

G Kalibriersoftware „ZLM Position“

Für die Abnahme von Koordinatenmeßmaschinen und Werkzeugmaschinen haben verschiedene Normungsinstitutionen Richtlinien bzw. Normen herausgegeben.

Mit dem Meßprogramm „Positionsunsicherheit“ können Koordinatenmeßmaschinen und Werkzeugmaschinen nach den Richtlinien

- ISO 230,
- VDI/DGQ 3441,
- VDI/VDE 2617 und
- NMTBA

durch Positionsmessungen und deren statistischer Auswertung abgenommen werden. Die Richtlinie VDI/VDE 2617 umfaßt auch Geradheits-, Rechtwinkligkeits- und Winkelmessungen. Für diese Meßarten stehen weitere Meßprogramme zur Verfügung.

Der erste Teil der Beschreibung des Meßprogramms „Positionsunsicherheit“ beschäftigt sich mit den wesentlichen Informationen über die Richtlinien. Der zweite Teil beschreibt die Bedienung des Meßprogramms „Positionsunsicherheit“.

G 1 Meßverfahren und Auswerterichtlinien

Ziel der Messung bei Werkzeugmaschinen: Bei Werkzeugmaschinen sollte eine Abschätzung möglich sein, mit welcher Genauigkeit Teile auf dieser Maschine gefertigt werden können.

Ziel der Messung bei Koordinatenmeßmaschinen: Bei Koordinatenmeßmaschinen soll eine Aussage über die Meßgenauigkeit der Maschine gewonnen werden.

Ergebnis einer Messung: In den Richtlinien werden Kenngrößen definiert und graphische Darstellungen empfohlen, mit denen eine Abschätzung systematischer und zufälliger Abweichungen vom Idealzustand der Maschine möglich ist. Die Software liefert diese Kenngrößen und Diagramme als Meßergebnis.

In den oben angegebenen Richtlinien werden **gleichartige Meßverfahren** vorgegeben. Die Richtlinien unterscheiden sich vor allem bei der Berechnung der Kenngrößen und der graphischen Darstellung der Ergebnisse.

G 1.1 Meßverfahren

Entlang einer Linie, die dem Verlauf des Laserstrahls entspricht, werden mehrere Meßpositionen sowohl aus der einen als auch aus der anderen Richtung angefahren.

Bei der Aufnahme der Meßwerte sollte beachtet werden:

- Für jede Maschinenachse sollte mindestens eine Linie parallel zur Achse festgelegt werden, auf der Meßpositionen angefahren werden.
- Die Meßpositionen sollten über den gesamten Verfahrensbereich verteilt werden.

Weitere Empfehlungen für die Wahl der Meßpositionen werden von den Richtlinien gegeben.

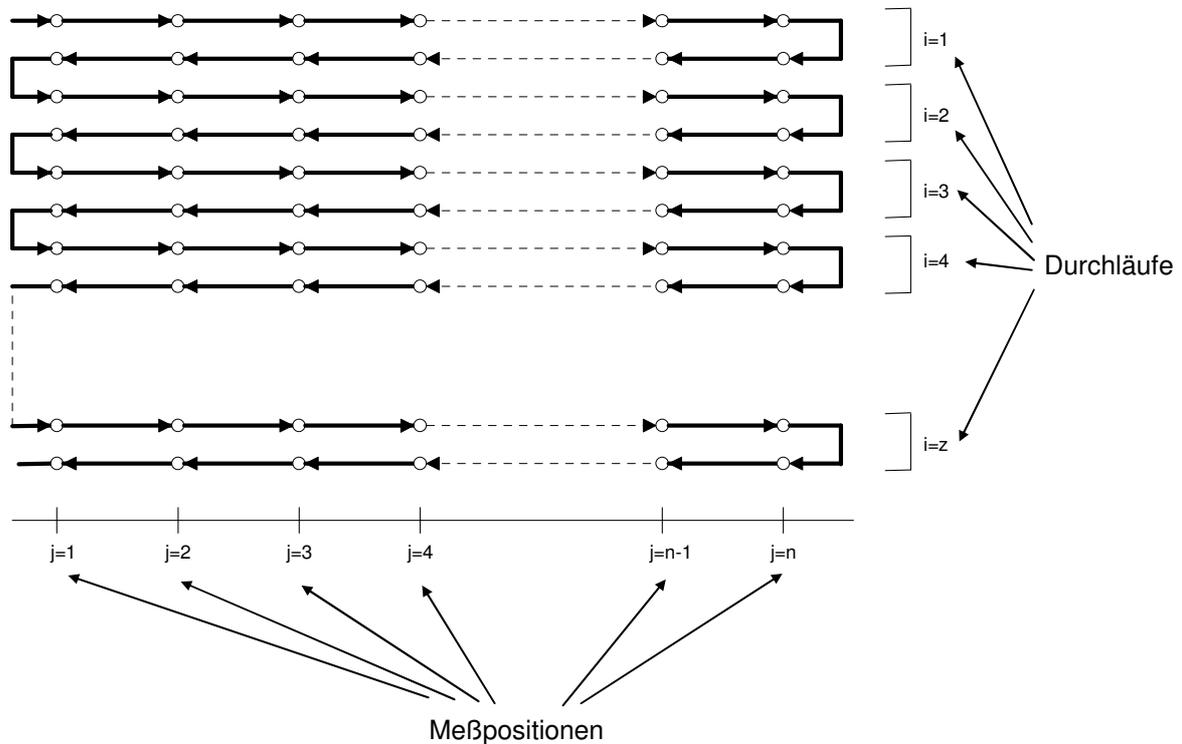
Richtlinie	Mindestanzahl absolut	Mindestanzahl je Maßstabelement	Bestimmungsgleichung für Sollpositionen
ISO 230	5 (bis 1m Meßlänge) 5 je Meter (bis 2m Meßlänge)	1	$P_j = N \cdot p \cdot r$ P_j - Sollposition N - ganze Zahl r - zufälliger Dezimalbruch p - größte periodische Teilung
VDI/DGQ 3441	10 je Meter + 1 (bis 2m Meßlänge)	1	
VDI/VDE 2617	11	2	

G 1.2 Positionierverfahren

Um statistische Aussagen über das Positionierverhalten eines Meßobjekts machen zu können, müssen mit dem Meßobjekt mehrere Positionen mehrmals angefahren werden. Unter den in der Praxis verwendeten Positionierverfahren unterstützt das Programm das Linearverfahren, das Pendelschrittverfahren, das Quasipilgerschrittverfahren und das unidirektionale Linearverfahren.

G 1.2.1 Linearverfahren

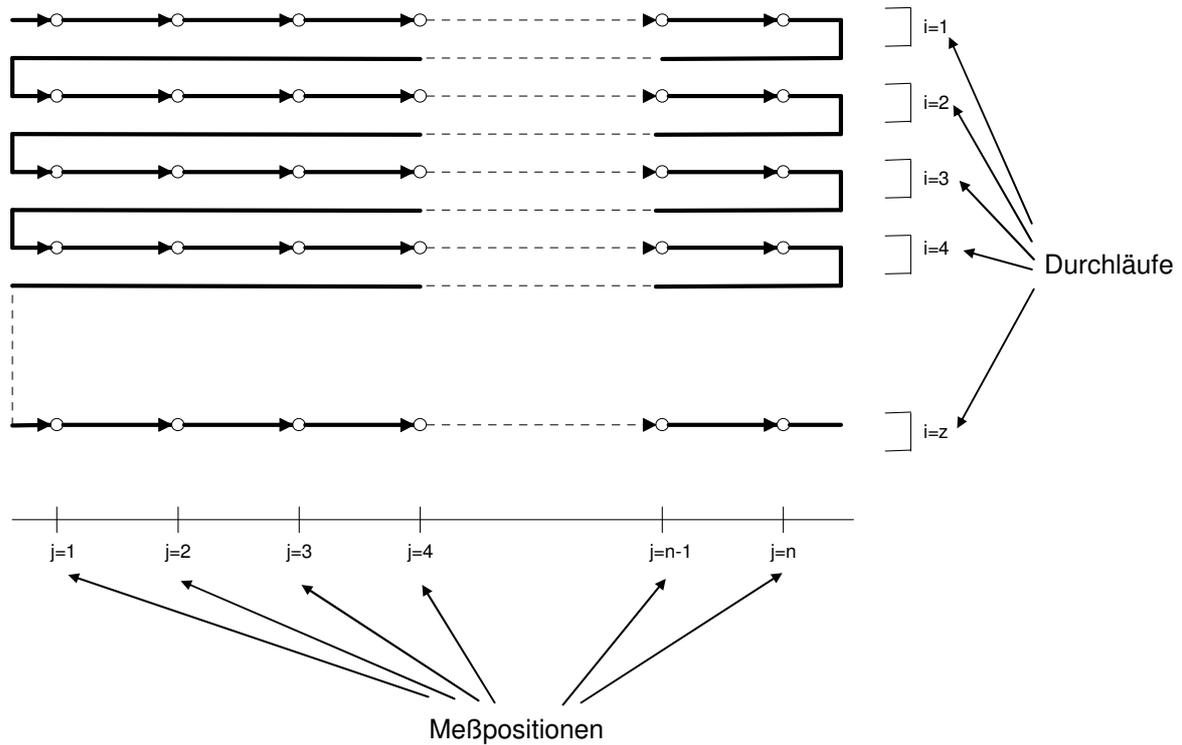
Beim Linearverfahren werden zunächst alle Positionen der Reihe nach in positiver Richtung und anschließend der Reihe nach in negativer Richtung angefahren.



Um zu gewährleisten, daß auch die erste und die letzte Meßposition in jedem Durchlauf aus der richtigen Richtung angefahren werden, muß am Anfang der Messung ein Einfahrweg und am Ende jedes Halbdurchlaufs eine Umkehrschleife gefahren werden.

Dieses Positionierverfahren ist einfach zu programmieren. Bei großen Abständen der Meßpositionen untereinander ist jedoch die Gesamtdauer der Messung groß. Treten während der Messung starke Temperaturänderungen auf, so wirken sich diese sowohl auf die Umkehrspanne als auch auf die Positionsstreuung aus (vgl. Abschnitt G.1.3).

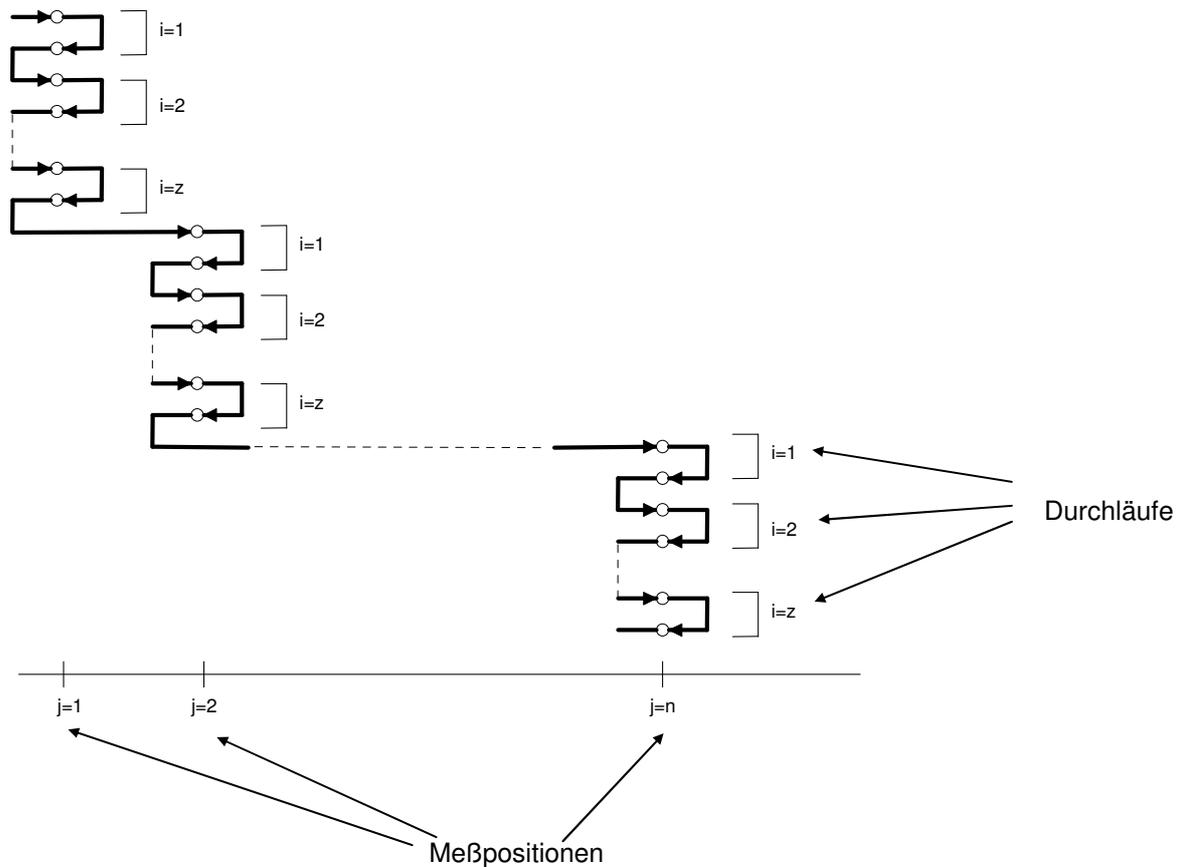
G 1.2.2 Unidirektionales Linearverfahren



Ist anzunehmen, daß die Unterschiede beim Anfahren in positive, gegenüber dem Anfahren in negative Richtung vernachlässigbar sind (kleine Umkehrspanne), so kann mit dem Programm auch das unidirektionale Linearverfahren verwendet werden.

Im Extremfall kann auch ein Schnelltest mit einem Durchlauf vorgenommen werden. Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß die im Abschnitt G.1.3 beschriebenen Auswerterichtlinien der Normungsgremien dieses Positionierverfahren nicht berücksichtigen.

G 1.2.3 Pendelschrittverfahren

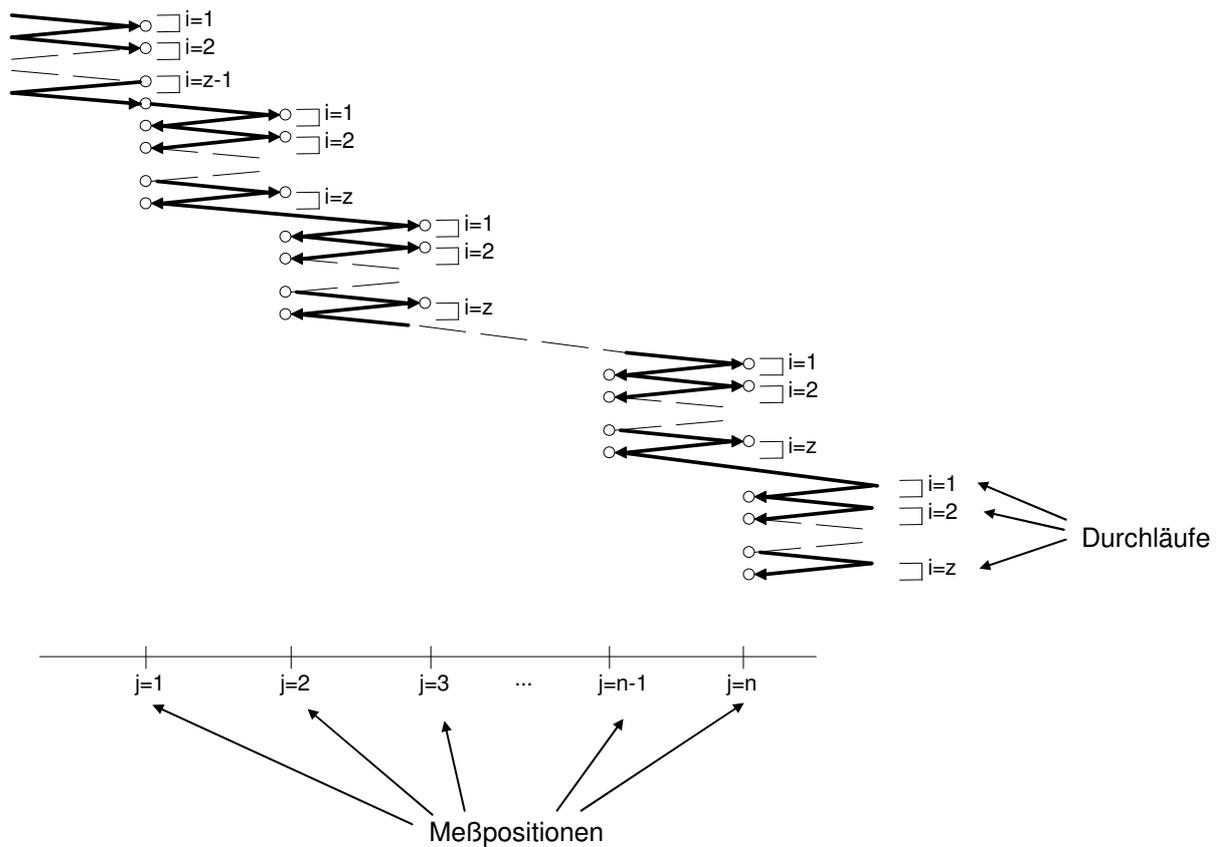


Beim Pendelschrittverfahren wird eine Meßposition abwechselnd in positive und negative Richtung angefahren, bevor zur folgenden Meßposition übergegangen wird.

Bei größeren Abständen zwischen den Meßpositionen ist mit dem Pendelschrittverfahren der kürzeste Gesamtverfahrweg realisierbar.

Starke Temperaturänderungen während der Messung wirken sich weder auf die Umkehrspanne noch auf die Positionsstreuung aus (vgl. Abschnitt G.1.3). Durch die große Zeitdifferenz zwischen der Meßwertaufnahme der ersten Meßposition und Meßwertaufnahme der letzten Meßposition treten thermische und andere Einflüsse während der Messung als systematische Fehler auf.

G 1.2.4 Quasi-Pilgerschritt-Verfahren



Beim Quasi-Pilgerschritt-Verfahren wird zunächst die erste Meßposition mehrmals in positiver Richtung angefahren. Anschließend wird abwechselnd die zweite Position in positive und die erste Position in negative Richtung angefahren. Die abwechselnde Positionierung von j -ter und $j+1$ -ter Position wird fortgeführt bis die letzte Position in positiver Richtung durchgemessen wurde. Abschließend muß nur noch die letzte Position mehrmals in negative Richtung angefahren werden.

Wie beim Pendelschrittverfahren wirken sich starke Temperaturänderungen während der Messung nicht auf die Umkehrspanne und die Positionsstreuung aus und treten als systematischer Fehler in Erscheinung.

G.1.3 Auswerterichtlinien

Für die Berechnung der Kenngrößen und die graphische Darstellung der Ergebnisse gibt es bei den Richtlinien größere Unterschiede.

Eine Gemeinsamkeit ist jedoch, daß alle Richtlinien einen Satz von Kenngrößen definieren, die getrennt

- systematische Positionsabweichungen,
 - zufällige Positionsabweichungen und
 - summarisch systematische und zufällige Positionsabweichungen
- charakterisieren. Auch den entsprechenden graphischen Darstellungen können diese drei Aspekte der Positionsabweichungen getrennt entnommen werden.

Am Beispiel einer Werkzeugmaschine wird im folgenden versucht, die Bedeutung der Kenngrößen zu verdeutlichen:

Systematische Positionsabweichungen:

Mit Ausnahme der ISO230 wird eine Kenngröße „**Positionsabweichung**“ definiert.

Wenn auf der Werkzeugmaschine eine gewisse Anzahl von Teilen gefertigt wird, so gibt die „Positionsabweichung“ an, mit welcher Fertigungsabweichung bei den Teilen im Durchschnitt zu rechnen ist.

Mit Ausnahme der NMTBA wird eine Kenngröße „**Umkehrspanne**“ definiert.

Die „Umkehrspanne“ gibt an, mit welchen Auswirkungen im Durchschnitt zu rechnen ist, wenn beim Fertigungsprozeß eine Position statt aus der einen Richtung, nun aus der anderen Richtung angefahren wird.

Zufällige Positionsabweichungen:

Die „**Positionsstreuung**“ gibt an, welche maximalen Unterschiede bei mindestens 99,5% der gefertigten Teile zu erwarten sind. (Eine Ausnahme bildet die VDI/VDE 2617 für Koordinatenmeßmaschinen, bei der die Positionsstreuung für 95% der zu erwartenden Meßwertabweichungen berechnet wird).

Summarische Positionsabweichungen:

Die „**Positionsunsicherheit**“ gibt an, mit welcher Fertigungsabweichung bei einer 99,5% -igen Ausbeute zu rechnen ist, unabhängig davon, aus welcher Richtung die Positionen angefahren werden.

Den folgenden Übersichten kann entnommen werden, wie die Kenngrößen und die Graphen in den Diagrammen bei den einzelnen Richtlinien berechnet werden.

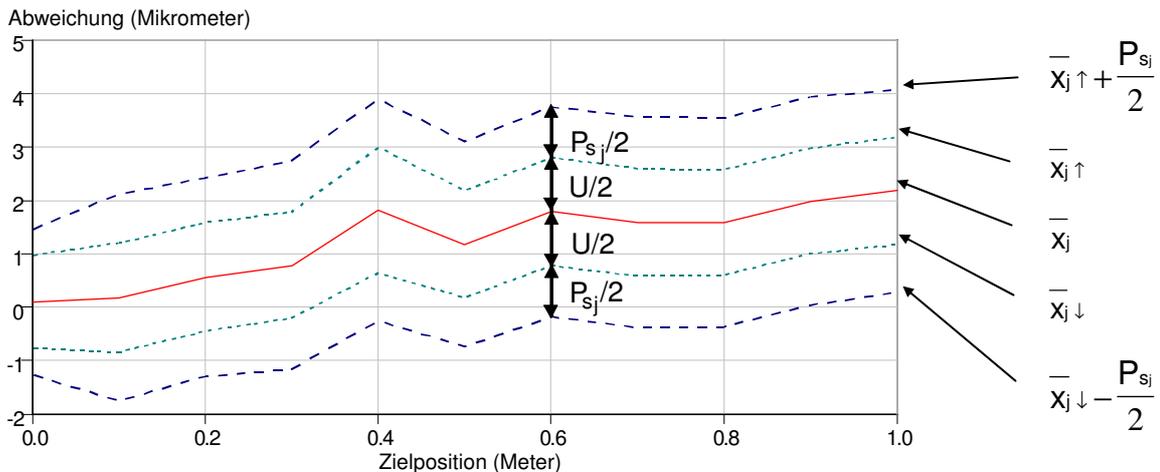
VDI/DGQ 3441	z - Anzahl der Meßzyklen	x_{ij} - Abweichung(Istwert-Sollwert) für
	n - Anzahl der Meßpositionen	Position j beim Zyklus i
	i - Zyklusnummer	↑ - positive Anfahrtrichtung
	j - Positionsnummer	↓ - negative Anfahrtrichtung

Diagramm:

Mittlere Abweichung: $\bar{x}_{j\uparrow} = \frac{1}{z} \sum_{i=1}^z x_{ij\uparrow}$ $\bar{x}_{j\downarrow} = \frac{1}{z} \sum_{i=1}^z x_{ij\downarrow}$ $\bar{x}_j = \frac{\bar{x}_{j\uparrow} + \bar{x}_{j\downarrow}}{2}$

Positionsstreuung: $P_{sj} = 3 \cdot \left(\sqrt{\frac{1}{z-1} \sum_{i=1}^z (x_{ij\uparrow} - \bar{x}_{j\uparrow})^2} + \sqrt{\frac{1}{z-1} \sum_{i=1}^z (x_{ij\downarrow} - \bar{x}_{j\downarrow})^2} \right)$

Umkehrspanne: $U_j = |\bar{x}_{j\uparrow} - \bar{x}_{j\downarrow}|$



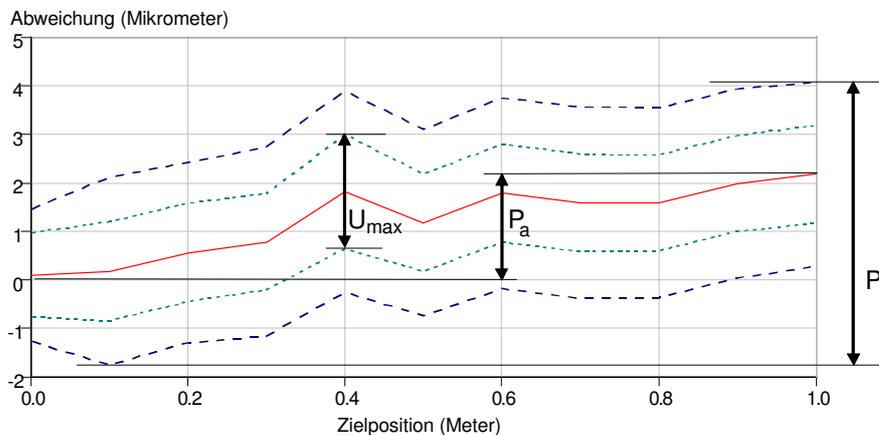
Kenngößen:

Positionsstreuung: $P_{s\max} = \max[P_{sj}]_{j=1}^n$ $P_{s\text{mit}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{sj}$

Umkehrspanne: $U_{\max} = \max[U_j]_{j=1}^n$ $U_{\text{mit}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n U_j$

Positionsabweichung: $P_a = \left| \max[\bar{x}_j]_{j=1}^n - \min[\bar{x}_j]_{j=1}^n \right|$

Positionsunsicherheit: $P = \max \left[\bar{x}_j + \frac{1}{2} (U_j + P_{sj}) \right]_{j=1}^n - \min \left[\bar{x}_j - \frac{1}{2} (U_j + P_{sj}) \right]_{j=1}^n$



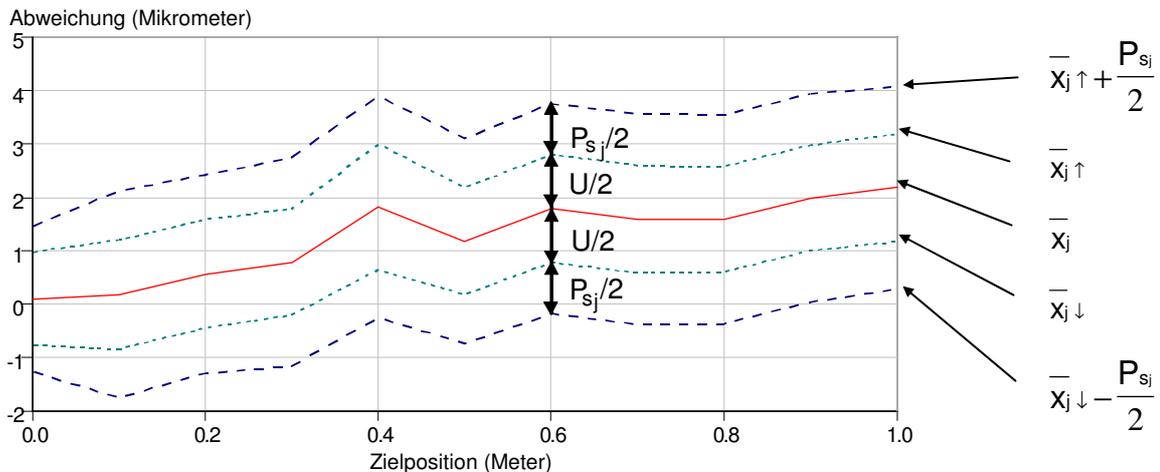
VDI/VDE 2617	z - Anzahl der Meßzyklen	x_{ij} - Abweichung(Istwert-Sollwert) für
	n - Anzahl der Meßpositionen	Position j beim Zyklus i
	i - Zyklusnummer	↑ - positive Anfahrtrichtung
	j - Positionsnummer	↓ - negative Anfahrtrichtung

Diagramm:

Mittlere Abweichung: $\bar{x}_{j\uparrow} = \frac{1}{z} \sum_{i=1}^z x_{ij\uparrow}$ $\bar{x}_{j\downarrow} = \frac{1}{z} \sum_{i=1}^z x_{ij\downarrow}$ $\bar{x}_j = \frac{\bar{x}_{j\uparrow} + \bar{x}_{j\downarrow}}{2}$

Positionsstreuung: $P_{sj} = 2 \cdot \left(\sqrt{\frac{1}{z-1} \sum_{i=1}^z (x_{ij\uparrow} - \bar{x}_{j\uparrow})^2} + \sqrt{\frac{1}{z-1} \sum_{i=1}^z (x_{ij\downarrow} - \bar{x}_{j\downarrow})^2} \right)$

Umkehrspanne: $U_j = |\bar{x}_{j\uparrow} - \bar{x}_{j\downarrow}|$



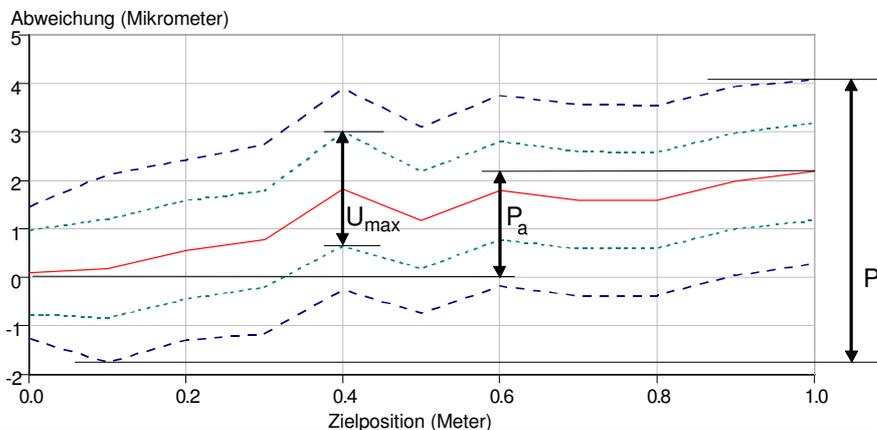
Kenngößen:

Positionsstreuung $P_{s\max} = \max[P_{sj}]_{j=1}^n$ $P_{s\text{mit}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{sj}$

Umkehrspanne $U_{\max} = \max[U_j]_{j=1}^n$ $U_{\text{mit}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n U_j$

Positionsabweichung $P_a = \left| \max[\bar{x}_j]_{j=1}^n - \min[\bar{x}_j]_{j=1}^n \right|$

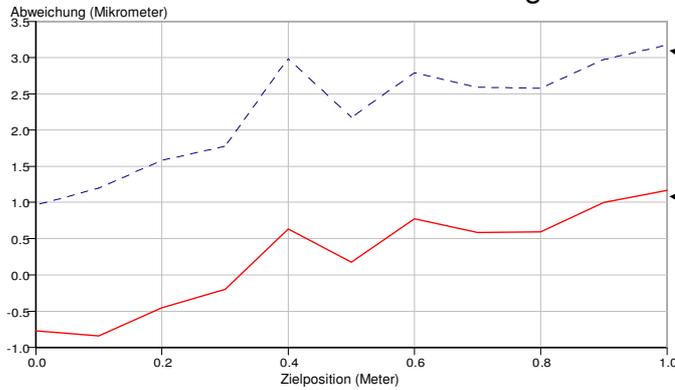
Positionsunsicherheit $P = \max \left[\bar{x}_j + \frac{1}{2} (U_j + P_{sj}) \right]_{j=1}^n - \min \left[\bar{x}_j - \frac{1}{2} (U_j + P_{sj}) \right]_{j=1}^n$



ISO 230	z - Anzahl der Meßzyklen	x_{ij} - Abweichung(Istwert-Sollwert) für
	n - Anzahl der Meßpositionen	Position j beim Zyklus i
	i - Zyklusnummer	↑ - positive Anfahrtrichtung
	j - Positionsnummer	↓ - negative Anfahrtrichtung

Diagramme:

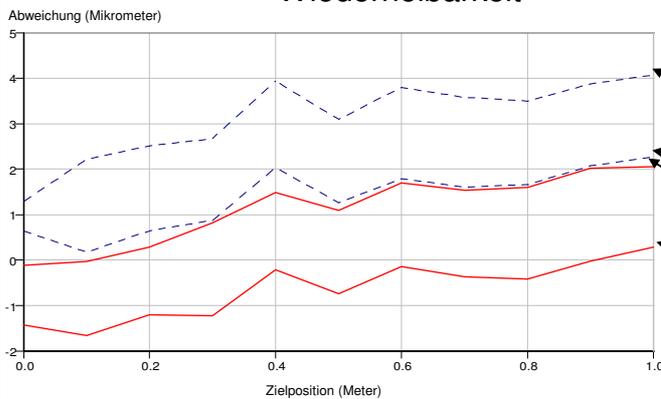
Gemittelte Abweichungen



$$\bar{x}_j \downarrow = \frac{1}{z} \sum_{i=1}^z x_{ij} \downarrow$$

$$\bar{x}_j \uparrow = \frac{1}{z} \sum_{i=1}^z x_{ij} \uparrow$$

Wiederholbarkeit



Standardabweichung:

$$s_j \uparrow = \sqrt{\frac{1}{z-1} \sum_{i=1}^z (x_{ij} \uparrow - \bar{x}_j \uparrow)^2}$$

$$s_j \downarrow = \sqrt{\frac{1}{z-1} \sum_{i=1}^z (x_{ij} \downarrow - \bar{x}_j \downarrow)^2}$$

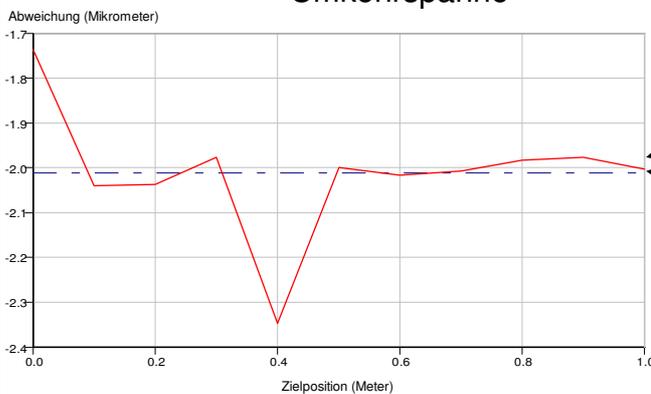
$$\bar{x}_j \downarrow + 3s_j \downarrow$$

$$\bar{x}_j \downarrow - 3s_j \downarrow$$

$$\bar{x}_j \uparrow + 3s_j \uparrow$$

$$\bar{x}_j \uparrow - 3s_j \uparrow$$

Umkehrspanne



$$B_j = \bar{x}_j \downarrow - \bar{x}_j \uparrow$$

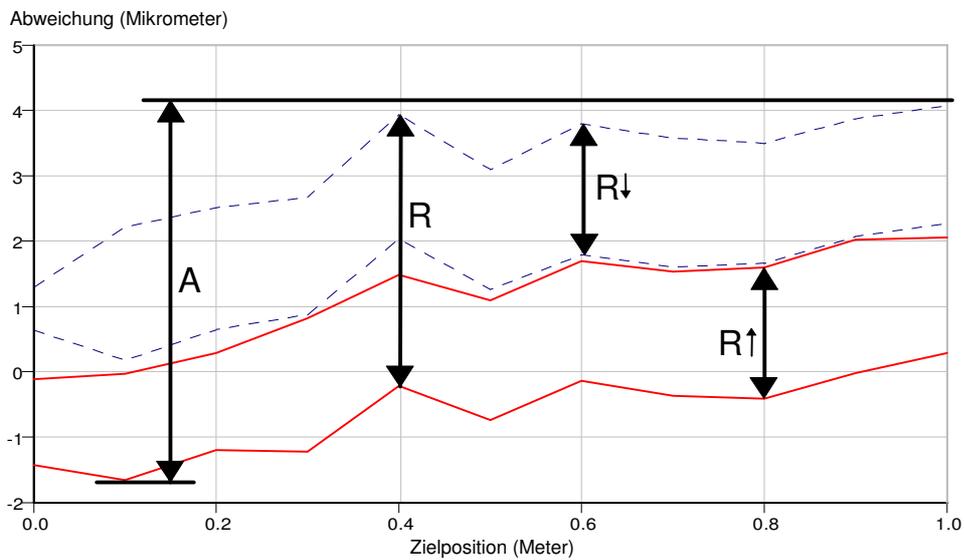
$$\bar{B} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n B_j$$

ISO 230	z - Anzahl der Meßzyklen	x_{ij} - Abweichung(Istwert-Sollwert) für
	n - Anzahl der Meßpositionen	Position j beim Zyklus i
	i - Zyklusnummer	↑ - positive Anfahrtrichtung
	j - Positionsnummer	↓ - negative Anfahrtrichtung

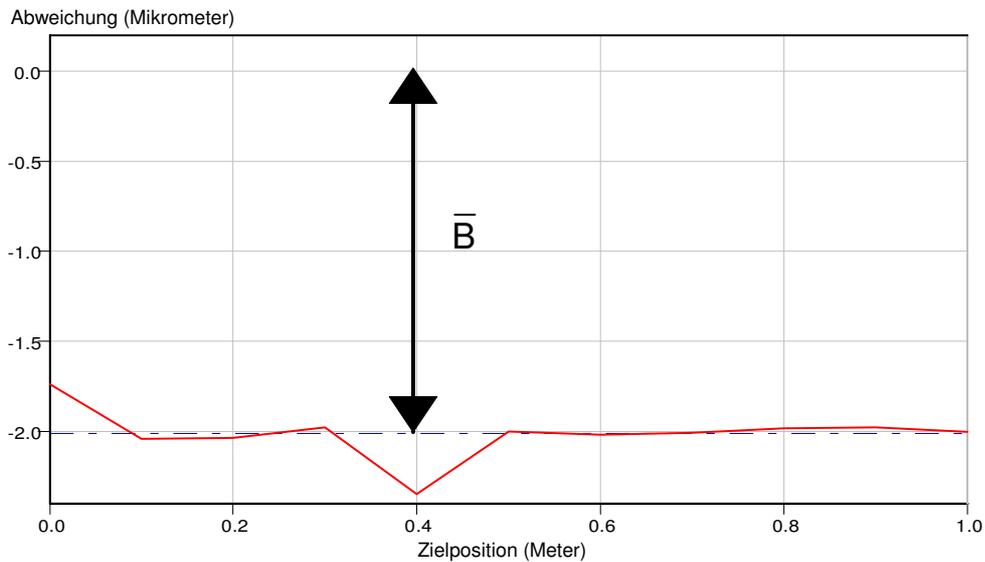
Kenngößen:

Positionsstreuung $R = \max \left[\max \left[6s_{j\uparrow}, 6s_{j\downarrow}, 3s_{j\uparrow} + 3s_{j\downarrow} + |B_j| \right] \right]_{j=1}^n$
 $R\uparrow = \max [6s_{j\uparrow}]_{j=1}^n$
 $R\downarrow = \max [6s_{j\downarrow}]_{j=1}^n$

Positionsunsicherheit $A = \max \left[\max \left[\bar{x}_j\uparrow + 3s_{j\uparrow}, \bar{x}_j\downarrow + 3s_{j\downarrow} \right] \right]_{j=1}^n - \min \left[\min \left[\bar{x}_j\uparrow - 3s_{j\uparrow}, \bar{x}_j\downarrow - 3s_{j\downarrow} \right] \right]_{j=1}^n$



Mittlere Umkehrspanne $\bar{B} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_{j\downarrow} - x_{j\uparrow})$



NMTBA	z - Anzahl der Meßzyklen	x_{ij} - Abweichung(Istwert-Sollwert) für
	n - Anzahl der Meßpositionen	Position j beim Zyklus i
	i - Zyklusnummer	↑ - positive Anfahrtrichtung
	j - Positionsnummer	↓ - negative Anfahrtrichtung

Diagramm:

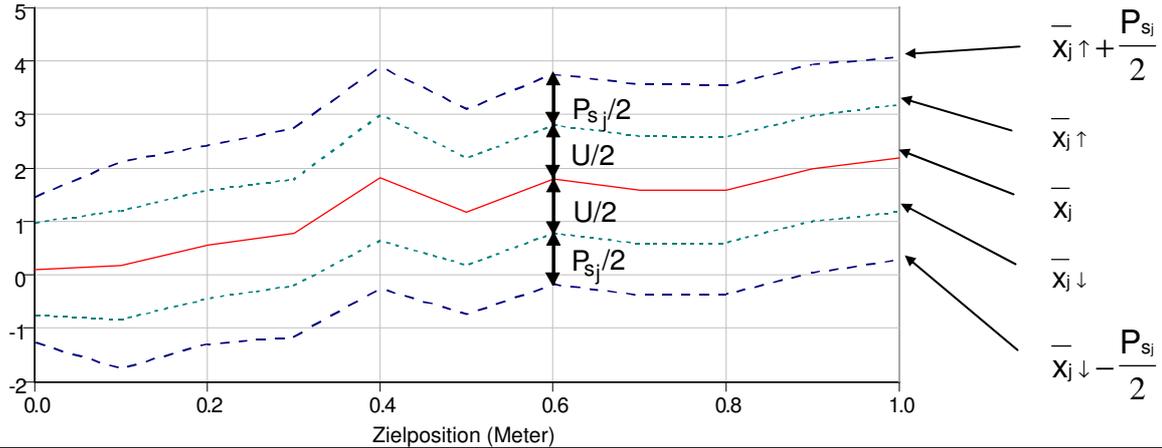
Mittlere Abweichung:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{2 \cdot z} \sum_{i=1}^z (x_{ij \uparrow} + x_{ij \downarrow})$$

Positionsstreubreite:

$$P_{sj} = 6 \cdot \sqrt{\frac{1}{2 \cdot z - 1} \sum_{i=1}^z \left\{ (x_{ij \uparrow} - \bar{x}_j)^2 + (x_{ij \downarrow} - \bar{x}_j)^2 \right\}}$$

Abweichung (Mikrometer)



Kenngößen:

Positionsstreubreite

$$P_{s \max} = \max [P_{sj}]_{j=1}^n$$

$$P_{s \text{ mit}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{sj}$$

Offset

$$O = -\frac{1}{2} \cdot \left(\max \left[X_j + \frac{P_{sj}}{2} \right]_{j=1}^n + \min \left[X_j - \frac{P_{sj}}{2} \right]_{j=1}^n \right)$$

Positionsabweichung

$$P_a = \left| \max [X_j]_{j=1}^n - \min [X_j]_{j=1}^n \right|$$

Positionsunsicherheit

$$P = \max \left[X_j + \frac{P_{sj}}{2} \right]_{j=1}^n - \min \left[X_j - \frac{P_{sj}}{2} \right]_{j=1}^n$$

Abweichung (Mikrometer)

