

3. Genauigkeit und Fehlerverhalten

Literatur zu Abschnitt 3 und 4:

- /9/ Krause, W.: Gerätekonstruktion in Feinwerktechnik und Elektronik. 3. stark bearbeitete Auflage. München, Wien: Carl Hanser Verlag 2000.
- /10/ Kirschling, G.: Qualitätssicherungen und Toleranzen. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 1988.
- /11/ Klein, B.; Mannewitz, F.: Statistische Tolerierung. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg-Verlag 1993.
- /12/ Szyminski, S.: Toleranzen und Passungen. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg-Verlag 1993.
- /13/ DIN 7186: Statistische Tolerierung.
- /14/ DIN 1319: Grundbegriffe der Messtechnik.

3.1 Grundlagen / Einführung

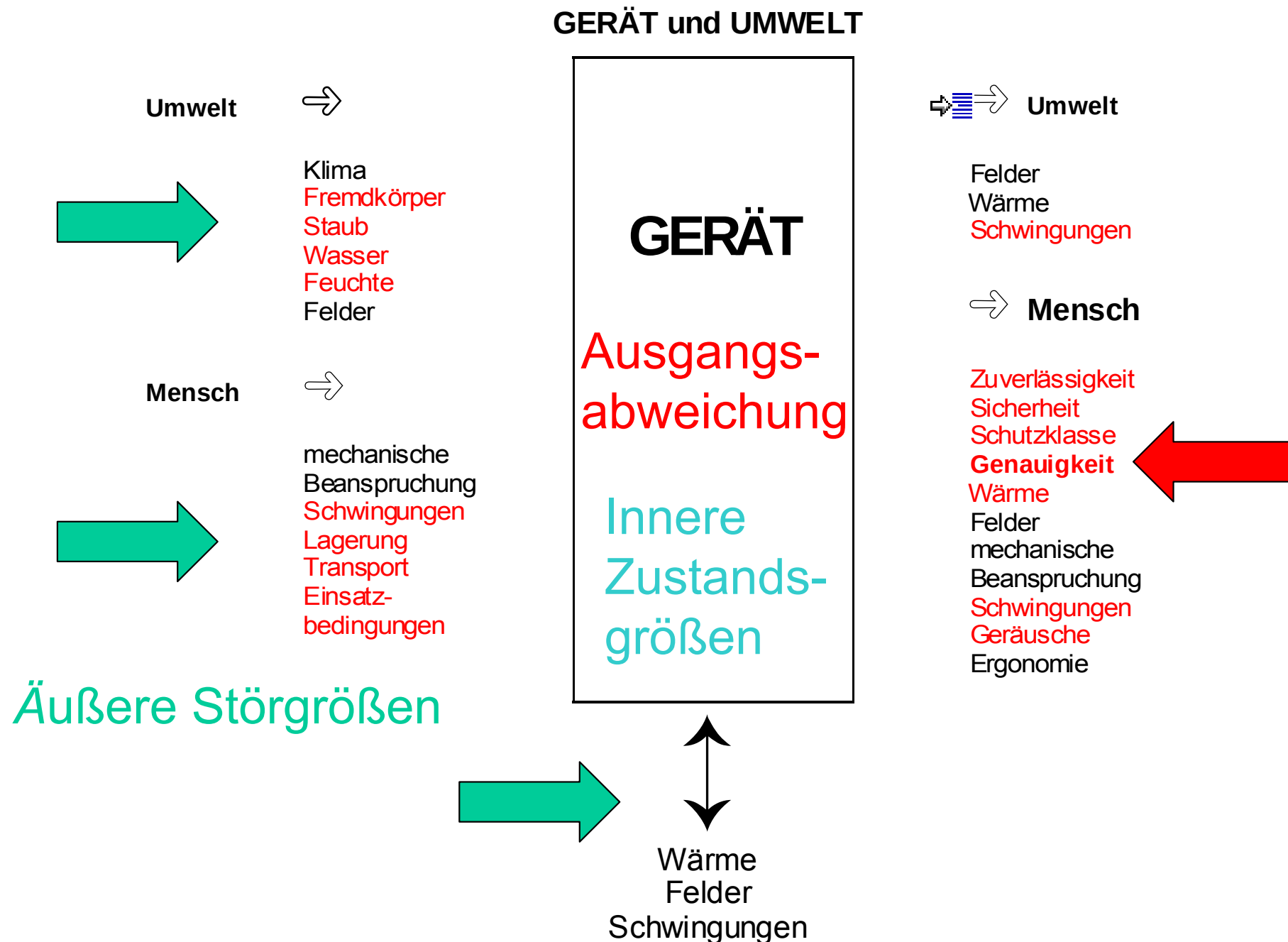
Grundlagen / Einführung

Abweichungen bzw. Unsicherheiten von Maßen und damit von geometrischen Größen wirken sich auch in Form von Abweichungen von der angestrebten Gerätefunktion aus.

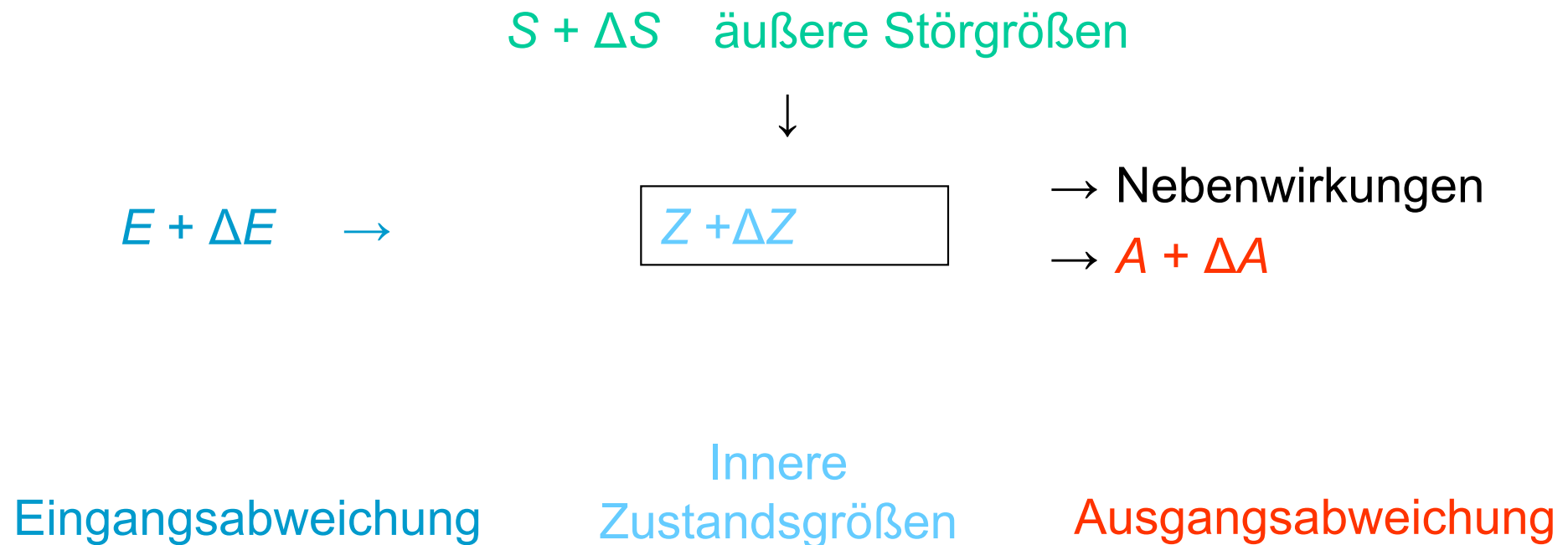
Folgende Abweichungen und gegebenenfalls auch Fehler sind zu unterscheiden:

- Abweichungen der Eingangsgroße $\Delta\alpha$
- Abweichungen innerer Größen – innerer Zustandsgrößen
- Abweichungen äußerer Größen / Umweltbedingungen – äußere Störgrößen

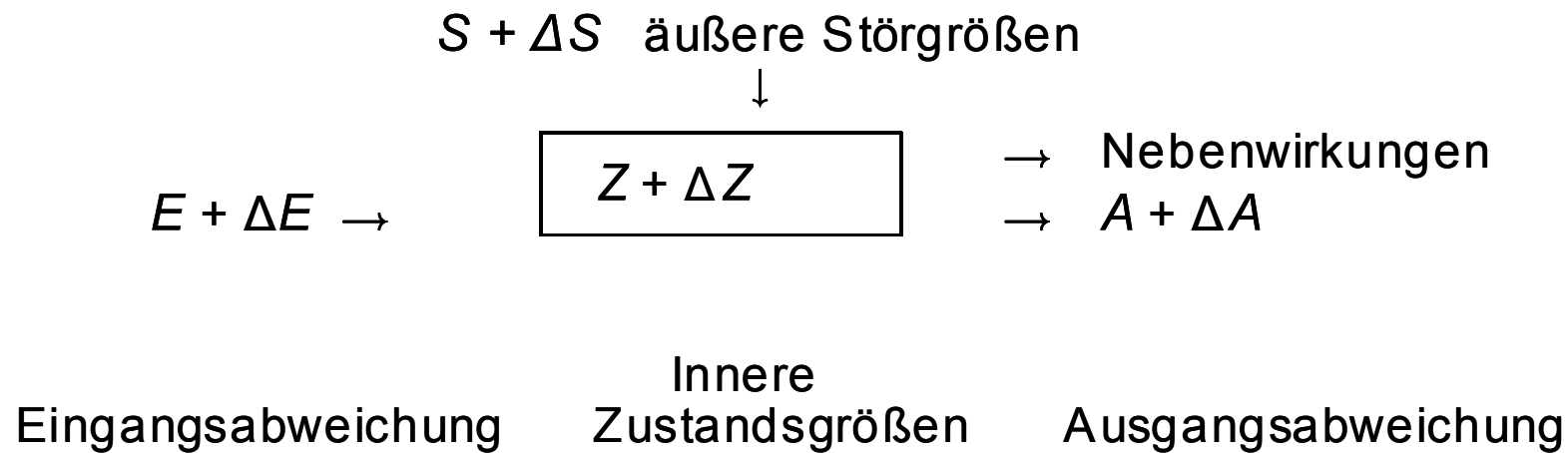
Entstehung von Abweichungen der Ausgangsgrößen



Entstehung von Abweichungen der Ausgangsgrößen

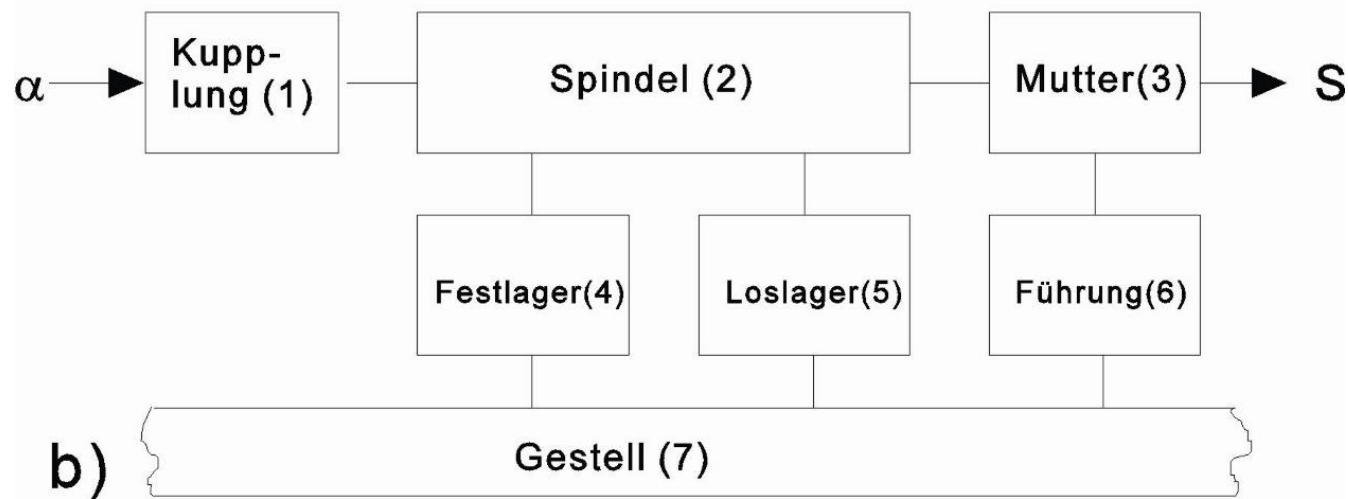
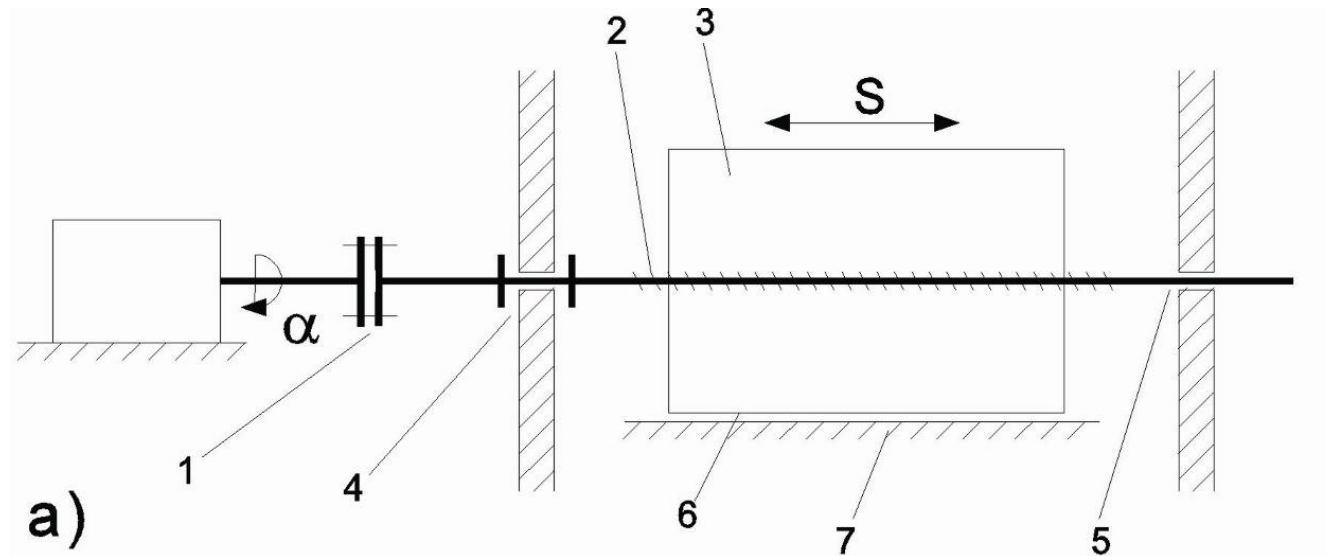


Einflüsse auf die Gerätefunktion



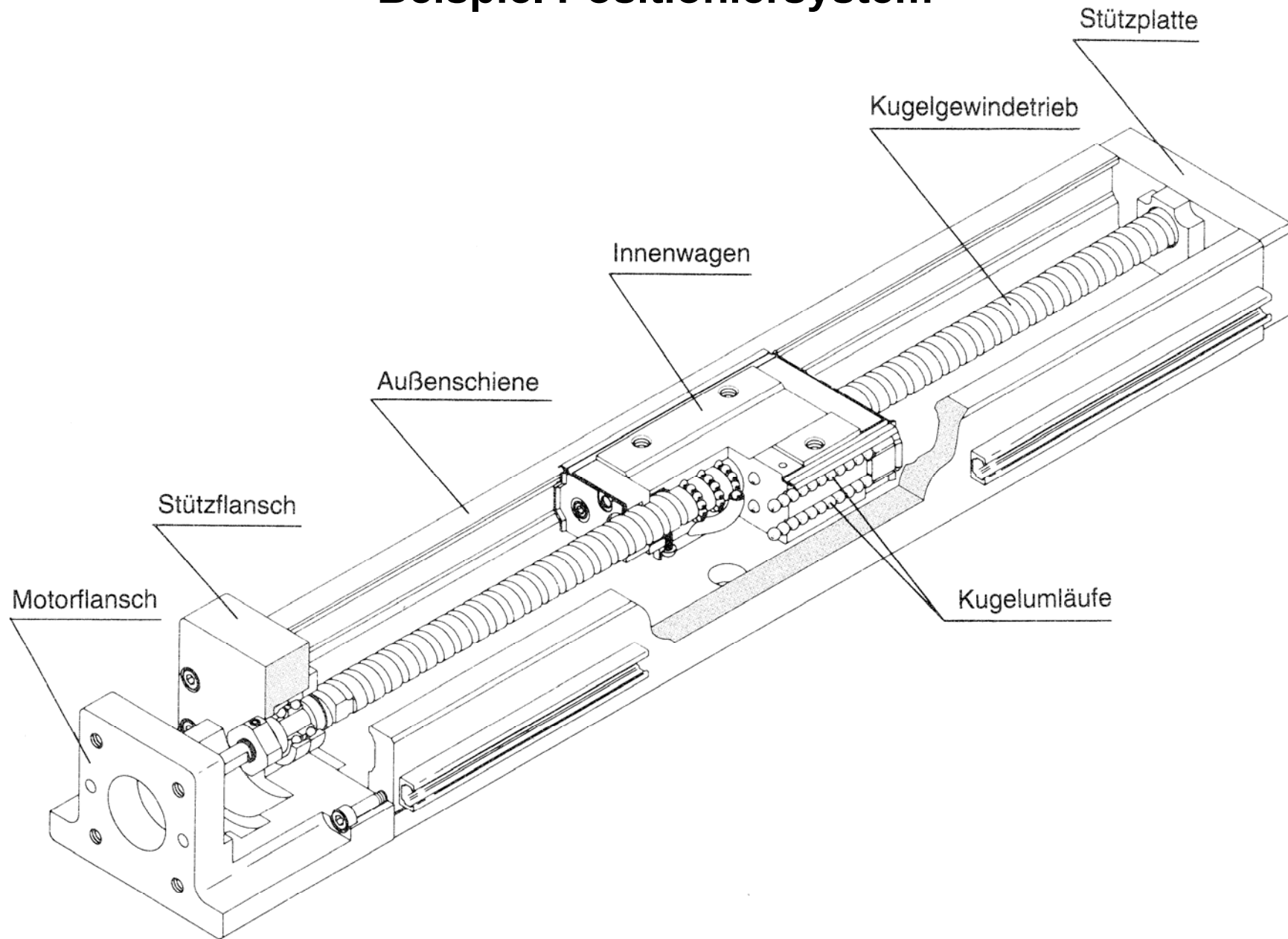
$$\Delta A = \sum_{i=1}^n \frac{\partial A}{\partial E_i} \Delta E_i + \sum_{i=1}^m \frac{\partial A}{\partial Z_i} \Delta Z_i + \sum_{i=1}^k \frac{\partial A}{\partial S_i} \Delta S_i$$

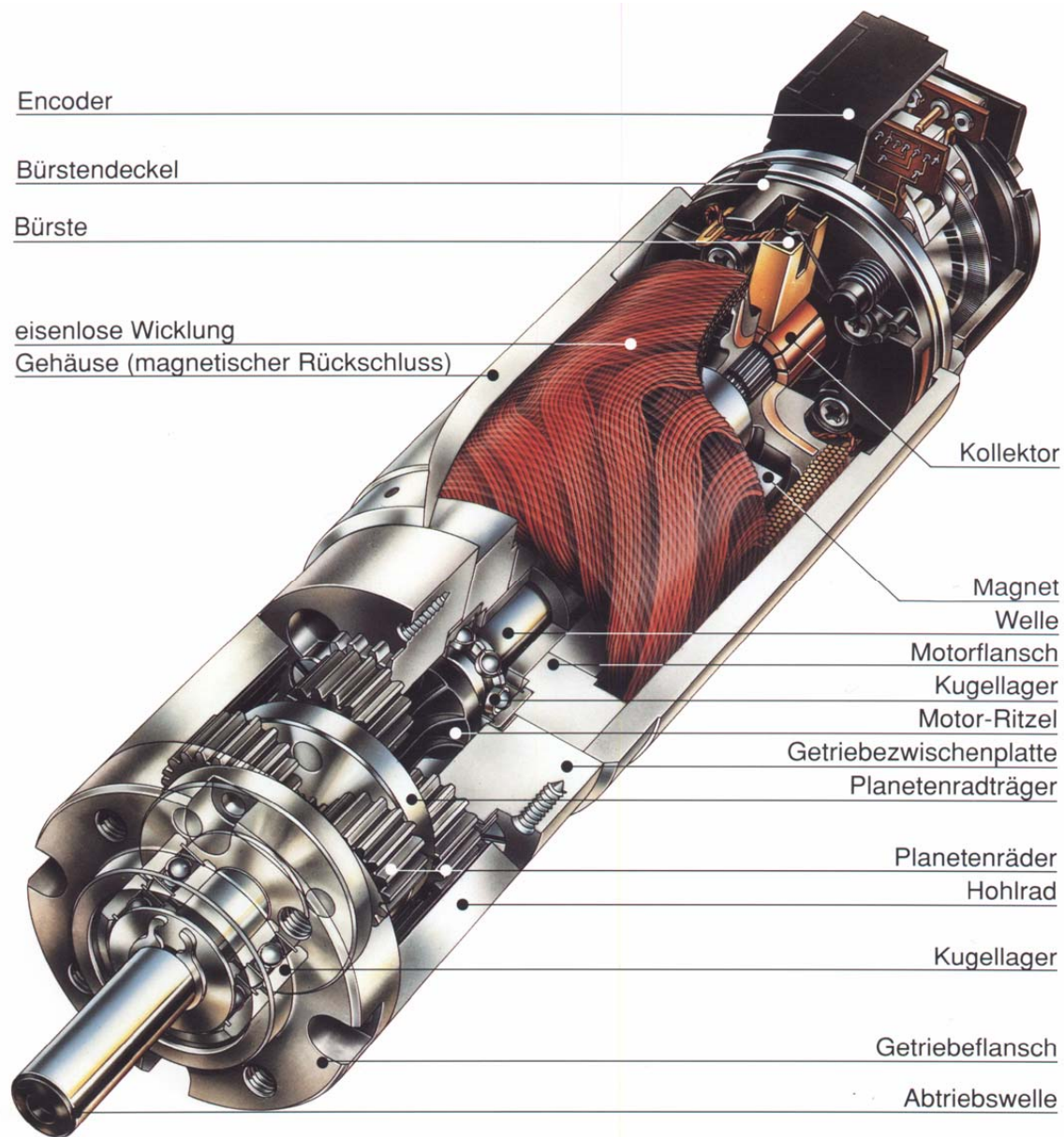
Struktur und Beziehungen zur Umwelt an einem Positioniersystem



a) Struktur b) Beziehungen zueinander und zur Umwelt

Beispiel Positioniersystem





**Permanentmagnetisch
erregter
Gleichstrom-
Hohlläufermotor**

**für hochdynamische
Positionieraufgaben**

**mit angeflanschem
inkrementalem Geber**

**mit stirnseitigem
Umlaufräder-Getriebe**

Quelle: maxon motor

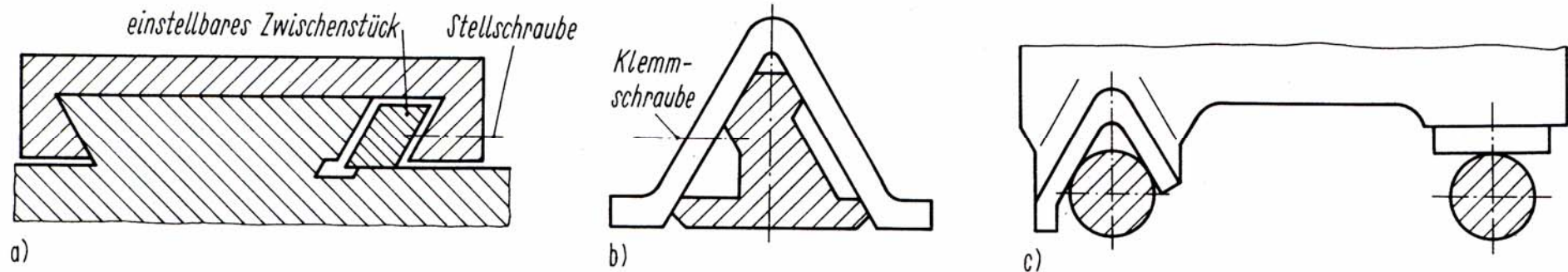
smartflex®



mayr®

Quelle: mayr

Beispiel Präzisionsgleitführungen



- a) Schwalbenschwanzführung mit Justageleiste;
b, c) Prismenführungen

3.2 Ableitung von Fehlerfaktoren für Wirkprinzip und Anordnung / Gestalt

Ableitung von Fehlerfaktoren für Wirkprinzip und Anordnung / Gestalt

a) Für Auswirkungen systematischer Abweichungen / lineares Fehlerfortpflanzungsgesetz

Systematische Einflüsse auf Gerätefunktion $y = y(x_1, x_2, \dots, x_n)$ beschreibbar über Reihenentwicklung $\Delta y = f(\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n)$. Wegen der relativ kleinen Abweichungen Δx_i müssen hierbei zunächst nur Glieder 1. Ordnung berücksichtigt werden. Es folgt das **lineare Fehlerfortpflanzungsgesetz**

$$\rightarrow \Delta y = \frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_n} \Delta x_n = \sum_{i=1}^n \frac{\partial y}{\partial x_i} \Delta x_i$$

mit $\frac{\partial y}{\partial x_i}$ als Fehlerfaktor (aus der Messtechnik ist $\Delta y/y$ als relativer Fehler bekannt).

Ableitung von Fehlerfaktoren für Wirkprinzip und Anordnung / Gestalt

a) Für Auswirkungen systematischer Abweichungen / lineares Fehlerfortpflanzungsgesetz

Taylorische Formel

für Funktionen, die in einer Umgebung der Entwicklungsstelle stetige partielle Ableitungen bis zur $(n + 1)$ -ten Ordnung haben:

$$\begin{aligned}
 f(x + h, y + k) &= f(x, y) + \frac{f_x(x, y) \cdot h + f_y(x, y) \cdot k}{1!} + \\
 &+ \frac{f_{xx}(x, y) \cdot h^2 + 2 f_{xy}(x, y) \cdot h k + f_{yy}(x, y) \cdot k^2}{2!} + \\
 &+ \frac{f_{xxx}(x, y) \cdot h^3 + 3 f_{xxy}(x, y) \cdot h^2 k + 3 f_{xyy}(x, y) \cdot h k^2 + f_{yyy}(x, y) \cdot k^3}{3!} + \\
 &+ \frac{1}{4!} \left[h \frac{\partial}{\partial x} + k \frac{\partial}{\partial y} \right]^4 f(x, y) + \dots + \frac{1}{n!} \left[h \frac{\partial}{\partial x} + k \frac{\partial}{\partial y} \right]^n f(x, y) + R_n \\
 R_n &= \frac{1}{(n + 1)!} \left[h \frac{\partial}{\partial x} + k \frac{\partial}{\partial y} \right]^{n+1} f(x + \vartheta h, y + \vartheta k) \quad 0 < \vartheta < 1 \\
 \left(\text{z. B. } \left[h \frac{\partial}{\partial x} + k \frac{\partial}{\partial y} \right]^4 f &= h^4 \frac{\partial^4 f}{\partial x^4} + 4 h^3 k \frac{\partial^4 f}{\partial x^3 \partial y} + 6 h^2 k^2 \frac{\partial^4 f}{\partial x^2 \partial y^2} + 4 h k^3 \frac{\partial^4 f}{\partial x \partial y^3} + k^4 \frac{\partial^4 f}{\partial y^4} \right)
 \end{aligned}$$

Ableitung von Fehlerfaktoren für Wirkprinzip und Anordnung / Gestalt

- a) Für Auswirkungen systematischer Abweichungen / lineares Fehlerfortpflanzungsgesetz

Taylor'sche Reihenentwicklung
für 2 Variablen x_1, x_2

$$y = f(x_1, x_2)$$

$$y + \Delta y = f(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2)$$

$$= f(x_1, x_2) + \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2$$

$$+ \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} (\Delta x_1)^2 + \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} \Delta x_1 \cdot \Delta x_2 + \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} (\Delta x_2)^2$$

$$+ \frac{1}{3!} (\dots)$$

Ableitung von Fehlerfaktoren für Wirkprinzip und Anordnung / Gestalt

a) Für Auswirkungen systematischer Abweichungen / lineares Fehlerfortpflanzungsgesetz

Handwritten derivation on grid paper:

f Element $\Delta x_1 \quad \Delta x_2$

$\Rightarrow$

$$y + \Delta y \approx f(x_1, x_2) + \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2$$
$$\Delta y = \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2$$

$$\rightarrow \Delta y = \frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_n} \Delta x_n = \sum_{i=1}^n \frac{\partial y}{\partial x_i} \Delta x_i$$

damit ergibt sich

$$\Delta A = \sum_{i=1}^n \frac{\partial A}{\partial E_i} \Delta E_i + \sum_{i=1}^m \frac{\partial A}{\partial Z_i} \Delta Z_i + \sum_{i=1}^k \frac{\partial A}{\partial S_i} \Delta S_i$$

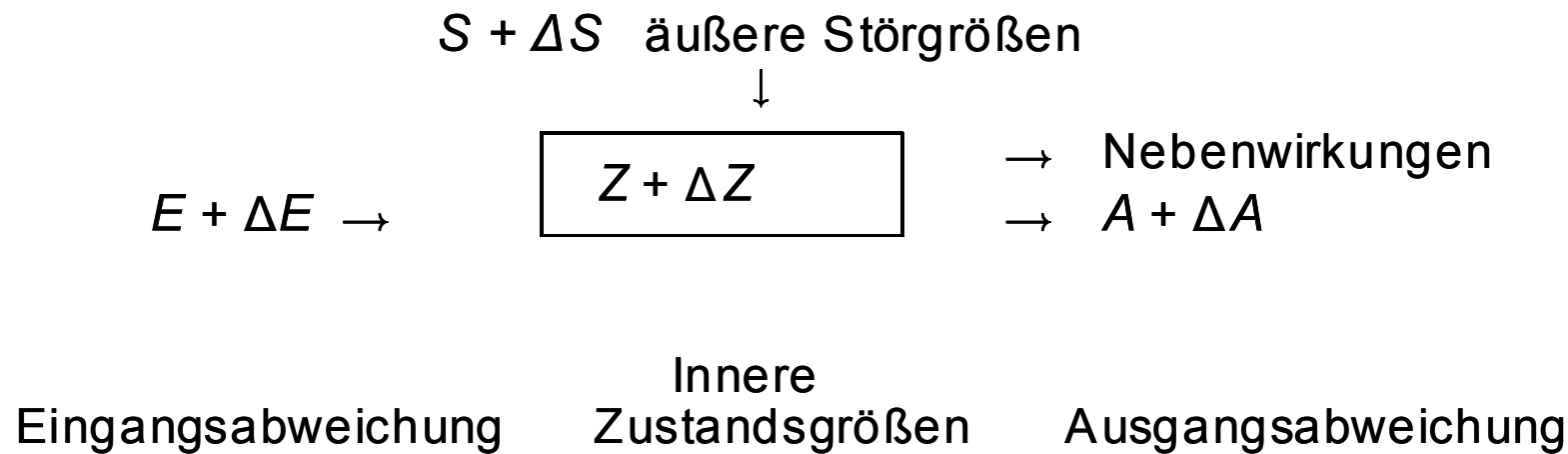
Fehlerfaktoren

der Eingangs-
größen

der inneren
Zustandsgrößen

der äußeren
Störgrößen

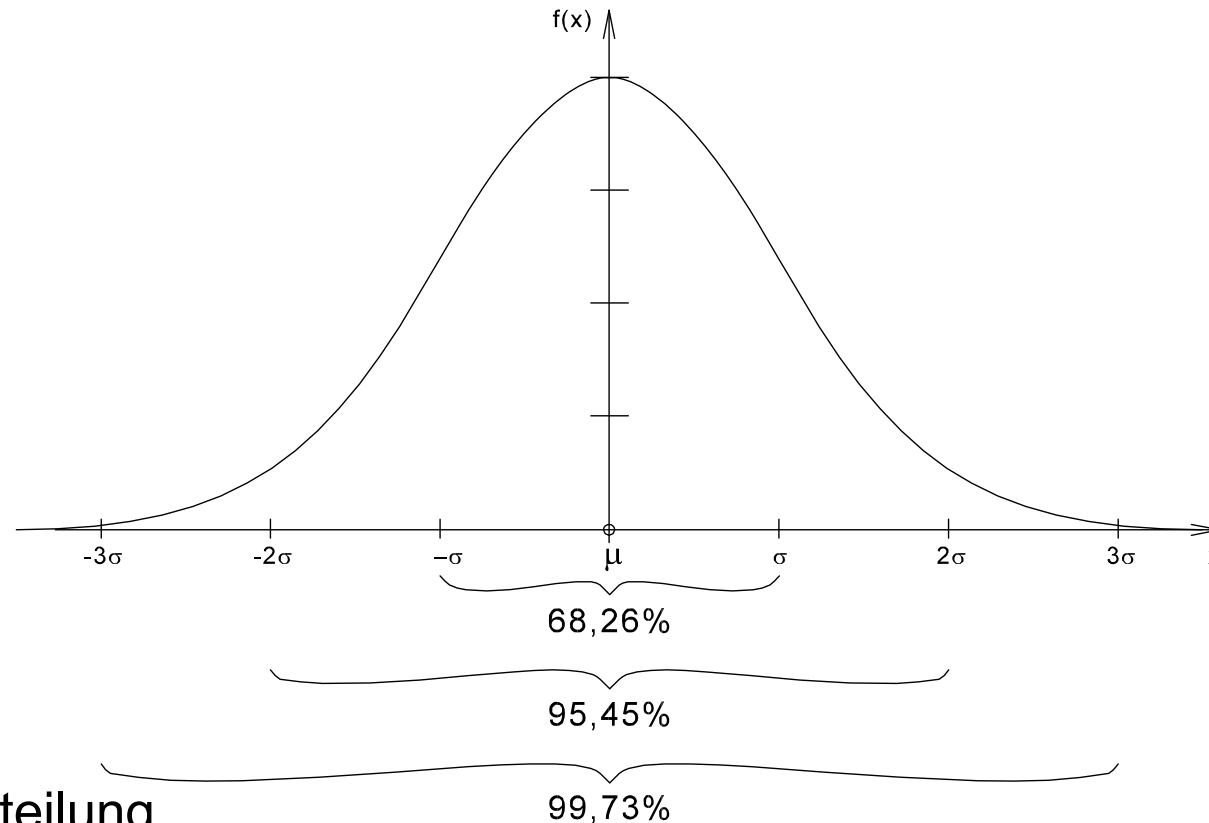
Einflüsse auf die Gerätefunktion



$$\Delta A = \sum_{i=1}^n \frac{\partial A}{\partial E_i} \Delta E_i + \sum_{i=1}^m \frac{\partial A}{\partial Z_i} \Delta Z_i + \sum_{i=1}^k \frac{\partial A}{\partial S_i} \Delta S_i$$

b) Für Auswirkungen zufälliger Abweichungen / quadratisches Fehlerfortpflanzungsgesetz

Deterministisch nicht erfassbare, also zufällige Abweichungen lassen sich über statistische Verteilungen einbeziehen. Sind genügend Einflussfaktoren ohne Dominanz einzelner vorhanden, herrschen Normalverteilungen vor.



Normalverteilung

Die Werte streuen

um einen **Mittelwert** μ ($\bar{X}$ bei Betrachtung von Stichproben)
mit einer **Standardabweichung** σ (s bei Stichproben).

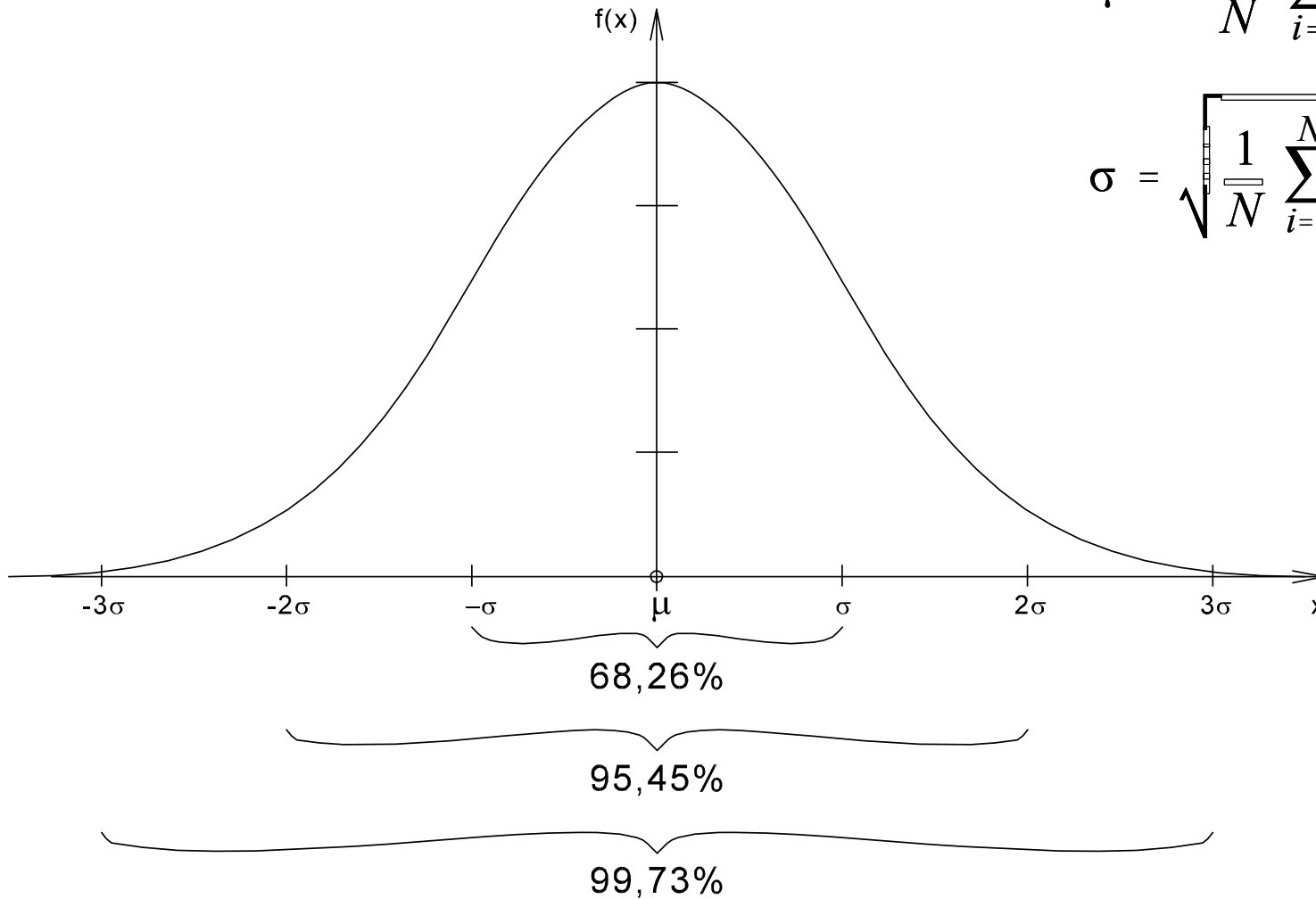
$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i \quad \text{mit} \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (a_i - \mu)^2}$$

σ^2 bezeichnet man als **Varianz**.

Normalverteilung

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (a_i - \mu)^2}$$



Überlagerung von mehreren Normalverteilungen:

Ergebnis ist eine neue Normalverteilung mit

$$\mu_{ges} = \sum_{i=1}^n \mu_i \quad \text{und} \quad \sigma_{ges} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_i^2}$$

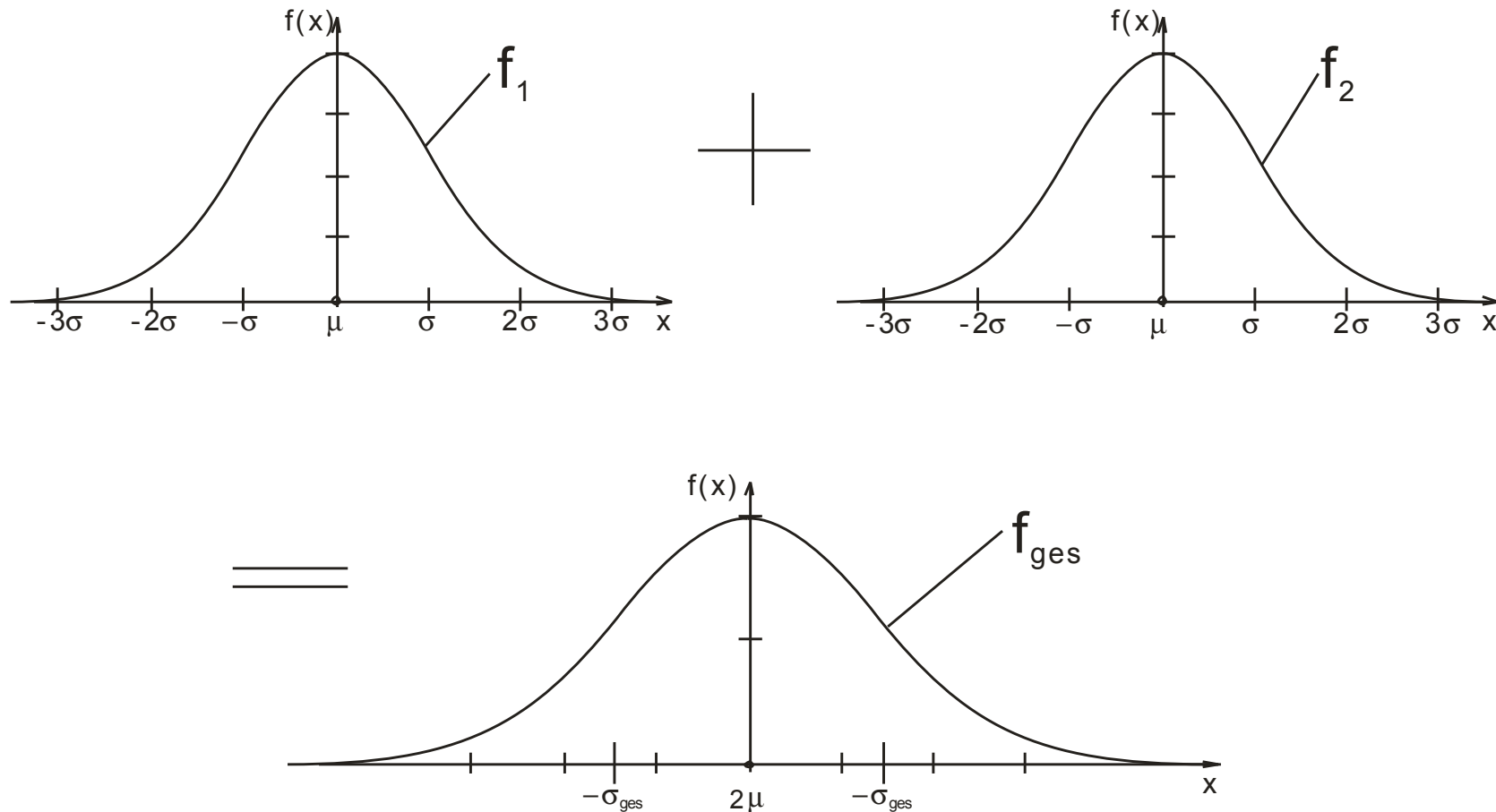
Dies ist auch als **quadratisches Fehlerfortpflanzungsgesetz** (Gauß'sches) bekannt

$$\sigma_y^2 = \left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \right)^2 \sigma_{x1}^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \right)^2 \sigma_{x2}^2 + \dots = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_{xi}^2$$

Hier treten die gleichen Fehlerfaktoren $\frac{\partial y}{\partial x_i}$ auf.

Beispiel zur Überlagerung zweier identischer Normalverteilungen

mit $\frac{\partial y}{\partial x_i} = 1$

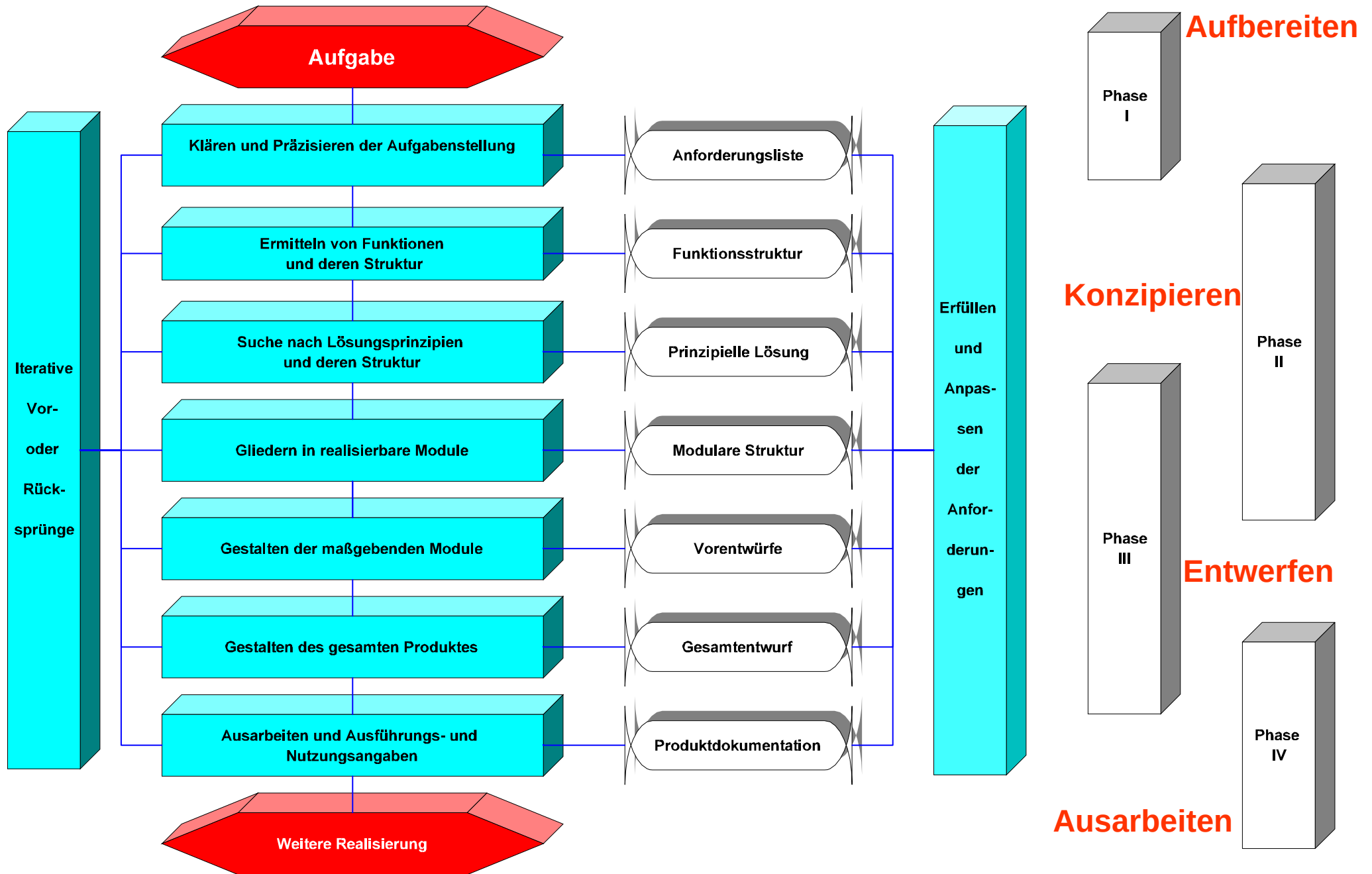


für $\mu_1 = \mu_2 = \mu$ und $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ gilt: $\mu_{\text{ges}} = \mu_1 + \mu_2 = 2\mu$ und $\sigma_{\text{ges}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} = \sqrt{2}\sigma$

3.3 Maßnahmen zur Verbesserung des Fehlerverhaltens

Maßnahmen zur Beeinflussung des Fehlerverhaltens - Übersicht

Maßnahme $\sigma_y^2 = \left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \right)^2 \sigma_1^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \right)^2 \sigma_{x2}^2 + \dots = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_{xi}^2$	Wirkung auf welche Störgröße	technisch ökonomischer Aufwand
1. Minimierung des Fehlerfaktors durch günstige Prinzipwahl bzw. Gestaltung - Wahl invarianter Anordnungen - Wahl innozenter Anordnungen - fehlerminimierte Anordnungen	innere äußere	gering (Einfall nötig)
2. Justageprozesse einfügen	innere	sehr hoch (meist manuell)
3. Kompensation von Fehlereinflüssen vorsehen (gegenläufige Wirkmechanismen)	innere äußere	mittel bis niedrig
4. geeignete Toleranzfestlegung	innere	u. U. hoch
5. rechnerische Fehlerkorrektur	Eingangs - innere - äußere - soweit sensorisch zu erfassen	hoch bis sehr hoch (Aufwand zur Erfassung)



Maßnahmen zur Beeinflussung des Fehlerverhaltens

Die aufgezeigten Maßnahmen greifen in unterschiedlichen Phasen der Geräteentwicklung. Beispielsweise greifen:

- Die Minimierung durch invariante und innozente Anordnungen über die Wahl eines geeigneten Wirkprinzipes bereits in der Konzeptphase
- Die Kompensation von Fehlereinflüssen in der Entwurfsphase
- Justageprozesse und Toleranzfestlegung in der Gestaltungsphase

Rechnerische Korrekturen erfordern die Möglichkeit der sensorischen Erfassung der Abweichung.

3.3.1 Minimierung der Fehlerfaktoren

Minimierung der Fehlerfaktoren

a) Invariante Anordnung

Grundgedanke der invarianten Anordnung ist

$$\frac{\partial y}{\partial x_i} = 0$$

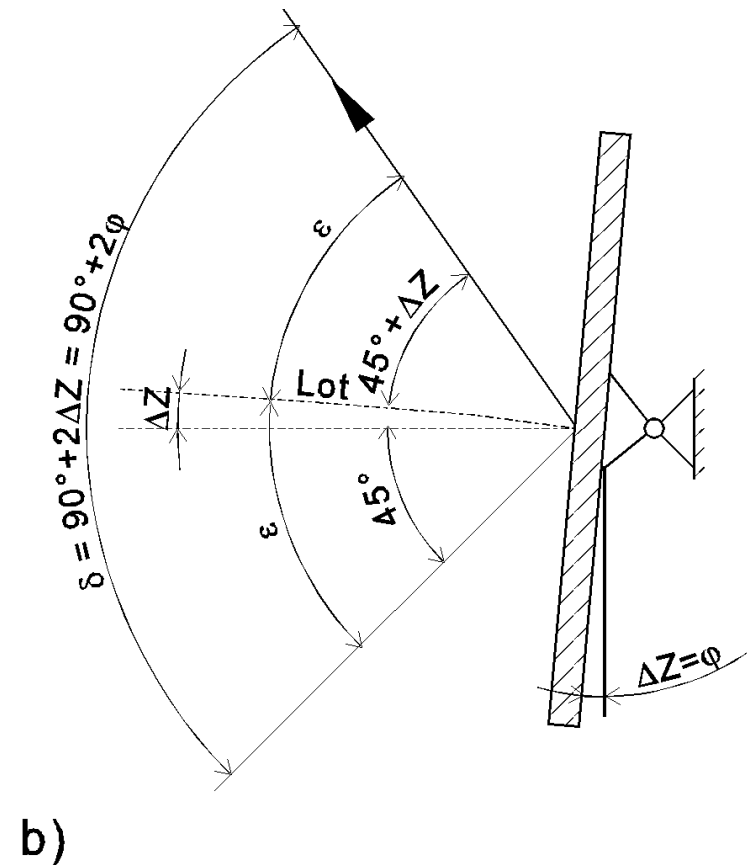
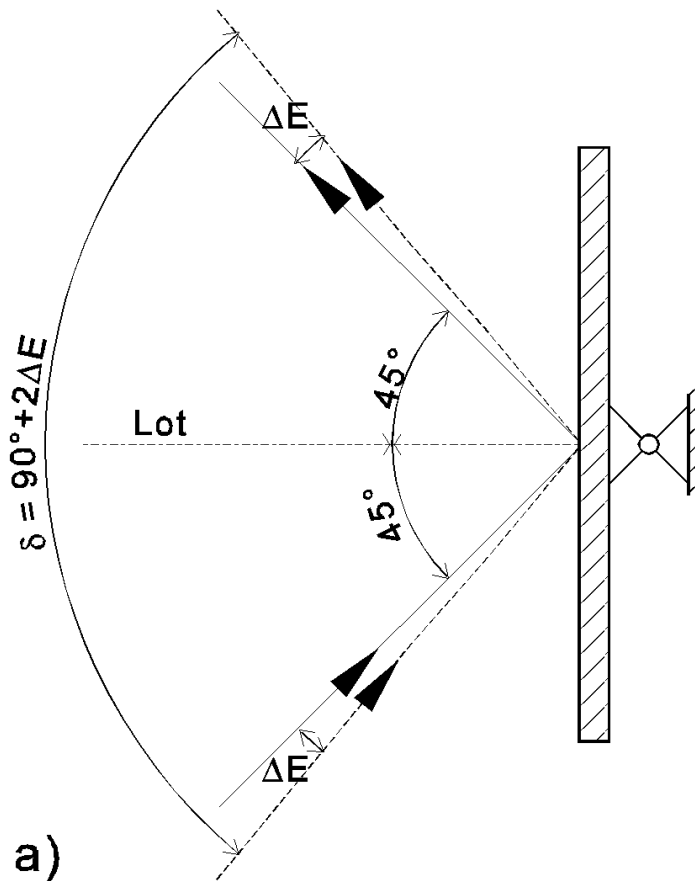
Abweichungen der Einflussgröße x_i besitzen damit keine Auswirkung auf die Gerätefunktion y .

Eine solche Invarianz ist im Allgemeinen nur für eine oder wenige Einflussgrößen (innere oder äußere Störgrößen) x_i realisierbar.

Beispiel 90°-Strahlableitung

Fehlereinfluss bei Änderung des Eingangswinkels (a) bzw. bei innerer Störgröße Kippung des Spiegels (b).

$$\sigma_y^2 = \left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \right)^2 \sigma_1^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \right)^2 \sigma_{x2}^2 + \dots = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_{xi}^2$$



Für das Beispiel folgt:

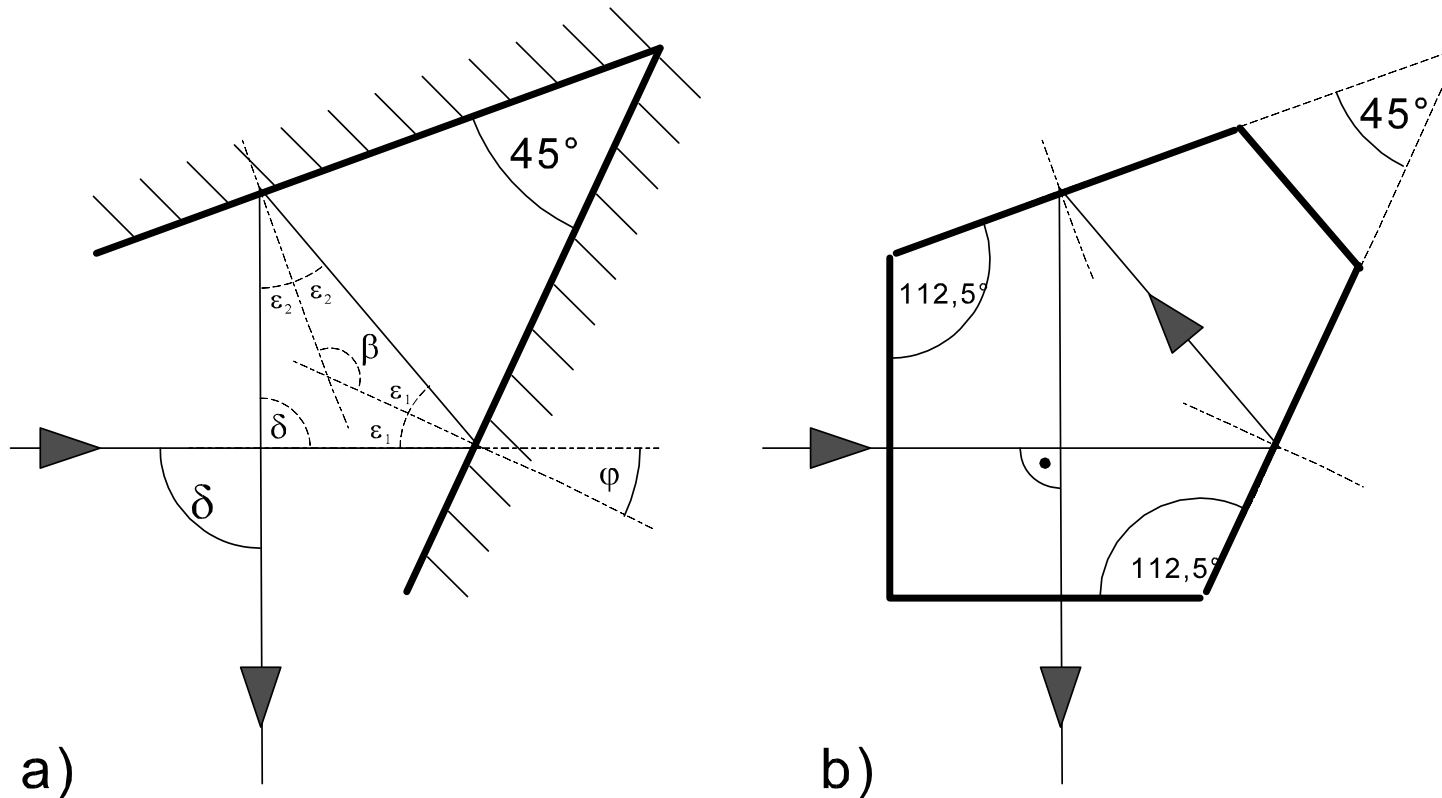
Für die Reflexion am Spiegel ist

$$\delta = 2 \epsilon = 90^\circ + 2\varphi$$

und damit $\delta = \Delta\delta = \frac{\partial\delta}{\partial\varphi} \Delta\varphi = 2\Delta\varphi$ mit dem Fehlerfaktor $\frac{\partial\delta}{\partial\varphi} = 2$

Verdopplung des Fehlers!

Invariante 90°-Ablenkung am Spiegel durch Nutzung eines Doppelspiegels oder Pentaprismas



Invariante 90°-Ablenkung (invariant gegen Drehung um eine senkrechte Achse dazu)
a) invariante Anordnung mit Doppelspiegel b) praktische Realisierung des Pentaprisma

Eine zweifache Ablenkung zeigt in Bezug auf die Strahlablenkung δ beispielsweise

$$\delta = 180^\circ - 2\varepsilon_1 - 2\varepsilon_2$$

mit $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + 135^\circ = 180^\circ$ bei festem Winkel von 45° zwischen den Spiegelflächen und damit $\beta=135^\circ$ als Schnittwinkel der Lote.

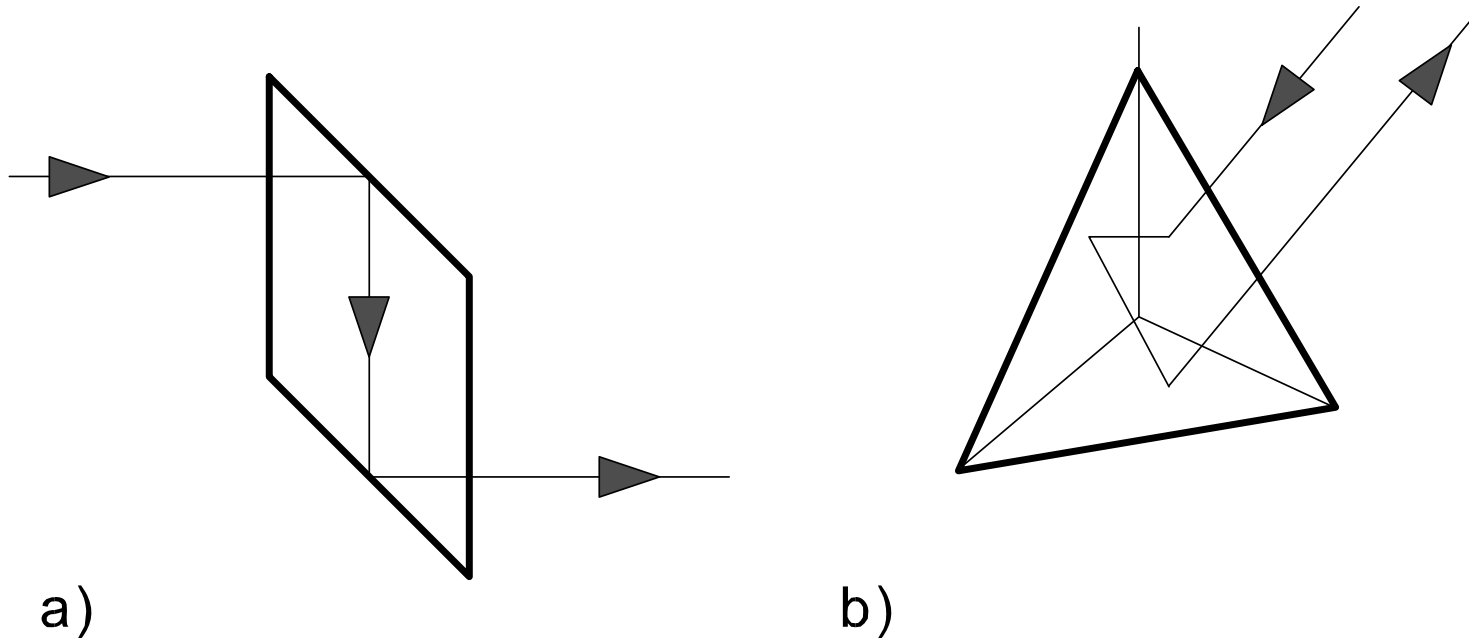
Somit ergibt sich:

$$\begin{aligned}\delta &= 180^\circ - 2\varepsilon_1 - 2(45^\circ - \varepsilon_1) \\ \delta &= 90^\circ - 2\varepsilon_1 + 2\varepsilon_1 = 90^\circ\end{aligned}$$

Die Fehlerfaktoren $\frac{\partial\delta}{\partial\varepsilon_1}$ und damit $\frac{\partial\delta}{\partial\varphi_1}$ sind Null.

Invarianz gegen Spiegelkipfung um eine senkrecht zum Strahl stehende Achse!

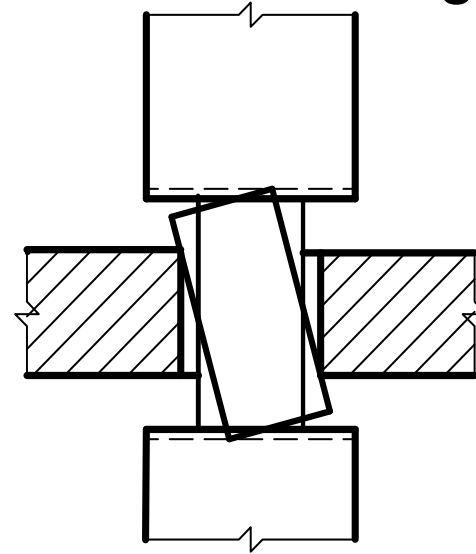
Invariante Anordnung gegenüber Kippungen um alle drei Raumachsen am Beispiel des rhombischen Prismas und des Tripelprismas



Gegen beliebige Kippungen invariante Strahlumlenkung
a) rhombisches Prisma b) Tripelprisma

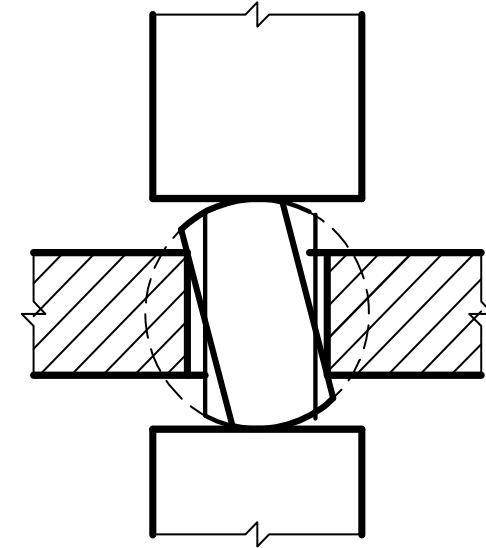
Tripelprismen werden beispielsweise in Laserinterferometern genutzt.

Spielinvariante mechanische Bewegungsübertragung am Beispiel

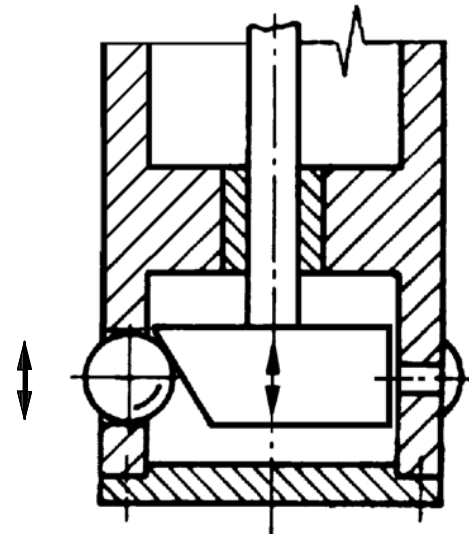


a)

ungünstig

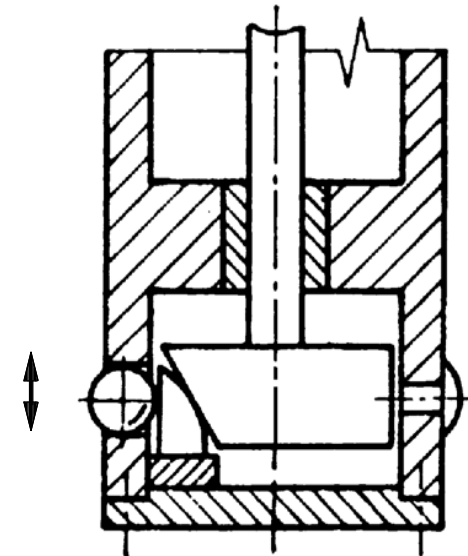


invariant



b)

ungünstig



invariant

a) Übertragungsglied
in einem Feinzeiger
b) Bohrungsmessgerät

b) Innozente Anordnung

In den bisherigen Reihenentwicklungen waren nur die Abweichungen erster Ordnung enthalten. Praktisch kommen auch höhere Abweichungen vor.

Allgemein gilt für die Reihenentwicklung

$$\Delta A = K_1 \Delta Z + K_2 (\Delta Z)^2 + K_3 (\Delta Z)^3 \dots$$

Eine innozente Anordnung vermeidet dabei Fehler erster Ordnung. Meist verbleiben jedoch Fehler höherer Ordnung.

Beispiel aus der Messtechnik: Das **Abbesche Komparatorprinzip**

„Eine fluchtende Anordnung von Maßstab und Prüfling führt bei Verkippungen nur zu Abweichungen / Fehlern höherer Ordnung und ist deshalb parallelen Anordnungen vorzuziehen“

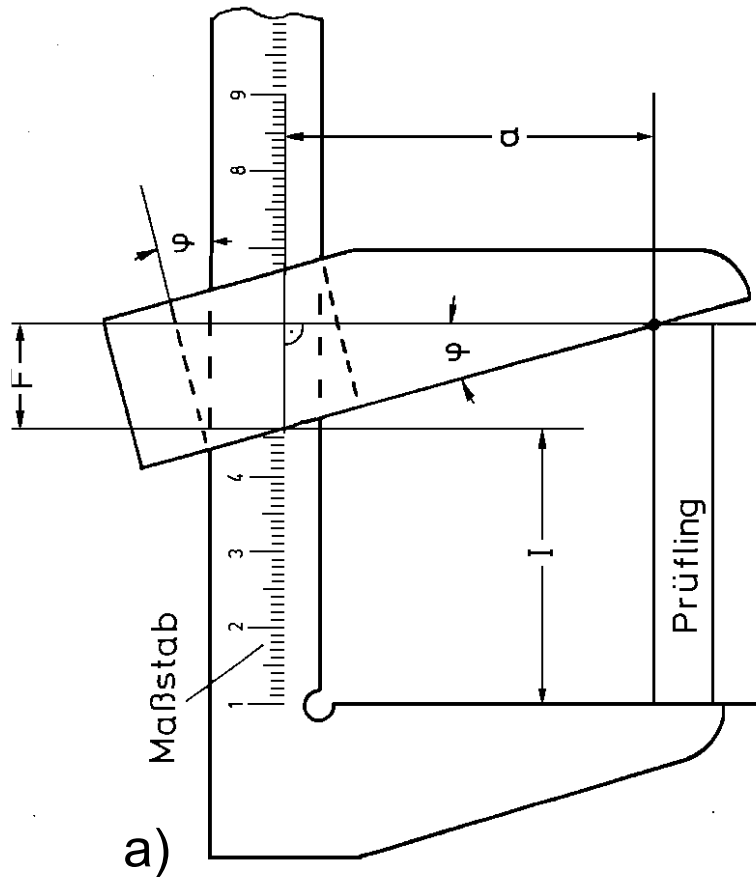


Messunsicherheit
 $U \leq (0,15 + L/1000) \mu\text{m}$
(L in mm, P=95%)
Wiederholbarkeit 0,05 μm

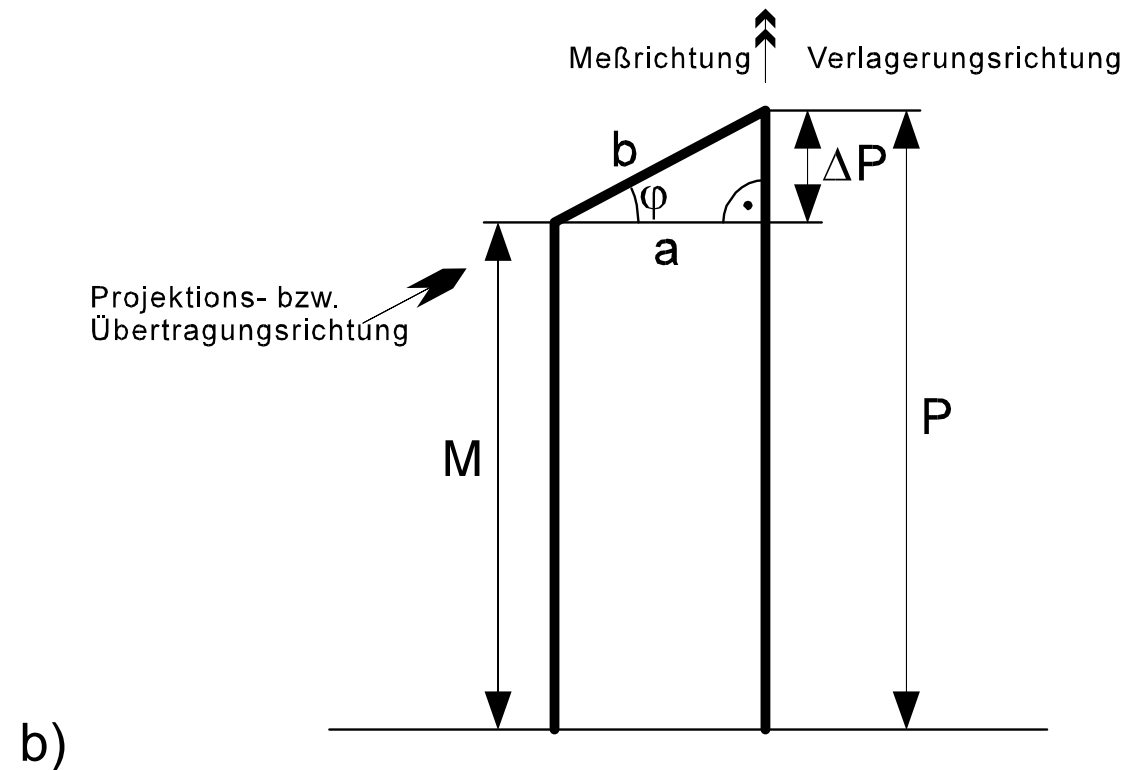
Quelle: Mahr



Verletzung des Abbeschen Komparatorprinzips durch Parallelanordnung von Prüfling und Maßstab



$$\Delta P = a \tan \varphi \approx a \varphi$$

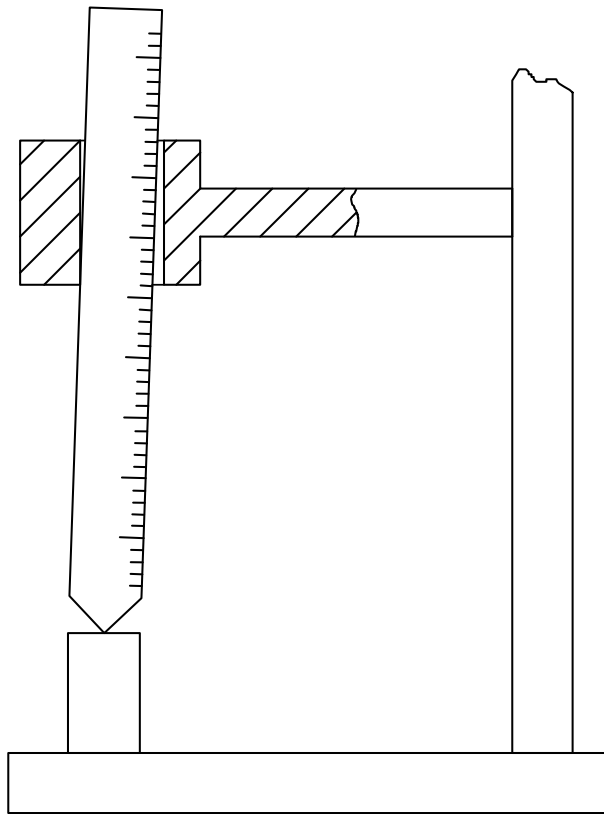


Messfehler an einer Schieblehre (Maßstab und Prüfling liegen parallel)

a) konkreter Aufbau b) abstrahierte Struktur

M Maßstab, P Prüfling, Δp Messfehler

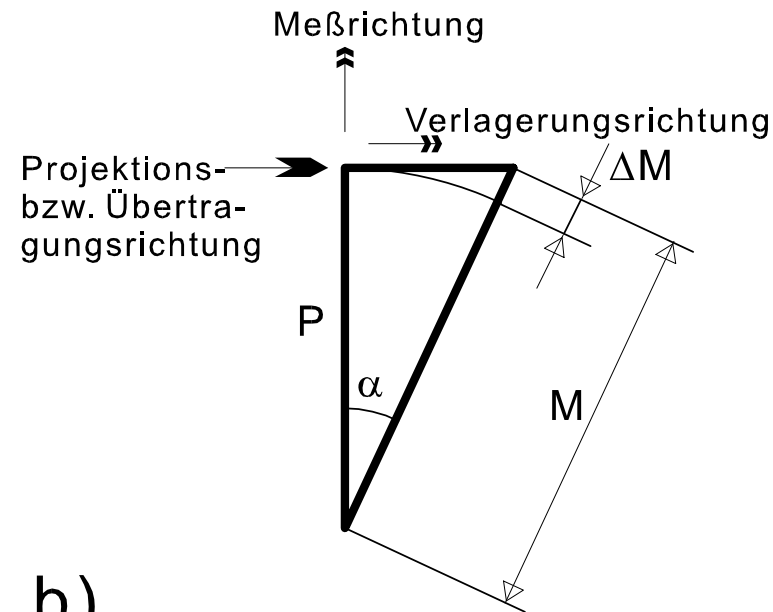
Erfüllung des Abbeschen Komparatorprinzips durch fluchtende Anordnung von Prüfling und Maßstab



a)

$$\frac{P}{M} = \cos \alpha \quad \frac{M - \Delta M}{M} = \cos \alpha$$

$$\Delta M = M (1 - \cos \alpha) \approx M \left(1 - \left(1 - \frac{\alpha^2}{2} \right) \right) = M \frac{\alpha^2}{2}$$



b)

Messfehler an einem Höhenmesser (Maßstab und Prüfling liegen fluchtend)

a) konkreter Aufbau b) abstrahierte Struktur

M Maßstab, P Prüflingshöhe (Verschiebung des Maßstabes), ΔM Messfehler

Übertragung des Abbeschen Komparatorprinzips auf allgemeine Aufgaben der Messtechnik

Für die **Messtechnik** gilt:

Stehen mögliche Verlagerungsrichtungen vom Messobjekt (oder Maßstab) parallel zur Projektionsrichtung und senkrecht zur Messrichtung, bleiben die Abweichungen von höherer Ordnung.

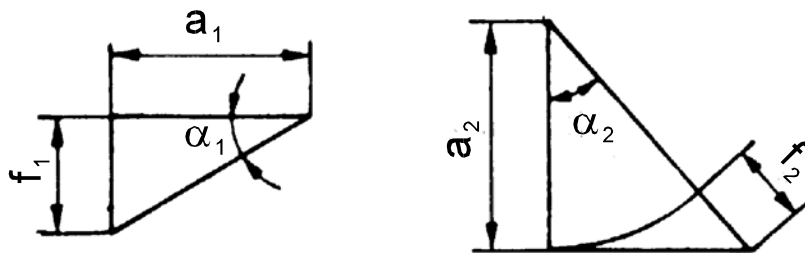
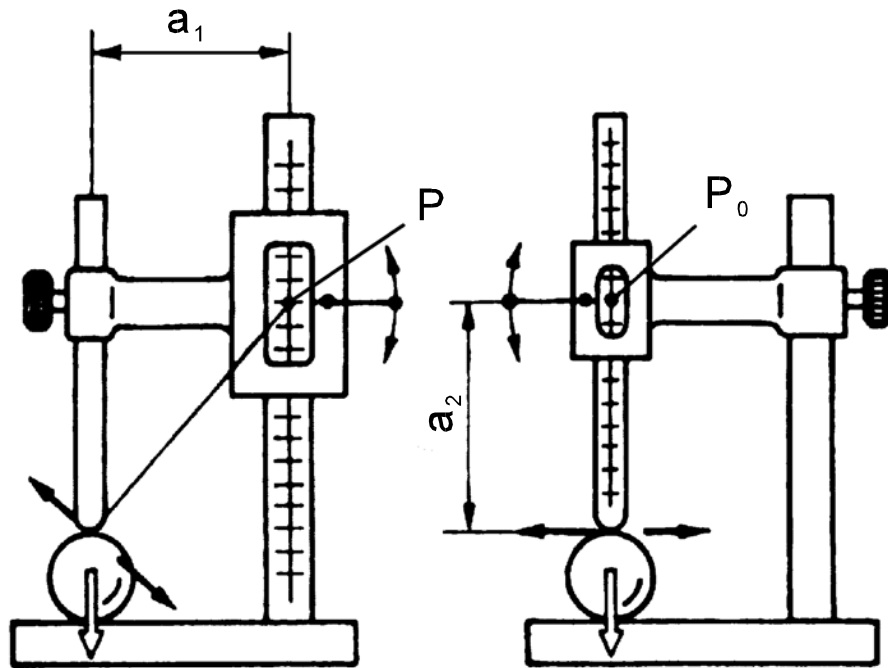
Übertragung des Abbeschen Komparatorprinzips auf allgemeine mechanische Übertragungsfunktionen

Für **Übertragungsfunktionen allgemein** gilt:

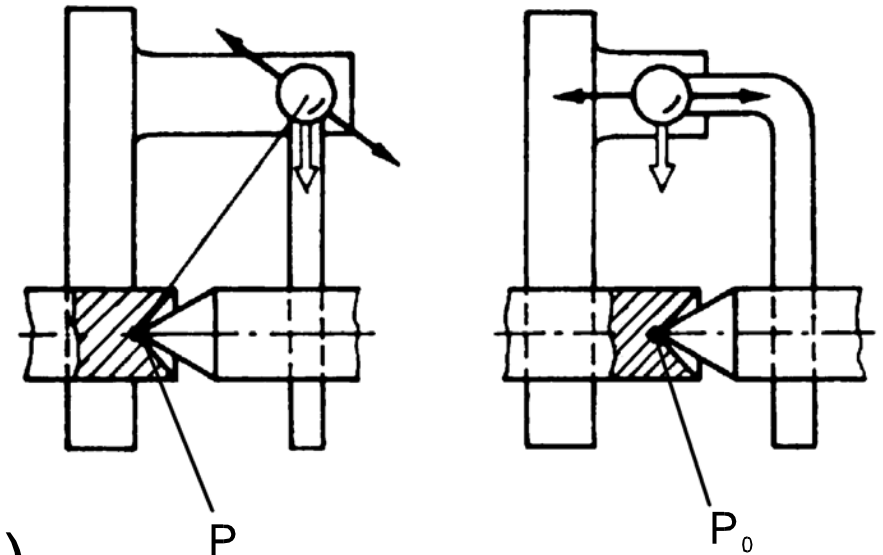
Fehlerauswirkungen bleiben dann klein (2. Ordnung), wenn eine mögliche Verlagerung (Spiel) eine Bewegungsrichtung senkrecht zur Übertragungsbewegung aufweist.

Beispiele zur Verallgemeinerung des Abbeschen Komparatorprinzips

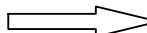
- a) Höhenmesser, f_1 Messfehler erster Ordnung
- b) Mitnehmerkupplung, $P(P_0)$ Kipppunkt bei Fehler erster (zweiter) Ordnung



a)



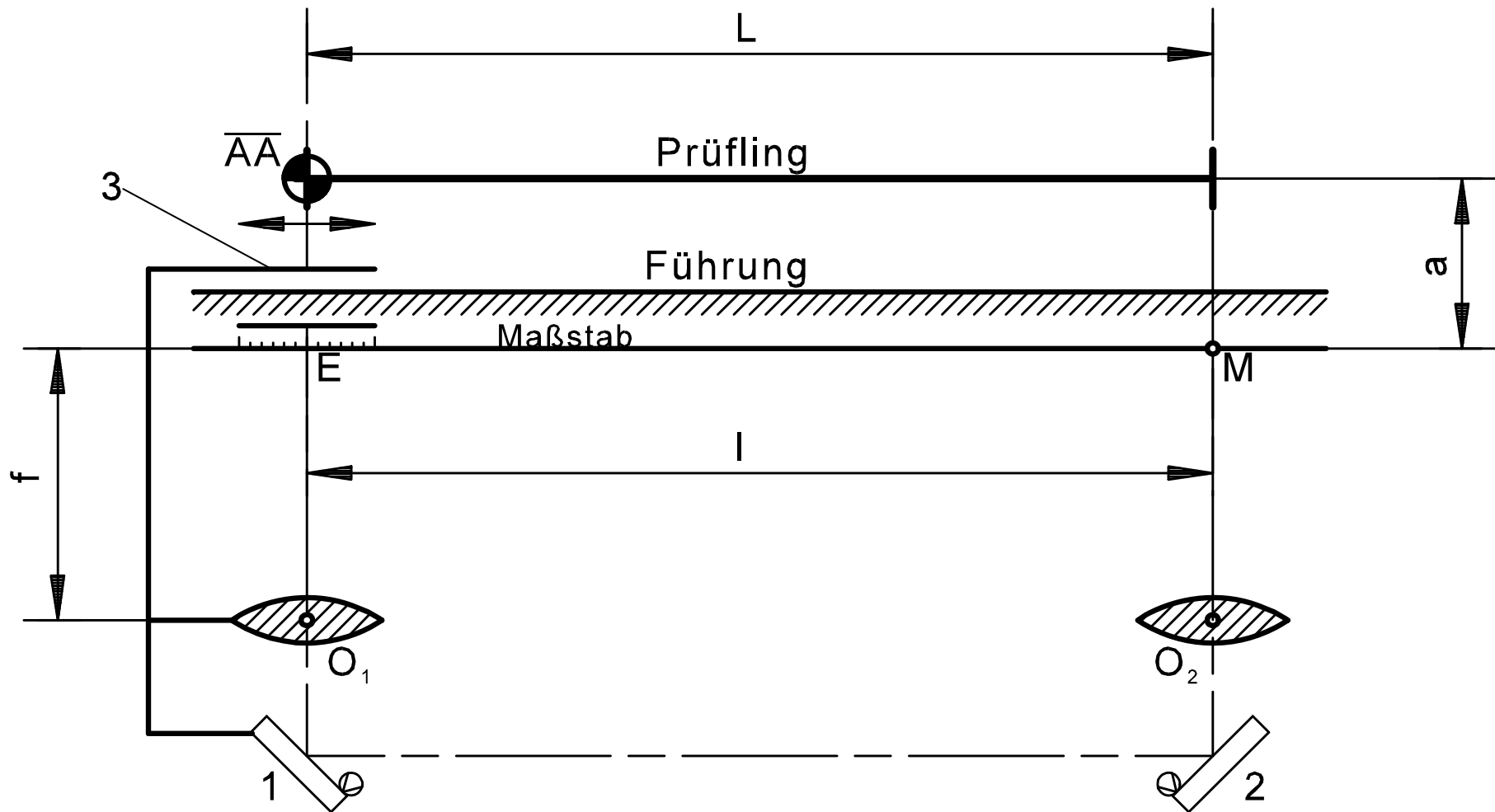
b)

 Verlagerungsbewegung
 Übertragungs-, Meßrichtung

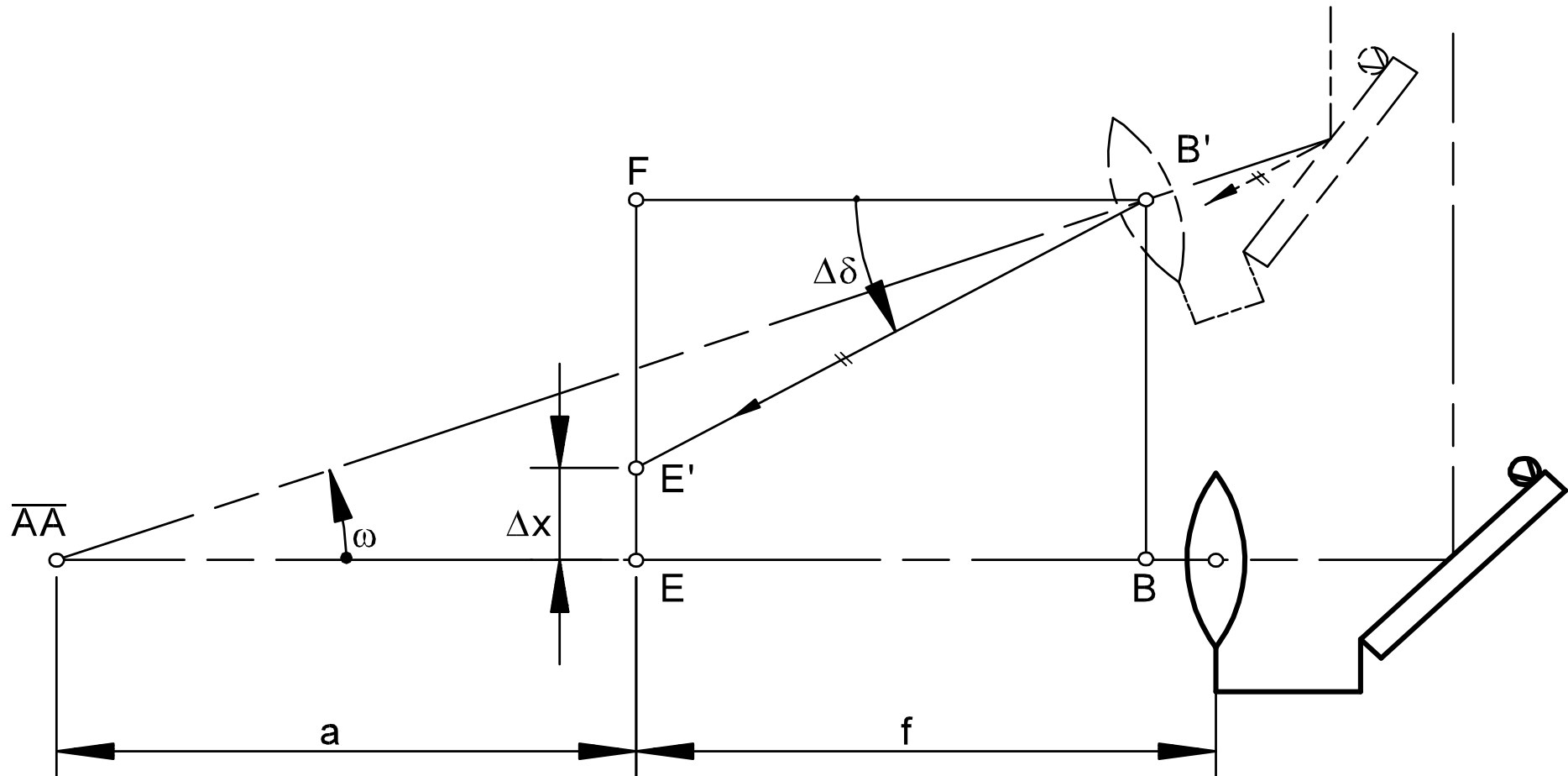
c) Fehlerminimierte Anordnung

Unter fehlerminimiert wird hier eine *mathematische Minimierung* der Fehlerfaktoren verstanden.

Beispiel: Messanordnung nach Eppenstein (Längenmessmaschine)



Trotz Verletzung des Abbeschen Komparatorprinzips über eine Parallelanordnung von Prüfling und Maßstab ermöglicht eine mathematische Optimierung die Reduktion des Übertragungsfehlers auf einen Fehler dritter Ordnung, statt dem eigentlich erwarteten Fehler erster Ordnung.



Messfehler der Anordnung nach Eppenstein bei Verkippung, nach /9/
(überhöht dargestellt)

Es gelten folgende Beziehungen:

$$\Delta\delta = 2\omega \text{ (Spiegel)} \quad ; \quad \overline{EF} = \overline{BB'} \quad ; \quad \Delta x = \overline{EF} - \overline{E'F}$$

$$\sin \omega = \frac{\overline{EF}}{a + f} \quad ; \quad \overline{BE} = \overline{B'F} \quad ; \quad \Delta x = (a + f) \sin \omega - \overline{B'F} \tan \Delta\delta$$

$$\tan \Delta\delta = \frac{\overline{E'F}}{\overline{B'F}} \quad ; \quad \cos \omega = \frac{a + \overline{BE}}{a + f}$$

$$\Delta x = (a + f) \sin \omega - [\cos \omega (a + f) - a] \tan 2\omega.$$

Da die Verkippungen ω klein sind, kann man $\sin \omega$, $\cos \omega$ und $\tan 2\omega$ durch die Anfangsglieder der Reihenentwicklung ersetzen, so dass $\Delta x \approx (a - f) \hat{\omega} + (a + f) \hat{\omega}^3$ als Näherung gilt. Für $a = f$ verbleibt lediglich ein sehr kleiner Messfehler $\Delta x \approx (a + f) \hat{\omega}^3$.

Weitere allgemeine Maßnahmen zur Minimierung der Fehlerfaktoren:

- Vermeidung von Überbestimmtheit
- kurzer Kraftfluss, bewusste Kraftflussführung
- klare Funktionstrennung
- Realisierung einer belastungsangepassten Gestalt (Prinzip gleicher Gestaltfestigkeit)
- Verminderung von Verformungen, abgestimmte Verformungen
- Kraftausgleich

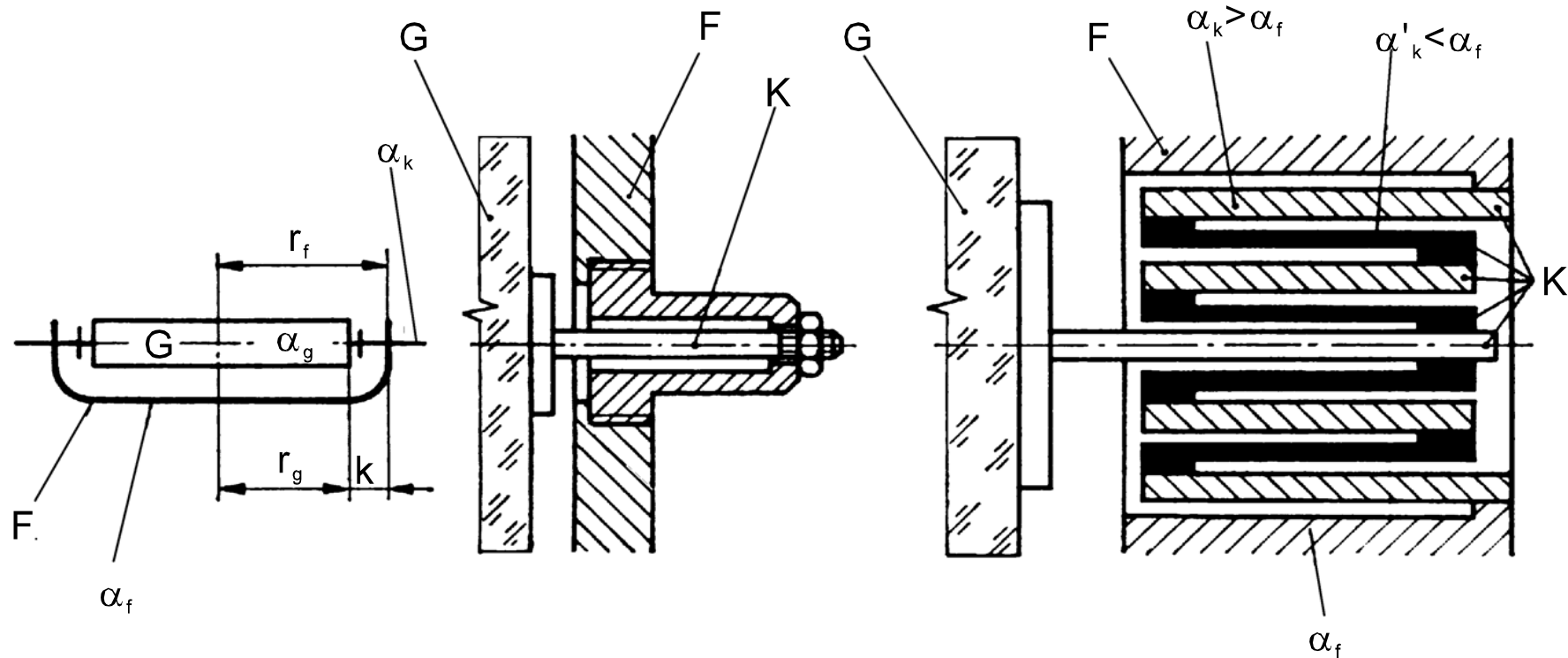
3.3.2 Kompensation

Kompensation

Grundgedanke der Kompensation ist die Ausnutzung gegenläufiger Änderungen in der Übertragungsfunktion.

Beispiele sind häufig thermische Änderungen mit unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten.

Beispiel von optischen Kompensationsfassungen



a)

b)

Kompensationsfassung, aus /9/

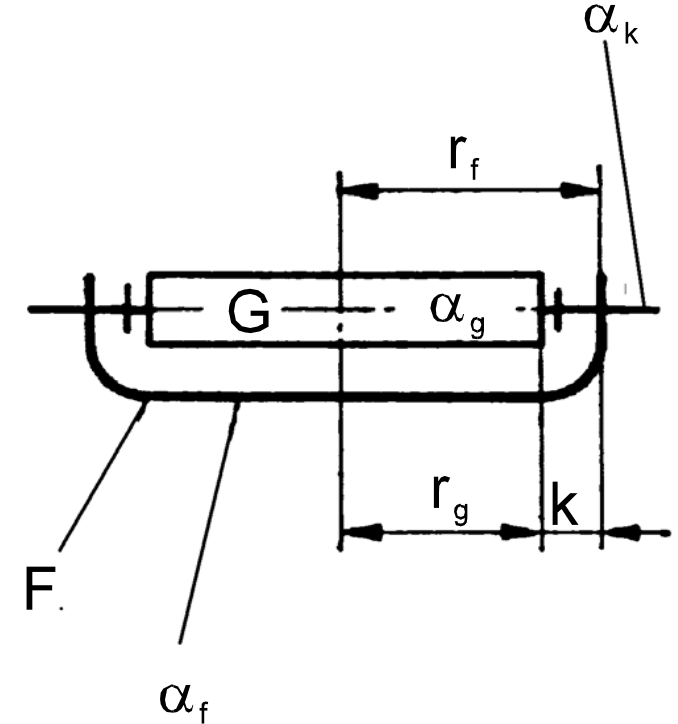
a) prinzipieller Aufbau b) raumsparende Anordnung durch geschachteltes Hintereinanderschalten zweier Kompensationswerkstoffe

G Glasteil; F Fassung; K Kompensatorlänge; r_g Radius des Glasteiles; r_f Radius der Fassung; k Kompensationslänge;

Längentemperaturausdehnungskoeffizienten: α_g Glas; α_f Fassungswerkstoff; α_k bzw. α_k^f Kompensationswerkstoff

Ausdehnungskoeffizient von Glas
meist kleiner als Fassung,
zwischen Glas und Fassung
dritter Werkstoff als Kompensator,
mit

$$\alpha_{\text{Glas}} < \alpha_{\text{Fassung}} < \alpha_{\text{Kompensator}}$$



Die Länge k des Kompensationsteils folgt dann aus

$$k = r_g (\alpha_f - \alpha_g) / (\alpha_k - \alpha_f)$$

Eine weitere Verkürzung der Baulänge ermöglicht ein
Ineinanderschachteln.

3.3.3 Justage

Justage

Unter Justage versteht man:

- das Ändern eines Kennwertes, z. B. eines Übertragungsfaktors mittels einer Stellvorrichtung
- das Vergleichen der eingetretenen Wirkung möglichst am Geräteausgang mit einer Zielgröße
- und das anschließende Sichern des Justageergebnisses.

Es existieren folgende **Justierkreise**:

- **einfache Justierkreise**, mit geschlossener Justagemöglichkeit inklusive Anzeige des Justageergebnisses
- **nicht geschlossene Justierkreise**, bei denen das Ergebnis der Justage nicht sofort ablesbar ist, sondern erst über Zwischenmessungen
- **gekoppelte Justierkreise**, bei denen sich Einstellvorgänge gegenseitig beeinflussen und stören.

Generell sollte Justage vermieden werden, da sie schwer automatisierbar ist!

3.3.4 Toleranzfestlegung

Toleranzfestlegung:

Toleranzfestlegungen sind bewusst unter Berücksichtigung der Auswirkung auf die Gerätefunktion vorzunehmen. Beachte dabei:

- Sichern einer funktionsgerechten Bemaßung (und damit auch Tolerierung), d. h. funktionswichtige Flächen und Maße sind direkt und eng und nicht als Kettenmaß oder Schließmaß einer Kette zu wählen
- Realisierung einer eindeutigen Bemaßung (keine Mehrfachmaßstellen)
- Vermeidung/Einschränkung von Toleranzketten

Es gilt die Grundregel:

Toleriere so eng wie nötig, und so grob wie möglich!

Da jedes Bauteil toleranzbehaftet ist, wird die Toleranzproblematik in einem eigenen Abschnitt 4 behandelt.

3.3.5 Rechnerische Korrektur

Rechnerische Korrektur

Voraussetzungen:

- Sensorische Erfassbarkeit
- Systematische Abweichung
- Korrekturmöglichkeit beispielsweise über Mikrorechnereinsatz vorhanden

Realisierung:

- Nichtlinearitäten und andere Abhängigkeiten können durch Korrekturkurven in Rechnern hinterlegt werden, sofern diese eindeutig, erfassbar und systematisch sind. Da meist ohnehin Mikrorechner vorhanden sind, ist der Zusatzaufwand hierfür akzeptabel.

Beispiele dazu sind:

- rechnerische Korrektur in mechanisch antastenden Messsystemen, wie Kreisbahnkorrektur bei Oberflächentastern und Taster-Durchbiegungs-Korrektur in Messmaschinen
- Temperatur-, Luftdruck- und Luftfeuchte-Korrektur der Wellenlänge in Interferometern