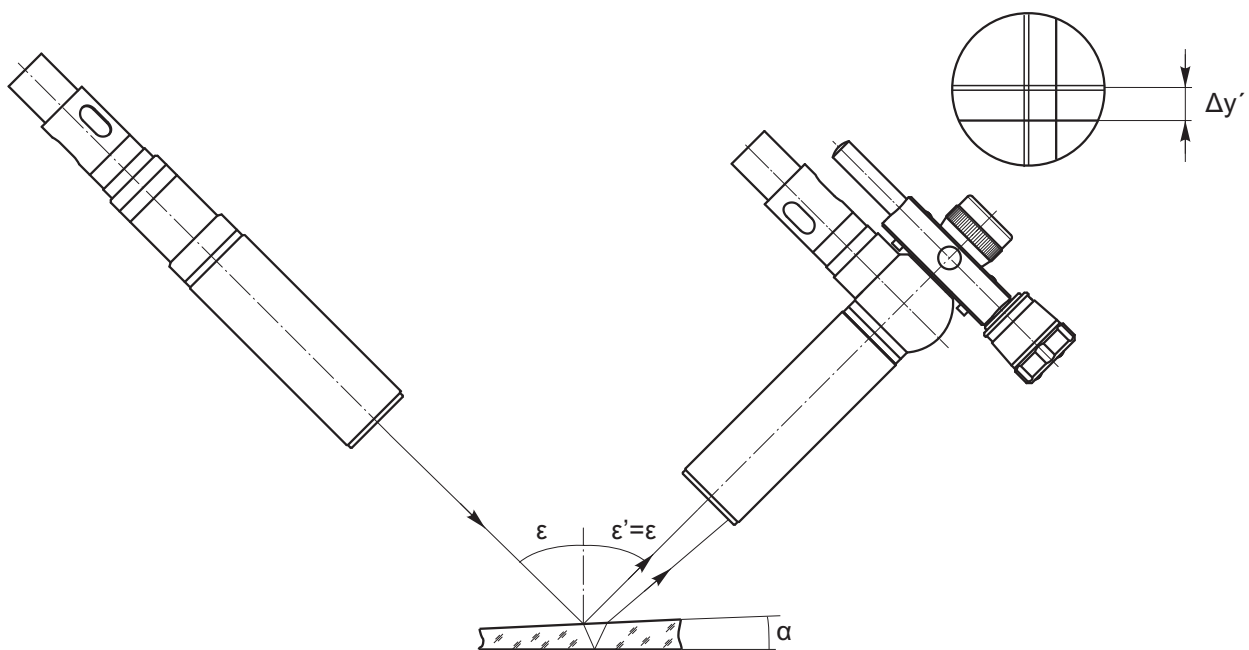
Messung

Zuerst ist der Winkel ε zwischen der optischen Achse des Autokollimators und der Oberflächennormalen genau zu bestimmen. Im Autokollimator können zwei Bilder der Kollimatorstrichplatte beobachtet werden: eines von der Vorderfläche des Prüflings und ein Bild von der Rückfläche. Fallen beide Kollimationsbilder zusammen, sind die Flächen parallel zueinander. Haben die Kollimationsbilder einen Abstand $\Delta y'$ voneinander, sind die Flächen keilig. Der Betrag $\Delta y'$ wird mit dem Okularmikrometer ausgemessen. Der Keilfehler wird bestimmt nach:

$$\alpha = \frac{\Delta y' \cos \varepsilon}{2f' \sqrt{n^2 - \sin^2 \varepsilon}} [\cdot 206265'']$$

Dabei ist:

- α : Keilwinkel des Prüflings
- $\Delta y'$: Abstand der Kollimationsbilder
- n : Brechungsindex des Prüflings
- f' : Brennweite des Fernrohres
- ε : Einfallswinkel auf dem Prüfling — Winkel zwischen optischer Achse des Autokollimators (oder Kollimators) und der Oberflächennormalen des Prüflings



2.2 Messung des Keilwinkels von undurchsichtigen Keilen und planparallelen Platten

Aufbau

- ELCOMAT direct (PC-basierter elektronischer Autokollimator), ELCOMAT 3000 oder ELCOMAT vario

oder

- Ein Autokollimator mit Okularmikrometer; Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)

oder

- Ein Autokollimator mit Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S304 oder S401...S431 (Strichplatte mit Winkelteilung)

und

- Auflagetisch mit ebener (evtl. spiegelnder) Auflage
- Senkrechte Halterung
- Planparallelspiegel

Mit dem ELCOMAT direct, ELCOMAT 3000 oder ELCOMAT vario kann die Messung mit größerer Genauigkeit und in kürzerer Zeit durchgeführt werden.

Messung

Der Planparallelspiegel wird auf den Auflagetisch gelegt. Dann den Auflagetisch zum Autokollimator so ausrichten, dass das Bild des Fadenkreuzes genau in der Mitte der Okularstrichplatte liegt (a). Danach den Planparallelspiegel entfernen, den Prüfling auf den Auflagetisch setzen und den Planparallelspiegel auf den Prüfling legen. Im letzten Schritt den Prüfling so drehen, dass die Anzeige x' null ist, und die Anzeige $\Delta y'$ ablesen (b).

Der Keilwinkel α wird bestimmt nach ($\alpha < 5^\circ$):

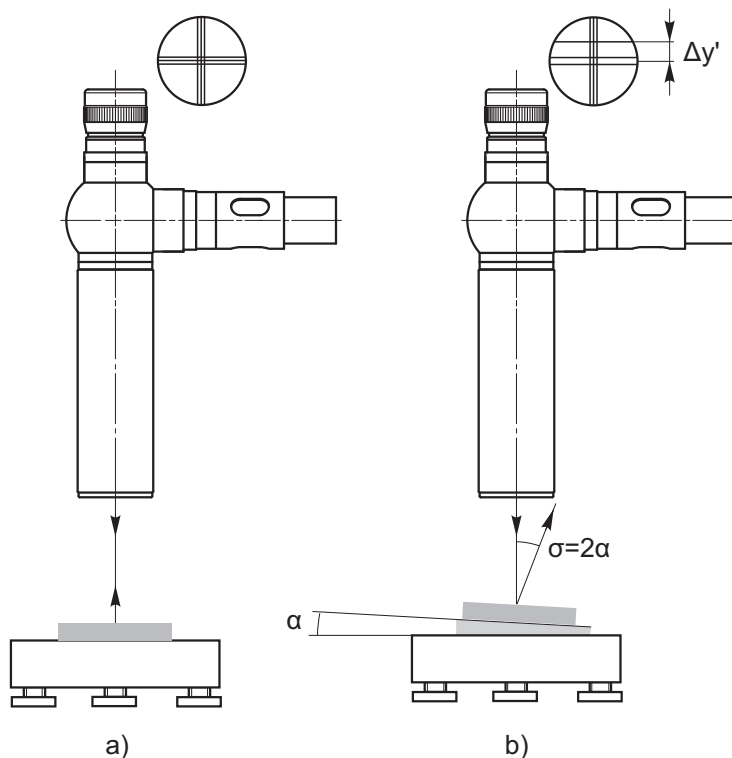
$$\alpha = \Delta\theta_y = \frac{\sigma}{2}$$

oder nach

$$\alpha = \frac{\Delta y'}{2f'} [206265''] = \frac{\sigma}{2}$$

Dabei ist:

- α : Keilwinkel des Prüflings
- σ : Winkel zur Autokollimatorachse
- $\Delta y'$: Abstand in der Bildebene
- f' : Brennweite des Autokollimators
- $\Delta\theta_y$: Ablesewinkel bei Autokollimatoren mit Winkelteilung



2.3 Messung des Keilwinkels von durchsichtigen Keilen — Auswertung mit Doppelfadenkreuz

Aufbau

- ELCOMAT direct (PC-basierter elektronischer Autokollimator)

oder

- Ein Autokollimator mit Okularmikrometer; Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)

oder

- Ein Autokollimator mit Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S304 oder S401...431 (Strichplatte mit Teilung)

Mit dem ELCOMAT direct kann die Messung mit größerer Genauigkeit und in kürzerer Zeit durchgeführt werden.

Messung

Den Prüfling zum Autokollimator so ausrichten, dass das Bild eines Fadenkreuzes genau in der Mitte der Okularstrichplatte liegt. Danach den Prüfling so drehen, dass die Anzeige x null ist, und die Anzeige $\Delta y'$ bzw. $\Delta \theta_y$ ablesen.

Der Keilwinkel α wird bestimmt nach ($\alpha < 5^\circ$):

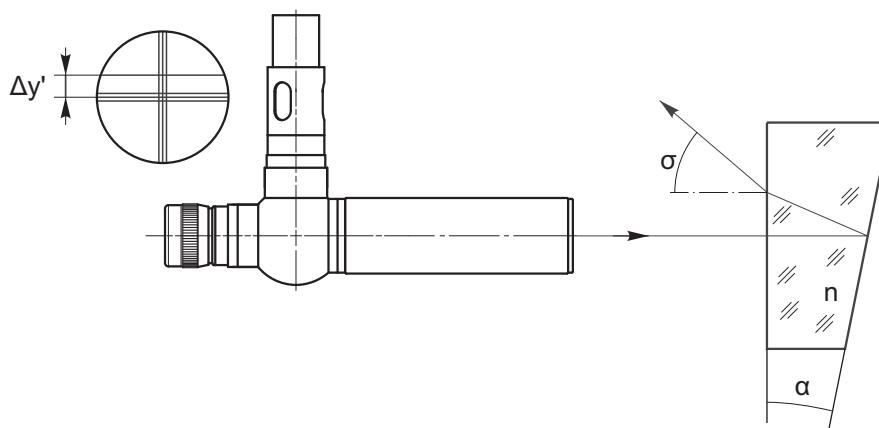
$$\alpha = \frac{\Delta \theta_y}{n} = \frac{\sigma}{2n}.$$

oder

$$\alpha = \frac{\Delta y'}{2nf'} \cdot [206265''] = \frac{\sigma}{2n}.$$

Dabei ist:

- α : Keilwinkel des Prüflings
- σ : Winkel zur Autokollimatorachse
- n : Brechungsindex des Prüflings
- $\Delta y'$: Versatz des Strichkreuzes
- f' : Brennweite des Autokollimators
- $\Delta \theta_y$: Ablesewinkel bei Autokollimatoren mit Winkelteilung



2.4 Messung des Keilwinkels von durchsichtigen Keilen — Auswertung mit Referenzspiegel

Aufbau

- ELCOMAT direct (PC-basierter elektronischer Autokollimator), ELCOMAT 3000 oder ELCOMAT vario

oder

- Ein Autokollimator mit Okularmikrometer; Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)

oder

- Ein Autokollimator mit Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S304 oder S401...431 (Strichplatte mit Teilung)

und

- Planspiegel

Mit dem ELCOMAT direct, ELCOMAT 3000 oder ELCOMAT vario kann die Messung mit größerer Genauigkeit und in kürzerer Zeit durchgeführt werden.

Messung

Den Referenzspiegel ohne Prüfling zum Autokollimator so ausrichten, dass das Bild des Fadenkreuzes genau in der Mitte der Okularstrichplatte liegt. Den Prüfling einsetzen und so justieren, dass der Winkel des Prüflings zur optischen Achse des Autokollimators ca. $\pm 5^\circ$ nicht überschreitet. Prüfling so drehen, dass die Anzeige x null ist und die Anzeige $\Delta y'$ bzw. $\Delta \theta_y$ ablesen. Die Winkelabweichung α der Planparallelität wird bestimmt nach ($\alpha < 5^\circ$):

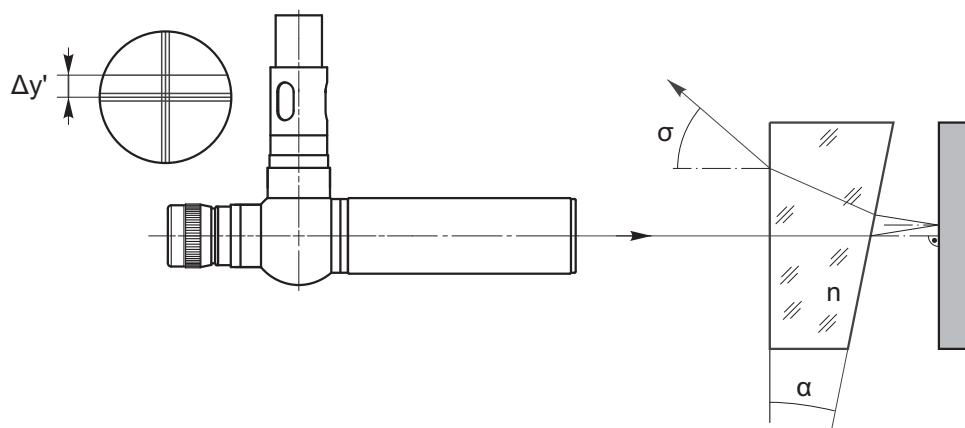
$$\alpha = \frac{\Delta \theta_y}{n-1} = \frac{\sigma}{2(n-1)}$$

oder

$$\alpha = \frac{\Delta y'}{2(n-1)f'} [206265''] = \frac{\sigma}{2(n-1)}$$

Dabei ist:

- α : Keilwinkel des Prüflings
- σ : Winkel zur Autokollimatorachse
- n : Brechungsindex des Prüflings
- $\Delta y'$: Versatz des Strichkreuzes
- f' : Brennweite des Autokollimators
- $\Delta \theta_y$: Ablesewinkel bei Autokollimatoren mit Winkelteilung



2.5 Messung des Keilwinkels von durchsichtigen Keilen — Gleichzeitige Messung von Keilwinkel und Brechungsindex

Zur gleichzeitigen Messung von Keilwinkel und Brechungsindex müssen sowohl die Auswertung mit Doppelfadenkreuz (2.3) als auch die Auswertung mit Referenzspiegel (2.4) wie beschrieben ausgeführt werden.

Keilwinkel und Brechungsindex können dann aus den Winkelablesungen des Autokollimators gemäß folgender Gleichung berechnet werden:

$$\alpha = \Delta\theta_{y2} - \Delta\theta_{y1}$$
$$n = \frac{\Delta\theta_{y2}}{\Delta\theta_{y2} - \Delta\theta_{y1}} = \frac{\Delta\theta_{y2}}{\alpha}$$

Dabei ist:

α : Keilwinkel des Prüflings

n : Brechungsindex des Prüflings

$\Delta\theta_{y1}$: Winkelablesungen des Autokollimators der Messung gegen Referenzspiegel (2.4)

$\Delta\theta_{y2}$: Winkelablesungen des Autokollimators der Messung mit Doppelfadenkreuz (2.3)

2.6 Messung des Keilwinkels von durchsichtigen Keilen — Auswertung mit Ablenkwinkel

Aufbau

- Ein Fernrohr mit Okularmikrometer, Strichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)

oder

- Ein Fernrohr mit Strichplatte S304 oder S401...431 (Strichplatte mit Teilung, abgelesene Werte müssen mit zwei multipliziert werden.)

und

- Kollimator mit Strichplatte S115 (Fadenkreuz).

Messung

- Fernrohr zum Kollimator so ausrichten, dass das Bild des Fadenkreuzes genau in der Mitte der Okularstrichplatte liegt.
- Den Prüfling einsetzen und so justieren, dass der Winkel des Prüflings zur optischen Achse des Teleskops ca. $\pm 5^\circ$ nicht überschreitet. Prüfling so drehen, dass die Anzeige x' null ist und die Anzeige $\Delta y'$ bzw. $\Delta \theta_y$ ablesen.

Die Winkelabweichung α der Planparallelität wird bestimmt nach ($\alpha < 5^\circ$):

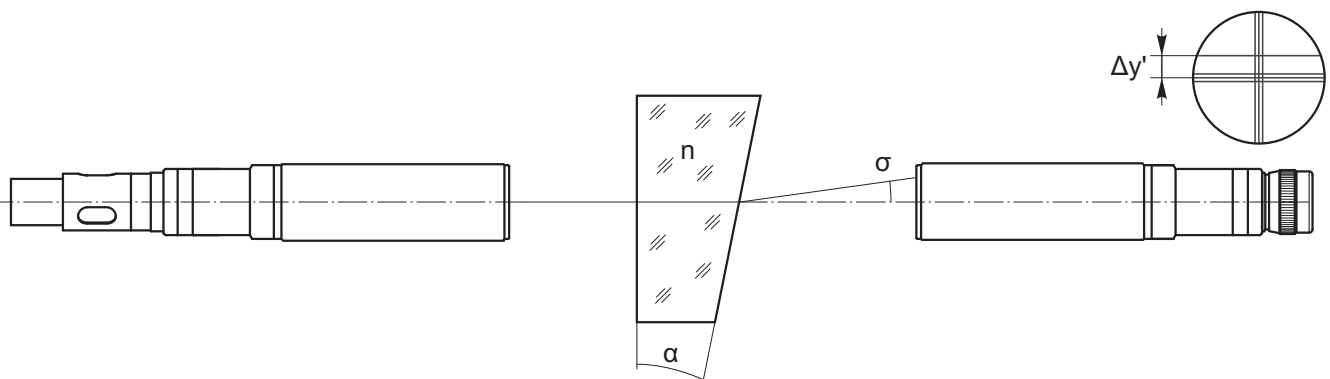
$$\alpha = \frac{\Delta \theta_y}{n-1} = \frac{\sigma}{n-1}$$

oder

$$\alpha = \frac{\Delta y'}{(n-1)f'} [206265''] = \frac{\sigma}{n-1}$$

Dabei ist:

- α : Keilwinkel des Prüflings
- σ : Winkel zur Kollimatorachse
- $\Delta y'$: Versatz des Strichkreuzes
- $\Delta \theta_y$: Ablesewinkel bei Fernrohren mit Winkelteilung
- f' : Brennweite des Fernrohrs
- n : Brechungsindex des Prüflings



2.7 Prüfung des 90°-Winkels eines 90°-Glasprismas im doppelten Durchgang

Aufbau

- ELCOMAT direct (PC-basierter elektronischer Autokollimator)

oder

- Autokollimator mit Okularmikrometer; Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)

oder

- Autokollimator mit Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S411...S431 (Strichplatte mit Winkelteilung) oder S436...S445 (Strichplatte mit Neugradteilung)

und

- Senkrechte Halterung (z.B. MELOS-Messstativ).

Mit dem ELCOMAT direct kann die Messung mit größerer Genauigkeit und in kürzerer Zeit durchgeführt werden.

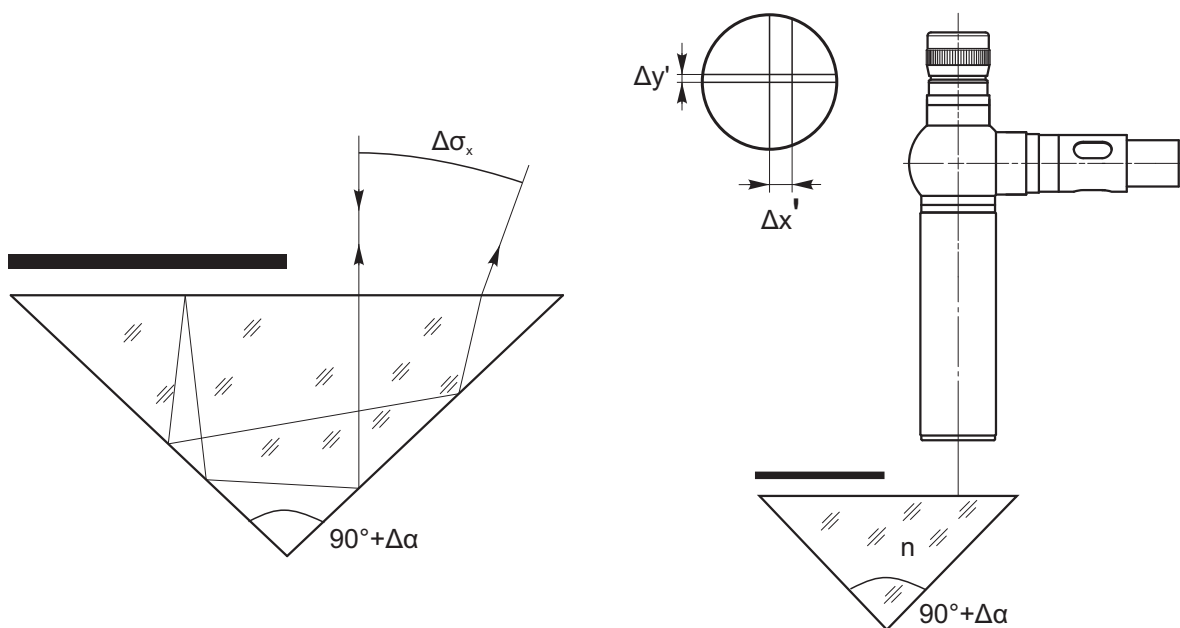
Messung

Blenden Sie eine Hälfte der Hypothenusenfläche ab. Der Autokollimator wird, wie unten auf der Abbildung gezeigt, zur Hypothenusenfläche des 90°-Prismas justiert. Das Autokollimationsbild der Hypothenusenfläche sollte in der Mitte des Messbereiches liegen. Wenn der 90°-Winkel eine Abweichung von der Rechtwinkligkeit hat erscheint ein zweites Autokollimationsbild, das durch die interne Reflexion entsteht. Die horizontale Verschiebung $\Delta x'$ bzw. $\Delta\theta_x$ ist mit der Abweichung $\Delta\alpha$ des 90°-Winkels des Prisma verknüpft. Der Fehler $\Delta\alpha$ kann gemäß folgender Gleichung bestimmt werden ($\Delta\alpha < 5^\circ$):

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta\sigma_x}{4n} = \frac{\Delta x'}{4nf'} \cdot [206265''] \quad \text{oder} \quad \Delta\alpha = \frac{\Delta\theta_x}{2n}$$

Dabei ist:

- $\Delta\alpha$: Abweichung vom 90°-Winkel
- $\Delta\sigma_x$: x-Winkeldifferenz zur Autokollimatorachse
- $\Delta\theta_x, \Delta\theta_y$: Winkeldifferenz bei Autokollimatoren mit Winkelteilung
- $\Delta x', \Delta y'$: Versatz des Strichkreuzes
- n : Brechungsindex des Prüflings
- f' : Brennweite des Autokollimators



2.8 Prüfung des 45°-Winkels eines 90°-Glasprismas

Aufbau

- ELCOMAT direct (PC-basierter elektronischer Autokollimator)

oder

- Autokollimator mit Okularmikrometer; Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)

oder

- Autokollimator mit Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S411...S431 (Strichplatte mit Winkelteilung) oder S436...S445 (Strichplatte mit Neugradteilung)

und

- Senkrechte Halterung (z.B. MELOS-Messstativ).

Mit dem ELCOMAT direct kann die Messung mit größerer Genauigkeit und in kürzerer Zeit durchgeführt werden.

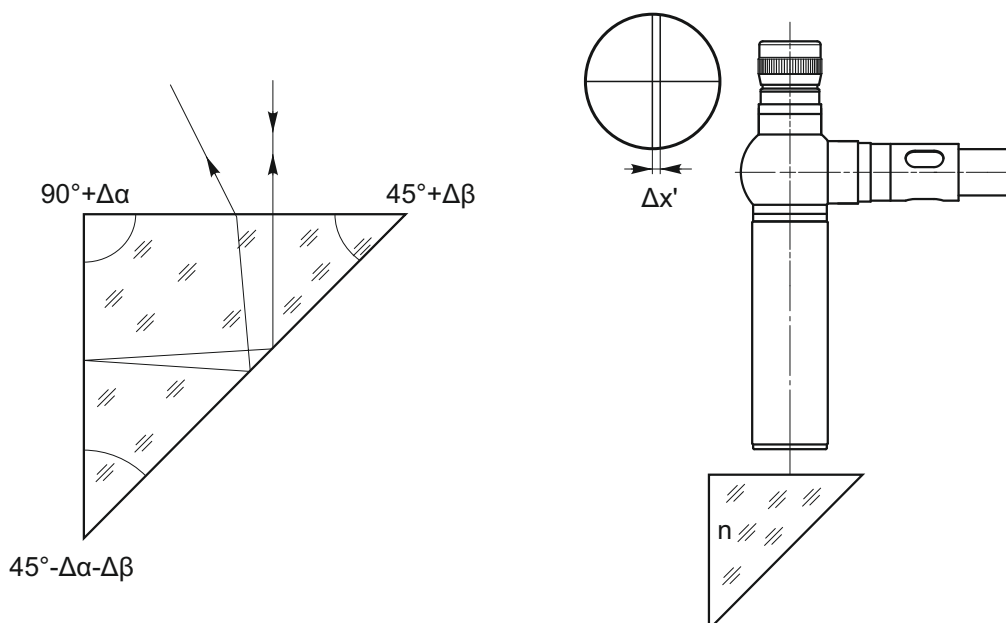
Messung

Der Autokollimator wird zu einer Kathetenfläche des 90°-Prismas justiert. Es entstehen zwei Autokollimationsbilder: ein Bild von der ersten und ein Bild von der zweiten Kathetenfläche, die nur dann zusammenfallen, wenn die 45°-Winkel keine Abweichung aufweisen. Ist dies nicht der Fall, sind die Autokollimationsbilder um den Abstand $\Delta x'$ versetzt. Der Abstand der Bilder kann mit dem Okularmikrometer bzw. mit der graduierten Strichplatte bestimmt werden: Unter der Voraussetzung, dass der Fehler $\Delta\alpha$ des 90°-Winkels bekannt ist, lässt sich der Fehler des 45°-Winkels bestimmen nach ($\Delta\alpha, \Delta\beta < 5^\circ$):

$$\Delta\beta = \frac{\Delta x'}{4nf'} [-206265''] - \frac{\Delta\alpha}{2} \quad \text{oder} \quad \Delta\beta = \frac{\Delta\theta_x}{2n} - \frac{\Delta\alpha}{2}$$

Dabei ist:

- $\Delta\alpha$: Fehler des 90°-Winkels
- $\Delta\beta$: Fehler des 45°-Winkels
- $\Delta\theta_x$: Winkeldifferenz bei Autokollimatoren mit Winkelteilung
- $\Delta x'$: Versatz des Strichkreuzes
- n : Brechungsindex des Prüflings
- f' : Brennweite des Autokollimators



2.9 Prüfung des 90°-Winkels eines 90°-Glasprismas im einfachen Durchgang

Aufbau

- ELCOMAT direct (PC-basierter elektronischer Autokollimator)

oder

- Autokollimator mit Okularmikrometer; Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)

oder

- Autokollimator mit Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S411...S431 (Strichplatte mit Winkelteilung) oder S436...S445 (Strichplatte mit Neugradteilung)

und

- Senkrechte Halterung (z.B. MELOS-Messtativ).

Mit dem ELCOMAT direct kann die Messung mit größerer Genauigkeit und in kürzerer Zeit durchgeführt werden.

Messung

Der Autokollimator wird zur Hypothenusenfläche des 90°-Prismas justiert. Es entstehen drei Autokollimationsbilder. Zwei lichtstarke Bilder von den Reflexionen innerhalb des Prismas und ein etwas lichtschwächeres von der Hypothenusenfläche. Die beiden ersten Bilder bleiben bei Drehung des Prismas um die Schnittlinie der Kathetenflächen stehen, während sich das letztere mit dem Prisma dreht.

Wenn der 90°-Winkel eine Abweichung von der Rechtwinkligkeit hat, dann befinden sich diese Bilder innerhalb eines Abstandes. Tritt zusätzlich eine Höhenverschiebung auf, so liegt ein Pyramidalfehler vor. Die Fehler $\Delta\alpha$ und $\Delta\beta$ können gemäß folgender Gleichungen bestimmt werden ($\Delta\alpha, \Delta\beta < 5^\circ$):

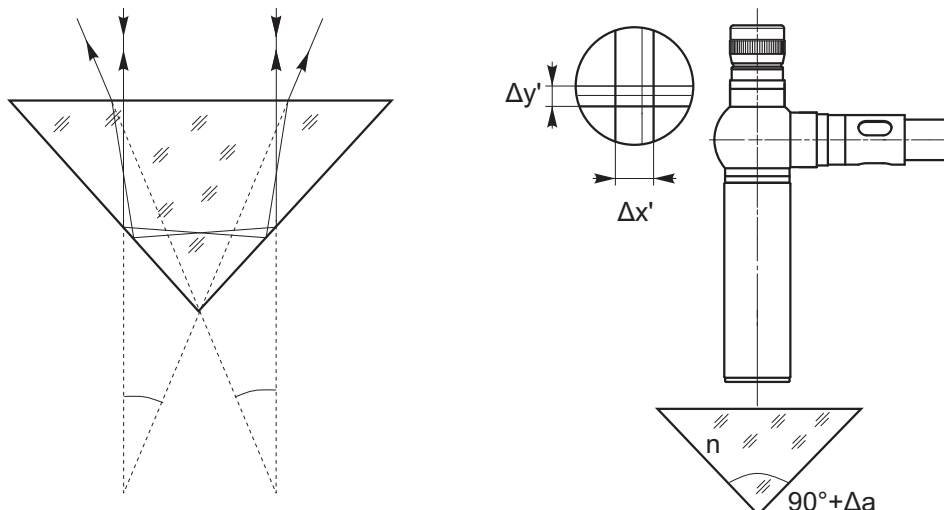
$$\Delta\alpha = \left| \frac{\Delta\sigma_x}{4n} \right| = \left| \frac{\Delta x'}{4nf'} \right| [\cdot 206265''] \quad \text{oder} \quad \Delta\alpha = \left| \frac{\Delta\theta_x}{2n} \right|$$

$$\Delta\beta = \left| \frac{\Delta\sigma_y}{4n} \right| = \left| \frac{\Delta y'}{4nf'} \right| [\cdot 206265''] \quad \text{oder} \quad \Delta\beta = \left| \frac{\Delta\theta_y}{2n} \right|$$

Dabei ist:

- $\Delta\alpha$: Abweichung vom 90°-Winkel
- $\Delta\beta$: Pyramidalfehler des Prisma
- $\Delta\sigma_x, \Delta\sigma_y$: Winkeldifferenz zur Autokollimatorachse
- $\Delta\theta_x, \Delta\theta_y$: Winkeldifferenz bei Autokollimatoren mit Winkelteilung
- $\Delta x', \Delta y'$: Abstand des Strichkreuzes
- n : Brechungsindex des Prüflings
- f' : Brennweite des Autokollimators

Im Unterschied zu der unter 2.7 beschriebenen Methode erlaubt diese Methode nicht die Bestimmung des Vorzeichens des Fehler $\Delta\alpha$. Daher kann das Ergebnis auch nicht zur Bestimmung des Fehlers der 45°-Winkel gemäß 2.8 verwendet werden.



2.10 Relativmessung des Winkelfehlers von Prismen

Aufbau

- Zwei ELCOMAT direct (PC-basierte elektronische Autokollimatoren)

oder

- Ein Autokollimator mit Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)
- Ein Autokollimator mit Okularmikrometer; Kollimatorstrichplatte S115 und Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)

und

- Referenzprisma (Nullprisma)
- Schwenkbare Halterung
- Justierbare Halterung für zweiten Autokollimator
- Kippbarer Auflagetisch

Mit dem ELCOMAT direct kann die Messung mit größerer Genauigkeit und in kürzerer Zeit durchgeführt werden.

Messung

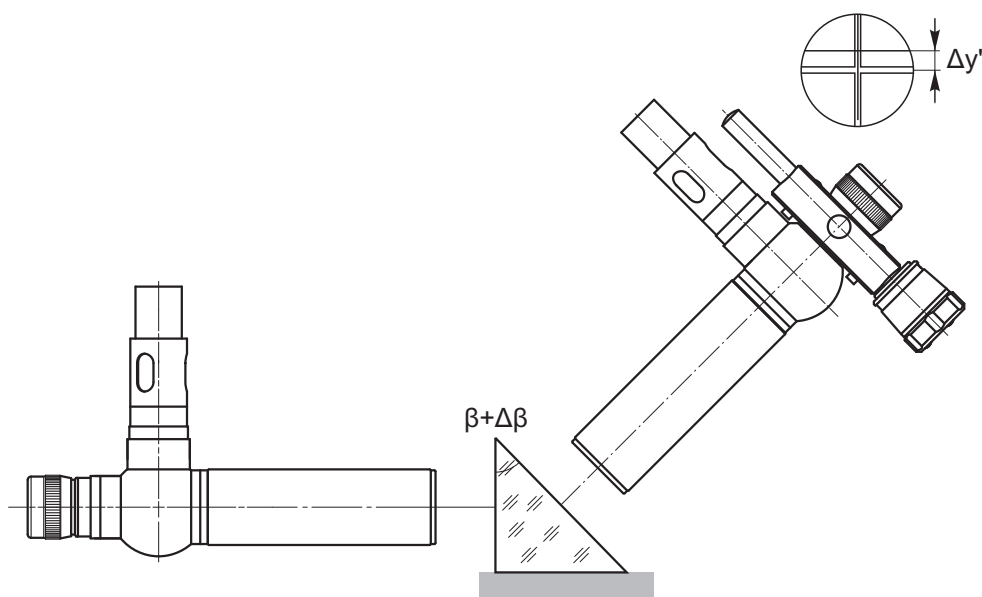
Das Referenzprisma wird auf den Auflagetisch einer schwenkbaren Halterung positioniert. Beide Autokollimatoren werden zu den entsprechenden Flächen des Prismas ausgerichtet. Die Feinjustierung des Prismas zum Autokollimator in der schwenkbaren Halterung erfolgt über die Stellschrauben des kippbaren Auflagetisches. Die Feinjustierung des zweiten Autokollimators erfolgt über die Stellschrauben der Halterung.

Anschließend wird anstelle des Referenzprismas das zu messende Prisma positioniert und zum Autokollimator ohne Okularmikrometer ausgerichtet. Am anderen Autokollimator wird die Ablage des Autokollimationsbildes mittels Mikrometerschraube ausgemessen. Der Winkelfehler bezogen auf das Referenzelement wird bestimmt nach ($\Delta\beta < 5^\circ$):

$$\Delta\beta = \frac{\Delta y'}{2f'} [-206265''] \quad \text{oder} \quad \Delta\beta = \Delta\theta_y$$

Dabei ist:

- $\Delta\beta$: Abweichung des Prismenwinkels
- $\Delta\theta_y$: Winkeldifferenz bei Autokollimatoren mit Winkelteilung
- $\Delta y'$: y-Versatz des Strichkreuzes
- f' : Brennweite des Autokollimators



2.11 Prüfung von Kameraobjektiven

Aufbau

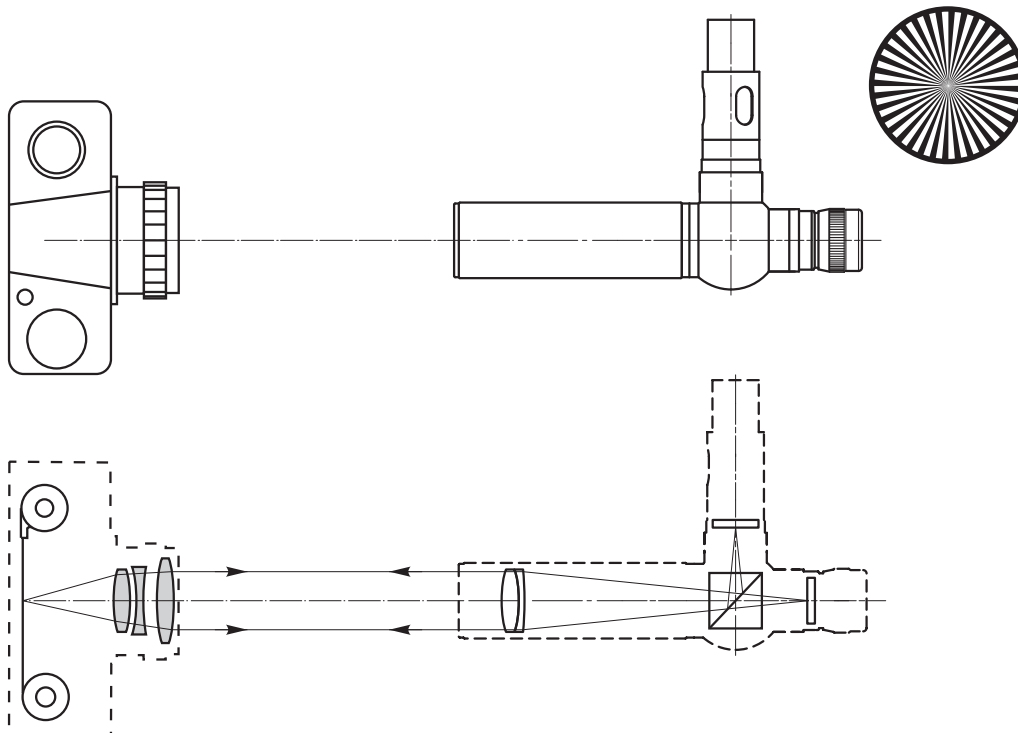
- Autokollimator mit Tubusauszug und Kollimatorstrichplatte S201, S202 (Siemensstern), S211 oder S212 (Auflösungstest) und Okularstrichplatte S111
- Planspiegel
- Justierbare Halterung

Prüfung des Auflagemaßes

Planspiegel oder Film exakt in die Brennebene des Prüflings legen. Wenn das Autokollimationsbild scharf erscheint, dann ist die Lage des Objektivs korrekt.

Prüfung der Entfernungseinstellung

Der Autokollimator wird auf die zu prüfende Entfernung eingestellt (virtuelle Einstellung). In der Bildebene des Objektivs befindet sich ein Spiegel bzw. ein Film. Wird der Prüfling (Objektiv) auf die entsprechende Entfernung eingestellt, muss das Autokollimationsbild innerhalb der zulässigen Toleranz scharf erscheinen.



2.12 Bestimmung der Krümmungsradien an konkaven sphärischen Flächen

Aufbau

- Autokollimator mit Kollimatorstrichplatte S201 oder S202 (Siemensstern)
- Vorsatzachromat (Auswahl hängt von den zu messenden Krümmungsradien ab). Verfügbare Größen: $f=50 / D11$ bis $f=500 / D28$.
- Messschiene mit Längenencoder oder MELOS-Stativ

oder

- MELOS (Komplettgerät)

Messung

Mit diesem Verfahren kann der konkave Krümmungsradius der Oberfläche von optischen Komponenten wie z.B. Spiegel oder Linsen gemessen werden. Der Vorsatzachromat wandelt den unendlichen Strahlengang in einen endlichen Strahlengang um. Autokollimation tritt auf, wenn sich der Brennpunkt des Vorsatzachromaten auf dem Scheitelpunkt der Fläche befindet (Abb. a) bzw. wenn der Brennpunkt des Vorsatzachromaten und der Krümmungsmittelpunkt der zu messenden Fläche koinzidieren (Abb. b).

Die Messung erfolgt grundsätzlich wie folgt:

- Der Autokollimator wird verschoben, bis ein scharfes Autokollimationsbild erscheint. (Siemensstern scharf)
- Der Autokollimator wird entlang der optischen Achse verschoben, bis wieder ein scharfes Autokollimationsbild erscheint. Die genau (z.B. mit Hilfe des digitalen Maßstabes) gemessene Verschiebung zwischen beiden Scharfeinstellungen ist gleich dem Flächenradius:

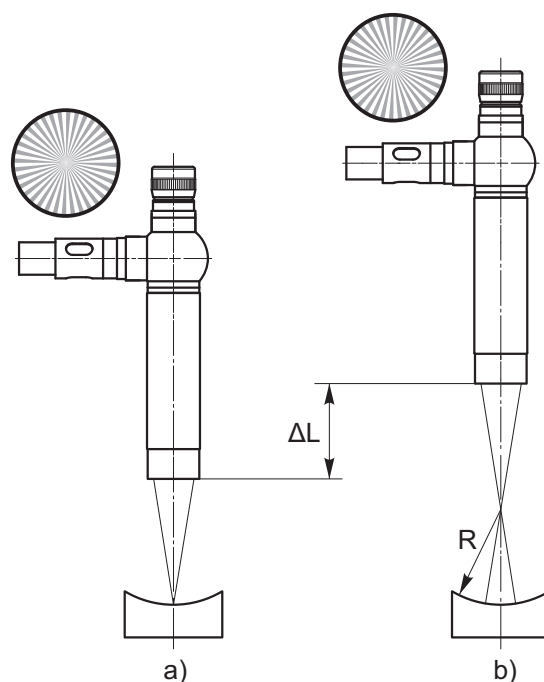
$$R = \Delta L$$

Dabei ist:

R : Flächenradius

ΔL : Verschiebung zwischen den beiden Messpositionen

Bitte beachten Sie, dass bei transparenten und mehrlinsigen Systemen auch von darunterliegenden Flächen Autokollimationsbilder auftreten können.



2.13 Bestimmung der Krümmungsradien an konvexen sphärischen Flächen

Aufbau

- Autokollimator mit Kollimatorstrichplatte S201 oder S202 (Siemensstern)
- Vorsatzachromat (Auswahl hängt von den zu messenden Krümmungsradien ab). Verfügbare Größen: $f=50 / D11$ bis $f=500 / D28$.
Wichtig: Die Schnittweite des Vorsatzachromaten muss größer als der Flächenradius sein.
- Messschiene mit Längencoder oder MELOS-Stativ

oder

- MELOS (Komplettgerät)

Messung

Mit diesem Verfahren kann der konvexe Krümmungsradius der Oberfläche von optischen Komponenten wie z.B. Spiegel oder Linsen gemessen werden. Der Vorsatzachromat wandelt den unendlichen Strahlengang in einen endlichen Strahlengang um. Autokollimation tritt auf, wenn sich der Brennpunkt des Vorsatzachromaten auf dem Scheitelpunkt der Fläche befindet (Abb. a) bzw. wenn der Brennpunkt des Vorsatzachromaten und der Krümmungsmittelpunkt der zu messenden Fläche koinzidieren (Abb. b).

Die Messung erfolgt grundsätzlich wie folgt:

- Der Autokollimator wird verschoben, bis ein scharfes Autokollimationsbild erscheint. (Siemensstern scharf)
- Der Autokollimator wird entlang der optischen Achse verschoben, bis wieder ein scharfes Autokollimationsbild erscheint. Die genau (z.B. mit Hilfe des digitalen Maßstabes) gemessene Verschiebung zwischen beiden Scharfeinstellungen ist gleich dem Flächenradius:

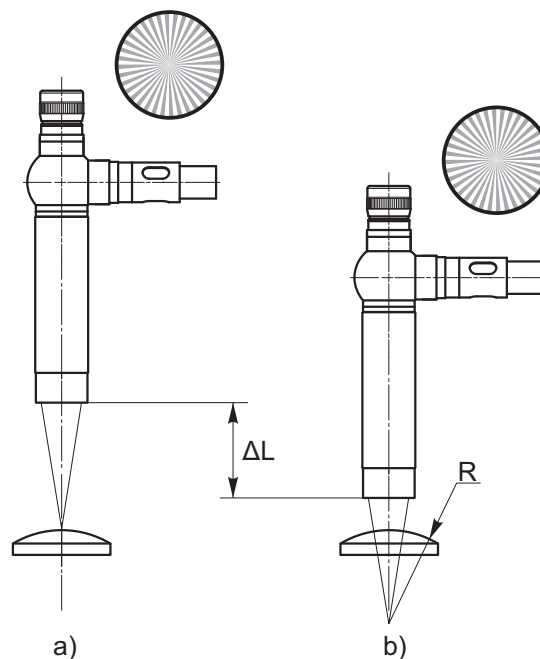
$$R = \Delta L$$

Dabei ist:

R : Flächenradius

ΔL : Verschiebung zwischen den beiden Messpositionen

Bitte beachten Sie, dass bei transparenten und mehrlinsigen Systemen auch von darunterliegenden Flächen Autokollimationsbilder auftreten können.



2.14 Messung der Brennweite von Linsen und abbildenden Systemen

- Kollimator mit spezieller Strichplatte mit Messmarkierungen und Siemensstern zur Brennweitenmessung
- Fernrohr; Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)
- Vorsatzachromat (Auswahl hängt von den zu messenden Linsen ab). Verfügbare Größen: $f=50 / D11$ bis $f=500 / D28$
- Stativ zur axialen Verschiebung des Fernrohrs
- Verschiebeeinheit mit Messuhr zur transversalen Verschiebung des Fernrohrs.
- Spannfutter zur Aufnahme der Linse

oder

- MELOS (Komplettgerät)

Messung

Der Prüfling wird in den austretenden Strahl des Kollimators eingefügt. Der Prüfling erzeugt ein Bild der Strichplatte in einer hinteren Brennebene, welche sich üblicherweise hinter seiner letzten Linsenfläche befindet. Die Größe $\Delta y'$ des Strichplattenbildes wird durch transversale Verschiebung des Fernrohrs mit Vorsatzachromaten an der Messuhr abgelesen.

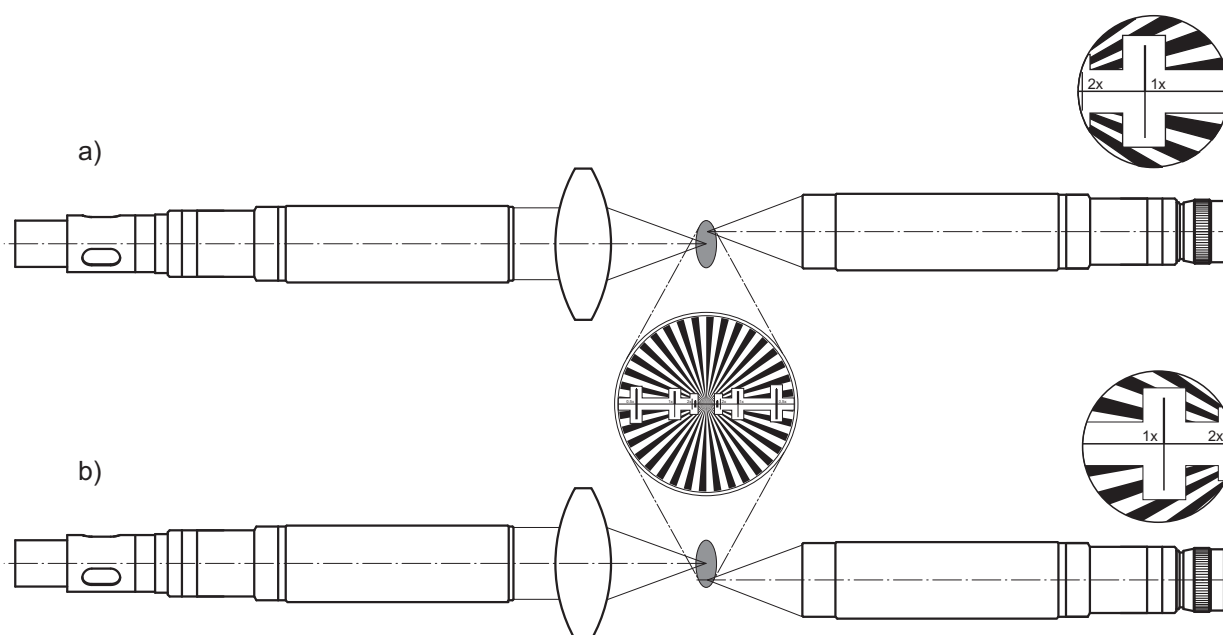
Die Bildgröße ist nur durch den bekannten Abstand der Messmarkierungen Δy , die bekannte Brennweite f'_{Co} des Messkollimators und die Brennweite f'_T des Prüflings gegeben:

$$f'_T = \frac{\Delta y'}{\Delta y} f'_{Co}$$

Dabei ist:

- f'_T : Brennweite des Prüflings
- f'_{Co} : Brennweite des Messkollimators
- $\Delta y'$: Abstand der Messmarkierungen auf dem Bild der Strichplatte
- Δy : Abstand der Messmarkierungen auf der Strichplatte

Bei der Messung von negativen Linsen wird das gleiche Messprinzip angewandt. In diesem Fall liegt der hintere Brennpunkt vor der letzten Fläche. Aus diesem Grunde muss das Fernrohr mit einer Vorsatzlinse ausgestattet werden, deren Arbeitsabstand größer als die negative Schnittweite des Prüflings ist.



2.15 Messung der Schnittweite von Linsen und abbildenden Systemen

- Kollimator mit Strichplatte S201 oder S202 (Siemensstern)
- Fernrohr; Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)
- Vorsatzachromat (Auswahl hängt von den zu messenden Linsen ab). Verfügbare Größen: $f=50 / D11$ bis $f=500 / D28$
- Verschiebeeinheit mit Messuhr zur axialen Verschiebung des Fernrohrs.
- Spannfutter zur Aufnahme der Linse

oder

- MELOS (Komplettgerät)

Messung

Zur Messung der Schnittweite wird der Abstand zwischen dem hinterem Brennpunkt und der letzten Linsenfläche bestimmt.

Der Prüfling wird in den austretenden Strahl des Kollimators eingefügt. Er erzeugt ein Bild der Strichplatte in einer hinteren Brennebene, welche sich üblicherweise hinter seiner letzten Linsenfläche befindet. Die Messung erfolgt in zwei Schritten.

- Zuerst wird das Fernrohr mit Vorsatzachromat zur Brennebene des Prüflings verschoben, so dass das Bild der Strichplatte im Fernrohr erscheint.
- Im zweiten Schritt wird das Fernrohr mit Vorsatzachromat so verschoben, bis die Oberfläche des Prüflings im Fernrohr scharf ist.

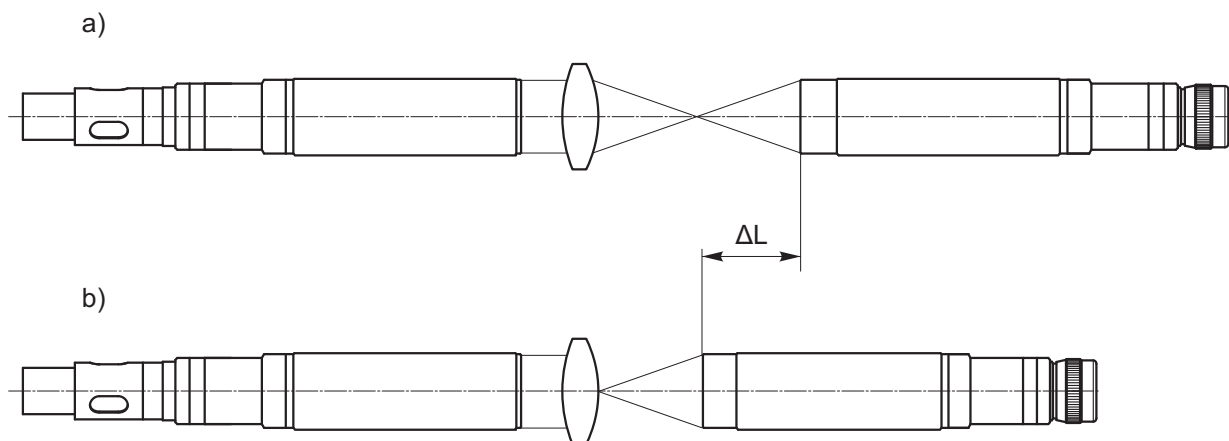
Der Abstand zwischen diesen beiden Positionen ist die gesuchte Schnittweite s' :

$$s' = \Delta L$$

Dabei ist:

s' : Schnittweite

ΔL : Verschiebung zwischen den beiden Messpositionen



2.16 Messung des Zentrierfehlers von sphärischen Flächen

Aufbau

- ELCOMAT direct (PC-basierter elektronischer Autokollimator)

oder

- Autokollimator mit Okularmikrometer; Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)

und

- Vorsatzachromat (Auswahl hängt von den zu messenden Krümmungsradien ab). Verfügbare Größen: $f=50 / D=11$ bis $f=500 / D28$. (Zu beachten ist, dass bei konvexen Flächen die Schnittweite des Vorsatzachromaten größer als der Flächenradius sein muss.)
- Präziser Rotationstisch mit geringem Taumelfehler und Spannfutter zur Aufnahme der Linse

Mit dem ELCOMAT direct kann die Messung mit größerer Genauigkeit und in kürzerer Zeit durchgeführt werden.

Messung

Gemessen wird der Abstand des Krümmungsmittelpunkts der sphärischen Fläche in Bezug auf die Rotationsachse (Bezugsachse) des Rotationstisches (Abb. a). Im Falle der vorderen Linsenfläche wird der Autokollimator mit dem Vorsatzachromaten, wie in den Abschnitten 2.13 und 2.12 über Radienmessung beschrieben, zunächst in vertikaler Richtung verschoben, bis der Brennpunkt des Vorsatzachromaten und der Krümmungsmittelpunkt der zu messenden Fläche zusammenfallen.

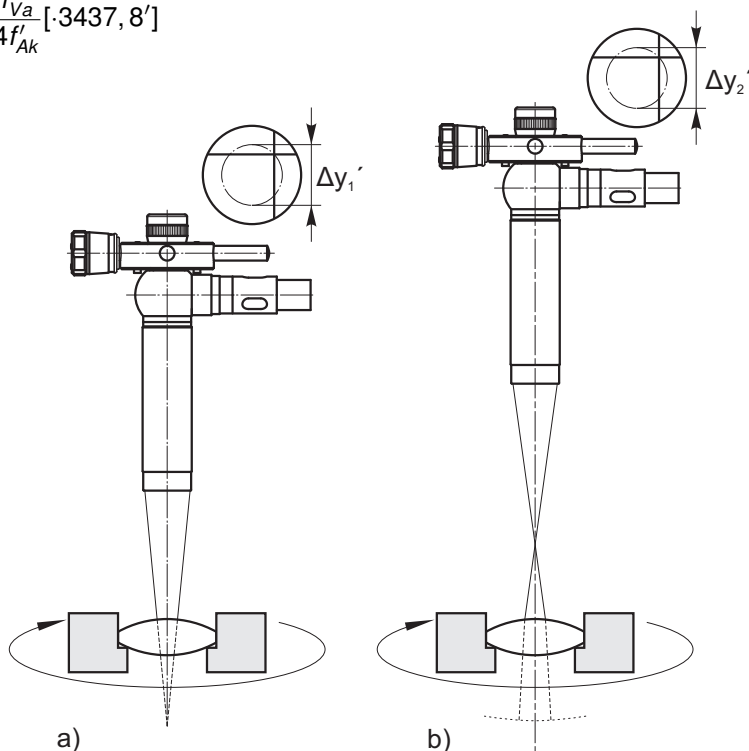
Wird die Linse mit dem Rotationstisch gedreht und der Krümmungsmittelpunkt liegt nicht auf der Rotationsachse, so beschreibt das Autokollimationsbild der Kollimatorstrichplatte einen Kreis in der Bildebene des Autokollimators. Der Durchmesser des Kreises ist ein Maß für den Abstand des Krümmungsmittelpunkts zur Rotationsachse und wird mittels des Okularmikrometers bestimmt. Der Zentrierfehler der Linsenfläche in Bezug auf die Rotationsachse des Tisches kann wie folgt bestimmt werden:

$$a = \Delta y' \frac{f'_{Va}}{4f'_{Ak}} \quad \text{bzw.} \quad \sigma = \frac{a}{R} [\cdot 3437,8'] = \frac{\Delta y'}{R} \frac{f'_{Va}}{4f'_{Ak}} [\cdot 3437,8']$$

Dabei ist:

- a : Abstand des Krümmungsmittelpunkts von der Rotationsachse
- σ : Winkel zwischen der Rotationsachse und der Flächennormalen am Durchstoßungspunkt
- $\Delta y'$: Durchmesser des Messkreises in der Strichplattenebene
- f'_{Va} : Brennweite des Vorsatzachromaten
- f'_{Ak} : Brennweite des Autokollimators
- R : Krümmungsradius der Fläche (bzw. ihres Bildes)

Die Zentriermessung kann auch an der hinteren Linsenfläche durchgeführt werden (Abb. b). In diesem Fall wird der Autokollimator auf das von der vorderen Fläche erzeugte Bild der hinteren Fläche eingestellt. Zuvor ist der Zentrierfehler der vorderen Fläche auf null zu justieren, da er sonst das Messergebnis für die zweite Fläche verfälschen würde. Zudem muss bei der Berechnung der Maßstab der Abbildung durch die vordere Fläche berücksichtigt werden.



2.17 Messung des Zentrierfehlers von Linsen in Transmission mit Kollimator und Fernrohr

Aufbau

- Kollimator mit Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz)
- Fernrohr mit Okularmikrometer; Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)
- Vorsatzachromat (Auswahl hängt von den zu messenden Linsen ab). Verfügbare Größen: $f=50 / D11$ bis $f=500 / D28$
- Präziser Rotationstisch mit geringem Taumelfehler und Spannfutter zur Aufnahme der Linse

Messung

Gemessen wird der Abstand des Fokuspunktes der Linse in Bezug auf die Rotationsachse (Bezugsachse) des Rotationstisches. Der Prüfling erzeugt in seiner Brennebene ein Bild der Kollimatorstrichplatte. Das Fernrohr wird zunächst in vertikaler Richtung verschoben, bis der Brennpunkt des Vorsatzachromaten und das Bild der Kollimatorstrichplatte in einer Ebene liegen und die Kollimatorstrichplatte im Okular scharf erscheint.

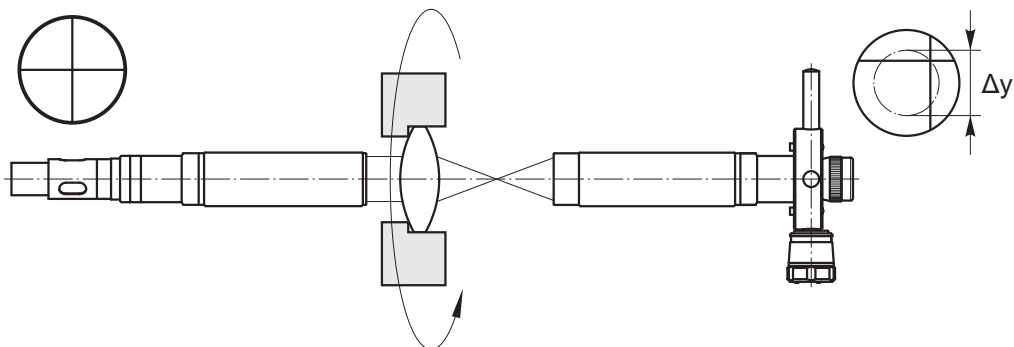
Wird nun die Linse mit dem Rotationstisch gedreht und das Strichplattenbild liegt nicht auf der Rotationsachse, so beschreibt das Bild der Kollimatorstrichplatte einen Kreis in der Bildebene des Fernrohrs. Der Durchmesser des Kreises ist ein Maß für den Abstand des Bildes zur Rotationsachse und wird mittels des Okularmikrometers bestimmt.

Der Zentrierfehler der Linsen in Bezug auf die Rotationsachse des Tisches kann wie folgt bestimmt werden:

$$a = \Delta y' \frac{f'_{Va}}{2f'_{Ak}}$$

Dabei ist:

- a : Abstand des Brennpunktes zur der Rotationsachse
- $\Delta y'$: Durchmesser des Messkreises in der Strichplattenebene
- f'_{Va} : Brennweite des Vorsatzachromaten
- f'_{Ak} : Brennweite des Fernrohrs



2.18 Messung des Zentrierfehlers von Linsen in Transmission mit Autokollimator und Spiegel

Aufbau

- ELCOMAT direct (PC-basierter elektronischer Autokollimator)

oder

- Autokollimator mit Okularmikrometer; Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)

und

- Vorsatzachromat (Auswahl hängt von den zu messenden Linsen ab). Verfügbare Größen: $f=50 / D11$ bis $f=500 / D28$.
- Präziser Rotationstisch mit geringem Taumelfehler und Spannfutter zur Aufnahme der Linse
- Planspiegel

Mit dem ELCOMAT direct kann die Messung mit größerer Genauigkeit und in kürzerer Zeit durchgeführt werden.

Messung

Gemessen wird der Abstand des Brennpunktes der Linse in Bezug auf die Rotationsachse (Bezugsachse) des Rotationstisches. Der Autokollimator wird zunächst in vertikaler Richtung verschoben, bis der Brennpunkt des Vorsatzachromaten in der Brennebene des Prüflings liegt. In diesem Fall erhält man hinter dem Prüfling einen kollimierten Strahl. Nach der Reflexion am Spiegel entsteht in der Brennebene des Prüflings ein Bild der Kollimatorstrichplatte des Autokollimators. Diese Bild kann wiederum im Okular betrachtet werden.

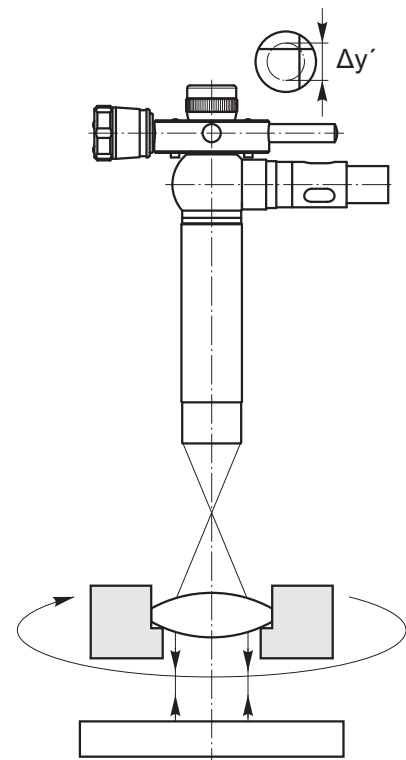
Wird nun die Linse mit dem Rotationstisch gedreht und das Strichplattenbild liegt nicht auf der Rotationsachse, so beschreibt das Autokollimationsbild der Kollimatorstrichplatte einen Kreis in der Bildebene des Autokollimators. Der Durchmesser des Kreises ist ein Maß für den Abstand des Bildes zur Rotationsachse und wird mittels des Okularmikrometers bestimmt.

Der Zentrierfehler der Linsen in Bezug auf die Rotationsachse des Tisches kann wie folgt bestimmt werden:

$$a = \Delta y' \frac{f'_{Va}}{4f'_{Ak}}$$

Dabei ist:

- a : Abstand des Brennpunktes zur der Rotationsachse
- $\Delta y'$: Durchmesser des Messkreises in der Strichplattenebene
- f'_{Va} : Brennweite des Vorsatzachromaten
- f'_{Ak} : Brennweite des Autokollimators



2.19 Prüfung der Ebenheit rauher Oberflächen mit Kollimator und Fernrohr

Aufbau

- Kollimator mit Kollimatorstrichplatte S201 oder S202 (Siemensstern)
- Prüffernrohr mit Tubusauszug und Okularstrichplatte S115 (Fadenkreuz)

Messung

Der Fernrohrkopf ist um messbare Beträge von der Nullstellung in beiden Richtungen verschiebbar.

- Wenn bei der Nullstellung das Bild scharf ist, ist die Fläche plan.
- Wenn das Bild erst nach Verschiebung des Fernrohrkopfes um ΔL scharf wird, ist die Fläche sphärisch. Der Krümmungsradius wird bestimmt nach:

$$R = \frac{2 \cdot f'^2 \cdot a}{\Delta L \cdot b}$$

Dabei ist:

R : Flächenradius

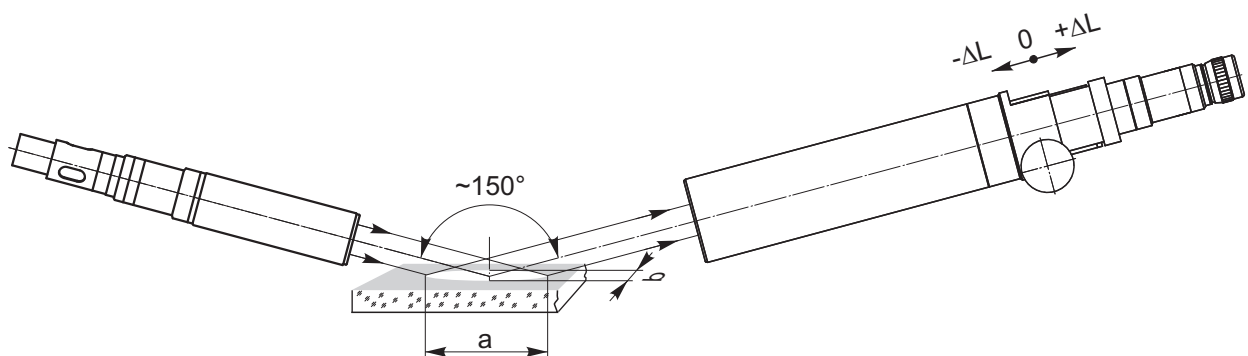
ΔL : Verschiebung in Bezug auf die Nullstellung

f' : Brennweite des Fernrohrs

a : Längenausdehnung des Lichtfleckes

b : Breitenausdehnung des Lichtfleckes (entspricht dem Durchmesser des Kollimatorobjektivs)

- Wenn das Bild unterschiedlich scharf in den einzelnen Testrichtungen erscheint, weist die Fläche größere Formabweichungen auf (von der idealen Sphäre). In diesem Fall ist das Bild in verschiedenen Richtungen scharf zu stellen.



2.20 Prüfung der Ebenheit spiegelnder Flächen mit Autokollimator

Aufbau

- Autokollimator mit Tubusauszug, Kollimatorstrichplatte S201 oder S202 (Siemensstern) und Okularstrichplatte S115 (Fadenkreuz)

Messung

Der Autokollimationskopf ist um messbare Beträge von der Nullstellung in beiden Richtungen verschiebbar.

- Wenn bei der Nullstellung das Bild scharf ist, ist die Fläche plan.
- Wenn das Bild erst nach Verschiebung des Autokollimationskopfes um ΔL scharf wird, ist die Fläche sphärisch. Der Krümmungsradius wird bestimmt nach:

$$R = \frac{f'^2}{\Delta L}$$

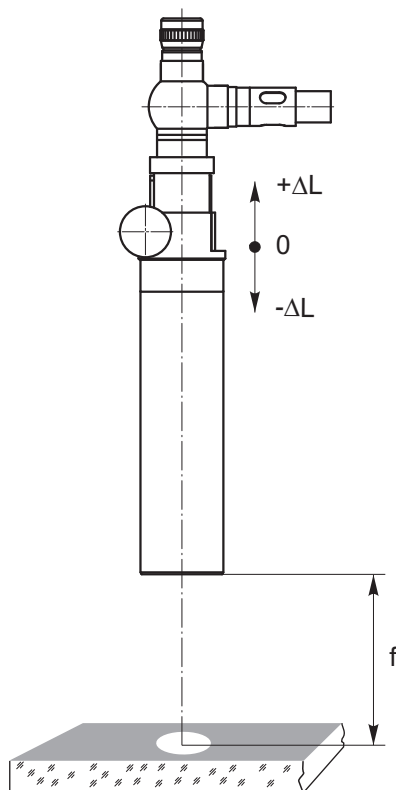
Dabei ist:

R : Flächenradius

ΔL : Verschiebung in Bezug auf die Nullstellung

f' : Brennweite des Autokollimators

- Wenn das Bild unterschiedlich scharf in den einzelnen Testrichtungen erscheint, weist die Fläche größere Formabweichungen auf (von der idealen Sphäre). In diesem Fall ist das Bild in verschiedenen Richtungen scharf zu stellen.



2.21 Relativmessung des Winkelfehlers von undurchsichtigen Keilen und doppelseitigen Spiegeln

Aufbau

- ELCOMAT direct (PC-basierter elektronischer Autokollimator)

oder

- Ein Autokollimator mit Okularmikrometer, Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)
- Ein Autokollimator mit Kollimatorstrichplatte S115 und Okularstrichplatte S127

und

- Referenzkeil bzw. Referenzplanparallelplatte
- Auflagetisch

Mit dem ELCOMAT direct kann die Messung mit größerer Genauigkeit und in kürzerer Zeit durchgeführt werden.

Messung

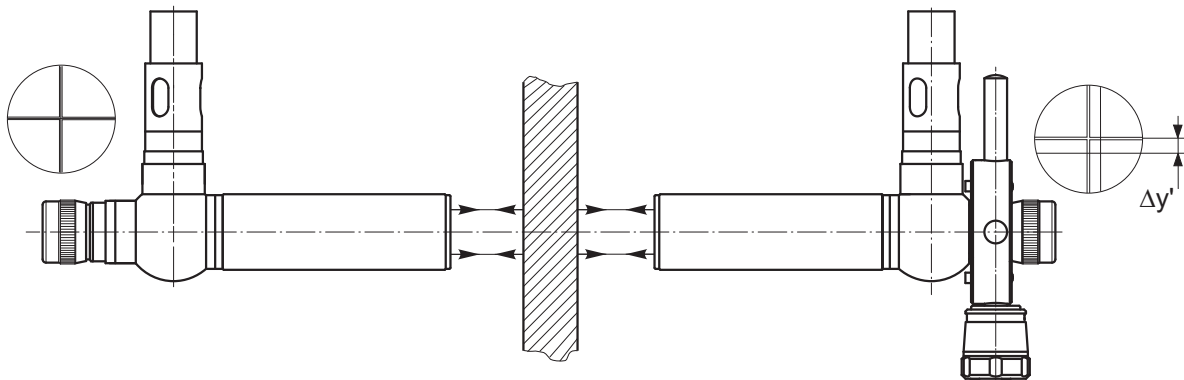
Die Flächen des Prüflings müssen spiegelnd reflektieren. Mit einem Referenzkeil oder einer Referenzplanparallelplatte werden beide Autokollimatoren zueinander ausgerichtet. Der Prüfling wird dann zu einem Autokollimator justiert, am anderen Autokollimator wird die Ablage des Autokollimationsbildes mittels Mikrometerschraube ausgemessen. Prismen können auf ähnliche Art geprüft werden.

Der Winkelfehler bezogen auf das Referenzelement wird bestimmt nach:

$$\alpha = \Delta\theta_y = \frac{\Delta y'}{2f'} [-206265'']$$

Dabei ist:

- α : Keilwinkel des Prüflings
- $\Delta y'$: Abstand des Autokollimationsbildes von der Nullstellung
- $\Delta\theta_y$: Ablesewinkel bei Autokollimatoren mit Winkelteilung
- f' : Brennweite des Autokollimators



3 Anwendungen aus dem Maschinenbau

3.1 Parallelitätsprüfung von Flächen

Aufbau:

- Autokollimator mit Okularmikrometer, Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)

oder

- Autokollimator mit Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S304 (Strichplatte mit Millimeterteilung)

oder

- Autokollimator mit Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S411...S431 (Strichplatte mit Minutenteilung)

oder

- ELCOMAT (elektronischer Autokollimator)

und

- Senkrechte Halterung (z.B. MELOS-Meßstativ)
- Planparallelspiegel

Messung

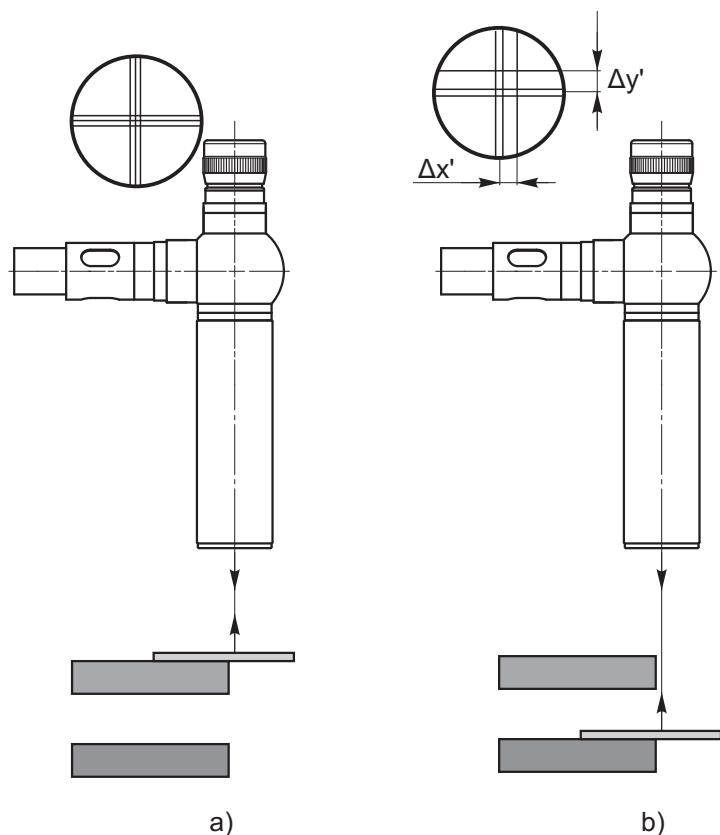
- Planparallelspiegel auf eine der beiden Flächen legen. Autokollimator so ausrichten, dass das Bild des projizierten Fadenkreuzes genau in der Mitte der Okularstrichplatte liegt.
- Planparallelspiegel auf die andere Fläche legen. Die Anzeige $\Delta x'$ und $\Delta y'$ ablesen und den Winkel zwischen den Flächen bestimmen nach:

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta x'}{2f'} \cdot [206265''] \quad \text{oder} \quad \Delta\alpha = \Delta\theta_x$$

$$\Delta\beta = \frac{\Delta y'}{2f'} \cdot [206265''] \quad \text{oder} \quad \Delta\beta = \Delta\theta_y$$

Dabei ist:

- $\Delta\alpha$: Winkel zwischen den Flächen in x -Richtung
- $\Delta\beta$: Winkel zwischen den Flächen in y -Richtung
- $\Delta\theta_x, \Delta\theta_y$: Winkeldifferenz bei Autokollimatoren mit Winkelteilung, bzw. beim ELCOMATen
- $\Delta x', \Delta y'$: Versatz des Strichkreuzes
- f' : Brennweite des Autokollimators



3.2 Rechtwinkligkeitsbestimmung von zwei Flächen

Aufbau:

- Autokollimator mit Okularmikrometer, Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)

oder

- Autokollimator mit Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S304 (Strichplatte mit Millimeterteilung)

oder

- Autokollimator mit Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S411...S431 (Strichplatte mit Minutenteilung)

oder

- ELCOMAT (elektronischer Autokollimator)

und

- 90°-Prisma
- Pentagonprisma
- Justierbare Halterung

Messung

- Das 90°-Prisma auf eine der beide Flächen stellen. Den Autokollimator so ausrichten, dass das Bild des projizierten Fadenkreuzes genau in der Mitte der Okularstrichplatte liegt.
- Mit dem Pentagonprisma das Lichtbündel umlenken und das 90°-Prisma auf die zweite Fläche stellen. Die Anzeige $\Delta y'$ oder $\Delta\theta_y$ ablesen und die Abweichung vom 90°-Winkel bestimmen nach:

$$\Delta\beta = \frac{\Delta y'}{2f'} [-206265''] = \Delta\theta_y$$

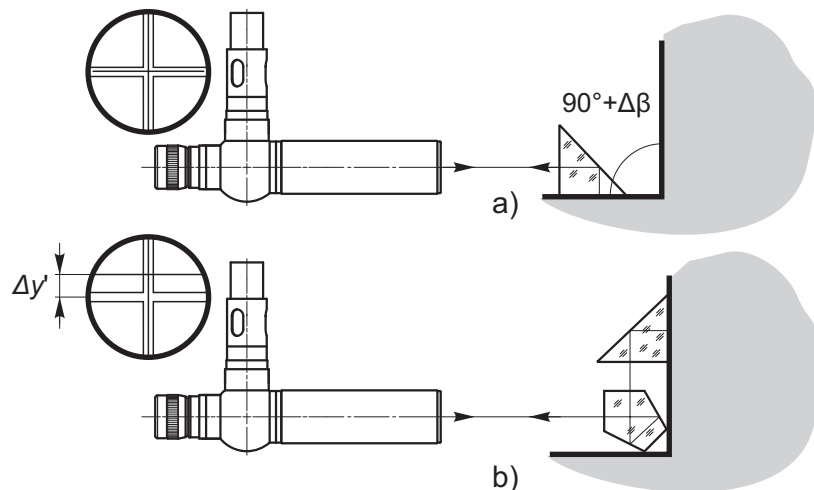
Dabei ist:

$\Delta\beta$: Abweichung vom 90°-Winkel

$\Delta\theta_y$: Winkeldifferenz bei Autokollimatoren mit Winkelteilung, bzw. beim ELCOMATen

$\Delta y'$: Versatz des Strichkreuzes

f' : Brennweite des Autokollimators



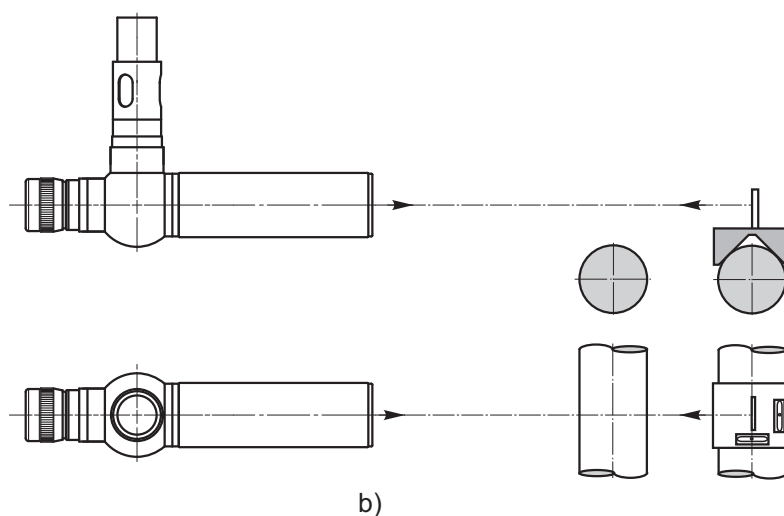
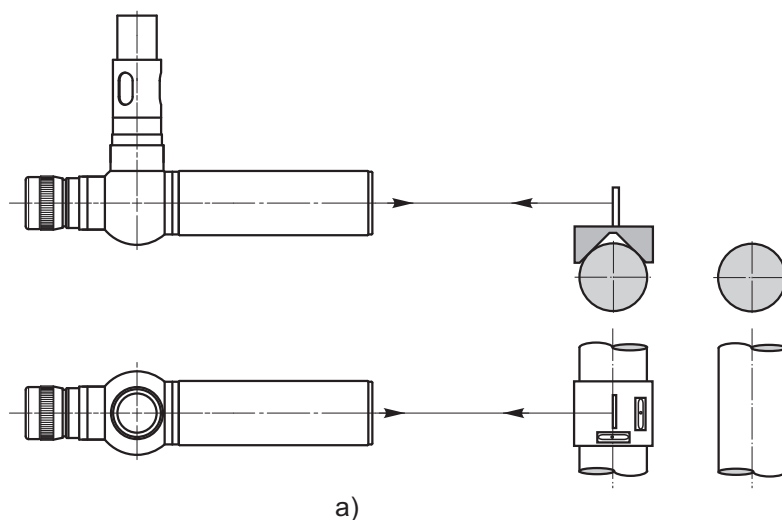
3.3 Parallelstellen von Walzen

Aufbau:

- Autokollimator mit Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)
- oder
- ELCOMAT (elektronischer Autokollimator)
- und
- V-Prisma mit Planspiegel und zwei senkrecht zueinander stehenden Libellen

Messung

- V-Prisma mit dem Planspiegel auf der ersten Walze zur Querlibelle ausrichten, die Längslibelle mit Hilfe einer entsprechenden Justierschraube auf Null stellen. Autokollimator zum Spiegel so ausrichten, dass das Bild des projizierten Fadenkreuzes genau in der Mitte der Okularstrichplatte liegt.
- V-Prisma zur zweiten Walze versetzen und zur Querlibelle ausrichten (verdrehen). Die Walze so ausrichten, dass die Längslibelle auf Null steht und das Autokollimationsbild des Fadenkreuzes wieder vom Doppelfadenkreuz eingefangen wird.



3.4 Messung der Winkelverkipfung des Schlittens

Aufbau:

- Autokollimator mit Okularmikrometer, Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)

oder

- Autokollimator mit Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S304 (Strichplatte mit Millimeterteilung)

oder

- Autokollimator mit Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S411...S431 (Strichplatte mit Minutenteilung)

oder

- ELCOMAT (elektronischer Autokollimator)

und

- Basisspiegel
- Stativ
- Justierbare Halterung

Messung

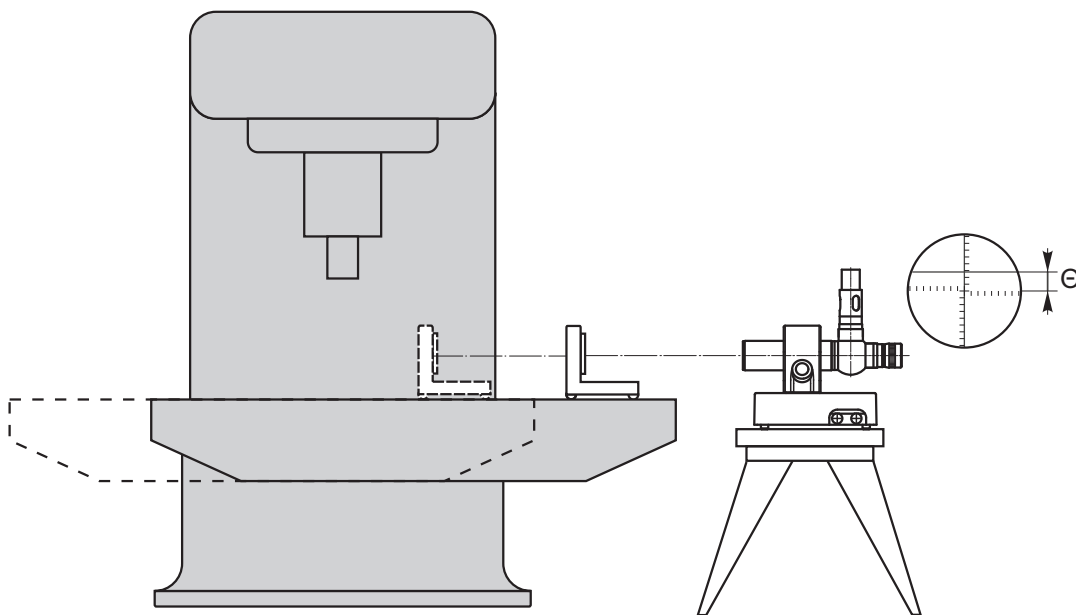
Der Spiegel wird auf dem Schlitten befestigt und zum Autokollimator ausgerichtet. Dann wird der Schlitten mit dem Spiegel verschoben. In der Okularebene wird bei Verkipfung des Schlittens ein Wandern des Autokollimationsbildes festgestellt. Die Extremwerte der Lageänderung in vertikaler Richtung werden erfasst und die Winkelverkipfung $\Delta\beta$ bestimmt nach:

$$\Delta\beta = \frac{y'_{max} - y'_{min}}{2f'} [\cdot 206265''] \quad \text{oder} \quad \Delta\beta = \Theta_{max} - \Theta_{min}$$

Dabei ist:

- $\Delta\beta$: Winkelverkipfung des Schlittens
- y'_{min}, Θ_{min} : Minimaler Anzeigewert des Autokollimators
- y'_{max}, Θ_{max} : Maximaler Anzeigewert des Autokollimators
- f' : Brennweite des Autokollimators

Mit dem ELCOMAT 3000 oder ELCOMAT vario kann die Messung mit größerer Genauigkeit und in kürzerer Zeit durchgeführt werden



3.5 Messung des Rollwinkels

Aufbau

- Ein Autokollimator mit Okularmikrometer; Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)
- Durchsichtiger Keil, Keilwinkel sollte so gewählt werden, das die Autokollimationsbilder der Vorder- und Rückfläche beide sichtbar sind aber einen möglichst großen Abstand in Autokollimationsbild haben

Messung

Den Keil zum Autokollimator so ausrichten, dass die Autokollimationsbilder der Vorder- und Rückfläche symmetrisch zur Mitte den Messbereiches liegen. Mittels des Okularmikrometers werden die x - und y -Koordinaten der Autokollimationsbilder ((x_{f1}, y_{f1}) und (x_{r1}, y_{r1})) in Abb. a) bestimmt.

Bei einer Drehung des Keils um die Autokollimatorachse (Rollbewegung) beschreiben die beiden Autokollimationsbilder eine Kreisbewegung um ihr gemeinsames Zentrum. Um den Rollwinkel zu bestimmen, werden nach der Drehbewegung erneut die x - und y -Koordinaten der Autokollimationsbilder ((x_{f2}, y_{f2}) und (x_{r2}, y_{r2})) in Abb. b) bestimmt.

Der Winkel der Rollbewegung $\Delta\theta_z$ wird bestimmt nach:

$$\Delta\theta_z = \arctan\left(\frac{x_{f2} - x_{r2}}{y_{f2} - y_{r2}}\right) - \arctan\left(\frac{x_{f1} - x_{r1}}{y_{f1} - y_{r1}}\right).$$

Dabei ist:

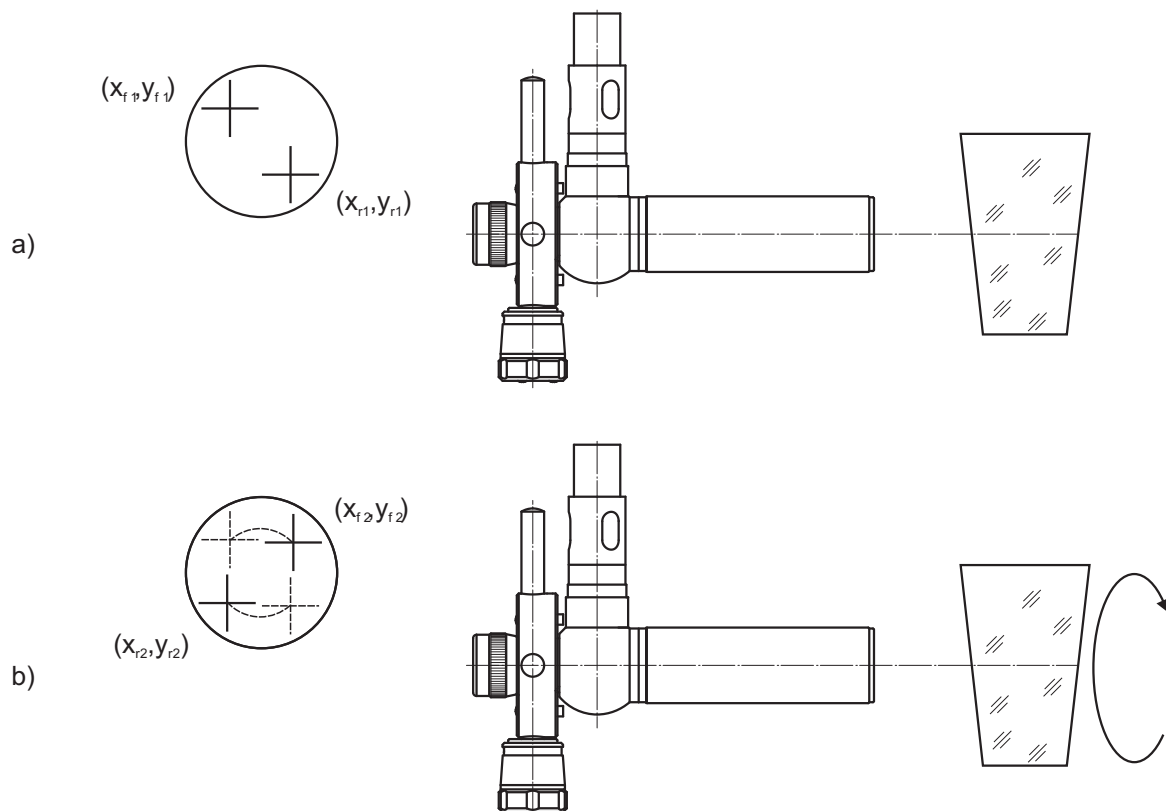
$\Delta\theta_z$: Rollwinkel

x_{f1}, y_{f1} : x - und y -Koordinaten des Strichkreuzes der Vorderfläche vor der Rollbewegung

x_{r1}, y_{r1} : x - und y -Koordinaten des Strichkreuzes der Rückfläche vor der Rollbewegung

x_{f2}, y_{f2} : x - und y -Koordinaten des Strichkreuzes der Vorderfläche nach der Rollbewegung

x_{r2}, y_{r2} : x - und y -Koordinaten des Strichkreuzes der Rückfläche nach der Rollbewegung



3.6 Geradheitsmessung

Aufbau:

- Autokollimator mit Okularmikrometer, Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)

oder

- ELCOMAT (elektronischer Autokollimator)

und

- Basisspiegel
- Messlineal
- Stativ
- Justierbare Halterung

Messung

Der Basisspiegel wird auf die zu vermessende Führung gesetzt und so ausgerichtet, dass sich das Autokollimationsbild in der Nullposition befindet. Bei einer Verschiebung des Spiegels führt jede Abweichung von der Geradheit der Auflagefläche zu einem Auswandern des Autokollimationsbildes aus der Null-Position. Zur Messung der Höhenabweichung der Führung wird der Spiegel schrittweise um die Basislänge (50 mm oder 100 mm, je nach Einstellung) in Messrichtung bewegt und die lokale Steigung m bestimmt nach:

$$m = \frac{\Delta y'}{2f'} \quad \text{oder} \quad m = \tan \Delta\theta_y \approx \Delta\theta_y \quad [\text{in rad}]$$

Dabei ist:

m : lokale Steigung über die Basislänge

$\Delta\theta_y$: Versatz des Strichkreuzes bei Autokollimatoren mit Winkelablesung

$\Delta y'$: Versatz des Strichkreuzes bei Autokollimatoren mit mm-Ablesung

f' : Brennweite des Autokollimators

Die Höhenabweichung zwischen aufeinanderfolgenden Messschritten berechnet sich aus:

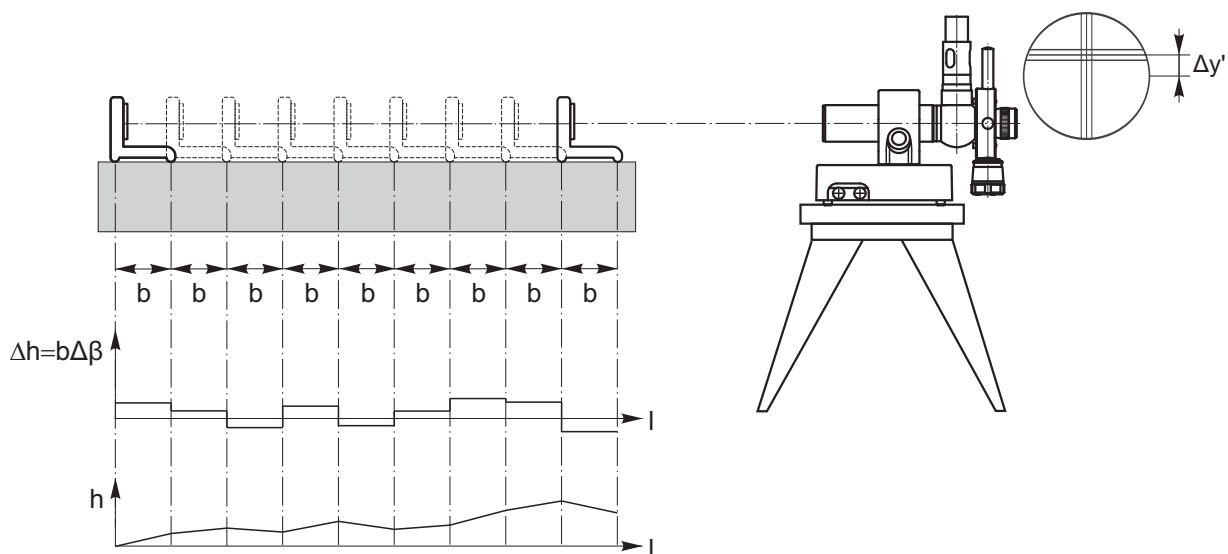
$$\Delta h = m \cdot b$$

Dabei ist:

Δh : Höhenabweichung zwischen den Auflagepunkten des Basisspiegels

b : Basislänge des Basisspiegels

Das Höhenprofil $h(l)$ erhält man durch Akkumulation der einzelnen Höhenabweichungen. Mit dem ELCOMAT 3000 oder ELCOMAT vario kann die Messung mit größerer Genauigkeit und in kürzerer Zeit durchgeführt werden.



3.7 Ebenheitsmessung

Aufbau:

- Autokollimator mit Okularmikrometer, Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)

oder

- ELCOMAT (elektronischer Autokollimator)

und

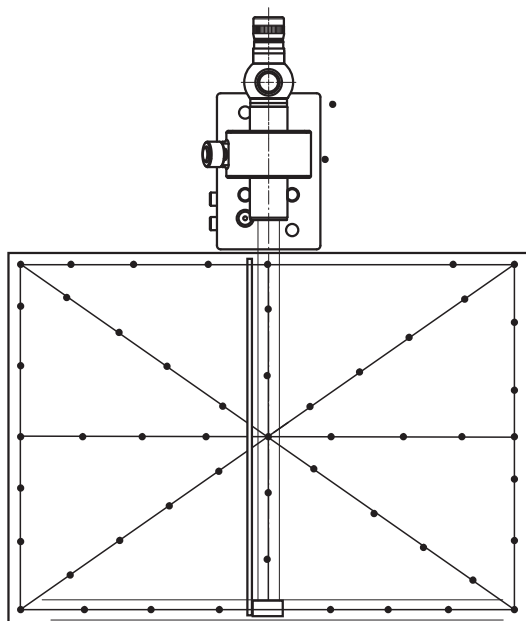
- Basisspiegel
- Messlineal
- Justierbare Halterung

Messung

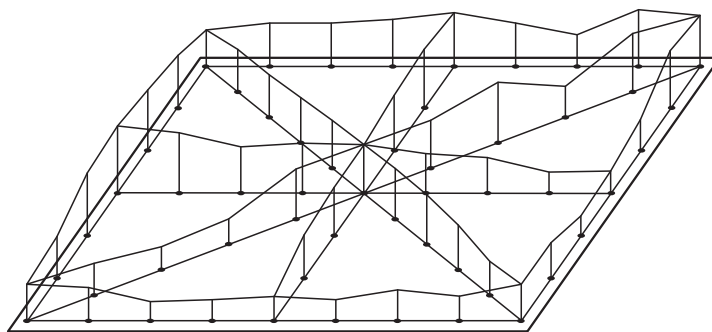
Zur Vermessung der Ebenheit von Flächen werden mehrere Geradheitsmessungen (s. S. 31) durchgeführt, die ein geometrisches Muster, z.B. den sogenannten „Union Jack“ (s. Abb. a) bilden. Der Autokollimator wird einem Ende der jeweiligen Messlinie angeordnet und so ausgerichtet, dass das Lichtbündel des Autokollimators in Messrichtung verläuft wird. Mit dem Basisspiegel wird nun eine Geradheitsmessung durchgeführt. Ein Messlineal kann hier als Führung des Basisspiegels verwendet werden. Dieses Verfahren wird für die anderen Messlinien wiederholt.

Das Höhenprofil der einzelnen Messungen wird durch Verknüpfung der Endpunkte der jeweiligen Linien zu einem zwei-dimensionalen Muster, hier dem „Union Jack“ (s. Abb. b) zusammengefügt. Diese Auswertung erfolgt am einfachsten auf einem Computer, für den eine spezielle Auswertesoftware zur Verfügung steht.

Mit dem ELCOMAT 3000 oder ELCOMAT vario kann die Messung mit größerer Genauigkeit und in kürzerer Zeit durchgeführt werden, da hier insbesondere bei rechnergestützter Auswertung die zeitaufwendige Dateneingabe entfällt.



a)



b)

3.8 Messung der Rechtwinkligkeit zwischen Spindel und Maschinenbett

Aufbau:

- Autokollimator mit Okularmikrometer, Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)

oder

- Autokollimator mit Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S304 (Strichplatte mit Millimeterteilung)

oder

- Autokollimator mit Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S411...S431 (Strichplatte mit Minutenteilung)

oder

- ELCOMAT (elektronischer Autokollimator)

und

- Zwei Planparallelspiegel
- Pentagonprisma mit Keil
- Stativ
- Justierbare Halterung

Messung

Die Messung erfolgt in zwei Schritten:

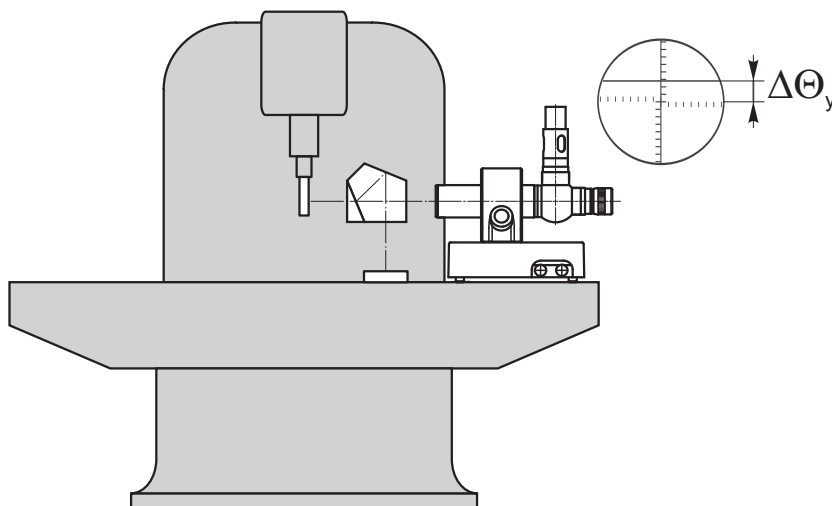
- Der Autokollimator wird in Gradsicht durch das Pentaprisma mit Keil zum Planparallelspiegel an der Spindel ausgerichtet. Dann wird der Spiegel um 180° gedreht. Die am Autokollimator abgelesene Winkelabweichung in vertikaler Richtung wird durch zwei geteilt. Der Spiegel wird um diesen Wert nachjustiert, so dass bei erneuter Drehung des Spiegels die vertikale Winkelabweichung am Autokollimator gleich bleibt.
- Ein zweiter Planparallelspiegel wird auf das Maschinenbett gelegt. über ein Pentaprisma wird das Lichtbündel auf den liegenden Spiegel abgelenkt, so dass ein zweites Autokollimationsbild entsteht.

Die Abweichung von der Rechtwinkligkeit $\Delta\beta$ kann direkt aus dem vertikalen Abstand der beiden Autokollimationsbilder bestimmt werden nach:

$$\Delta\beta = \frac{\Delta y'}{2f'} [206265''] \quad \text{oder} \quad \Delta\beta = \Delta\theta_y$$

Dabei ist:

- $\Delta\beta$: Abweichung von 90° -Winkel
- $\Delta\theta_y$: Versatz des Strichkreuzes bei Autokollimatoren mit Winkelablesung
- $\Delta y'$: Versatz des Strichkreuzes bei Autokollimatoren mit mm-Ablesung
- f' : Brennweite des Autokollimators



3.9 Messung der Parallelität neben- oder übereinanderliegender Bohrungen

Aufbau:

- Autokollimator mit Okularmikrometer, Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)

oder

- Autokollimator mit Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S304 (Strichplatte mit Millimeterteilung)

oder

- Autokollimator mit Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S411...S431 (Strichplatte mit Minutenteilung)

oder

- ELCOMAT (elektronischer Autokollimator)

und

- 45°-Umlenkspiegel
- Planspiegel
- Justierbare Halterung

Messung

Der Spiegel ist an einem Dorn befestigt und wird in die erste der zu prüfenden Bohrungen eingesetzt. Mit dem 45°-Umlenkspiegel wird das Lichtbündel nach oben abgelenkt. Der Autokollimator ist so auszurichten, dass das Autokollimationsbild des Fadenkreuzes genau in der Mitte der Okularstrichplatte liegt. Dann wird der Spiegel in die zweite Bohrung eingesetzt und die Anzeige $\Delta\theta_y$ abgelesen und der Winkel $\Delta\beta$ zwischen den Achsen bestimmt nach:

$$\Delta\beta = \frac{\Delta y'}{2f'} [:206265''] \quad \text{oder} \quad \Delta\beta = \Delta\theta_y$$

Dabei ist:

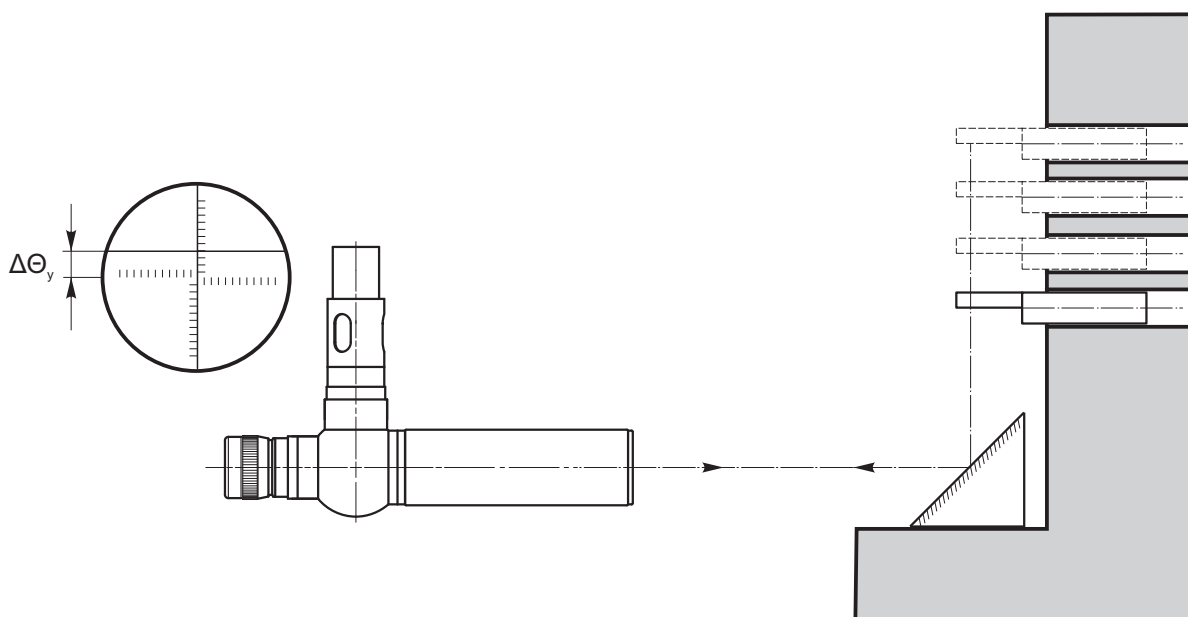
$\Delta\beta$: Winkelabweichung zwischen zwei Bohrungen

$\Delta\theta_y$: Versatz des Strichkreuzes bei Autokollimatoren mit Winkelablesung

$\Delta y'$: Versatz des Strichkreuzes bei Autokollimatoren mit mm-Ablesung

f' : Brennweite des Autokollimators

Mit dem ELCOMAT 3000 oder ELCOMAT vario kann die Messung mit größerer Genauigkeit und in kürzerer Zeit durchgeführt werden.



3.10 Prüfung der Genauigkeit von Rund- und Teiltischen

Aufbau:

- Autokollimator mit Okularmikrometer, Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S127 (Doppelfadenkreuz)

oder

- Autokollimator mit Kollimatorstrichplatte S115 (Fadenkreuz) und Okularstrichplatte S411...S431 (Strichplatte mit Minutenteilung)

oder

- ELCOMAT (elektronischer Autokollimator)

und

- Spiegelpolygon
- Justierbare Halterung

Messung

Die Teilkreisablesung so einstellen, dass ein voller Winkelwert erfasst wird. Auf das Drehteil des Rundtisches ein Polygon aufsetzen und ein Autokollimator zu einer der Flächen des Polygons justieren, bis das Fadenkreuz genau in der Mitte der Okularstrichplatte liegt. Es gibt zwei verschiedene Messmethoden:

- 1) Das Drehteil mit dem Polygon um den Winkelwert $360^\circ/n$ (n -Anzahl der Polygonflächen) drehen. Der Abstand des Bildes $\Delta x'$ von seiner Nulllage wird mit dem Okularmikrometer ausgemessen bzw. direkt abgelesen und der Fehler $\Delta\varphi$ bestimmt nach:

$$\Delta\varphi = \pm \frac{\Delta x'}{2f'} [\cdot 206265''] \quad \text{oder} \quad \Delta\varphi = \pm \Delta\theta_x$$

Das Vorzeichen muss aus dem Vergleich des Drehsinns von Rundtisch und Autokollimator gewonnen werden. Bei gleichem Drehsinn ist ein Minus bei entgegengesetztem ein Plus einzusetzen.

- 2) Das Drehteil mit dem Polygon so lange verdrehen, bis das Autokollimationsbild der nächsten Polygonfläche wieder genau in der Mitte der Okularstrichplatte liegt. Die Anzeige des Rundtisches φ ablesen. Der Fehler wird bestimmt nach:

$$\Delta\varphi = \frac{360^\circ}{n} - \varphi$$

Dabei ist:

$\Delta\varphi$: Fehler des Teilkreises im gemessenen Winkelbereich

n : Anzahl der Polygonflächen

$\Delta\theta_x$: Versatz des Strichkreuzes bei Autokollimatoren mit Winkelablesung

$\Delta x'$: horizontaler Versatz des Strichkreuzes bei Autokollimatoren mit mm-Ablesung

f' : Brennweite des Autokollimators

φ : Ablesung der Rundtischposition

Mit dem ELCOMAT 3000 oder ELCOMAT vario kann die Messung mit größerer Genauigkeit und in kürzerer Zeit durchgeführt werden.

