Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (http://www.ub.tuwien.ac.at).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/).

Technische Universität Wien

Genauigkeit und Präzision in der Koordinatenmesstechnik

Einflüsse auf das Messergebnis und die Messunsicherheit

Diplomarbeit

zur Erlangung der Bezeichnung

Diplomingenieur

Einreichung am 18 Dezember 2007

Betreuer:

a. o .Univ. Prof. M.N. Durakbasha

eingereicht von:

Behnaz Saadat

Dezember 2007

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Arbeit

Thema:

Genauigkeit und Präzision der Koordinatenmessgeräte. Einflüsse auf das Messergebnis in der Koordinatenmesstechnik

selbstständig verfasst habe.

Die Stellen und Daten, die aus externen Quellen bezogen wurden, wurden in jedem einzelnen Fall durch die Angabe der Quelle bzw. der benutzten Sekundärliteratur kenntlich gemacht.

_____

Danksagung

Mein Dank gilt allen, die auf vielfältige Art und Weise an der Erstellung dieser Arbeit beteiligt waren.
Herzlich bedanken möchte ich mich bei meinem Betreuer Herrn a.o.Univ. Prof. Dr. techn. Dipl.-Ing., Numan M. Durakbasa für die Vergabe das Thema der Diplomarbeit „Genauigkeit und Präzision der Koordinatenmessgeräte Einflüsse auf das Messergebnis in der Koordinatenmesstechnik“ und die großzügige Unterstützung, der es mir ermöglichte, diese Arbeit zu schreiben.
Großer Dank ergeht auch an o.Univ. Prof. Dr.techn. DDr.h.c Dipl.-Ing Prof.h.c P. Herbert Osanna, Leiter der Abteilung der Austauschbau und Messtechnik am Institut für Fertigungstechnik an der TU-Wien.
An dieser Stelle möchte ich mich bei meinem Mann, Dr. Mazda Memarsadeghi, der mir viel Zeit, Kraft, Mut, Überzeugung und Unterstützung für die Erstellung dieser Arbeit gewährt hat, herzlich bedanken. Ich möchte mich auch gleichseitig bei meinen Eltern für ihren jahrelangen Beistand, ihre Geduld und Liebe und auch bei meinem kleinen Sohn Arastu, der wirklich brav mitgemacht hat und bei meinen Schwiegereltern, nochmals herzlich bedanken.
Und auch bedanke ich mich bei allen Uni-Kollegen, Freunden und Verwandten, die mir in dieser arbeitsintensiven Phase geholfen haben.

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS 9

TABELLENVERZEICHNIS 10

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS 11

KURZFASSUNG 12

1. EINLEITUNG 13

2. DEFINITIONEN VON SCHLÜSSELPARAMETERN BEI MESSUNGEN UND MESSSYSTEMEN 15

2.1. Messen 15

2.2. Korrekte Durchführung von Messungen 15

2.2.1. Grundlagen 15
2.2.2. Messgröße 16

2.3. Messarten 17

2.3.1. Direkter Vergleich 17
2.3.2. Indirekter Vergleich 17

2.4. Messsystem 17

2.5. Messprinzip 18

2.6. Messverfahren 18

2.6.1. Direktes Messverfahren 18
2.6.2. Indirektes Messverfahren 19

2.7. Messmethode 19

2.8. Arten der Messwertverarbeitung 19

2.8.1. Elementare Messwertverarbeitung 19
2.8.2. Höhere Messwertverarbeitung 19

2.9. Messbedingungen 20

2.10. Messgenauigkeit 20

2.11. Messergebnis 20

2.12. Messgeräte 21

2.13. Maßverkörperung 21

2.14. Normal 21

3. AUFBAU KOORDINATENMESSGERÄTE (KMG) 22

3.1. Allgemeine Beschreibungen von Koordinatenmesstechnik 22

3.1.1. Messkopfsystem 22
3.1.2. Koordinatenmessung 27
3.1.3. Annahmeprüfung eines KMG 27
3.1.4. Bestätigungsprüfung eines KMG 27
3.1.5. Zwischenprüfung eines KMG 27

3.2. Zusammenhang zwischen Koordinatenmessgeräten und Messtechnik 27

3.2.1. Anzeigeabweichung für Längenmessung 28
3.2.2. Antastabweichung 28
3.2.3. Betriebsbedingungen 28
3.2.4. Messeinrichtungen 29
3.2.5. Verfahrensablauf 29

3.3. Was versteht man unter Genauigkeit 30

3.4. Arten von Koordinatenmessgeräten und ihre Hauptteile 30

3.4.1. KMG in Auslegerbauweise 30
3.4.2. KMG in Portalbauweise mit beweglichem Portal 31
3.4.3. KMG in Brückenbauweise 31
3.4.4. KMG in L- förmiger Portalbauweise 32
3.4.5. KMG in Portalbauweise mit stationärem Portal 33
3.4.6. KMG in Auslagerbauweise mit beweglichem Tisch 33

3.4.7. KMG in Ständerbauweise 34
3.4.8. KMG mit beweglichem Ständer und beweglichem Horizontalarm 35
3.4.9. KMG in Ständerbauweise mit stationärem Tisch und stationärem Horizontalarm 35
3.4.10. KMG in Ständerbauweise mit beweglichem Tisch und Horizontalarm 36
3.4.11. Zusammenfassung 37

4. GENAUIGKEITSANFORDERUNGEN AN KMG 38

4.1. Definitionen 38

4.1.1. Genauigkeit 38
4.1.2. Genauigkeitsklasse 39

4.2. Auflösung und Genauigkeit 39

4.3. Stabilität 40

4.4. Gültige und verwendbare Softwares und Hardwares 40

4.4.1. Genauigkeitssteigerung von KMG durch Verwendung richtigen Soft- und Hardware 41
4.4.2. Qualitätsbestimmung von Software und Hardware 46
4.4.3. Fehlerarten 48
4.4.4. Fehlervermeidung 50
4.4.5. Schlussfolgerung 58

5. NORMATIVE GRUNDLAGEN DER GENAUIGKEIT UND MESSUNSICHERHEIT 59

5.1. Internationale Normung (ISO) 59

5.2. Definition von Norm und Standard 59

5.3. Normen 60

5.3.1. Internationale Normen 60
5.3.2. Europäische Normen 60

5.4. Relevante Normen und Richtlinien für Koordinatenmessgeräte 61

5.5. Messabweichungen 61

5.5.1. Anzeigeabweichungen eines KMG für Längenmessung 61
5.5.2. Antastabweichungen 62
5.5.3. KMG – Spezifikation und Parameter für Klassifikationen 63

5.6. Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen (GUM) 64

5.6.1. Definitionen 64
5.6.2. Ziel und Methoden 64
5.6.3. GUM und seine Zusammenhange mit den KMG 65

5.7. Messunsicherheit 65

5.7.1. Mögliche Ursachen 66
5.7.2. Methoden zur Ermittlung der Messunsicherheit 67

6. KALIBRIERUNG VON KOORDINATENMESSGERÄTEN (KMG) 69

6.1. Begriffe und Definitionen 69

6.1.1. Kalibrierung 69
6.1.2. Kalibrierbericht 71
6.1.3. Skala 71
6.1.4. Skalenteil 71
6.1.5. Skalieren 72

6.2. Genauigkeitsgrad und Kalibriergrad 72

6.3. Kalibrierungsmethoden 72

6.3.1. Kalibrierungsmethoden für Prüfkörper 72
6.3.2. Genauigkeitsüberwachungen von großen Koordinatenmessgeräten (als spezielle KMG) 74
6.3.3. Genauigkeitsüberwachung eines KMG mittels eines portablen Messarmes 81

6.4. Genauigkeitsüberwachung eines KMG mittels demontierbarem Kugelstab 82

6.4.1. Aufbau eines demontierbaren Kugelstabes 83
6.4.2. Kalibrierung einem Kugelstab 83
6.4.3. Messablauf einem Kugelstab 84

7. ZUSAMMENFASSUNG 86

LITERATURVERZEICHNIS 88

ANHANG 95

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1 Die Einheiten 16
Abbildung 2.2 Messung Dampfdruck eines Wasserprobe 16
Abbildung 2.3 Blockschema des Messsystem 17
Abbildung 3.1 Messkopfsystem 23
Abbildung 3.2 Messkopfsystem mit Mehrfachtaster 24
Abbildung 3.3 Messkopfsystem mit Mehrfachtaster , Messkopfwechselsystem 25
Abbildung 3.4 Messkopfsystem mit Mehrfachtaster (2 Einzeltaster) 25
Abbildung 3.5 Messkopfsystem mit Mehrfachtaster (1 Sterntaster) 26
Abbildung 3.6 Messkopfsystem mit Mehrfachtaster 26
Abbildung 3.7 KMG in Auslegebauweise 30
Abbildung 3.8 KMG in Portalbauweise mit beweglichem Portal 31
Abbildung 3.9 KMG in Brückenbauweise 32
Abbildung 3.10 KMG in L- förmiger Brückenbauweise 32
Abbildung 3.11 KMG in Portalbauweise mit stationärem Portal 33
Abbildung 3.12 KMG in Auslagerbauweise mit beweglichem Tisch 34
Abbildung 3.13 KMG in Ständerbauweise 34
Abbildung 3.14 KMG mit beweglichem Ständer und beweglichem Horizontalarm 35
Abbildung 3.15 KMG mit Ständerbauweise mit stationärem Tisch und Horizontalarm 36
Abbildung 3.16 KMG in Ständerbauweise mit beweglichem Tisch und Horizontalarm 37
Abbildung 4.1 Die Disqualifikation der Ferraripiloten 39
Abbildung 4.2 QM Measure 43
Abbildung 4.3 Crysta – Plus M 43
Abbildung 4.4 Euro – C Strato 44
Abbildung 4.5 Legex 44
Abbildung 4.6 MACH 45
Abbildung 4.7 CARB 45
Abbildung 4.8 Sensoren und Wechselsysteme 46
Abbildung 4.9 Einsatzarten KMG 48
Abbildung 4.10 Gliederung der Messfehler 49
Abbildung 4.11 Werkstückkoordinatensystems 51
Abbildung 4.12 Einflüsse des Bedieners und von ihm gewählten Messstrategie 52
Abbildung 4.13 Umgebungseinflüsse (Ursache) 54
Abbildung 4.14 Präzision und Genauigkeit 54
Abbildung 4.15 Einfluss auf die Werkstücke (Auswirkungen) [6, S.7] 56
Abbildung 4.16 Rotatorischen Bewegungen um die Koordinationsachse [6, S. 11] 58
Abbildung 5.1 Höchstzulässige Anzeigeabweichung eines KMG für 62
Abbildung 5.2 Bestimmung der Antastabweichung 62

Abbildung 6.1 Eindimensionale Prüfkörper 77
Abbildung 6.2 Zweidimensionale Prüfkörper 77
Abbildung 6.3 Dreidimensionale Prüfkörper, Quader-Prüfkörper [27, S.7] 78
Abbildung 6.4 Anordnung von zweidimensionalen Prüfkörper im Messbereich des KMG 80
Abbildung 6.5 Dreidimensionale Längenmessabweichung einer Kugelplatte 81
Abbildung 6.6 Gelenkarm KMG mit sechs Drehachsen 82
Abbildung 6.7 Messbereich, Nutzbare Armlänge und Nullpunkt 82

Anhang Abbildung 1 KMG- UMM 500 95
Anhang Abbildung 2 KMG- Abnahme. TU Wien Abt. Austauschbau und Messtechnik 95
Anhang Abbildung 3 Optisches Koordinatenmessgerät [32] 96
Anhang Abbildung 4 Kugelstab 97
Anhang Abbildung 5 Überprüfung eines KMG mittels Kugelstabs 97
Anhang Abbildung 6 KMG Sensoric 98
Anhang Abbildung 7 Prüfkörper 98
Anhang Abbildung 8 Laserinterfrometer 99
Anhang Abbildung 9 TU Wien, Laborraum der Abt. Austauschbau und Messtechnik 99

Tabellenverzeichnis

Tabelle 5.1 Spezifikationen der Leitz PMM-C Koordinatenmessmaschinen nach ISO 10360-2/4 63

Abkürzungsverzeichnis

CAA	Computer Aided Accuracy
CAD	Computer Aided Design, Computergestütztes Konstruieren
CNC	Computer Numerical Control
DIN	Deutsches Institut für Normung, Deutsches Institut e.v.
EN	Europäische Norm
GPS	Geometrischen Produktspezifikationen und Verifikation
GUM	Guides to Expression of Uncertainty in Measurement
GUK-KS	Genauigkeitsüberwachung von Koordinatenmessgeräte mittels Kugelstabs
IN	Internationale Norm
ISO	International Organisation für Normung
KD	Kalibrierdienststelle
KMG	Koordinatenmessgerät
MPE	Hochzulässige Abweichung für eine klare Messaufgabe
MPE_e	Maximum Permissible Error, Hochzulässige Abweichung
MPE_p	Maximum Permissible Error
o. A	ohne Angabe
Ö-NORM	Österreichische Norm
VDI	Verein Deutsche Ingenieure

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit hat die folgenden Aufgaben zum Ziel:

- Erläuterung der Thematik der Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten basierend auf Normen, sowie die Richtlinien und Leitfaden zur Angabe der Messunsicherheit beim Messen (GUM)
- Feststellung von Messabweichungen und Messunsicherheiten sowie deren Ursachen
- Ermittlung geeigneter Methoden zur Vermeidung dieser Fehlerquellen

Anhand zahlreicher Beispiele und Darstellungen wird gezeigt, wie die Kalibrierung und Überprüfung von Messobjekten mit Hilfe der Koordinatenmessgeräte durchgeführt wird. Dies erfolgte anhand einer Serie von Untersuchungen im Rahmen meiner Tätigkeit und durchgeführte Übungen im Feintesmessraum und Nanotechnologie im Laboratorium des Instituts für Fertigungstechnik, Abteilung Austauschbau und Messtechnik sowie im Literaturstudium.
Die Messqualität und die Zuverlässigkeit der Koordinatenmessgeräte wurden anhand unterschiedlicher Messobjekte mittels mehrerer Hard- und Softwares untersucht.
Es wird nachgewiesen, dass Umweltbedingungen wie beispielsweise Temperatur oder Feuchtigkeit, einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität der erzielten Messergebnisse ausüben.

Als Ergebnis eines systematischen Vergleiches von portablen und stabilen Koordinatenmessgeräten werden die jeweiligen Vor- und Nachteile betrachtet.
Die Ergebnisse der vorgestellten Untersuchung zeigen, dass je höher die erreichbare Genauigkeit der mathematischen Hochrechnungen ist, umso höher auch die Qualität der erzielten Ergebnisse der Messinstrumente sein wird. Diese wird durch aufgezeigtes Verbesserungspotenzial von Soft- und Hardwares sowie Neuerungen von Werkzeugmaschinen und Koordinatenmessgeräten ermöglicht.
Diese Verbesserungen werden für die Technik sowie die Wirtschaft von wesentlichem Nutzen sein, jedoch vorausgesetzt einer fortlaufenden gezielten Forschungsarbeit auf internationaler Ebene auf dem Gebiet der Messtechnik.

1. Einleitung

Messen, Prüfen und die Feststellung richtiger Ergebnisse stehen in einer engen Beziehung mit der Qualität von Produkten. Damit solche genaue Messungen und Prüfungen durchgeführt werden können, um ständig die Qualität der Produkte zu verbessern und erhöhen, braucht man zuverlässige Messgeräte und Prüfgegenstände.
Die Aufgabe solcher Geräte ist, die Genauigkeitsanforderungen von Messungen zu erhöhen, um die Messunsicherheit und Messabweichungen zu reduzieren.
Die Bedeutung der Ergebnisse von Messungen, Kalibrierungen und Prüfungen durch Feststellung und Angabe der Messunsicherheit, wird zunehmend wichtiger.
Deshalb ist die Messunsicherheit eine wichtige Voraussetzung und Basis für die verlässliche Vergleichbarkeit von Mess- und Kalibrierergebnissen im Verlauf weiterer Untersuchungen.
Aus diesem Grund ist es überaus wichtig, intensiven Forschungsaufwand nicht nur auf national Ebene sondern auch auf internationaler Ebene zu betreiben, zukunftsweisende Normen, Richtlinien sowie Leitfaden zur Angabe der Messunsicherheit beim Messen (GUM) zu erarbeiten.
Auf dieser Basis werden diese Verbesserungen aber auch nur dann möglich sein, wenn zuverlässige und präzise Koordinatenmessgeräte sowie stabile und qualitativ hochwertige Software-Tools entwickelt werden, um die fehlerfreie Messunsicherheitsbewertungen durchzuführen.
Diese Optimierungen werden zuletzt nicht nur im technischen Bereich sondern auch der Wirtschaft zu gute kommen.

Zielsetzung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit, die zum Großteil anhand eines Literaturstudiums erarbeitet wurde, ist es:

- einen Überblick über die genaue Durchführung einer Kalibrierung von Koordinatenmessgeräten zu schaffen
- einen Vergleich der verschiedenen – portablen und stabilen – Koordinatenmessgeräte zu ermöglichen, welcher ebenfalls durch praktische Erfahrung im Zuge meiner Laborarbeit untermauert wird, sowie

- mögliche Verbesserungsstrategien zur Steigerung der Messgenauigkeit zu ermitteln und anhand mehrerer Beispiele darzulegen.

Aufbau

Das zweite Kapitel dient zur Verständnisbildung und enthält wesentliche grundlegende Definitionen und Schlüsselparameter bei Messungen sowie das grundsätzliche Schema eines Messsystems.
Im dritten Kapitel wird der Aufbau ausgewählter stabiler Koordinatenmessgeräte und unterschiedlichen Messkopfsystemen dargestellt und deren Zusammenhang mit der Messtechnik besprochen.
Das vierte Kapitel beschäftigt sich mit der Thematik der Genauigkeit und Fehlervermeidung. Es stellt das zentrale Element der Arbeit und die Grundlage für die folgenden Kapitel fünf und sechs dar. Hier werden die aktuellen Soft- und Hardware sowie die Neuheiten aus dem Bereich der Werkzeugmaschinen und Koordinatenmessgeräten vorgestellt. Es soll betrachtet werden, inwieweit sie die Basis für Verbesserungsmöglichkeit im Bereich der Koordinatenmessgeräte darstellen.
Das fünfte Kapitel hat zum Schwerpunkt die Darstellung einerseits der gegenwärtigen normativen Grundlagen der Genauigkeit und Messunsicherheit – Normen, Richtlinien und Leitfäden zur Angabe der Messunsicherheit bei Messen (GUM) - und andererseits die Darstellung der Erfassung von Messunsicherheit und Methoden, diese zu reduzieren.
Im letzten Kapitel wird zunächst die Definition der Kalibrierung und anschließend deren Durchführung anhand konkreter Beispiele einschließlich eines portablen Messarmes besprochen.

2. Definitionen von Schlüsselparametern bei Messungen und Messsystemen

Das folgende Kapitel dient zum Aufbau eines detaillierten Verständnisses der entsprechenden Definitionen und Schlüsselparameter im Verlauf der einzelnen Phasen von durchzuführenden Messungen. Darüber hinaus wird das grundsätzliche Schema eines Messsystems vorgestellt.

2.1. Messen

Unter Messen versteht man die Gesamtheit der Vorgänge zur objektiven Beschaffung quantitativer Angaben über bestimmte materielle Eigenschaften eines physikalisch existenten Objektes.
Messen heißt, eine zu messende Größe als Mehrfaches einer allgemein anerkannten Einheit einer physikalischen Dimension durch Vergleich mit einer Maßverkörperung dieser Einheit zu bestimmen. [3, S.164f].
Die Messtechnik ist eine alte Wissenschaft, die mit unserem Leben und unserer Betrachtungsweise engst verbunden ist. Bei der Messtechnik handelt es sich um die Beobachtung und Quantifizierung physikalischer Phänomene.
Die Messergebnisse dienen als Bewertungsgrundlage für die verschiedenen Messtechniken. [1, S.20f]

2.2. Korrekte Durchführung von Messungen

2.2.1. Grundlagen

Messungen werden durchgeführt, um physikalische Größen zu messen, wie z.B. die Länge oder das Durchmesser zu bestimmen.
Ziel ist es, ermittelte Ergebnisse mit anderen auszutauschen und aus dem Messergebnis Schlossfolgerungen abzuleiten. Als wichtige Voraussetzung gilt, dass die Einheit vereinbart sein muss! (siehe Abb.2.1) [6, S.3]

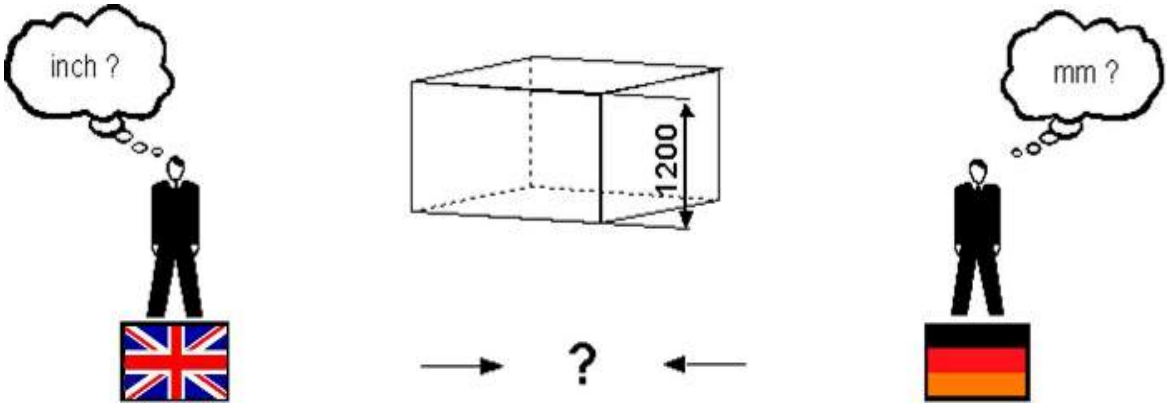


Abbildung 2.1 Die Einheiten

2.2.2. Messgröße

Die Messgröße ist eine spezielle Größe, die den Gegenstand einer Messung darstellt und immer definiert sein muss. Als Beispiel soll in der Abbildung 2 der Dampfdruck einer gegebenen Wasserprobe bei 20 Grad angeführt werden.
Vor der Durchführung der Messung muss die Aufgabe eindeutig festgelegt sein – einerseits anhand der explizit definierten Messgröße mit den zu untersuchenden Merkmalen und andererseits anhand der Messstrategie des Messverfahrens einschließlich aller Randbedingungen. (siehe Abb. 2.2) [6, S.3]

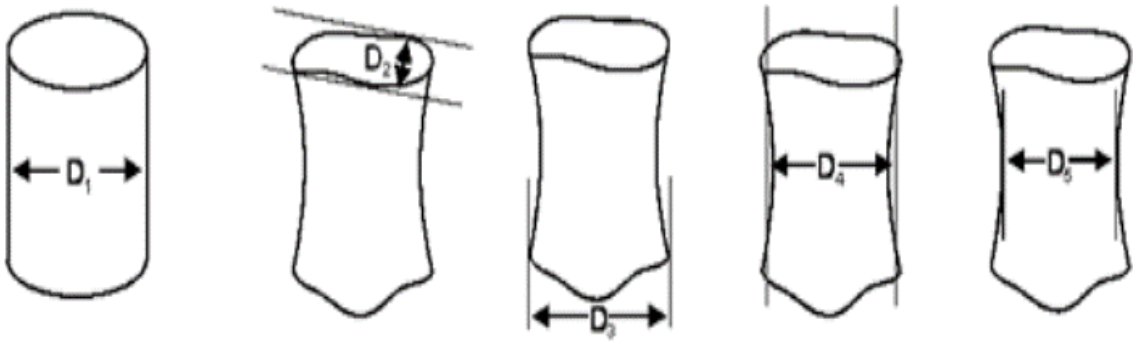


Abbildung 2.2 Messung Dampfdruck eines Wasserprobe

Vereinbarung der Messgröße: Beispiel Messaufgabe: Zylinderdurchmesser

2.3. Messarten

Die Messung kann auf zwei unterschiedliche Arten durchgeführt werden.

2.3.1. Direkter Vergleich

Bei dieser Art, wird die Messgröße mit einer weiteren bestimmten Vergleichgröße verglichen. [1, S.3]

2.3.2. Indirekter Vergleich

Bei einem indirekten Vergleich wird die Messung beispielsweise mit der Gewichtmessung mittels einer Federwaage durchgeführt. [1, S. 4]

2.4. Messsystem

Ein Messsystem setzt sich aus dem Messobjekt und der Messeinrichtung zusammen und steht auch mit der Umgebung in Wechselwirkung. Abbildung 2.3. zeigt uns ein Schema von Messsystem.

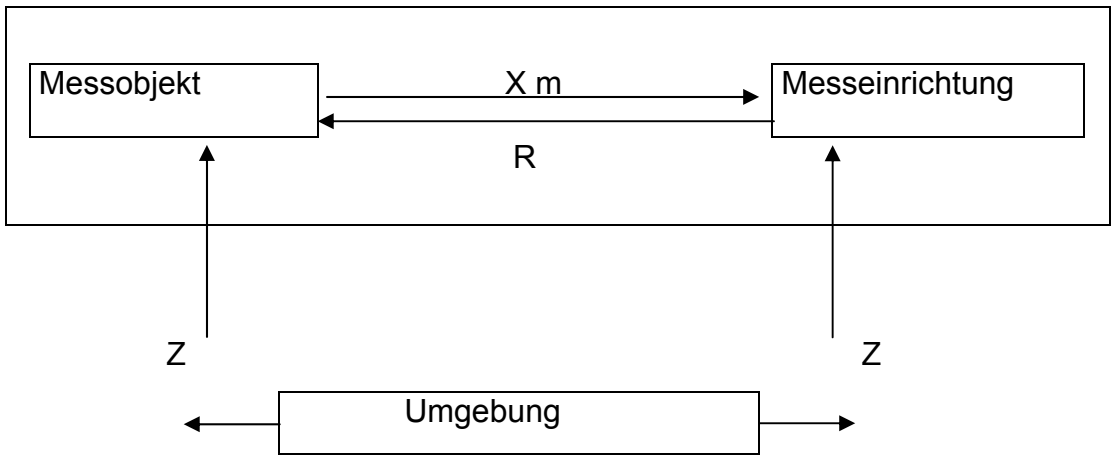


Abbildung 2.3 Blockschema des Messsystem

Das Messobjekt ist ein Teil des Messsystems. Es sendet die Messgröße, die mit **Xm** bezeichnet wird, an die Messeinrichtung, die alle technischen Mittel zur Durchführung des Messvorganges enthält und hier mit **R** bezeichnet wird. Diese

hat wiederum wirkt zurück auf das Messobjekt, wobei beide ebenso von der Umgebung beeinflusst werden, hier mit **Z** bezeichnet. (siehe Abb. 2.3)
Beispiel:
Die Messung der Oberflächentemperatur eines Thermoelementes. [1, S. 3 f]

2.5. Messprinzip

Mit Messprinzip bezeichnet man die Wissenschaftliche Grundlage des Messverfahrens. [3, S. 165]

2.6. Messverfahren

Für Messverfahren gibt es verschiedene Definitionen, von welchen hier die folgenden zwei Beispiele angeführt werden sollen:

i. Mögliche erprobte Maßnahmen für die Durchführung einer Messung.
ii. Die Gesamtheit der praktischen und theoretischen Tätigkeiten für die Durchführung einer Messung nach einem vorgegebenen Messprinzip. [3, S. 165]

Die weitere Grundlage zur Entscheidung hinsichtlich der Wahl des Messverfahrens stellen die im Folgenden besprochenen Arten dar.

2.6.1. Direktes Messverfahren

Bei direkten Verfahren wird der Wert der Messgröße direkt gewonnen und nicht durch Messung von anderen Größen, die mit der Messgröße funktional verbunden sind. Das Messverfahren wird auch dann als direkt bezeichnet, wenn ergänzende Messungen zur Bestätigung der Validität erforderlich sind. Beispiele dafür sind:

i. Längenmessungen mittels eines Strichmaßstabs;
ii. Messung einer Masse mittels einer gleicharmigen Waage.

2.6.2. Indirektes Messverfahren

Ein indirektes Messverfahren wird dadurch charakterisiert, dass der Wert der Messgröße durch die Messung von Größen gewonnen wird, die mit der Messgröße funktional verbunden sind. Beispiele dafür sind:

i. Druckmessung durch Messung der Höhe einer Flüssigkeitssäule.
ii. Temperaturmessung mittels eines Widerstandsthermometers.

[3, S.165 ff]

2.7. Messmethode

Die Messmethode umfasst die logische Abfolge zur Durchführung von Messungen nach bestimmten methodischen Besonderheiten, die je nach Bedarf eingesetzt. [1, S. 20]

2.8. Arten der Messwertverarbeitung

Wenn die erhaltene Messgröße nicht unserem gesuchten oder gewünschten Ergebnis entspricht, muss auf die Messwertbildung noch die Messwertverarbeitung erfolgen.
Die erforderlichen Einrichtungen können innerhalb oder außerhalb der Messeinrichtung liegen. Im zweiten Fall müssen die folgenden weiteren Definitionen vorgenommen werden.

2.8.1. Elementare Messwertverarbeitung

Dabei werden nur eine oder wenige einfache mathematische beziehungsweise logische Operationen ausgeführt, wie beispielsweise Summen-, Differenzbildung, Logarithmen etc.

2.8.2. Höhere Messwertverarbeitung

Ausführung kompletter mathematischer oder logischer Operationen. Diese können noch in Signalanalyse und Messdatenverfassung unterschieden werden.

Zweck der Signalanalyse

Unter Signalanalyse versteht die Analyse des Messsignals nach bestimmten Gesichtpunkten im Amplituden-, Frequenz- oder Zeitbereich, um die erforderlichen Informationen zu gewinnen. [1, S.20]

Messdatenerfassung

Diese dient zur Aufbereitung von Messwerten beziehungsweise zum Verknüpfung mit anderen Daten. [1, S.20]

2.9. Messbedingungen

Für die Messerfassung spielen neben dem Messergebnis ebenso die folgenden Messbedingungen eine wesentliche Rolle:

i. Zeitpunkt der Messung
ii. Ort der Messung
iii. Umgebungsbedingungen (Temperatur, Druck, Feuchtigkeit)
iv. Dynamischer Zustand des Messobjekts

Um die Messergebnisse, die stark von den speziellen Messbedingungen abhängen, vergleichen zu können, ist die Festlegung von nachstehenden normierten Bedingungen wesentlich:

v. Umgebungstemperatur 20 Grad Celsius
vi. Luftdruck 1 Bar [1, S. 21]

2.10. Messgenauigkeit

Die Messgenauigkeit ist ein qualitativer Wert und bezeichnet das Ausmaß der Annährung des Messergebnisses an den wahren Wert die Messgröße. [3, S.167]

2.11. Messergebnis

Unter einem Messergebnis versteht man den Wert einer Messgröße, der durch die Messung ermittelt wird. Dieser Begriff kann sich unter anderem auf die folgenden Kategorien beziehen:

i. Berichtigtes Messergebnis
   Bezeichnet das Messergebnis nach einer Berichtigung hinsichtlich der systematischen Messabweichung.
ii. Unberichtigtes Messergebnis
   In diesem Fall wurde keine Berichtigung um die bekannte Messabweichung vorgenommen. Bei Vorliegen von bereits einem einzelnen Messwert entspricht das unberichtigte Messergebnis dem Messwert. [1, S.168]

2.12. Messgeräte

Diese sind Einrichtungen, die bei einer Messung verwendet werden. Diese können auf unterschiedliche Weise bezeichnet werden, beispielsweise Elemente, Teile, Messgeräte, Messmittel, Messkette. [3, S.168]

2.13. Maßverkörperung

Es handelt sich dabei um ein Gerät, welches während seines Gebrauches konstant einen oder mehrere Werte einer Größe wiedergeben oder liefern soll, beispielhaft das Gewichtstück, der Normalwiderstand oder Signalgenerator. [3, S.169]

2.14. Normal

Es handelt sich hier um eine Maßverkörperung. Ihre Aufgabe ist es, eine Einheit oder mehrere bekannte Größenwerte zu bestimmen oder zu verkörpern, um diese an andere Messgeräte durch Vergleich weiterzugeben, z.B. 1 kg Massennormale, 2 Parallelendmaß. [2, *S.*10]

3. Aufbau Koordinatenmessgeräte (KMG)

Im folgenden Abschnitt wird der Aufbau ausgewählter stabiler Koordinatenmessgeräte dargestellt. Es soll hier ebenso der Zusammenhang der KMG mit der Messtechnik besprochen werden.
Auf die portablen Koordinatenmessergeräte wird im sechsten Kapitel Bezug genommen.

3.1. Allgemeine Beschreibungen von Koordinatenmesstechnik

Dieser Teil von ISO Serie OENORM EN ISO 10360 gehört zum Bereich der Geometrischen Produktspezifikationen (GPS) und ist eine GPS-Norm. Darin werden Begriffe für Koordinatenmessgeräte (KMG) sowie deren Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung festgelegt.
KMG ist ein Messsystem zur Messung räumlicher Koordinaten, welches mit Mitteln zur Bewegung eines Messkopfsystems ausgestattet ist und zur Bestimmung von räumlichen Koordinaten von Produkten auf einer Werkstückoberfläche eingesetzt wird. [10, S.3]

3.1.1. Messkopfsystem

Dabei handelt es sich um System, das aus einem Messkopf, einer Messkopfverlängerung, einem Messkopfwechselsystem, einem Tasterwechselsystem sowie einer Tasterverlängerung und Taster zusammensetzt. Abbildung 3.1 stellt ein in Messkopfsystem nach OENORM EN ISO 10360 dar, das aus folgenden Teilen besteht:

1. Pinole
2. Messkopfverlängerung
3. Messkopfwechselsystem
4. Messkopf
5. Tasteerwechselsystem
6. Tasterverlängerung
7. Tasterschaft

8. Taster
9. Tasterelement
10. Durchmesser des Tastenelementes
11. Messkopfsystem
12. Tastersystem (zusammengesetzt aus Komponenten des Tastersystems)

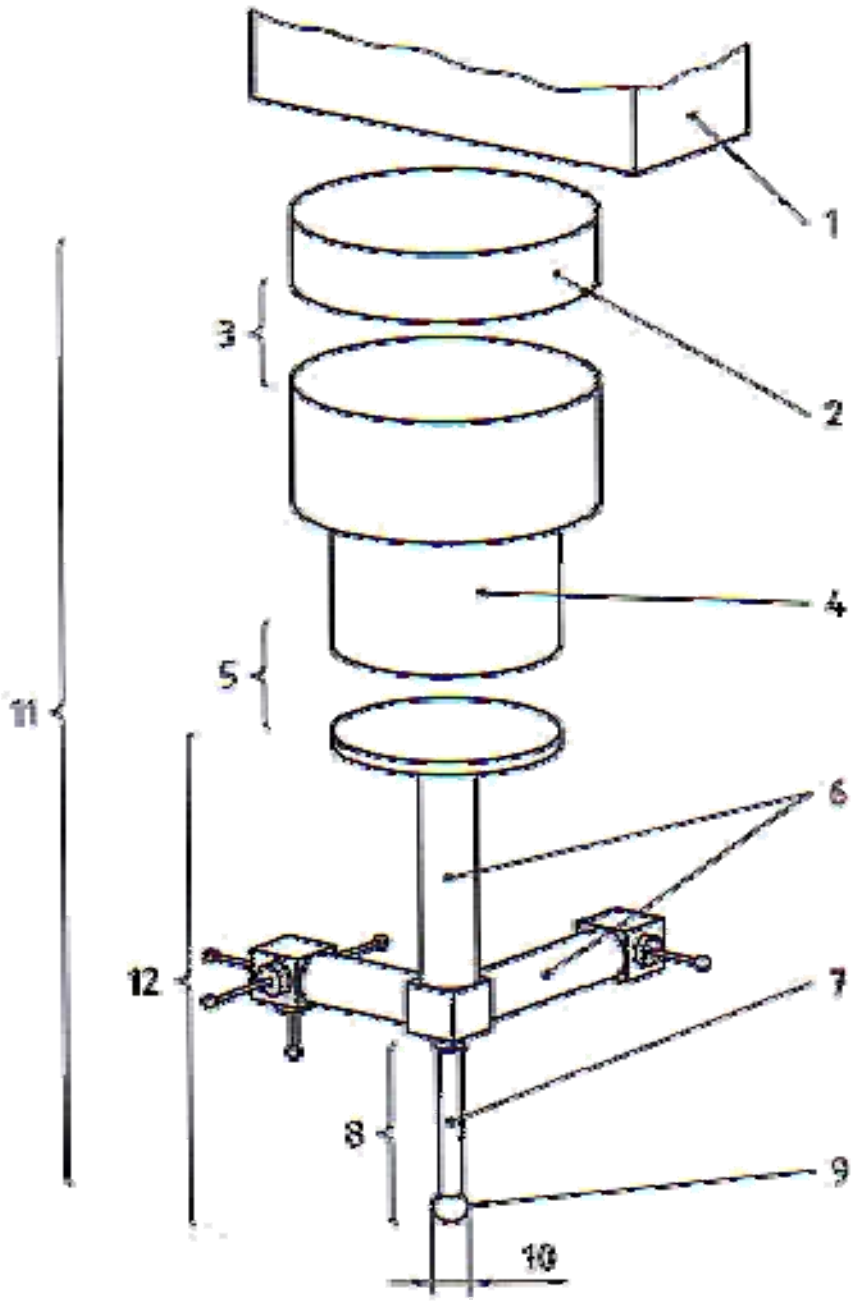


Abbildung 3.1 Messkopfsystem

1. Pinole
2. Messkopfverlängerung
3. Messköpfe
4. Taster
5. Tasterverlängerung

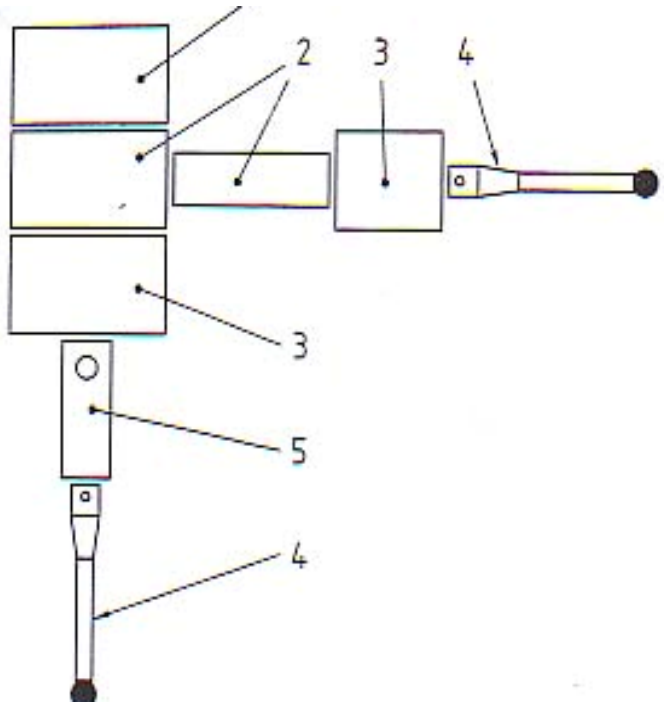


Abbildung 3.2 Messkopfsystem mit Mehrfachtaster

1. Pinole
2. Messkopfwechselsystem
3. Messköpfe
4. Taster

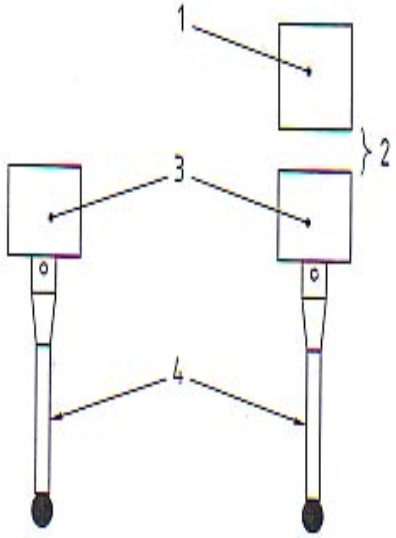


Abbildung 3.3 Messkopfsystem mit Mehrfachtaster , Messkopfwechselsystem

1. Pinole
2. Messkopf
3. Taster
4. Tasterverlängerung

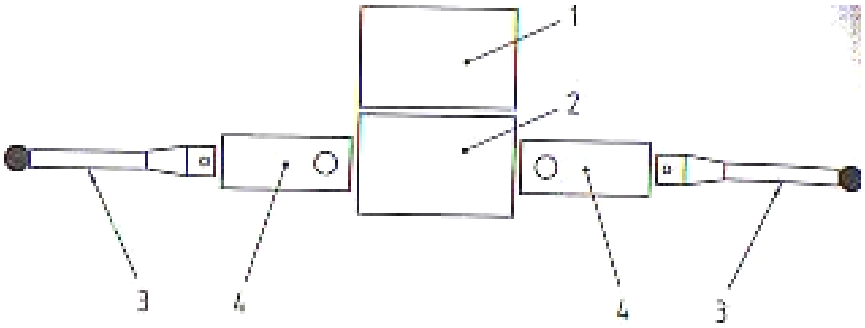


Abbildung 3.4 Messkopfsystem mit Mehrfachtaster (2 Einzeltaster)

1. Pinole
2. Messkopf
3. Sterntaster

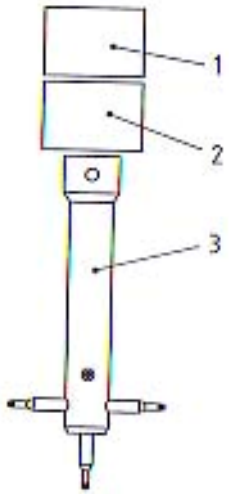


Abbildung 3.5 Messkopfsystem mit Mehrfachtaster (1 Sterntaster)

1. Pinole
2. Messkopf
3. Tasterwechselsystem
4. Taster

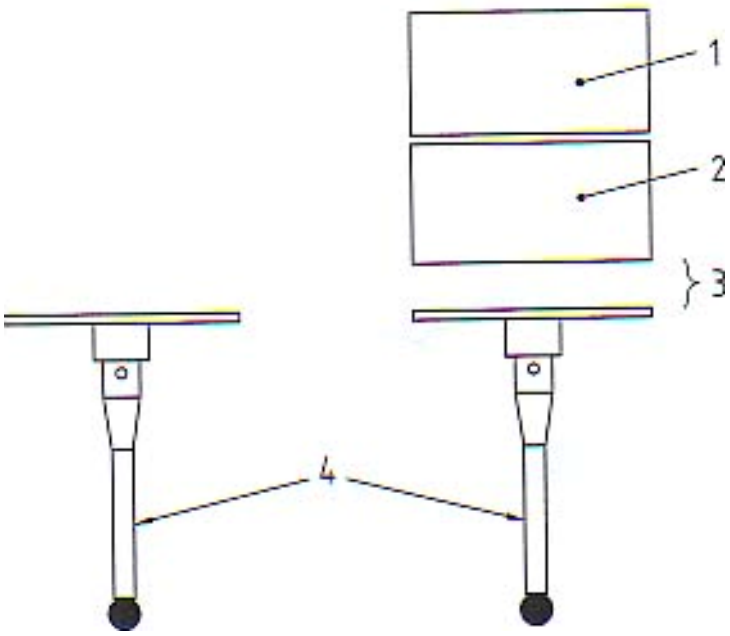


Abbildung 3.6 Messkopfsystem mit Mehrfachtaster
(2 Einzeltaster,1Tasterwechselsystem) [10, S.5-11]

3.1.2. Koordinatenmessung

Die Koordinatenmessung beschreibt die Messung räumlicher Koordinaten und wird mit einem KMG ausgeführt. Dieses System (Koordinatenmesssystem) wird zur Vermessung der physikalischen Achsen beziehungsweise deren Berechnung verwendet.

3.1.3. Annahmeprüfung eines KMG

Diese erfolgt auf Basis einer Vereinbarung seitens des KMG –Herstellers und des Nutzers hinsichtlich des Umfangs von Operationen. Sie dient zur Bestätigung, dass die Leistungsfähigkeit eines KMG der vom Hersteller spezifizierten entspricht. [10, S.6]

3.1.4. Bestätigungsprüfung eines KMG

Mittels gleicher Verfahren wie bei der Annahmeprüfung erfolgt ebenso die Prüfung zur Bestätigung, dass die Leistungsfähigkeit eines KMG der vom Nutzer spezifizierten Vorgabe entspricht. [10, S.6]

3.1.5. Zwischenprüfung eines KMG

Diese durch den Nutzer festgelegte Prüfung dient zur Erhaltung des Vertrauens in die Messung mit dem KMG und wird zwischen den Bestätigungsprüfungen durchgeführt. [10, S.7]

3.2. Zusammenhang zwischen Koordinatenmessgeräten und Messtechnik

In diesem Abschnitt werden die unterschiedlichen Anforderungen an die Koordinatenmessgeräte in Hinblick auf die korrekte Durchführung der Messung beschrieben.

3.2.1. Anzeigeabweichung für Längenmessung

Die Anzeigeabweichung eines KMG für Längenmessungen E und die höchstzulässige Anzeigeabweichung MPE_E werden in Mikrometer angegeben. Die Anzeigeabweichung E darf die höchstzulässige Anzeigeabweichung, MPE_E nicht überschreiten. Diese Werte werden entweder vom Hersteller, im Fall einer Annahmeprüfung, beziehungsweise vom Anwender, im Fall einer Bestätigungsprüfung, vorgegeben.

3.2.2. Antastabweichung

Die Antastabweichung P und die hochzulässige Antastabweichung MPE_P werden in Mikrometer angegeben, wobei die Antastabweichung P die hochzulässige Antastabweichung MPE_P nicht überschreiten darf.
Diese Werte werden entweder Hersteller, im Fall der Annahmeprüfung, beziehungsweise vom Anwender, im Fall der Bestätigungsprüfung, vorgegeben.

3.2.3. Betriebsbedingungen

Bei der Durchführung der Prüfung muss das KMG nach dem im Betriebshandbuch des Herstellers angegebenen Verfahren betrieben werden. Insbesondere sind folgende Punkte zu beachten:

- Eigenschaften / Vorbereiten des KMG
- Konfiguration des Tastersystems
- Reinigungsverfahren für das Tastelement und die Einmesskugel
- Einmessen des Messkopfsystems

Das Tastelement und die Einmesskugel müssen vor dem Einmessen des Messkopfsystems gereinigt werden, um den Restfilm restlos zu entfernen, welcher die Messung oder die Prüfergebnisse beeinflussen könnte.

3.2.4. Messeinrichtungen

Es muss eine Prüfkugel mit einem Nenndurchmesser von 10 mm bis 50 mm genutzt werden, die mit KMG zum Einmessen des Kopfsystems gelieferte Referenzkugel darf für die Prüfung nicht genutzt werden.
Die Form der Prüfkugel muss kalibriert sein, weil die Formabweichung des Ergebnis beeinflusst und bei der Beurteilung der Übereinstimmung oder nicht Übereinstimmung mit den Spezifikationen berücksichtig werden muss.

3.2.5. Verfahrensablauf

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte des Messverfahrens definiert:

i. Der Anwender darf die Richtung des Tasters und die Lage der Prüfkugel innerhalb der vorgegebenen Grenzen frei wählen. Es ist empfehlenswert, den Taster nicht parallel zu einer der Koordinatenachsen des KMG anzurichten.
ii. Konfigurieren und Einmessen des Tasters nach Verfahren des Herstellers.
iii. Festlegung der Lage der Prüfkugel je nach Messeinrichtung. Die Prüfkugel ist steif zu installieren, um die Abweichungen durch Biegung zu minimieren.
iv. Es sind 25 Punkte zu messen, welche vom Benutzer frei gewählt, wenn nichts anderes vorher festgelegt wurde. Folgende Antastmuster sind zu empfehlen:
    a. 1 Punkt auf dem Pol der Prüfkugel
    b. 4 gleich verteilte Punkte 22,5 Grad unter dem Pol
    c. 8 gleich verteilte Punkte 45 Grad unter dem Pol und 22,5 Grad zur Lage der vorigen Gruppe gedreht
    d. 4 gleich verteilte Punkte 67,5 Grad unter dem Pol und 22,5 Grad zur Lage der vorigen Gruppe gedreht
    e. 8 gleich verteilte Punkte 90 Grad (auf dem Äquator) unter dem Pol und 22,5 Grad Zur Lage der vorigen Gruppe gedreht [10, S. o.A]

3.3. Was versteht man unter Genauigkeit

Die Genauigkeit ist die Grenze für die zulässigen Messabweichungen, die oft in Normen vorgegeben werden, wie beispielsweise bei einem Widerstandsthermometer.
Diese Sollwerte entsprechen nicht nur die physikalischen Gesetzen, sondern auch dem Durchschnittswert aus einer großen Zahl von Messelementen für STH. [6, S.1]

3.4. Arten von Koordinatenmessgeräten und ihre Hauptteile

3.4.1. KMG in Auslegerbauweise

Es gibt eine Art von KMG mit drei beweglichen Komponenten, die sich auf zueinander vertikal befindenden Führungen bewegen. Das Messkopfsystem befindet sich an der ersten Komponente.
Diese wird von der zweiten Komponente getragen und bewegt sich vertikal in ihre Richtung. Diese beiden verbundenen Komponenten bewegen sich waagerecht zur dritten Komponente.
Diese – als Ausleger an einem Ende gelagert – bewegt sich waagrecht zum Gestell, auf welchem das Werkstück positioniert ist. [10, S.21]

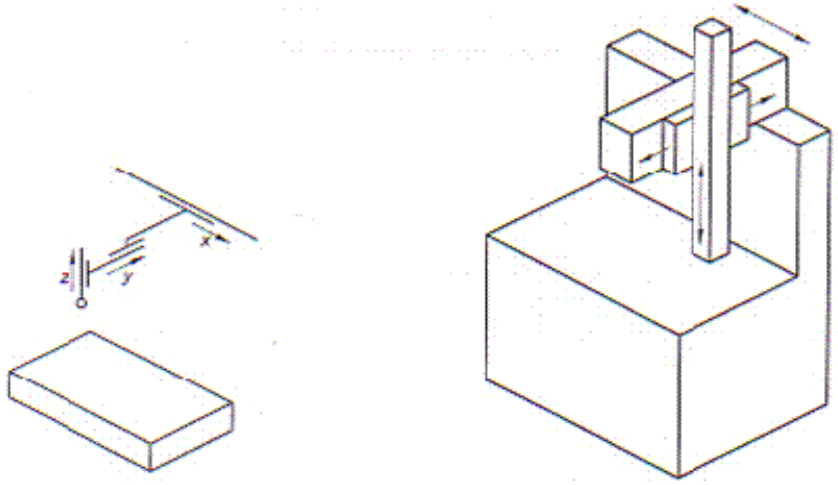


Abbildung 3.7 KMG in Auslegebauweise

3.4.2. KMG in Portalbauweise mit beweglichem Portal

Der Grundaufbau dieser Art von KMG ist mit der unter Punkt 3.4.1. beschriebenen Art vergleichbar.
Der Unterschied liegt darin, dass die dritte Komponente mit zwei Füssen auf gegenüberliegenden Seiten des Maschinenbettes gelagert ist und sich waagerecht hierzu bewegt. Das Werkstück wird auf das Maschinenbett gelegt. (siehe Abb. 3.8) [10, S. 22]

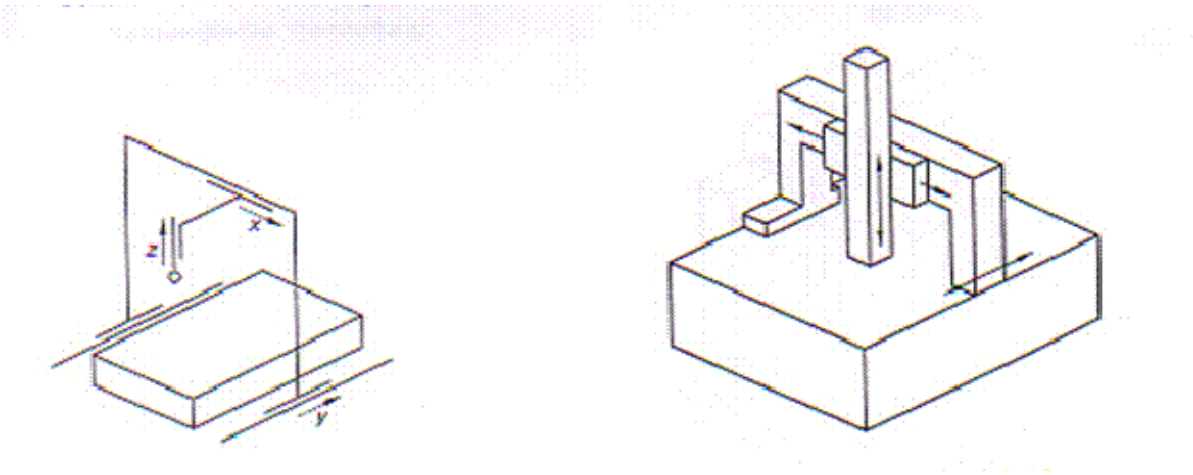


Abbildung 3.8 KMG in Portalbauweise mit beweglichem Portal

3.4.3. KMG in Brückenbauweise

Die Grundaufbau dieser Art entspricht den unter Punkt 3.4.1. und 3.4.2., beschriebenen Arten.
Der Unterschied hier liegt darin, dass die dritte Komponente sich waagerecht auf zwei zu beiden Seiten auf dem Gestell befestigten Führungsschienen bewegt, wobei das Werkstück wiederum auf dem Gestell positioniert ist. (siehe Abb. 3.9) [10, S.22]

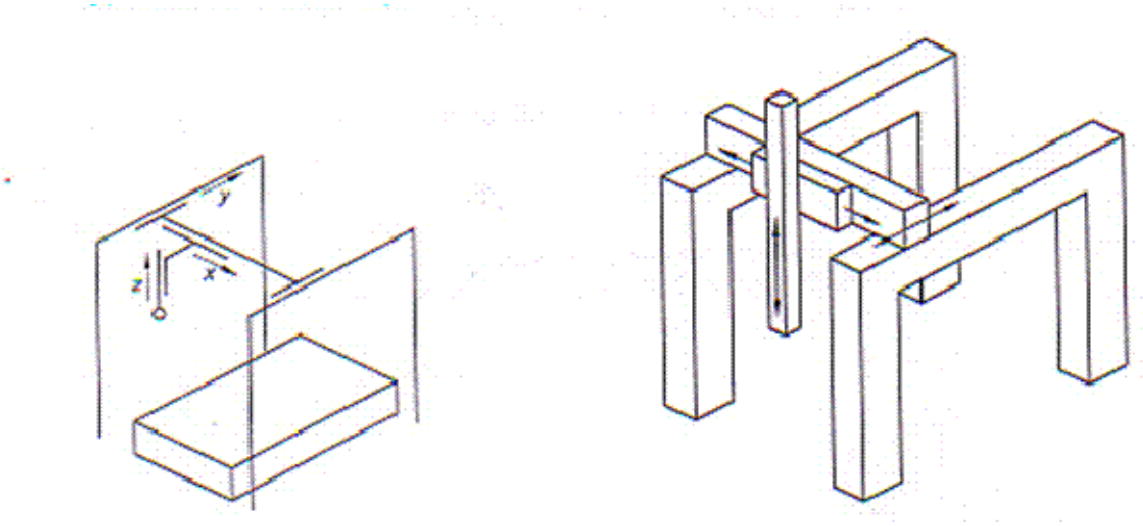


Abbildung 3.9 KMG in Brückenbauweise

3.4.4. KMG in L- förmiger Portalbauweise

Die Anordnung der ersten und zweiten entspricht auch in dieser Art den bereits beschriebenen Arten.

In diesem Modellaufbau bewegt sich die dritte Komponente waagerecht oder horizontal auf zwei Führungen, eine auf der Höhe des Gestells oder darunter und die andere über dem Gestell. Das Werkstück wird auf dem Gestell positioniert. (siehe Abb. 3.10) [10, S.23]

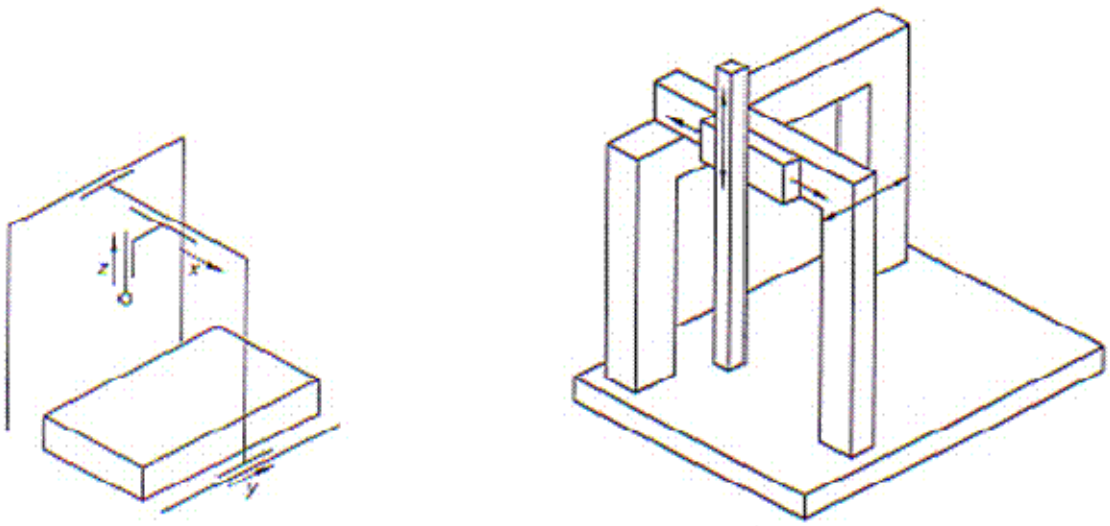


Abbildung 3.10 KMG in L- förmiger Brückenbauweise

3.4.5. KMG in Portalbauweise mit stationärem Portal

Diese Art verfügt über drei bewegliche Komponenten, die sich auf zueinander senkrechten Führungen bewegen.
Das Messkopfsystem befindet sich in der ersten Komponente, die sich vertikal zur zweiten bewegt.
Die im Bild dargestellte Anordnung zeigt, dass die erste und zweite Komponente über dem Gestell stationiert sind und sich waagerecht zum Portal bewegen. Das Werkstück ist auf der dritten Komponente fixiert. (sieh Abb.3.11) [10, S. 23]

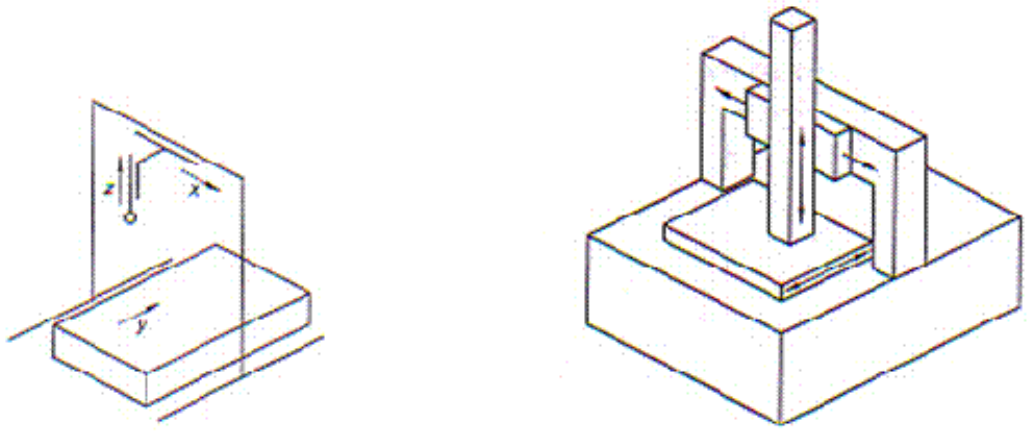


Abbildung 3.11 KMG in Portalbauweise mit stationärem Portal

3.4.6. KMG in Auslagerbauweise mit beweglichem Tisch

Diese Art verfügt über drei bewegliche Komponenten, die sich auf zueinander senkrechten Führungen bewegen.
Das Messkopfsystem befindet sich in der ersten Komponente. Diese bewegt sich vertikal zur zweiten Komponente, die als Ausleger einseitig gelagert ist und sich horizontal zum Gestell bewegt.
Die dritte Komponente bewegt sich ebenfalls waagerecht zum Gestell, wobei auf ihr das Werkstück positioniert ist. (siehe Abb. 3.12)

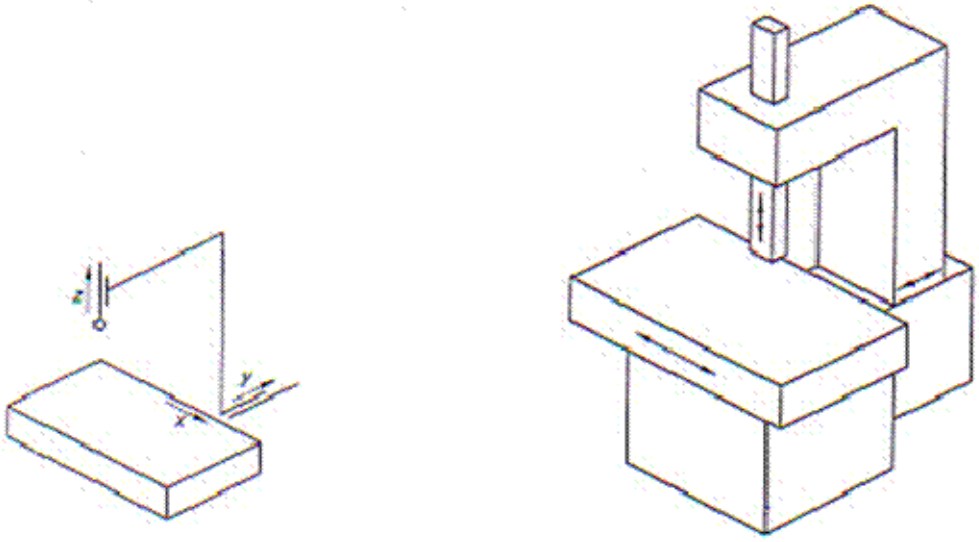


Abbildung 3.12 KMG in Auslagerbauweise mit beweglichem Tisch

3.4.7. KMG in Ständerbauweise

Diese KMG verfügt über zwei bewegliche Komponenten.
Das Messkopfsystem befindet sich in der ersten Komponente, die sich senkrecht zum Gestell bewegt. (siehe Abb. 3.13) [10, S. 24]

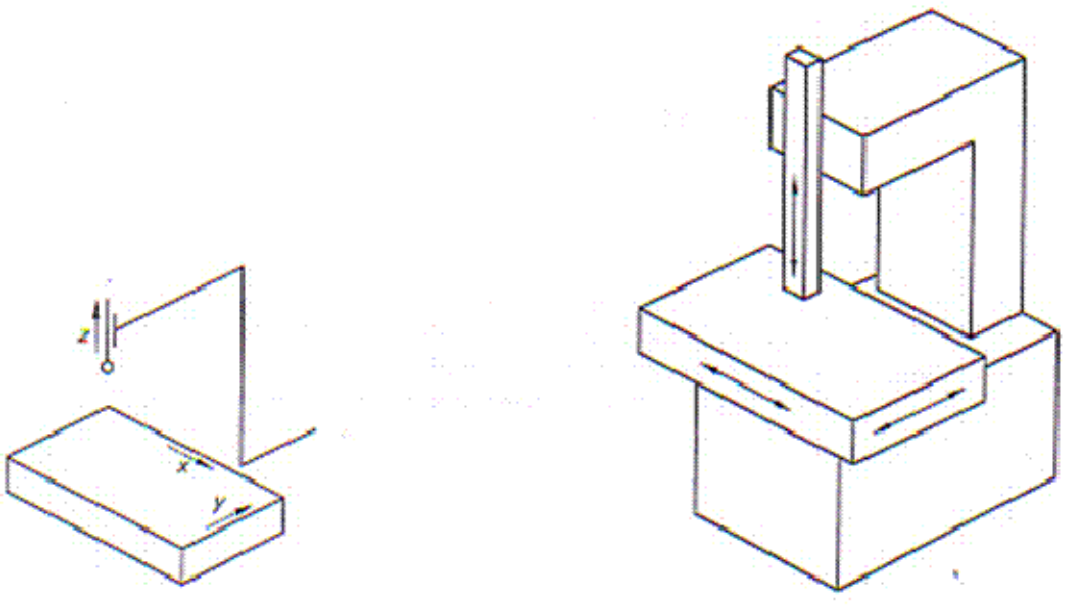


Abbildung 3.13 KMG in Ständerbauweise

3.4.8. KMG mit beweglichem Ständer und beweglichem Horizontalarm

Es ist ein KMG mit drei beweglichen Komponenten, mit vertikalen Bewegungen zueinander.
Das Messkopfsystem befindet sich in der ersten Komponente, die von der zweiten getragen wird und sich waagerecht dazu bewegt.
Diese Baugruppe bewegt sich senkrecht zur dritten Komponente.
Dritte Komponente bewegt sich waagerecht zum Gestell, auf dem das Werkstück positioniert ist. (siehe Abb.3.14) [10, S. 25]

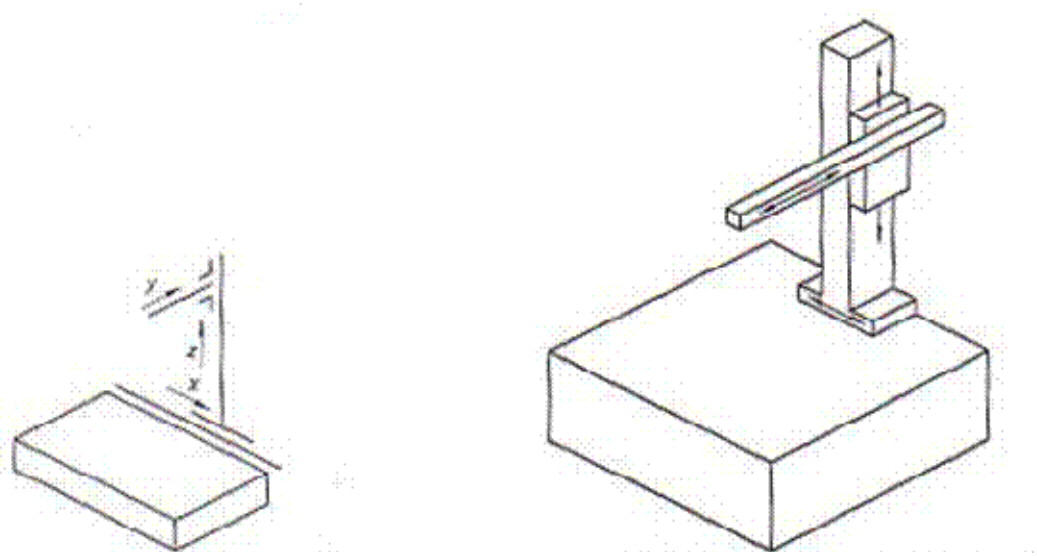
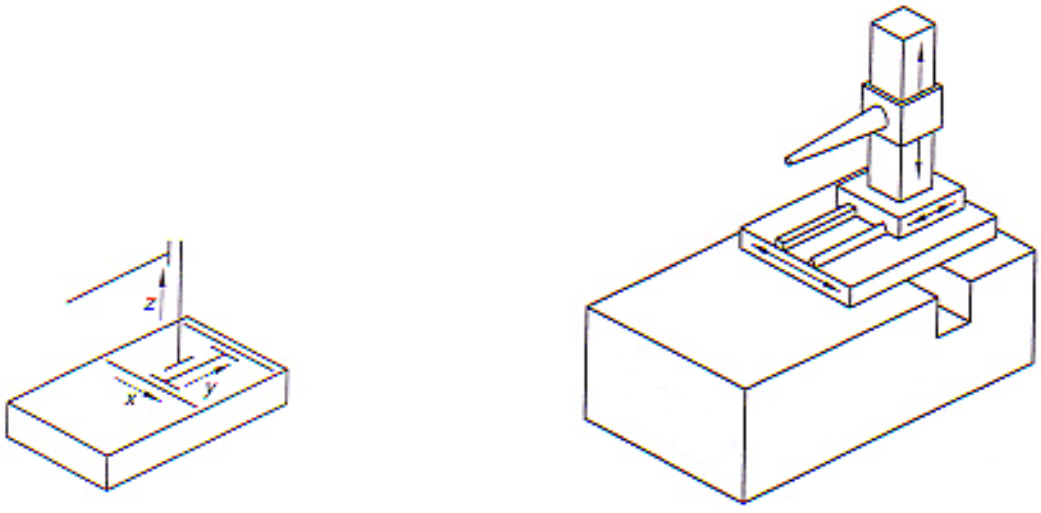


Abbildung 3.14 KMG mit beweglichem Ständer und beweglichem Horizontalarm

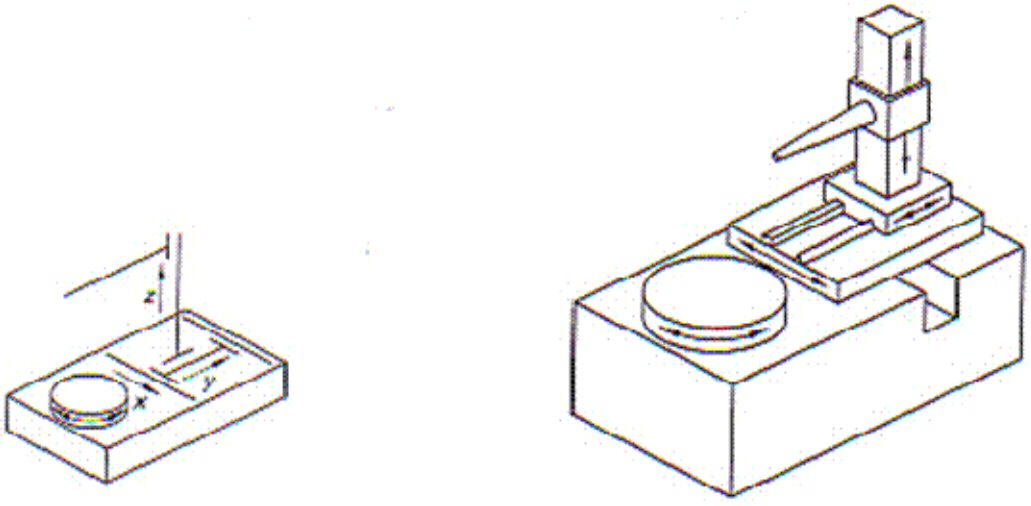
3.4.9. KMG in Ständerbauweise mit stationärem Tisch und stationärem Horizontalarm

Diese Modellanordnung des KMG verfügt über drei bewegliche Komponenten mit vertikalen Bewegungen zueinander.
Das Messkopfsystem befindet sich in der ersten Komponente, die als Ausleger in waagerechter Richtung einseitig gelagert ist. Sie bewegt sich vertikal zur zweiten Komponente, die sich horizontal zur dritten Komponente bewegt.
Die dritte Komponente, auf welcher das Werkstück positioniert ist, bewegt sich waagerecht zum Gestell (a).

Eine andere Konfiguration (b) wäre mit einem Drehtisch möglich. In diesem Fall wären die Achsen senkrecht zum Gestell und das Werkstück auf dem Drehtisch positioniert. [10, S.26]



(a)



(b)

Abbildung 3.15 KMG mit Ständerbauweise mit stationärem Tisch und Horizontalarm

3.4.10. KMG in Ständerbauweise mit beweglichem Tisch und Horizontalarm

Ebenso diese Art des KMG verfügt über drei bewegliche Komponenten mit vertikalen Bewegungen zueinander.

Das Messkopfsystem befindet sich in der ersten Komponente, die als Ausleger einseitig gelagert ist und sich senkrecht zur zweiten Komponente bewegt.

Die gesamte Baugruppe bewegt sich waagerecht zum Gestell. Das Werkstück ist auf der dritten Komponente positioniert. (siehe Abb. 3.16) [10, S. 27]
Hinweis zu Dargestellten Abbildungen:
Bei der Abbildungen 3.7 bis 3.16 ist jeweils die Linke Seite eine Schematische Darstellung von KMG und auf Rechte Seite ist das Beispiel.

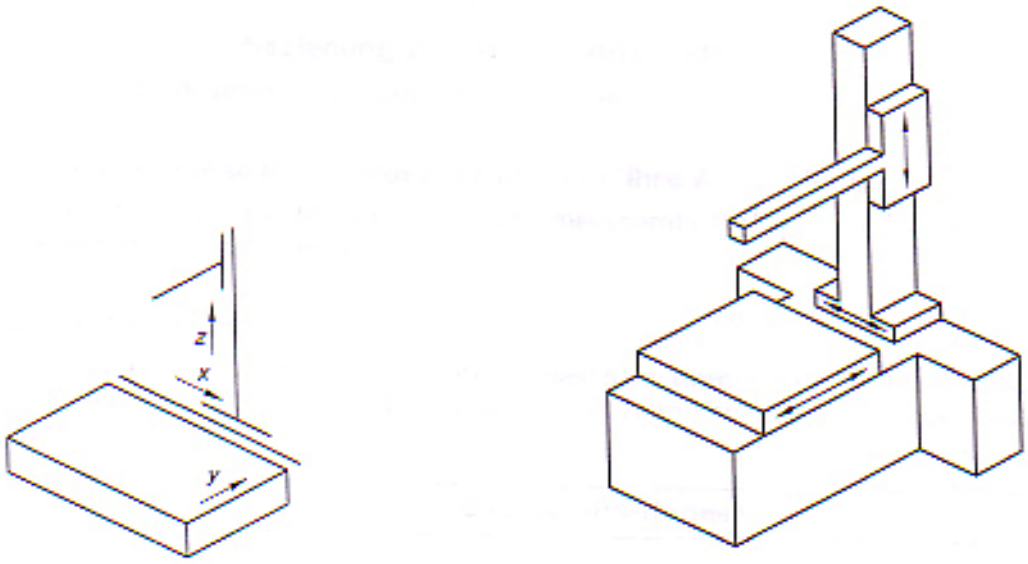


Abbildung 3.16 KMG in Ständerbauweise mit beweglichem Tisch und Horizontalarm

3.4.11. Zusammenfassung

Ingesamt kann festgestellt werden, dass die hier vorgestellten unterschiedlichen Arten lassen sich in Auslegebauweise und Portalbauweise einteilen. Was sie gemeinsam haben, sind drei bewegliche Komponenten, welche sich auf zueinander senkrechten Führungen bewegen können.
Ihr Vorteil gegenüber den portablen KMG liegt in der größeren Genauigkeit der erzielten Ergebnisse durch die höhere Stabilität bei Messdurchführung.

4. Genauigkeitsanforderungen an KMG

Im folgenden Kapitel wird die Thematik der Genauigkeit und Fehlervermeidung besprochen, welcher eine grundlegende Bedeutung für die Qualität der Messergebnisse zukommt. Dieser Abschnitt stellt das zentrale Element der Arbeit und die Grundlage für die folgenden Kapitel fünf und sechs dar.
Es sollen die aktuellen Soft- und Hardwares sowie die Neuheiten aus dem Bereich der Werkzeugmaschinen und Koordinatenmessgeräten hinsichtlich der möglichen Qualitätsverbesserungsstrategien der erreichten Ergebnisse dargestellt werden – siehe insbesondere Abschnitt 4.4.
Im Abschnitt Qualitätsbestimmung werden meine praktischen Laborerfahrungen genauer Bezug genommen.

4.1. Definitionen

4.1.1. Genauigkeit

Die Genauigkeit ist ein quantitativer Begriff. Die Genauigkeit wird als die Grenze der zulässigen Messabweichungen definiert, welche oft in Normen vorgegeben sind. Die Messgenauigkeit ist das Ausmaß der Übereinstimmung zwischen dem Messergebnis und dem wahren Wert der Messgröße. (EN ISO 10012: 2003). Die Genauigkeit eines Messgerätes ist somit die Fähigkeit eines Messgerätes oder Messwertes, die Ausgangsgröße nahe einem wahren Wert zu liefern. Als Beispiel für die Genauigkeit eines Messgerätes sei hier ein Widerstandsthermometer angeführt. [6, S.2]
Es handelt sich dabei um ein Thermometer, bei dem die Temperatur über die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands gemessen wird und nicht über die Längen- oder Volumenänderung eines Stoffes. Als Widerstand können reine Metalle, Edelmetalle (für präzise Messungen), oder auch Keramik einsetzen. Diese Widerstände werden als Thermistoren bezeichnet, wobei zwischen Heißleitern (NTC-Widerstände) und Kaltleitern (PTC-Widerstände) unterschieden werden kann. [44]

Ein weiteres Beispiel dafür ist die Disqualifikation mehrerer Formel I-Piloten im Jahr 2004. Der Grund dafür war eine regelwidrige Bremsbelüftung der Fahrzeuge. [30]

Abbildung 4.1 Die Disqualifikation der Ferraripiloten

4.1.2. Genauigkeitsklasse

Die Genauigkeitsklasse ist eine Messgerätklasse, die messtechnische Anforderungen erfüllt, um sicherzustellen, dass Messabweichungen innerhalb von festgelegten Grenzen bleiben. Eine Genauigkeitsklasse wird in der Regel durch eine Zahl oder durch ein Symbol bezeichnet, welche später durch Vereinbarungen festgelegt und als Klassenzeichen genannt werden. [6, S. 2f]

4.2. Auflösung und Genauigkeit

In der Praxis werden die Begriffe Auflösung und die Genauigkeit oft gemeinsam verwendet, wobei jedoch eine hohe Auflösung nicht gleichzeitig eine hohe Genauigkeit bedeutet und auch umgekehrt.
Es gibt diesbezüglich zwei Theorien:

i. Ist die Auflösung höher als die Genauigkeit, dann können bei guter differentieller Linearität kleine Differenzen zwischen den Messwerten mit größerer Genauigkeit als der Absolutwert gemessen werden.

ii. Wie oben angeführt, verhalten sich die Messgröße und das Messergebnis nicht streng linear zueinander. Dabei unterscheidet man zwischen zwei Arten von Linearität:
    a. Integrale Linearität
    b. Differenzielle Linearität
iii. Ist die Auflösung geringer als die Genauigkeit, dann werden die kleinen Differenzen mit geringerer Genauigkeit gemessen als im oberen Fall möglich gewesen wäre. [1, S.25]

4.3. Stabilität

Verschiedene Einflüsse wie chemische oder mechanische führen dazu, dass die Messsignale sich langfristig ändern. Eine besonders hohe Stabilität erreicht man, wenn man die Widerstandsdrähte spannungsfrei aufhängt, sie also nicht im Isolator einbettet, sondern freitragend aufhängt. [1, S.19]

4.4. Gültige und verwendbare Softwares und Hardwares

Durch die Recherche in Internetquellen und der Literatur können derzeit folgende Hard- sowie Softwares zur Genauigkeitsüberprüfung der KMG angegeben werden:

i. UMESS UX
ii. CALY PSO
iii. UMESS 300
iv. KUM/ SAM / KAM / GON
v. HOLOS
vi. CIMSTATION INSPECTION SILMA

Die Hardwareliste lautet:

i. HPUX- RECHNERSYSTEM PERIPHERIGERÄTE
ii. CMS - RECHNERSYSTEM PERIPHERIGERÄTE
iii. KMG - KOORDINATENMESSGERÄTE

Das passende Zubehör dazu lautet:

i. AUTOMATISIERUNGSTECHNIK
ii. VORRICHTUNG / SCAN MAX
iii. GENAUIGKEIT VON KMG

Weiters lauten die Systeme zur Überprüfung der Maschinengenauigkeiten und Kalibrierungen wie folgt:

i. ML 10 Gold Standard Lasersystem
ii. Laserinterfrometersystem

Zur Kalibrierung von Werkzeugmaschinen und KMG wird eingesetzt:

i. QC10 Kreisformtest

Für die schnelle Analyse der Genauigkeit und ihrer Werkzeugmaschine kann das folgende System verwendet werden:

i. MCG Maschinenprüflehre

Dieses System wird zur Überwachung der volumetrischen Genauigkeit von KMG verwendet. [31]

4.4.1. Genauigkeitssteigerung von KMG durch Verwendung richtigen Soft- und Hardware

In diesem Abschnitt werden die Letzten Entwicklungen von KMG im Bezug auf Genauigkeit und Messunsicherheit vorgestellt. Es wird auch besprochen, welche Fortschritte im Bereiche Soft- bzw. Hardwares bis jetzt gemacht wurden und wie es weiter in der Zukunft dieser sich entwickelt lässt.
Eine die neueste Software für die Messmaschinen, die in letzten Jahren entwickelt wurde ist SW HOLOS von der Firma Zeiss. Ursprünglich wurde es zum Vermessen von Freiformflächen entwickelt und ist in der Lage des Werkstücks mit dem CAD-Datensatz zu vergleichen. Es gibt zwei Methoden um die Messung durchzuführen, über Regelgeometrie(Bohrungen, Geraden) oder Bestift.

Beim Bestift Durchführung wird die Software des Werkstücks rechnerisch im Raum positioniert, sodass alle gemessne Punkte mit dem CAD- Modell übereinstimmt.
Anschließend die Auswertung werden die Abweichungen der Tastpunkt zum CAD-Modell in X, Y, Z Achsen ausgeben. Es wird auch eine grafische Ausgabe möglich sein, dadurch werden die Abweichungen am 3D-Modell angezeigt.
Ziel ist, mit der Hilfe solcher Software in der Zukunft, messende und intelligente Systeme zu entwickeln.
Weitere Ziele sind, schnelle Aufnahme, großer Punktemengen, vollständige Speicherauswertung unter Berücksichtigung der realen Formabweichung.
Daher werden die Form und Lage normgerecht messbar sein, und Linienform und Flächenformabweichungen lassen sich problemlos auswerten. Diese Software wird auch im Feintesmessraum und Nanotechnologie Laborraum von Abt. Austauschbau und Messtechnik verwendet. [48]
Weiter wird noch eine Software von der Firma Zeiss namens CALYPSO vorgestellt. Es ist eine Messsoftware, geeignet für alle Messsysteme, messen von Hand und im CNC-Betrieb, Online und Offline Programmierung.
Diese Software ist voll multisensorfähig und unterstützt Einzelpunkt und Scanning oder optische Messungen. Kern diese Software ist CAD und ermöglicht den Austausch unterschiedlicher Datenformate zwischen Messsystem und CAD – System.
Diese Software ist voll multisensorfähig und unterstützt alle aktuellen Zeiss Sensoren. [47]
Weiters stehen von dieser Firma folgende Produkte zur Verfügung:

i. Koordinatenmessgeräte
ii. Bildverarbeitungsmessgeräte
iii. Formmessgeräte [33]

Weitere Neuerungen der Firma Mitutoyoin Bezug auf Koordinatenmessgeräte werden nachstehend vorgestellt.

QM Masure

QM Masure ist flexible manuelle Koordinatenmessung in der Werkstatt und Fertigungsumgebung robust und stabil erlaubt das Tischgerät eine schnell flexible und unkomplizierte Messung. [33]

Abbildung 4.2 QM Measure

Crysta - Plus M

Manuelle, kompakte KMG, in die Welt der 3D Messung. Es ist sehr schnell und einfach Mit dem zu arbeiten, direkt in der Fertigung. [33]

Abbildung 4.3 Crysta – Plus M

Euro - C Strato

Eine sehr Intelligente CNC- Maschine für den bestimmten leistungsorientierten Einsatz, im Messraum und direkt in der Fertigungsumgebung.

Ein integrierter aktiver Schwingungsdämpfung Wurde in dem gebaut. [33]

Abbildung 4.4 Euro – C Strato

Legex

Eine sehr hohe CNC - Maschine mit eindrucksvoller Genauigkeit von bis zu 0,35 µm. Absolute Spitzentechnologie für allerhöchste Ansprüche an die Präzisionsarbeit bei den Untersuchungen von Kleinteilen sowie im Messlabor. [33]

Abbildung 4.5 Legex

MACH

Ein CNC-Koordinatenmessgerät mit sehr höherer Geschwindigkeit. Die Gruppe von Mach wurde extra Für die zeitoptimierte in Line-Messungen gebaut.
Die werden für die folgenden Aufgaben verwendet:
Leistungswerten bei der Verfahr- und Messgeschwindigkeit sowie der Beschleunigung. [33]

Abbildung 4.6 MACH

CARB

Eine Ständerbauweise Koordinatenmessgerät für die Messung großer Werkstücke bis hin zu kompletten Fahrzeugkarosserien. Dieses Gerät kann man entweder Manuell oder für das ein und Zweiständerdurchführung vorhandene Systeme verwenden. [33]

Abbildung 4.7 CARB

Sensoren und Wechselsysteme

Dieses Gerät wurde von der Firma Mitutoyo gebaut und ist eine Art berührungslosen Messsystems. Dazu werden wie folgt: starre und motorisch schwenkbare Tastköpfe, Elektroniktaster, Verlängerungen und Tastereinsätze in Verbindung mit rationellen Tasterwechselsystemen auch in Frage kommen. [33]

Abbildung 4.8 Sensoren und Wechselsysteme

4.4.2. Qualitätsbestimmung von Software und Hardware

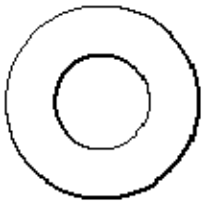
An dieser Stelle soll ein Vergleich zwischen der Qualität der Soft- und Hardware, mit welcher im Labor am Institut für Austauschbar und Messtechnik der TU Wien gearbeitet wurde und der aktuell am Markt verfügbaren Soft- und Hardware durchgeführt werden.
Im Rahmen dieser Arbeit im Feinstmessraum - Nanotechnologie Laborraum gab schon die Möglichkeit, mit unterschiedlichen Koordinatenmessgeräten zu arbeiten, für welche jeweils eine eigene Software zur Verfügung steht. Dazu gehört unter anderem UNIX B 2000 (Unix Universal Messprogramm), UMM 500 (siehe Anhang Abbildung 3), mit HP Rechner und Betriebsystem Version 2000.
Dieser verfügt über ein stabiles Softwareprogramm und wurde von der Firma Zeiss in Deutschland gebaut. Dieses Gerät ist ein leistungsfähiges Steuerungssystem, erlaubt die Messung komplexgestallte Werkstücke, wie beispielsweise für Messungen der Oberfläche einer Kugel. Es ist ein solides und zuverlässiges Gerät, das meistens für die Messungen verwendet wird.
Mit Hilfe der UNIX B 2000 können sowohl die Kalibriermessungen als auch die Ergebnisse elektronisch durchgeführt werden. Der wichtigste Nutzen dabei ist die Genauigkeit der erfolgten Messungen und Berechnungen von mehreren Dezimalstellen. Die Messung kann in drei verschiedenen Achsen und Dimensionen durchgeführt werden, wodurch nur wenige Fehler und Messabweichungen vorkommen.

Darüber hinaus gab es Möglichkeiten mit weiteren Koordinatenmessgeräten zu arbeiten, welche unter anderem als KMG-Sensorik bekannt ist und für andere Aufgaben eingesetzt wird, beispielsweise Kalibriermessung eines Kugelstabs – (siehe Anhang Abbildung 4). Die Abweichungen werden durch die optimalen kreisförmige Bewegungen oder die Bewegungen in der xz- oder yz-Ebene gemessen. Die Soft- und Hardware dieses Gerätes wurde von Firma Renishaw entwickelt und gebaut.
Weiters wurde mit anderen KMG's, wie z.B. Laserinterfrometer (siehe Anhang Abbildung 8) gearbeitet und mehrere Messungen durchgeführt.
Die im Abschnitt 4.4 und 4.4.1 genannten Neuheiten sind die derzeit am Markt verfügbaren Soft- und Hardwares. Eine davon ist die Software UMESS- UX, welche für die statistischen Auswertungen von Messergebnisse und für die Standardabweichungen verwendet wird und auf folgenden Betriebsysteme eingesetzt werden: Windows und Unix.
Im Rahmen dieser Arbeit sollen die Grundzüge der KMG und Koordinatenmesstechnik, manuelle Kalibrierung und Ablauf zur Planung einer CNC Maschine beschrieben werden. Diese Software ist eine Basis und Voraussetzung für die Entwicklung und Kenntnisse weitere Softwares wie beispielsweise KUM, SAM UX, KAM.

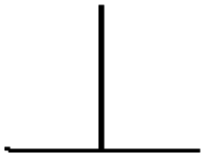
Hardwarevergleich:

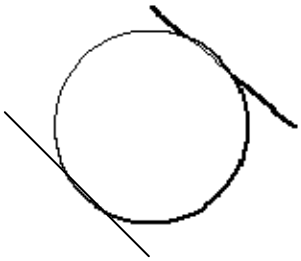
Zur oben angeführten Hardware gehören KMG - Koordinatenmessgeräte im allgemeinen Sinn. Sie haben die Aufgabe, die Oberfläche eines Werkstückes in Messvolumen punktweise zu messen und diese zu berechen und zu prüfen. Die systematische Messung wird wie folgt durchgeführt: Messbereich, Steuerung und Tastsystem (berührend und optisch). [40, S. 3]
Die KMG's werden auf unterschiedliche Art und Weise wie z.B. Maß, Form und Lage eingesetzt, wie in der nachstehenden Grafik dargestellt wird. (siehe Abb. 4.9) [40, S. 5]

Koaxialität



Rechtwinkel





Zylindrizität

Parallelität

Abbildung 4.9 Einsatzarten KMG

4.4.3. Fehlerarten

Nachstehend soll die Gliederung der Messfehler dargestellt werden, die als Basis für die Bestimmung von Fehlerarten dienen. Dabei können drei unterschiedliche Fehlerarten festgestellt werden.

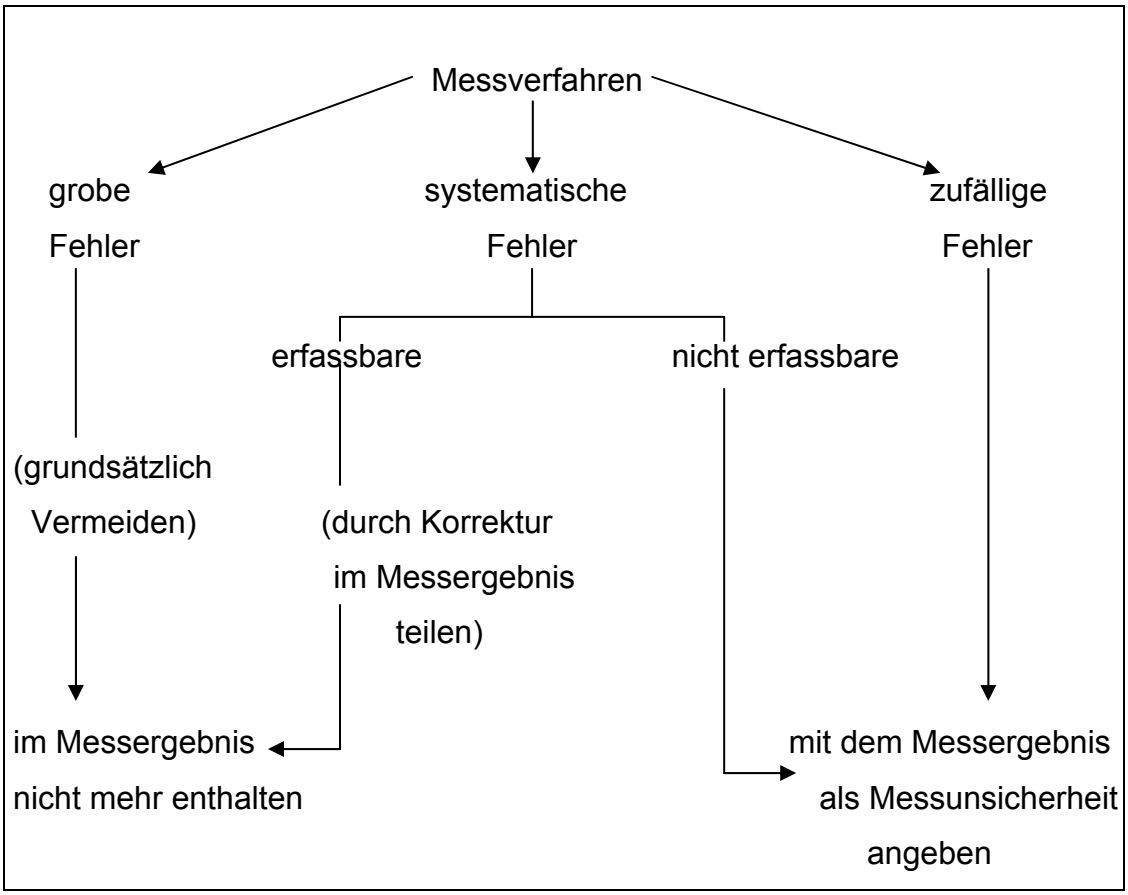


Abbildung 4.10 Gliederung der Messfehler

Grobe Fehler

Diese Fehler sind als uneigentliche Messfehler von untergeordneter Bedeutung, weil sie durch Sorgfalt und Zuverlässigkeit vermeidbar ist.

Systematische Fehler

Systematische oder beherrschbare Fehler nennt man solche Fehler, die unter gleichen Messbedingungen (z.B. dasselbe Messgerät, dieselbe Messstelle oder die gleichen Umweltbedingungen) stets den gleichen Betrag und das gleiche Vorzeichen aufweisen. Ihre Ursachen sind nach Art und Größe erfassbar. Diese sind somit grundsätzlich bestimmbar und können in Berechnung gesetzt werden. Beispiele dafür sind: Anlagefehler, die Einwirkung der Messkraft (Abplattung oder Durchbiegung des Messgerätes, des Prüfgegenstandes oder des Normales, Teilungsfehler eines Messstabes und der durch ein Messtemperaturabweichung

verursachte Unterschied in der Längenänderung zwischen Prüfgegenstand und Normal.

Zufällige Fehler

Diese Art von Fehler wird von nicht erfassbaren Änderungen der Messverkörperungen, des Messgerätes, des Prüfgegenstandes, der Umwelt und des Beobachters hervorgerufen.
Es sind die Messfehler, die unter gleichen Bedingungen nicht immer die gleiche Größe haben, sondern sowohl hinsichtlich der Größe als auch des Vorzeichens schwanken. Sie Sind nicht einzeln erfassbar, beherrschbar und vermeidbar. Dadurch macht das Messergebnis unsicher. [3, S. 226-227]

4.4.4. Fehlervermeidung

In diesem Abschnitt werden mögliche Strategien können zur Fehlervermeidung besprochen.

Fehlervermeidung durch das Werkstück

Das Werkstück selbst beeinflusst mit seinen geometrischen und sonstigen Eigenschaften nicht nur die Messgenauigkeit, sondern auch das Gewicht, die Ausdehnung, das Material, die Oberflächeneigenschaften (Rauheit, Welligkeit), die Temperatur sowie Art und Umfang der an den Geometrieelementen auftretenden Farbabweichung, Ausprägung der am Werkstück verkörperten Geometrieelemente.
Durch die Auswahl des richtigen Werkstücks und Materials kann man diese Art von Fehlern vermeiden. Das Schema unten zeigt uns die richtige Vorgehensweise. (siehe Abb. 4.11)

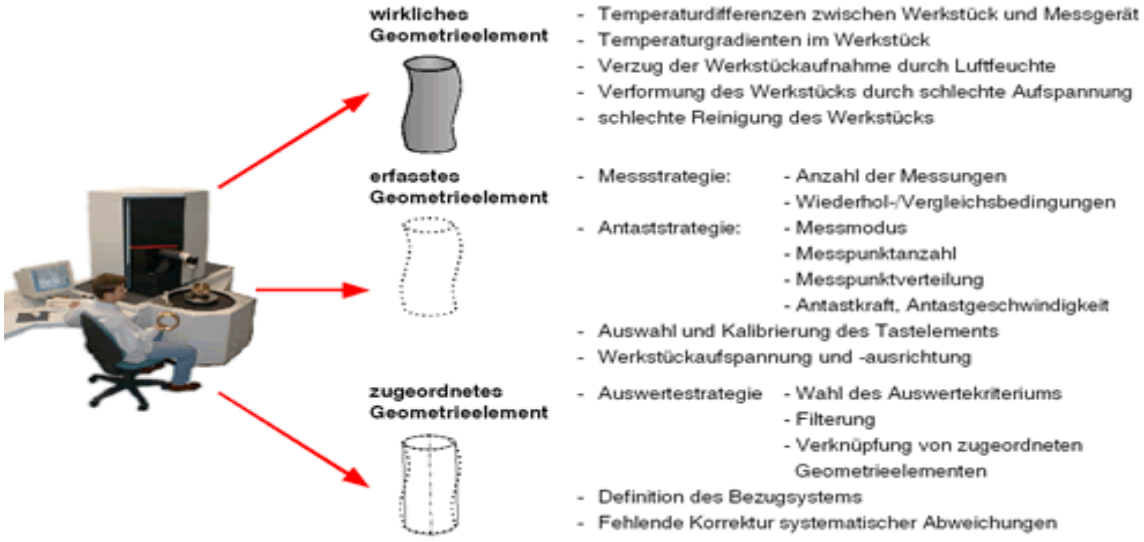


Abbildung 4.11 Werkstückkoordinatensystems

Vorbereitung und Durchführung der Messungen

Beim Vorbereiten und Durchführen der Messungen zur sorgfältigen Vorbereitung müssen die folgenden Aspekte berücksichtigt werden:

i. korrekte, spielfreie Montage des Tastersystems
ii. gewissenhafte Einmessung der Tast
iii. gründliche Reinigung des Werkstücks
iv. ggf. Temperierung des Werkstückes
v. fehlerfreie Aufspannung des Werkstückes
vi. sorgfältige und der Messaufgabe entsprechende Bestimmung des Werkstücks oder KMG. (siehe Abbildung 4.12) [6, S. 6-9]

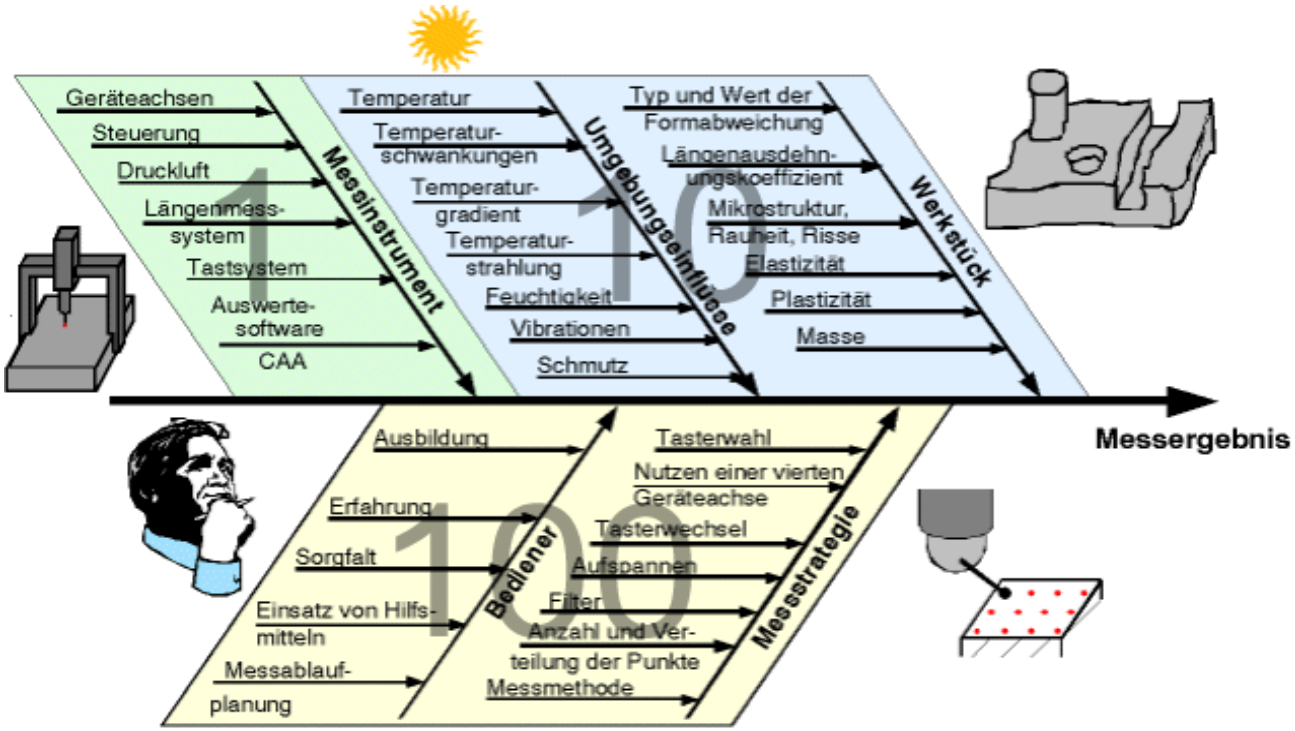


Abbildung 4.12 Einflüsse des Bedieners und von ihm gewählten Messstrategie

Um die Messungen genau und richtig durchzuführen und die Messinstrumente richtig vorbreiten und einstellen, muss eine Reihe von Vorsichtsmaßnahmen berücksichtigt werden. Eine diese Vorsichtsmaßnahmen ist die richtige Sensoren für Temperatur uns Feuchtigkeitsmessungen zu benutzen.
Sensoren werden für unterschiedliche Messungen verwendet. Dazu gehört die Messung von Temperaturen und Feuchtigkeit in technischen Labors.
Mit Hilfe solcher Sensoren können die Temperatur- und Feuchtigkeitsmessungen (Temperatursensor, Feuchtigkeitssensor) im technischen Bereich durchgeführt werden. Mit ihrer Hilfe können viele Umgebungseinflüsse, wie z.B. Temperatur- oder Feuchtigkeitsschwankungen im Laborbereichen, in Untersuchungsräumen und / oder auf dem Werkstück erfasst und auf diese Art und Weise vermieden werden.
Temperatursensoren sind elektronische Bauelemente oder Bauteile, die Temperaturen zur elektrischen Größe umwandeln können, wie z.B. Bauteile die ihren Widerstand verändern. [46]

Im Labor am Institut Austauschbar und Messtechnik der TU Wien gibt es ebenfalls einen Ständer, der Temperaturfühler heißt und dafür zuständig ist, die Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Labor zu kontrollieren.
Mit speziellen Sensoren, in diesem Fall von der Firma Hp und Renishaw, welche mit diesem Ständer verbunden sind, werden diese zwei Faktoren ständig gemessen und die vorgeschriebene Temperatur, z. B. 20 Grad Celsius, erfasst.
Diese Sensoren sind ebenfalls mit dem Laserinterfrometer (KMG) verbunden, auf dem sie angebracht sind. Durch diesen ständigen Kontakt mit dem Laserinterfrometer und ihrer Messfunktion, kontrollieren und regulieren sie Temperatur und Luftfeuchtigkeit.
Es ist empfehlenswert, das Werkstück bereits eine längere Zeit, bis zu mehreren Stunden, vor der Messung in den Laborbereich zu positionieren, um alle etwaigen Umwelteinflüsse zu neutralisieren und damit richtige und genaue Ergebnisse zu erhalten.
Als weiteres Beispiel soll hier der Infrarot Mini Sensor IMS IM1x120-U genannt werden, ein Sensor zur Messung in Messbereichen zwischen 0 - 120°C, mit integriertem Infrarot Messsonde zur schnellen und berührungslosen Temperaturmessung im technischen Bereich [35]
In diesem Fall wurde auch eine Software entwickelt, um die Werkstücke bei Messen zu unterstützen, dies heißt:
CAA (Computer Aided Accuracy), die die Genauigkeit der Messinstrumente unterstutz und kontrollieren kann. Diese hat ein bestimmtes Programm zur Auswertung den Koordinatenmessgeräten.
Die CNC (Computer Numerical Control) Programme werden für die automatische Durchführung der Messung verwendet, welche im Abschnitt 4.4.1 darüber gesprochen wurde.

Einflüsse der Umgebung

Zu den wichtigsten Einflüssen gehören die Umgebungsbedingungen, wie z.B. Abweichungen von der Bezugstemperatur, Temperaturschwankungen sowie Schmutz und Staub, die Messabweichungen verursachen können.

Die Temperatur ist der größte Faktor. Daher ist es wichtig, die Temperatur immer zu kontrollieren. (Bei der Messtechnik beträgt die Bezugtemperatur 20° C) – siehe nachstehende Abbildung.

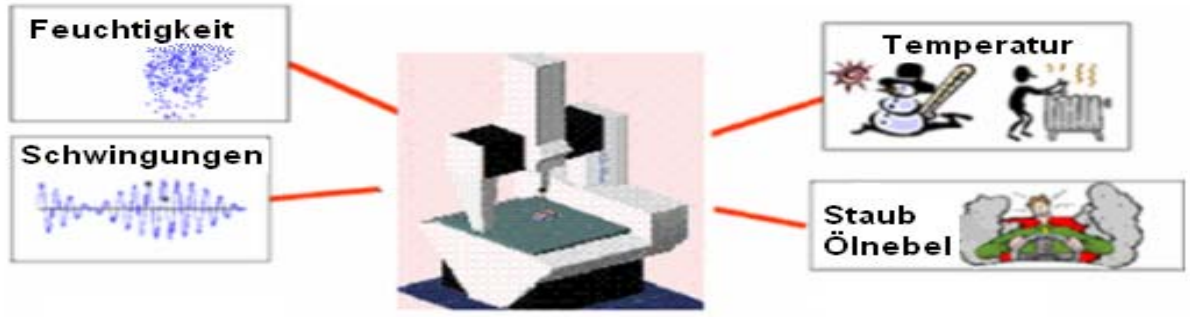


Abbildung 4.13 Umgebungseinflüsse (Ursache)

Präzision und Genauigkeit

Die Präzision ist der Grad der gegenseitigen Annährung voneinander unabhängiger Messergebnisse bei mehrfacher Anwendung eines festgelegten Messverfahrens unter vorgegebenen Bedingungen.

Präzision und Genauigkeit sind im Messwesen zwei Kriterien zur Beurteilung einer Messung. [6, S.3]

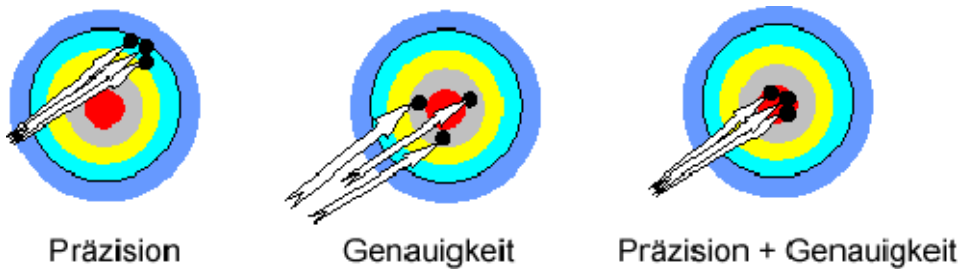


Abbildung 4.14 Präzision und Genauigkeit

„Die Präzision ist ein Kriterium der Qualität eines Messverfahrens. Sie wird daher auch als innere Genauigkeit einer Messung bezeichnet, veraltet auch Wiederholgenauigkeit.

Man quantifiziert die Präzision eines Verfahrens durch oftmaliges Wiederholen der Messung unter gleichen Umständen mit demselben Messgerät oder Messsystem und Reduktion der einzelnen Ergebnisreihen nach normierten Algorithmen der Fehler- und Ausgleichsrechnung. Ein sehr präzises Verfahren liefert für ein und dieselbe Aufgabe jeweils nahezu gleiche Ergebnisreihen. Die Präzision macht keine Aussagen darüber, wie weit die einzelnen Messwerte jeweils von der realen Vorgabe entfernt sind, sondern sie beschreibt die Stabilität des Messgeräts einschließlich seiner Ablesung während des Messvorgangs.
Im Vergleich dazu bedeutet Genauigkeit zweierlei:

Eine äußere Genauigkeit: Sie kommt in der Streuung der Messungen zum Ausdruck, wenn sie unter verschiedenen äußeren Umständen wiederholt werden. Eine absolute Genauigkeit, das ist der Grad der Übereinstimmung zwischen angezeigtem und wahrem Wert.“ […] [45]

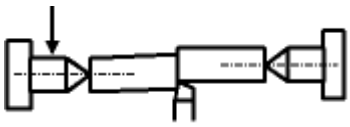
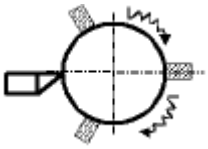
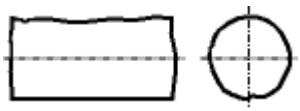
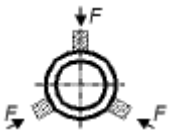
Ursache		Auswirkung
Reitstock versetzt		Werkstück kegelförmig
 Mitlaufende spitze schlägt Werkstück umgespannt		Werkstück nicht Koaxial
Werkstück biegt sich durch		Werkstück Konvex
Werkstück biegt sich durch		Werkstück Konkav
 Maschine Aufspannung schwingt		 Werkstück Wellig, Unrund
 Buchse im Drehbackenfutter Gespannt, spitzenloses schleifen		Verformung zum Gleichdick

Abbildung 4.15 Einfluss auf die Werkstücke (Auswirkungen) [6, S.7]

Einflüsse des Messgerätes

Gerätespezifische Einflüsse lassen sich im Allgemeinen nicht durch äußere Einwirkung oder Maßnahmen des Anwenders verändern. Sie müssen bei der Messung als gegeben angesehen werden. Aus diesem Grund kann die Messgenauigkeit bei sonst idealen Bedingungen nur höchstens so hoch sein, wie es der Summe der gerätespezifischen Anteile entspricht. Ursachen sind:

i. Durch das Messprinzip bedingte Abweichungen (Digitalisierungsfehler)
ii. Geometrische Abweichungen der Messgerätekomponenten
iii. Abweichungen des Messkopfsystems, Rechenungenauigkeit
iv. Abweichungen in den Zusatzeinrichtungen

Bei Messkopfesvermessung des Koordinatenmessgerätes treten in jeder Achse Abweichungen auf als Folge von:

i. Positionierabweichungen in der Verfahrrichtung
ii. translatorischen Verschiebungen in den beiden senkrecht zur jeweiligen Verfahrrichtung stehenden Richtung (Geradheits-, Rechtwinkeligkeitsfehler)
iii. rotatorischen Bewegungen um die drei Koordinatenachsen (Rollen, Nicken, Gieren).
iv. Koordinatenmessmaschine mit drei Koordinatenachsen Rollen, Nicken, Gieren (Siehe Abb. 4.15) [6, S.11]

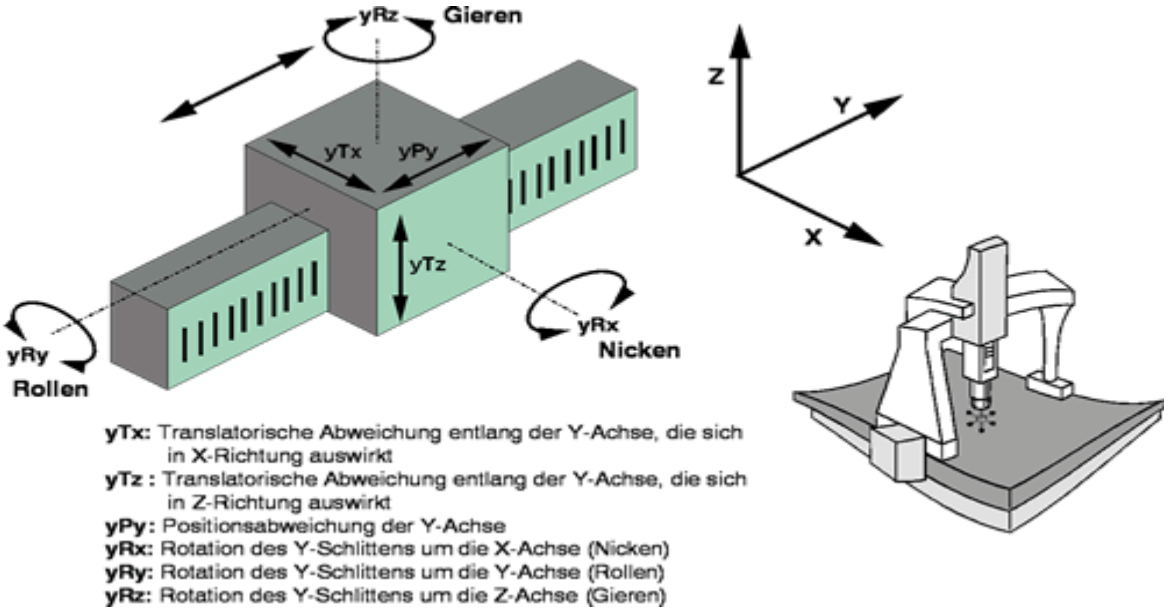


Abbildung 4.16 Rotatorischen Bewegungen um die Koordinationsachse [6, S. 11]

4.4.5. Schlussfolgerung

Anhand der darstellten Erkenntnisse ist es wesentlich zu betonen, dass die Erreichung wesentlich geringerer Messabweichungen und Messunsicherheiten nur dann möglich ist, wenn nicht nur zuverlässige Mitarbeiter oder Messgeräte, sondern auch die wesentliche Rolle der die entsprechenden Umgebung und Umgebungsbedingungen (wie z.B. Temperatur, Feuchtigkeit, etc.) berücksichtigt werden.

Aus diesem Grund braucht man zuverlässige Verfahren, um die Messgenauigkeit von Koordinatenmessgeräten und die Werkzugsmaschinen zu steigern. Die Genauigkeit, mit der ein Antastvorgang durchführt wird, hängt wesentlich von den kinematischen und elektrischen Tastsystemeigenschaften des verwendeten Messkopfsystems ab.

Ursache der Messabweichungen liegt in den Algorithmen der Auswertsoftware (z.B. hervorgerufen durch Abbruchschranken bei iterativen Rechnungen). Diese Messabweichungen sind meist ebenfalls gering.

5. Normative Grundlagen der Genauigkeit und Messunsicherheit

Im folgenden Abschnitt werden die aktuellen normativen Grundlagen der Genauigkeit und Messunsicherheit – Normen, VDI/VDE-Richtlinien und Leitfäden zur Angabe der Messunsicherheit bei Messen (GUM) – besprochen, welche eine wesentliche Grundlage für die weitere Verbesserung in der Messqualität darstellen. Es soll hier auf die Wichtigkeit der internationalen Zusammenarbeit hingewiesen werden. Weiters wird die Erfassung von Messunsicherheit und Methoden, diese zu reduzieren, genauer erörtert.

5.1. Internationale Normung (ISO)

Die Internationale Organisation für Normung (ISO) ist die internationale Vereinigung von Normungsorganisationen, welche internationale Normen in allen Bereichen erstellt.
Die Abkürzung ISO steht für International Organisation für Normung. Derzeit sind 150 Länder in der ISO vertreten, in der jedes Land von einem Mitglied vertreten wird und jedes Mitglied nur ein Land vertritt. Die offiziellen Sprachen der ISO sind Englisch und Französisch.
Das österreichische Normungsinstitut ON Österreichisches Normungsinstitut ist eine gemeinnützige, unparteiische Plattform zur Schaffung von Normen in Österreich. Dieses geht ursprünglich auf den Österreichischen Normenausschuss vom Jahr 1920 zurück. Nach einer Bundesgesetznovelle von 1971 sowie einer Namensänderung entstand das heutige ON. [42]
„Der Großteil aller Ö-Normen trägt dieselbe Nummer wie die entsprechende Norm oder die Europäische Norm (EN) als ÖNORM EN, insbesondere als ÖNORM EN ISO, wenn sie dem ISO-Standard folgt.“ [42]

5.2. Definition von Norm und Standard

Im Deutschen unterscheidet man die Begriffe Norm und Standard. Im englischen Sprachraum wird diese Unterscheidung nicht gemacht.

Die von den Normungsorganisationen herausgegebenen Dokumente tragen die Bezeichnung „Standard“, der Normungsprozess selbst wird als „Standardization“ bezeichnet.
Ein mögliches Unterscheidungsmerkmal zwischen Norm und Standard betrifft die Faktoren Konsensgrad und Zeit. [42]
„Eine Norm ist ein Dokument, das durch eine breite Beteiligung aller interessierten Kreise im Konsens erarbeitet wird. Der Standard dagegen kann von einem geschlossenen Kreis von Unternehmen oder auch nur einem Unternehmen unter Ausschluss der Öffentlichkeit entwickelt werden. Im Produktlebenszyklus werden Standards meist zu einem frühren Zeitpunkt als Normen entwickelt.“ [42]

5.3. Normen

Es bestehen drei Arten von Normen – die Internationale (IN) und die Europäische Norm (EN) und Nationale Norm. ISO Normen können in die nationale Normung übernommen werden. Im Rahmen dieser Arbeit werden vorwiegend die Europäischen Normen herangezogen.

5.3.1. Internationale Normen

„Die Internationale Organisation für Normung kurz ISO ist die internationale Vereinigung von Normungsorganisationen und erarbeitet internationale Normen in allen Bereichen, mit Ausnahme der Elektrik und Elektronik, für die die Internationale Elektronische Kommission zuständig ist.“ [42]

5.3.2. Europäische Normen

„Das Europäische Komitee für Normung ist eine private, nicht gewinnorientierte Organisation, deren Mission es ist, die Europäische Wirtschaft im globalen Handel zu fördern, das Wohlbefinden der Bürger zu gewährleisten und den Umweltschutz voranzutreiben.“ [42]

„Europäische Normen müssen wenn sie innerhalb der europäischen Normungsgemeinschaft angenommen sind, ins nationale Normenwerk auch übernommen werde. „ [4, S.18]

5.4. Relevante Normen und Richtlinien für Koordinatenmessgeräte

Im Zusammenhang mit den Koordinatenmessgeräten und deren Genauigkeitsanforderungen sind die ISO Norm Serie 10360-01, 10360-02, 10360-03, sowie ISO Normen 14253-1, 14253-2, die VDI Richtlinien 2617 als relevante Normreihen zu betrachten.

Der Verein Deutsche Ingenieure (VDI) wurde 1856 in Alexisbad / Harz in Deutschland gegründet mit dem Ziel, „alle geistigen Kräfte der Technik zum gemeinsamen Wirken zusammenzufassen“. 1857 wurde die erste Zeitschrift veröffentlicht. 1866 entsteht auf Betreiben des VDI die Dampfkesselüberwachungsverein als Vorläufer des heutigen Technischen Überwachungsvereines (TÜV). Sein Wirken befindet sich im ständigen Entwicklungsprozess und die Einstellungen sowie die Richtlinien werden ebenso laufend aktualisiert. Der VDI ergreift Maßnahmen zur Aufklärung, Beratung, Vermittlung, Förderung und zum Schutz der Beteiligten in allen Fragen der Technikverantwortung.
Im sechsten Kapitel wird anhand von Beispielen auf VDI/VDE-Richtlinien verwiesen. [39]

5.5. Messabweichungen

5.5.1. Anzeigeabweichungen eines KMG für Längenmessung

Die Anzeigeabweichung ist eine Anzeige, die zur Bestimmung der Länge einer Längenmessverkörperung mit einem Koordinatenmessgerät verwendet wird. (EN ISO 10360-1:2000). [23]
Die Messung an der Messverkörperung wird an zwei gegenüberliegenden Punkten und Oberflächen, in normaler Richtung zu einer der beiden Flächen, mit unterschiedlicher Antastrichtung ausgeführt. [23]t (siehe Abbildung 5.1) [10].

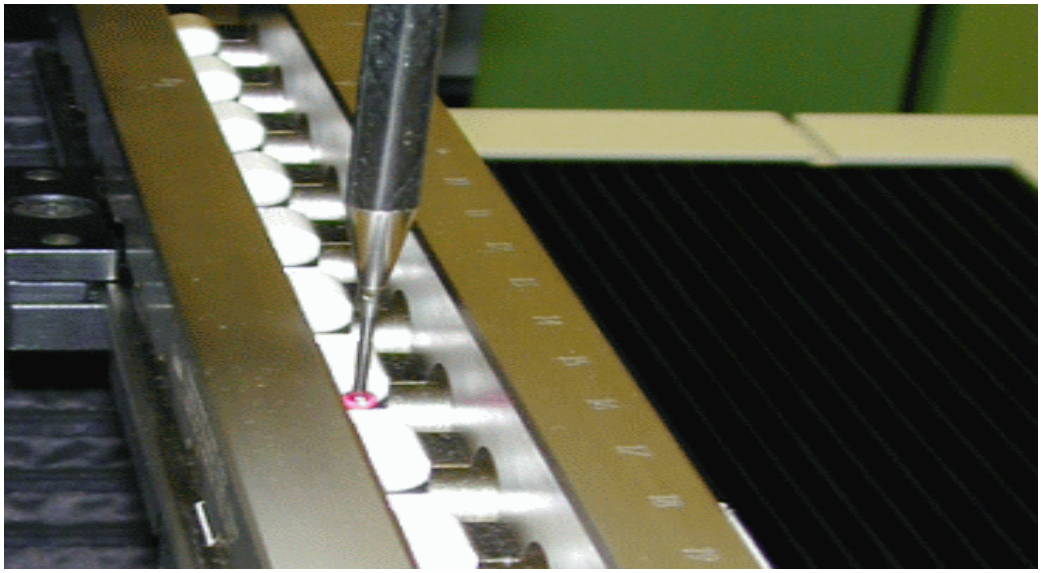


Abbildung 5.1 Höchstzulässige Anzeigeabweichung eines KMG für Längenmessung MPE_e

5.5.2. Antastabweichungen

Die Antastabweichung bedeutet eine Messabweichung als Radiendifferenz einer kugelförmigen Längenmessverkörperung, die durch ein Koordinatenmessgerät bestimmt werden kann (EN ISO 10360-1:2000). (siehe Abbildung 5.2). [23]

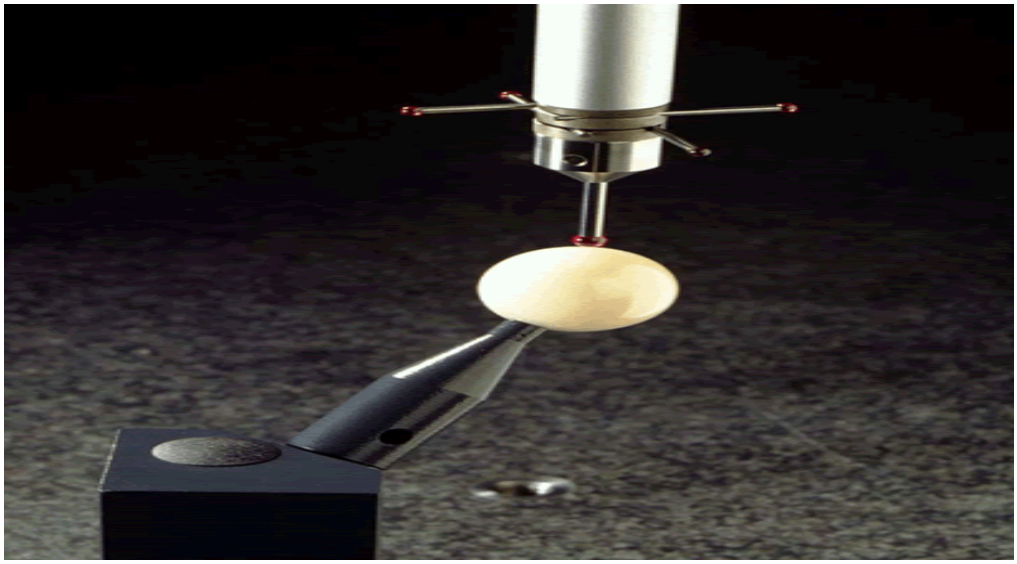


Abbildung 5.2 Bestimmung der Antastabweichung

5.5.3. KMG – Spezifikation und Parameter für Klassifikationen

Die Genauigkeit eines Koordinatenmessgerätes wird durch Kenngrößen beschrieben, die das Gerät hinsichtlich des Abweichungsverhaltens charakterisieren. Diese werden vor allem dann angewendet, wenn ein geliefertes Koordinatenmessgerät abgenommen wird beziehungsweise wenn über einen längeren Zeitraum hinweg durch regelmäßige Überwachung die Fehlerfreiheit der Messergebnisse nachgewiesen werden muss.
In der internationalen Normenreihe OENORM EN ISO 10360 Teil 1 bis 7 sind Kenngrößen zur Beurteilung der Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten festgelegt und Verfahren zur Prüfung von Genauigkeitsangaben beschrieben. Diese Normen verweisen auf die höchstzulässige Abweichung (MPE) für eine klar definierte Messaufgabe, die durch den Gerätehersteller spezifiziert werden. [23,6, S.10]
Die zwei wichtigsten Kenngrößen für Koordinatenmessgeräte sind:
Die Anzeigeabweichung eines KMG für Längenmessung, E, darf die höchstzulässigen Anzeigeabeichungen für Längenmessungen, MPE_E, nicht überschreiten.
Die Antastabweichung, P, darf die höchstzulässigen Antastabweichungen, MPE_P, nicht überschreiten. [11]
Diese höchstzulässigen Antastabweichungen werden in Mikrometern angegeben. (Siehe Tabelle 5.1.) [23] [11] [6, S.12]

Messgerät	E [µm]	P [µm]	THP (72s) [µm]	Temp.-bereich	Antast-frequenz	Vmax [mm/sek]	a max [mm/sek²]
PMM-C 8.10.6 P	0,6 + L / 600	0,6	1,5	19°-21°	40/min	400	3000
PMM-C 12.10.6 P	0,6 + L / 600	0,6	1,5	19°-21°	40/min	400	3000
PMM-C 12.10.7 P	0,6 + L / 600	0,6	1,5	19°-21°	40/min	400	3000
PMM-C 16.12.7	0,9 + L / 500	0,9	1,8	18°-22°	40/min	400	3000
PMM-C 24.12.7	0,9 + L / 500	0,9	1,8	18°-22°	40/min	400	3000
PMM-C 16.12.10 P	1,3 + L / 500	1,0	1,8	18°-22°	40/min	400	3000
PMM-C 16.12.10	1,6 + L / 400	1,3	2,1	18°-22°	40/min	400	3000
PMM-C 24.12.10 P	1,3 + L / 500	1,0	1,8	18°-22°	40/min	400	3000
PMM-C 24.12.10	1,6 + L / 400	1,3	2,1	18°-22°	40/min	400	3000
PMM-C 24.16.10	1,8 + L / 400	1,3	2,4	18°-22°	40/min	400	3000

MPE_E MPE_P

Tabelle 5.1 Spezifikationen der Leitz PMM-C Koordinatenmessmaschinen nach ISO 10360-2/4

5.6. Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen (GUM)

Im GUM wird das Genauigkeitsmaß „Messunsicherheit“ definiert, welches entgegen den Regeln der traditionellen mathematischen Statistik systematische und zufällige Messeinflüsse einheitlich behandelt und zusammengefasst. [41]

5.6.1. Definitionen

GUM entspricht im Deutschen dem Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen. Ist Abkürzung für den 1993 veröffentlichen ISO/BIPM- Leitfaden. Maßgeblich die Deutsche Fassung ist die Vornorm OENORM ENV 13005. (aktuelle Ausgabe 1999-06)
Die Anfänge des GUM reichen bis in das Jahr 1978 zurück, als eine deutsche Großforschungseinrichtung diesen Begriff zum ersten Mal bei einem Seminar über die Angabe der Messunsicherheit eingesetzt hatte. [41]

5.6.2. Ziel und Methoden

Ziel des GUM ist die Erreichung einer international einheitlichen Vorgehensweise beim Ermitteln und Angeben von Messunsicherheiten, damit Messergebnisse weltweit vergleichbar werden.
Zur Bewertung aller eine Messung betreffenden Einflussgrößen stehen zwei Kategorien von Methoden zur Verfügung, die auch kombiniert werden können:

i. Berechnung der Messunsicherheit durch statistische Analyse der Messungen
ii. Berechnung der Messunsicherheit mit anderen Mitteln als der statistischen Analyse.

Dabei wird für jede Einflussgröße angegeben, mit welcher Methode sie bewertet wird und wie stark sie die gesamte Messunsicherheit beeinflusst. Die Einflussgröße soll helfen, eine realistische und nachvollziehbare Messunsicherheit zu ermitteln. GUM hat eine wesentliche Bedeutung vor allem bei der Kalibrierung gewonnen. Bei Kalibrierscheinen von akkreditierten Kalibrierlaboratorien, z.B. im DKD, ist GUM die verbindliche Grundlage zur Ermittlung der Messunsicherheit. [47]

5.6.3. GUM und seine Zusammenhange mit den KMG

1977 leitete das CIPM (Komitee für Maß und Gewicht) Schritte zur Schaffung einer internationalen Übereinkunft über die Angabe der Unsicherheit im Messwesen ein, indem es das BIPM (Internationales Büro für Maß und Gewicht) mit der Erarbeitung einer Empfehlung auf nationaler Ebene beauftragte.
Zur Ermöglichung einer Anpassung an die Erfordernisse von Industrie und des Handels wurde letztendlich die ISO herangezogen, deren Aufgabe im Rahmen einer internationalen technischen Arbeitsgruppe (Technische Beratergruppe „Metrologie“ TAG 4) auf der Expertenebene war, einen detaillierten Leitfaden aufzustellen. An der Erarbeitung waren die folgenden Organisationen beteiligt:

i. BIPM Internationales Büro für Maß und Gewicht
ii. IEC Internationale Elektrotechnische Kommission
iii. IFCC Internationale Föderation für klinische Chemie
iv. ISO Internationale Organisation für Normung
v. IUPAC Internationale Union für reine und angewandete Chemie
vi. IUPAP Internationale Union für reine und angewandete Physik
vii. OIML Internationale Organisation für gesetzliche Messwesen

Nummerierung

Dieser Leitfaden auf Basis einerseits der BIMP-Empfehlung zur Angabe von Messunsicherheit und andererseits der Regeln für die Angabe der Messunsicherheit im Bereich der Normung, Kalibrierung, Akkreditierung von Laboratorien und metrologischer Dienst bereitstellt, umfasst allgemeine Regeln für die Ermittlung und Angabe der Unsicherheit beim Messen.
Er gibt eine umfassende Information, wie man zu Unsicherheitsangaben kommt, und liefert eine Grundlage für internationalen Vergleich von Messergebnissen.“ [26]

5.7. Messunsicherheit

Messunsicherheiten sind unvermeidbar. Im technischen Bereich ist es wichtig, sie möglichst klein zu halten oder zu verringern. Die Aufgabe der Normung ist, die Personen auszuwählen, welche die Messgeräte und Maschinen bedienen können, um die Messunsicherheiten weiter zu verringern. [41]

Die Messunsicherheit ist ein Parameter, welcher die Streuung der Werte kennzeichnet, die erwartungsgemäß der Messgröße zugeordnet werden, und ist Ursache für Zweifel an der Gültigkeit eines Messergebnisses.
Dabei handelt es sich um einen Schätzwert zur Kennzeichnung eines Wertebereiches, innerhalb dessen der wahre Wert der Messgröße liegt.
Im Allgemeinen erhält die Messunsicherheit mehrere Komponenten. Einige dieser Komponenten können auf Grund der statistischen Verteilungen der Ergebnisse von Messreihen geschätzt und mittels empirischer Standardabweichungen angegeben werden. Abschätzungen für andere Komponenten können ausschließlich auf Erfahrung oder andere Informationen gegründet werden.
Für ein vollständiges Messergebnis muss immer mit die Messunsicherheit angegeben werden.
Weiterhin gilt, dass die Messunsicherheit eines Messergebnisses umso kleiner ist, je höher die Genauigkeit. Für die Bestimmung der Messunsicherheit von Messungen mit Koordinatenmessgeräten sind die einzelnen Kenngrößen nur bedingt geeignet. Das vollständige Messergebnis ist zur Messunsicherheit zuzuordnen, d.h. die Messunsicherheit bezieht sich auf eine spezifische Messaufgabe. [23] [6, S. 9]

5.7.1. Mögliche Ursachen

Rollbewegungen können große Messabweichungen verursachen.
Beim Betrieb großer KMG ist es zumeist unvermeidlich, dass während der Messungen in einzelnen Achsen der Abstand des Tastelements von der Ausführung im Verhältnis zur Bereite der Ausführung sehr groß ist. Dadurch wirken sich bereits kleine Rollbewegungen um einzelne Linearachsen, die beim Verfahren des KMG entlang der Linearachsen entstehen, um ein Vielfaches verstärkt auf die Position des Tastelements und damit auf die Genauigkeit des KMG aus.
Dieser Effekt tritt insbesondere bei KMG in Ständerbauweise auf, ist aber auch bei KMG in Portalbauweise nicht zu vermeiden, wenn mit langen, seitlich auskragenden Tastern gemessen wird. Zusätzlich hängt die Größe der durch Rollbewegung verursachten Messabweichungen stark vom Zustand der

Linearführung ab. Daher ist es nicht verwunderlich, dass bei vielen älteren KMG in Ständerbauweise festzustellen ist, dass der größte Anteil der Messabweichungen durch Rollbewegungen verursacht wird. [34]
„Die durch Rollbewegungen verursachten Abweichungen wirken sich nur auf Messaufgaben aus, die das Verfahren in mehren Messachsen erfordern, also nur bei nichtachsparallelen Messaufgaben. Daher werden die durch Rollbewegungen verursachten Anteile von Längen bzw. Abstandsmessabweichungen bei einer nur achsparallel durchgeführten Überwachungsmessung (z.B. Längen- oder Positionsmessung mittels eines Laserinterfrometers) nicht erfasst“. [34]

5.7.2. Methoden zur Ermittlung der Messunsicherheit

In diesem Abschnitt werden drei verschiedene Methoden zur Ermittlung der Messunsicherheit geklärt.

Ermittlung mit Hilfe eines Messunsicherheitsbudgets gemäß der VDI/VDE-Richtlinie 2617:
„Bei der Erstellung des Unsicherheitsbudgets für eine konkrete Messaufgabe werden die einzelnen Beiträge zur Messunsicherheit bestimmt und daraus die resultierende Messunsicherheit berechnet (GUM).“ [28,S. 5]

Ermittlung durch Simulation gemäß VDI/VDE 2617:
„Das Funktionsprinzip basiert ebenso auf wie das Unsicherheitsbudget-Verfahren, auf dem Modell des Messprozesses. Die Auswertung erfolgt jedoch nicht über partielle Ableitungen und Summierungen von Unsicherheitsbeiträge, sondern mit Hilfe eines im Rechner durchgeführten Experiments(virtuelles Experiment) auf der Grundlage eines rechengestützten mathematischen Modells. […]
Bei dem Simulationsverfahren muss das Modell nicht durch einen geschlossen mathematischen Ausdruck beschrieben sein. Auch die numerischen Algorithmen, wie die Bildung von Ausgleichselementen oder die Filterung von Messpunkten, können deshalb in das Modell einbezogen werden. Dadurch ist das Simulationsverfahren besonders für so komplexe Messprozesse wie die Koordinatenmessungen geeignet.“ [28, S. 6]

Ermittlung unter Verwendung kalibrierter Werkstücke gemäß VDI/VDE 2617

„Diese in ONORM 15530-3 beschriebene Methode ist ein experimentelles Verfahren zur Ermittlung der aufgabenbezogenen Messunsicherheit. Sie zeichnet sich dadurch aus, dass die Erfassung der einzelnen Unsicherheitsflüsse und deren Wechselwirkung untereinander durch Messungen erfolgen. Es ist nicht erforderlich, die einzelnen Einflussgrößen zu kennen; sie sind im Ergebnis des Experiments summiert enthalten.

Die Messungen sind an kalibrierten Werkstücken durchzuführen, die ähnlich oder identisch mit den später zu prüfenden Werkstücken sind. Die Messungen sind in der gleichen Weise unter gleichen Bedingungen durchzuführen wie die späteren aktuellen Messungen, also z.B. gleiche Anzahl und Anordnung der Messpunkte, gleiche Aufspannung, gleiche Taststiftkonfiguration und gleiche Temperaturverhältnisse. Im Ergebnis wirken sich auf das kalibrierte Werkstück die gleichen Einflüsse aus wie auf das zu prüfende Werkstück, so dass die gesuchte Information für die Berechnung der Messunsicherheit aus der Differenz zwischen den Messergebnissen und den Kalibrierwerten entnommen werden kann“

[28, S. 7]

6. Kalibrierung von Koordinatenmessgeräten (KMG)

In diesem abschließenden Kapitel wird zunächst der Bereich der Kalibrierung definiert sowie der Zusammenhang mit Koordinatenmessgeräten und den entsprechenden Normen beschrieben. Es soll der Verlauf der Genauigkeitsüberwachung anhand eines konkreten Beispiels aufgezeigt werden. Hierin werden ebenso die Erkenntnisse aus meiner Labortätigkeit mitintegriert.

6.1. Begriffe und Definitionen

6.1.1. Kalibrierung

Kalibrieren beinhaltet alle jene Vorgänge, die unter vorgegebenen Bedingungen die gegenseitige Zuordnung zwischen den ausgegebenen Werten eines Messgerätes oder einer Messeinrichtung beziehungsweise den von einer Messverkörperung dargestellten Werten und den zugehörigen bekannten Werten einer Messgröße bestimmen. Durch eine Kalibrierung können auch andere metrologische Merkmale, wie die Wirkung von Einflussgrößen ermittelt werden. Durch das Ergebnis einer Kalibrierung wird einerseits die Schätzung der Messabweichung des Messgerätes, der Messeinrichtung oder der Messverkörperung und anderseits die Zuordnung von Werten zu Teilstrichen auf beliebigen Skalen möglich. [3, S. 176]

„Hohe Qualitätsanforderungen an ein Erzeugnis verlangen ein adäquates Qualitätssystem. Zuständige Normen:
EN 45001, 45002, 45003[1]
ISO 17025
ISO 10012-1
ISO/IEC Guide 25

[1] Diese Normen wurden bereits durch EN 17021 Serie ersetzt

Dies machte eine Überwachung, Kalibrierung und Erhaltung der Meß- und Prüfeinrichtung nötig, wobei wichtig ist, dass alle Meßresultate auf nationale Normale zurückgeführt werden können (traceable to National Standards).
Der Nachweis, daß obige Forderungen erfüllt sind, ist eine wichtige Aufgabe der Verwaltung der Prüflabors bzw. bei der Untersuchung mit dem Zweck, dort Kalibrierstelle einzurichten.
Traceability:
Die Rückführung auf nationale Normale wird so vollzogen, daß die metrologische Qualität eines verwendeten Normals bestimmt wurde durch Einmessung mit einem Normal höherer Qualität.“ [5, S. 1a]

ISO – IEC- Guide 25 ist ein Norm für Labor Akkreditierung. Für Anforderungen an Kalibrier und Prüflabor ist die folgende Norm 17025 zuständig. [5]

Nachstehend wird OEVE/OENORM EN/ISO/IEC 17025: 2007, eine weitere wesentliche Norm, beschrieben, die in Kalibrier- und Prüflabors eine wichtige Rolle spielt:
„Diese Norm ist das Ergebnis der umfassenden Erfahrung mit der ISO/IEC Guide 25 .Enthalten sind alle Anforderungen, die Prüf- und Kalibrierlabors erfüllen müssen, wenn sie nachweisen wollen, daß sie ein Qualitätsmanagementsystem betreiben, technisch kompetent sind und fähig, fachlich fundierte Ergebnisse zu liefern. Prüf- und Kalibrierlabors, die in Übereinstimmung mit dieser internationalen Norm arbeiten, werden auch übereinstimmend mit ISO 9001 arbeiten. […]
ISO/IEC17025 enthält einige Anforderungen an die technische Kompetenz, die nicht durch ISO 9001 abgedeckt ist. Akkreditierungsstellen für Prüf- und Kalibrierlabors sollten diese Norm als Grundlage für Akkreditierungen verwenden.“ [5, S. o.A.]

Qualitätsmerkmale des Kalibrierstellendienst (KD)

i. Niveau der Primärnormale
ii. Genauigkeit der Messübertragung
iii. Zuverlässigkeit der KD-Kalibrierstellen

iv. Direkte Rückführbarkeit durch fertigungsnahes Kalibrieren (z.B. von KMG, Lasern, Vielstellenmessgeräten)

Wichtige fachspezifische Elemente einer KD-Akkreditierung

i. Messräume und Umgebungsbedingungen
ii. Prinzipien der Rückführbarkeit nationale Normale
iii. Messgeräte / Messeinrichtung / Bezugsnormale und deren Kalibrierung innerhalb des „Kalibrierensembles“
iv. KD-Kalibrierung (verfahren und dokumentierte Zuverlässigkeit)
v. Messmöglichkeiten (Messgrößen, Messbereiche, Messunsicherheiten)

[5, S A 1 f]

6.1.2. Kalibrierbericht

Ein Kalibrierschein oder -bericht ist ein Dokument, in welchem das Ergebnis einer Kalibrierung festgehalten wird. [3, S. 176]

6.1.3. Skala

Eine Skala ist Teil einer Anzeigeeinrichtung und umfasst die alle geordneten angebrachten Teilstrichen mit den zugehörigen Bezifferungen.
Teilstrich kann ein Strich oder eine andere Markierung gegebenenfalls auch eine Ziffer genannt werden. Es kann unterschieden werden zwischen:

i. linearer Skala
ii. nichtlinearer Skala

[3, S. 171]

6.1.4. Skalenteil

„Ein Skalenteil ist ein Teil einer Skala zwischen zwei benachbarten Teilstrichen.“ [3, S. 172]

6.1.5. Skalieren

„Skalieren ist das Festlegen der Teilstriche einiger weniger Hauptteilstriche auf der Skala eines Messgerätes, abhängig von den zugehörigen Werten der Meßgröße.“ [3, S. 173]

6.2. Genauigkeitsgrad und Kalibriergrad

„Es werden 4 Genauigkeitsgrade, nämlich 00, 0, 1 und 2, sowie der Kalibriergrad festgelegt. […] Die Genauigkeitsanforderungen gelten für die Meßflächen des Parallelendmaßes, es bleibt jedoch eine Randzone von höchstens 0,8 mm Breite, gemessen von den Kanten der Seitenflächen – unberücksichtigt. In dieser Randzone darf die Oberfläche nicht über der Ebene der Meßfläche liegen. Paralleleendmaße, die dem Kalibriergrad entsprechen, dienen nur zum Kalibrieren anderer Parallelendmaße, deren aktuelle Länge für Berechnungen gebraucht wird. Aus diesem Grund ist es weniger wichtig, daß ihre Länge nur wenig vom Nennwert abweicht, sondern ihre Länge muß möglichst genau bekannt sein. Es wird daher eine hohe Genauigkeit der geometrischen Form gefordert, aber es werden verhältnismäßig große Abweichungen von der Nennlänge zugelassen“. [3, S. 181]

6.3. Kalibrierungsmethoden

In folgenden Abschnitt soll zunächst die Methode gemäß der Norm EN ISO 10360 und VDI/VDE 2617 erläutert werden, die drei unterschiedliche Dimensionen von KMG umfasst, danach wird die Genauigkeitsüberwachung beschrieben. Weiterhin wird anhand eines Beispiels definiert, wie die Überprüfung eines KMG im Detail durchgeführt wird.

6.3.1. Kalibrierungsmethoden für Prüfkörper

„Bestimmung der durch die Formelemente verkörperten Maße und Abschätzung ihrer Längenmessabweichung. Die Angabe der Längenmessabweichung ist wesentliches Ergebnis einer Kalibrierung.“ [27, S. 16]

„Einleitung
Koordinatenmessgeräte werden als universelle Längenmess - und Prüfgeräte eingesetzt. Jeder Betreiber muss sicher sein, dass das eingesetzte Koordinatenmessgerät die geforderte Leistung erbringt. Insbesondere muss die zulässige Längenmessabweichung eingehalten werden. Nur durch regelmäßige Überwachung kann dies über einen längeren Zeitraum gewährleistet werden. Die Verantwortung hierfür trägt der Betreiber des Koordinatenmessgerätes. […]
Geltungsbereich und Zweck.
[…] Verfahren und Prüfmittel zur regelmäßigen Überwachung von im Einsatz befindlichen Koordinatenmessgeräten […]. Diese Überwachungsverfahren eignen sich gleichermaßen als Grundlage für eine firmeninterne wie auch für eine von öffentlichen oder privaten Auftraggebern geforderte Überwachung von Koordinatenmessgeräten. Sie erfüllen insbesondere auch die Anforderungen gemäß EN ISO 10360-2.
Die Anforderungen an die zur Überwachung eingesetzten Prüfmittel (Prüfkörper) werden festgelegt und einzelne Prüfkörper beispielhaft beschrieben. Prüfkörper im Sinne dieser Richtlinie sind lineare, ebene und räumliche Anordnungen von Antast-Formelementen. Antast-Formelemente sind beispielsweise Ebenen, Zylinder oder Kugeln. Die Positionen der Antast-Formelemente müssen auch durch Kalibrierung bekannt und dokumentiert sein. Mit Einschränkungen lassen sich auch Koordinatenmessgeräte mit großem Messvolumen durch Prüfkörper überwachen. Die Überwachung von Koordinatenmessgeräten im Sinne dieser Richtlinie unterscheidet sich hinsichtlich des Umfangs der Messungen, der einzusetzenden Prüfmittel und der Auswertung der Ergebnisse von der Prüfung der Längenmessabweichung. […]
Prinzip des Überwachungsverfahrens
Die Überwachung von Koordinatenmessgeräten erfolgt durch Messung kalibrierter Prüfkörper. Dabei wird geprüft, ob die Messabweichungen innerhalb der vom Anwender festgelegten Grenzen liegen. […]
Überwachung der Längenmessabweichung des Koordinatenmessgerätes.
Bei der Überwachung der Längenmessabweichung eines Koordinatenmessgerätes wird vorwiegend der Einfluss der

Komponentenabweichungen überprüft. Alle Komponentenabweichungen, insbesondere die Rechtwinkeligkeitsabweichungen, wirken sich anteilig auf räumliche Abstandsmessungen aus. Zur Überwachung der Genauigkeit (Geometrie) eines Koordinatenmessgerätes werden deshalb die räumlichen Abstände zwischen den Antast- Formelementen eines Prüfkörpers gemessen. Der Prüfkörper muss kalibriert sein. Die zulässigen Längenmessabweichungen werden durch längenabhängige Grenzwerte beschrieben. Sind räumliche Abstandmessungen auf Grund des eingesetzten Prüfkörpers oder des zu überprüfenden Koordinatenmessgerätes nicht möglich, kann die Überwachung durch Messung der zweidimensionalen Längenmessabweichungen in den drei Messgeräteebenen erfolgen.
Ergeben sich bei diesem Messverfahren zusätzliche Informationen über die eindimensionalen Längenmessabweichungen, können diese zur Beurteilung mit herangezogen werden. Der langfristige Vergleich der Ergebnisse aufeinander folgender Überwachungen gestattet eine Trendanalyse. Hieraus können sowohl Veränderungen des Überwachungsintervalls als auch die Planung von vorsorglichen Wartungsarbeiten an Koordinatenmessgeräten abgeleitet werden. Für Trendanalysen müssen die Betriebsbedingungen des Koordinatenmessgerätes, wie z.B. die verwendete Taststiftkombination, konstant gehalten werden.“ [27, S. 3ff]

6.3.2. Genauigkeitsüberwachungen von großen Koordinatenmessgeräten (als spezielle KMG)

Nachstehend wird zunächst die Methode zur Antastabweichung einer kalibrierten Kugel kurz beschrieben. Anschließend werden Methoden der Längenmessabweichung verschiedener Prüfkörper genauer erörtert. [27, S. 16]

Überwachung der Antastabweichung

„Zur Überwachung der Antastabweichung ist eine kalibrierte Kugel mit einem Durchmesser von etwa 30 mm zu verwenden. Sie sollte nicht mit der vom Hersteller zum Einmessen des Messkopfsystems mitgelieferter Kugel identisch

sein. Die zusätzliche Anwendung eines kalibrierten Ringes (Durchmesser ebenfalls etwa 30 mm) zur Überprüfung Innenmaßen ist zweckmäßig. […]

Messablauf […]

Zunächst sind die Messungen zur Überwachung der Antastabweichung durchzuführen. Dazu werden die Kugel mit 15 Messpunkten und Ring – sofern er vorgesehen wird – mit 12 Messpunkten gemessen. Es wird empfohlen diese Messpunkte gleichmäßig auf den jeweiligen Formelementen (Halbkugel bzw. Kreis) zu verteilen. Werden mehrere in unterschiedlicher Richtung angeordnete Taster verwendet, so sind die Messungen mit allen Tastern durchzuführen. Die Grenzewerte nach Gleichung (1a) und (1b) müssen an jedem Ort im Messvolumen eingehalten werden. […]

Auswertung […]

Aus dem Antastpunkt (15 Punkte bei Verwendung einer Kugel, 12 Punkte bei Verwendung eines Ringes als Formelement) wird ein besteingepasstes […] Formelement (Kugel oder Kreis) berechnet.

Die Antastabweichung P ergibt sich als Spannweite der radialen Abstände zum Ausgleichelement. Als Grenzwert wird in ISO 10360-2 MPE_p definiert, dessen Wert vom Anwender festgelegt wird oder den Herstellerangaben entnommen werden kann.

Die gemessene Spanweite P darf den Grenzwert MPE_p unter Beachtung der Entscheidungsregeln ON EN ISO 14253-1 nicht überschreiten.

$$P \leq MPE_p \quad (1a)$$

Außerdem wird die Differenz zwischen gemessenem und kalibriertem Durchmesser berechnet. […]

$$| \Delta D | \leq MPE_p \quad (1b)$$

Wird der Grenzwert MPE_p nicht eingehalten, müssen sämtliche Messungen wiederholt werden. Liegen unter Beachtung der Entscheidungsregelen ISO 14253-1 daraufhin alle Messwerte innerhalb des Grenzwertes, hat das Koordinatenmessgerät diesen Test bestanden. Ist dies nicht der Fall, müssen die Fehlerursachen beseitigt werden und das Koordinatenmessgerät ist erneut zu überprüfen. […] (1a, b) […]“ [27, S. 3 ff]

Prüfkörper zur Überwachung der Längemessabweichung

Zunächst soll darauf hingewiesen werden, dass es Prüfkörper in drei unterschiedlichen Dimensionen gibt, auf welche im nachstehenden Abschnitt Bezug genommen wird.

„Eindimensionale Prüfkörper.

Bei eindimensionalen Prüfkörpern (einzelne Endmaße, Endmaßstapel oder Stufenendmaße siehe Bild) sind alle zu messende Abstände in einer Richtung oder auf einer Linie angeordnet. Sie haben den Vorteil der leichten Verfügbarkeit und können am genausten kalibriert werden. Die Grenzen der Abmessungen liegen für handelsübliche Parallel-Endmaße nach DIN ISO 3650 bei 1000mm und für Stufenendmaße bei 2500mm.“ (siehe Abb.6.1) [27, S.5]

Zweidimensionale Prüfkörper

„Bei zweidimensionalen Prüfkörpern liegen die zu messenden Abstände in einer Ebene. Antast- Formelemente sind Zylinderbohrungen oder Kugeln (Kugelplatte siehe Abb. 6.2).

Diese Prüfkörper sind ausreichend genau kalibrier- und einfach handhabbar. Die Antast- Formelemente Kugel und Bohrung sind einfach zu prüfen und je nach Bauweise geschützt angeordnet. Zur Überwachung des Koordinatenmessgerätes ist die Anordnung des Prüfkörpers in nur wenigern Lagen erforderlich, was eine erhebliche Zeiteinsparung bedeutet.

Der Prüfkörper kann rechteckig oder quadratisch sein. Er soll mindestens vier Formelemente besitzen. Die Gestaltung des Prüfkörpers soll die Möglichkeiten zur beliebige ausgerichteten Aufstellung im Messvolumen einschließen. Bisher werden die zweidimensionalen Prüfkörper bis zu etwa 800mm x 800 mm eingesetzt.“ [27, S.5]

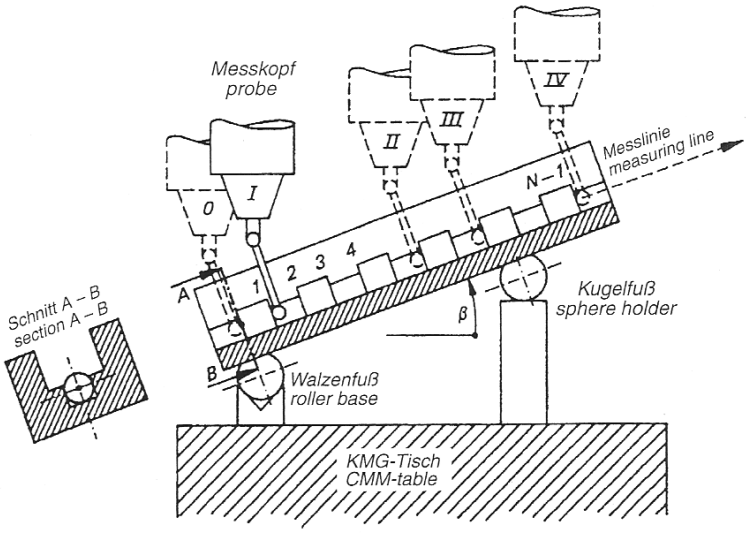


Abbildung 6.1 Eindimensionale Prüfkörper

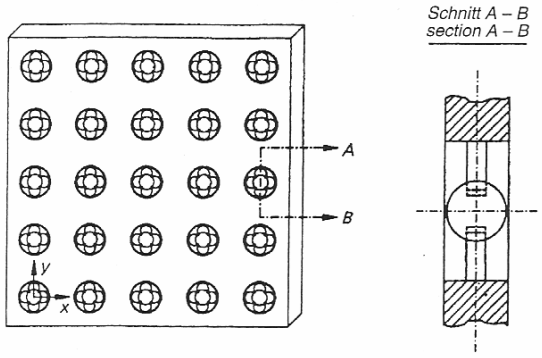


Abbildung 6.2 Zweidimensionale Prüfkörper

Dreidimensionale Prüfkörper

„Bei dreidimensionalen Prüfkörpern sind die zu messenden Abstände in räumlicher Lage zueinander angeordnet. Sie können z.B. in Quadratform mit Präzisionsbohrungen auf allen Seiten ausgeführt sein. Vorteilhaft ist, dass je nach Größe des zu überwachenden Koordinatenmessgerätes der dreidimensionale Prüfkörper in nur einer Lage gemessen zu werden braucht. Bisher werden Quader- Prüfkörper bis zu 500mm x 300mm eingesetzt.“ (siehe Abb. 6.3) [27, S.6]

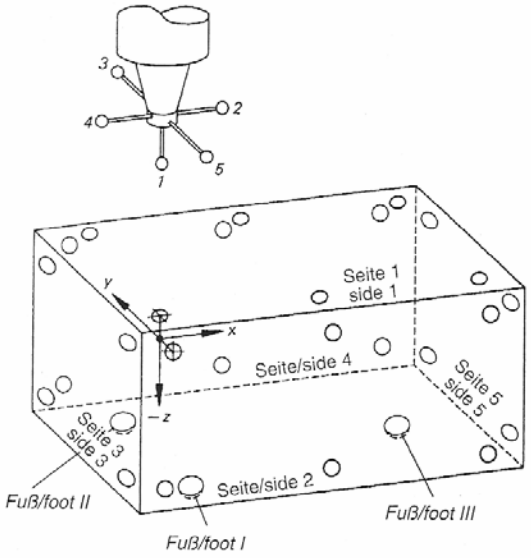


Abbildung 6.3 Dreidimensionale Prüfkörper, Quader-Prüfkörper [27, S.7]

Durchführung des Überwachungsverfahrens für Längenmessabweichungen

„Prüfkörper mit größeren thermischen Ausdehnungskoeffizienten (z.B. Prüfkörper aus Stahl) müssen zu Beginn der Messung die mittlere Temperatur im Messvolumen des Koordinatenmessgerätes angenommen haben. Hierzu sind sie ausreichen lange, möglichst in der Nähe des Koordinatenmessgeräte-Arbeitsbereiches, zu temperieren. Die bei der Kalibrierung des Prüfkörpers zu Grunde gelegten Randbedingungen(z.B. Temperatur, Feuchte, Sauberkeit) sind einzuhalten. Die gemessenen Abstände dürfen nur dann temperaturkorrigiert werden, wenn die Temperaturkorrektur Bestandteil der Auswertsoftware des KMG ist.“ [27, S.11]

Längenmessabweichung des Koordinatenmessgerätes

„Je nach Art des Prüfkörpers und Größe des Messvolumens des Koordinatenmessgerätes sind die Prüfkörper in mehreren Lagen zu messen. Es ist zu empfehlen, alle vorgesehenen Antast-Formelemente in einer festgelegten Reihenfolge zu messen und die Berechnung der Abstände erst nach Abschluss aller Messungen durchzuführen.
Die dabei verwendeten Taster sollen bezüglich ihrer Abmessung den am häufigsten eingesetzten Tastern entsprechen. Die Auskragung der Taster gegenüber der Pinole muss so gewählt werden, dass möglichst sämtliche Geometrieabweichungen des Koordinatenmessgerätes erfasst werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass durch längere Auskragung der Einfluss von Geometrieabweichungen zunimmt und eventuell die vom Hersteller angegebene Längenmessabweichung dieser Richtlinie überschritten wird.“ [27, S.11]

Die Methode unterscheidet sich je nach Dimensionalität der Prüfkörper wie folgt:
Eindimensionale Prüfkörper
„Eindimensionale Prüfkörper müssen in mindestens drei raumdiagonalen Lagen bidirektional gemessen werden. Die Messlängen sollen zwischen 1/5 und 4/5 der Längen der Raumdiagonalen des Messvolumens betragen, wobei eine Stufung von jeweils 1/5 der Raumdiagonalenlänge vorgesehen werden sollte. […]
Zweidimensionale Prüfkörper
Zweidimensionale Prüfkörper müssen in mindestens zwei gekreuzten Lagen gemessen werden. Die Messebene des Prüfkörpers in jeder Lage soll möglichst zur einen Koordinatenebene um 300 bis 450 geneigt sein. Die längste raumdiagonale Messlänge soll mindestens 2/3 der Länge der Raumdiagonale des Messvolumens betragen. Zwischenlängen werden durch die Anordnung der Antast- Formelemente vorgegeben. Wenn Prüfkörper entsprechender Abmessungen nicht verfügbar oder einsetzbar sind, müssen die Messungen ebenfalls an mehreren Orten im Messvolumen durchgeführt werden. Falls die Messung des Prüfkörpers in raumschräger Anordnung nicht möglich ist, sind die Messungen in drei Koordinatenebenen durchzuführen. (siehe Abb. 6.4) […]

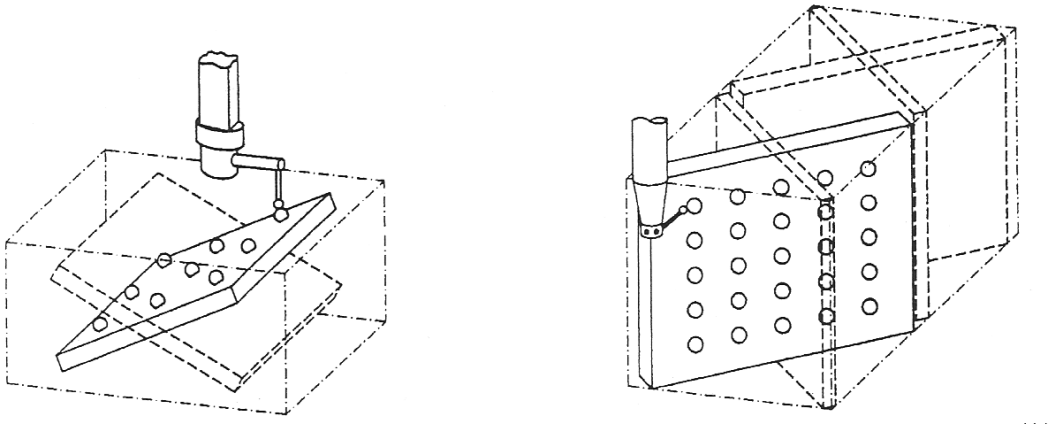


Abbildung 6.4 Anordnung von zweidimensionalen Prüfkörper im Messbereich des KMG

Dreidimensionale Prüfkörper

Dreidimensionale Prüfkörper müssen nur in einer Lage gemessen werden. Die längste raumdiagonale Messlänge sollte ebenfalls mindestens 2/3 der Länge der Raumdiagonale des Messvolumens betragen. Wenn Prüfkörper entsprechender Abmessungen nicht verfügbar oder einsetzbar sind, müssen die Messungen ebenfalls an mehreren Orten im Messvolumen durchgeführt werden.“ [27, S.12f]

Auswertung der Längenmessabweichung

„Die Auswertung der Messung ist prinzipiell unabhängig von der Art der eingesetzten Prüfkörper. Für eine bestimmte Messung ergibt sich die Längenmessabweichung E aus der Differenz zwischen dem angezeigten Wert l_a (Anzeige des Messgerätes bzw. Rechnerausdruck) und dem richtigen Wert l_r des Abstands gemäß

$$E = l_a - l_r.$$

[…] In Anlehnung an Richtlinie VDI/VDE 2617 werden Blatt 2.1 werden die Längenmessabweichungen E in Abhängigkeit von Abstand L ohne Berücksichtigung der Lage und Orientierung des Abstandes in ein Diagramme eingetragen. Die Grenzwerte für die Längenmessabweichungen errechnen sich nach ISO 10360-2 aus

$$MPE_E = Ä_ü - L / K_ü$$

$Ä_ü$ und $K_ü$ sind Konstante und L ist Nennwert des Abstandes.“ Im Abbildung 6.5 sehen sie die Darstellung und Auswertung der Dimensionale Längenmessabweichung mit 500mmx500 mm einer Kugelplatte. [27, S. 13 f]

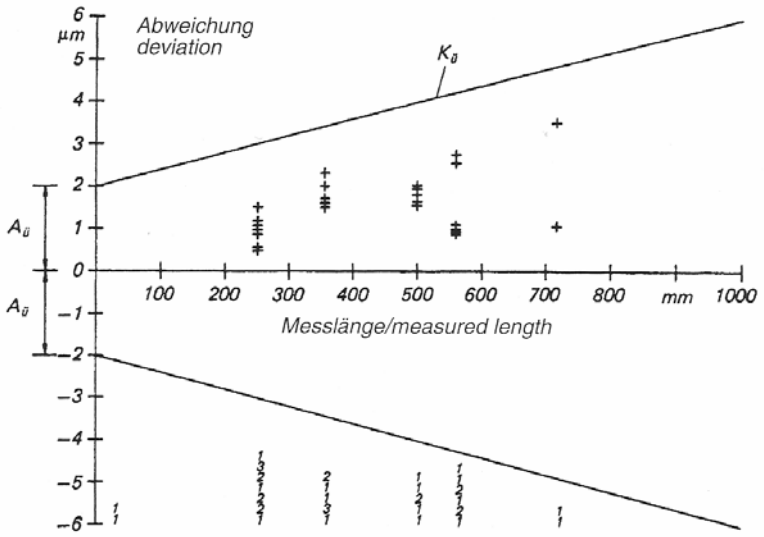


Abbildung 6.5 Dreidimensionale Längenmessabweichung einer Kugelplatte

6.3.3. Genauigkeitsüberwachung eines KMG mittels eines portablen Messarmes

In Rahmen meines Studiums hatte ich die Gelegenheit, mit einem Portablen Messarm, CIM- CORE, zu arbeiten.

Mit seiner Hilfe wurden Messungen eines Zylinders von Innen und Außen durchgeführt. Der Messarm, der von einer kalifornischen Laserfirma gebaut wurde, führte die mechanischen Messungen durch.

Es konnte festgestellt werden, dass dieser Messarm im Vergleich mit stabilen KMG Vorteile aufweist, beispielsweise einfache Messung von Messobjekten durch seine Reichweite und Beweglichkeit in jeder Richtung, anderseits aber auch Nachteile, welche die Genauigkeit der Messungen beeinflussen, wie z.B. die schwierigere Handhabung durch seine Größe und sein Gewicht sowie auch seine Beweglichkeit. Aus diesem Gründen konnte keine genaue Messung durchgeführt werden und es kam immer wieder zu Messabweichungen. Die zwei Abbildungen zeigen uns eine schematische Darstellung einen Messarm.

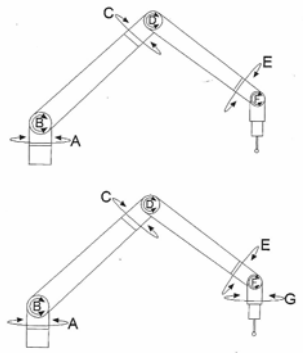


Abbildung 6.6 Gelenkarm KMG mit sechs Drehachsen

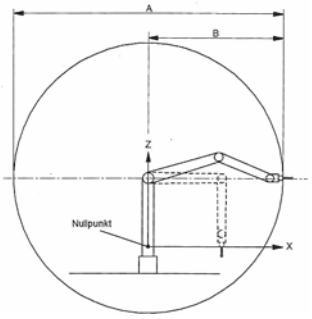


Abbildung 6.7 Messbereich, Nutzbare Armlänge und Nullpunkt eines Gelenkarm KMG [29 , S.3]

6.4. Genauigkeitsüberwachung eines KMG mittels demontierbarem Kugelstab

Anhand eines Beispiels, hier ein demontierbarer Kugelstab, soll nun dargestellt, wie die Genauigkeitsüberwachung von großen KMG durchgeführt wird, und das Auswerteprogramm GUK®-KS vorgestellt werden.

„3D-Koordinatenmessgeräte werden als universelle Prüfmittel für die unterschiedlichen Maßformen und Lageprüfungen eingesetzt. Dabei muss sich der Anwender darauf verlassen können, dass sein KMG unabhängig von der Lage des Messobjekts auf dem Messgerät jederzeit ausreichend genau misst. Das heißt, dass das Messgerät unter den real vorliegenden Umgebungsbedingungen ein vom Anwender auf Basis seiner Genauigkeitsanforderungen festgelegte, maximale zulässige Messabweichung nicht überschreiten darf – und zwar nicht nur parallel zu den Gerätachsen, sondern auch in beliebigen Raumrichtungen. Zum regelmäßigen Nachweis darüber, dass ein Koordinatenmeßgerät die zulässige Messunsicherheit einhält bieten sich Überwachungsmessungen an

kalibrierten Prüfkörpern entsprechend der Richtlinie VDI/VDE 2617 an. Dabei sollte beachtet werden, dass die verwendeten Prüfkörper in ihren Abmessungen zum Messvolumen des überwachten Koordinatenmeßgerätes passen. So wird für eindimensionale Prüfkörper eine Messlänge bis zu 4/5 der Länge der Raumdiagonale des Messvolumens empfohlen. Deshalb wurden für große Koordinatenmeßgeräte (Geräte mit mindestens einer Messachse > 2 m) Prüfkörper entsprechend große demontierbare Kugelstäbe entwickelt.“ [34]

6.4.1. Aufbau eines demontierbaren Kugelstabes

„Grundsätzlich bestehen demontierbare Kugelstäbe aus einem meßtechnisch nicht relevanten Grundaufbau und dem eigentlichen Meßaufbau. […] Der Meßaufbau besteht aus einer Anzahl von Präzisionskugeln, die auf dem Tragkörper des Grundaufbaus in geradliniger Anordnung in etwa gleichen Abständen befestigt werden. Einer der Kugeln ist starr angebracht, die restlichen Kugeln sind auf Blattfedern so gelagert, daß ihre Position ausschließlich in Längsrichtung des Tragkörpers innerhalb eines kleinen Bereiches nahezu kraftfrei verändert werden kann. Zwischen den Kugeln befinden sich Distanzstäbe, die an den Enden so gestaltet sind, dass sie sich auf den Kugeln selbst zentrieren. Die Länge der einzelnen Distanzstäbe darf geringfügig voneinander abweichen. Von den Stabenden her wird die Kugelreihe mit einer definierten Kraft zusammengepreßt. Damit wird erreicht, daß sich bei immer gleicher Reihenfolge von Kugeln und Distanzstäben zwischen denselben benachbarten Kugeln der Abstand gut reproduzierbar einstellt.“ [34]

6.4.2. Kalibrierung einem Kugelstab

Der demontierbare Kugelstab hat normalerweise einen Kugelabstand zwischen 400 bis 500 mm. Er kann mit geringem Aufwand auf einem kleineren KMG durch Messvergleich mit einem geeigneten Normal kalibriert werden. Es ist jedoch wesentlich, dass das KMG eine gute Reproduzierbarkeit aufweist und sowohl den Anforderungen an eine Kalibrierung sowie den Umgebungsbedingungen entspricht

6.4.3. Messablauf einem Kugelstab

„Da bei Messungen an einem Kugelstab auch die Abstandmessungen von Kugelmittelpunkten ausgeführt werden und die Mittelpunktbestimmung der Kugeln immer nach der gleichen Antaststrategie erfolgt, gehen tastsystembedingte systematische Abweichungen in das Messergebnis nicht mit ein. […] Deshalb wird analog zu Überwachungsmessungen mittels einer Kugelplatte auch bei Kugelstabmessungen zu Beginn der Überwachungsmessung die Antastunsicherheit des Tastsystems durch Messungen an einer Referenzkugel bestimmt. Wenn dabei Überschreitungen […] festgestellt werden, dann sollte vor Beginn der Überwachungsmessung am Kugelstab das Tastsystem instandgesetzt werden. Zur eigentlichen Überwachungsmessung wird der Kugelstab […] raumdiagonal aufgebaut. Typische Montagezeiten dazu liegen um 15 Minuten. […] Dabei sollte man neben absoluter Sauberkeit der Kugel und Distanzstabenden insbesondere darauf achten, dass bei Abschluss des Aufbaus die Vorspannung der Kugel-/ Stabreihe den Angaben des Herstellers bzw. den Angaben im Kalibrierschein entspricht.“ [34]

Während der Messung werden alle Kugeln des Kugelstabs nacheinander entsprechend der Herstellervorschriften sowie der Angaben im Kalibrierschein einmal gemessen.

Um eine verlässliche Überwachungsmessung des KMG zu erreichen, wird eine Vermessung des Kugelstabs mindestens in den vier raumdiagonalen Ausrichtungen vorgenommen. (Siehe Anhang Abb.5)

Zum Schluss können wir alles so zusammenfassen, dass die Auswertung der Messungen wie folgend durchgeführt werden kann:

„Die Auswertung kann auf einem PC-AT unter MS -Windows mit Hilfe des herstellerunabhängigen Auswerteprogramms GUK®-KS (Genauigkeitsüberwachung von KMG mittels Kugel-Stab) erfolgt. Dieses Programm wurde […] für Kugelplattenmessungen entwickelt. […]

Mit dem demontierbaren Kugelstab steht dem Anwender inbesondere in Verbindung mit den herstellerunabhängigen Auswerteprogrammen wie z.B. GUK®-KS ein breites Instrumentarium zur […] Analyse der Genauigkeit von großen Koordinatenmeßgeräten zur Verfügung.“ [34]

Es konnte gezeigte werden, dass die mittels Kugelstab durchgeführten Überwachungsmessungen im Raum vor allem bei großen KMG in Ständerbauweise unerwartet große Messabweichungen gegenüber Messungen einzelner Abweichungskomponenten aufdecken konnten.
Insbesondere im Hinblick auf eine verantwortungsbewusste Vermeidung von kostenintensiven Regressansprüchen bzw. Fehlbeurteilungen von Werkstücken auf Grund von unerwartet ungenauen Messergebnissen, entscheiden sich pflichtbewusste Anwender verstärkt zur Genauigkeitsüberwachung der eingesetzten Geräte mittels entsprechend langer Kugelstäbe. [34].

7. Zusammenfassung

Im zweiten Kapitel dieser Arbeit wurden zunächst grundlegende Parameter von Messungen und das Basisschema eines Messsystems beschrieben.
Im dritten Kapitel wurde der Zusammenhang der Koordinatenmessgeräte mit der Messtechnik sowie der Grundaufbau der Koordinatenmessgeräte anhand zahlreicher Beispiele dargestellt, welche als Ausgangsbasis für das Verständnis komplexer Werkzeugmaschinen dienen sollen.
Im vierten Kapitel, dem eine zentrale Bedeutung für diese Arbeit zukommt, steht die Thematik der Genauigkeit und Fehlervermeidung im Mittelpunkt. Es konnte klar gezeigt werden, auf welche Art und Weise die aktuellen Soft- und Hardwares sowie die Neuheiten aus dem Bereich der Werkzeugmaschinen und Koordinatenmessgeräte ein wesentliches Verbesserungspotenzial in der Findung von Verbesserungsstrategien bezüglich der erreichten Messergebnisse ermöglichen. Subsumierend kann gesagt werden, dass je höher die erreichbare Genauigkeit der mathematischen Hochrechnungen ist umso höher auch die Qualität der erzielten Ergebnisse der Messinstrumente sein wird.
Weiters konnte die überaus große Bedeutung von Umgebung und Umgebungsbedingungen auf die Qualität der erzielten Messergebnisse nachgewiesen werden.
Diese deutlichen Verbesserungen werden sowohl für die technischen als auch die wirtschaftlichen Bereiche von einem wesentlichen Nutzen sein.
Ob dieser Nutzen auch die tatsächlich erwartete wesentliche Rolle spielen können wird, hängt nicht zuletzt auch davon ab, ob die normativen Grundlagen und Richtlinien, wie Normen, VDI/VDE-Richtlinien sowie die entsprechenden Leitfäden (GUM), welche im Kapitel fünf genauer besprochen wurden, auf internationaler Ebene zukunftsorientiert mitziehen.
Im abschließenden Kapitel wird die Bedeutung der Kalibrierung anhand konkreter Beispiele einschließlich eines portablen Messarmes dargestellt.

Die anhand des Literaturstudiums erhaltenen Ergebnisse bezüglich der Funktionsweise der KMG konnten zum Teil im Zuge meiner Tätigkeit in Feinstmessraum und Nanotechnologie Labor nachvollzogen und überprüft werden.
Abschließend ergab dieser Vergleich der unterschiedlichen Arten von KMG, dass die stabilen KMG weniger Messabweichungen aufzeigen. Bei portablen KMG führen zum einen die Umgebungsbedingungen und zum anderen die schwierigere Handhabung zur größeren Messabweichungen, sie sind jedoch hinsichtlich ihrer Mobilität und bei Messungen von Innenräumen vorteilhafter gegenüber den stabilen KMG.

Zur Erhöhung und Verbesserung der Messgenauigkeit von Koordinatenmessgeräten und Fertigungsgenauigkeit von Werkzeugsmaschinen sind jedoch auch weiterhin fortlaufende Verbesserungen bei Verfahren sowie Soft- und Hardwares erforderlich.

Literaturverzeichnis

Publikationen

[1] Adunka, Franz (1998) Messunsicherheiten Theorie und Praxis, Essen: Vulkan, ISBN 3- 8027- 2168-1

[2] Ariker, Metin (2003) Messunsicherheit. Praktische Anwendung als Grundlage in der Qualitätssicherung in der Produktion, Diplomarbeit TU Wien

[3] Osanna P.H., Durakbasa M. N., Waczek G., Oberländer R. (1992) Stichwort Qualität Produktionsmesstechnik zu Qualitätssicherung, Wien: WUV - Universitätsverlag, ISBN 3- 851114-104-0.

[4] Osanna P. H., Yücher Y.H., Durakbasa M.N. (1995) Koordinatenmesstechnik für das Qualitätsmanagment im Produktionsbetrieb, Wien: WUV – Universitätsverlag, ISBN 3-85076-388-9

[5] Slanar, G (2004/2005) Kalibrierwesen und Weitergabe der Messunsicherheiten, Skriptum 2004/2005, Wien: TU, Institut für Fertigungstechnik Abteilung Austauschbau und Messtechnik

[6] Saadat, Behnaz (2006) Genauigkeitsanforderungen an Koordinatenmessgeräte Seminararbeit, TU-Wien, Institut Austauschbau und Messtechnik (siehe unten Normen 8-18)

[7] VIM (1994) Internationales Wörterbuch der Metrologie, Auflage 2

Normen, Richtlinien

[8] DIN (1994) Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology VIM, 2. Auflage

[9] DIN 55350 (2006) Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik

[10] OENORM EN ISO 10360-1: 2003, Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmessgeräte (KMG) - Teil 1: Begriffe

[11] OENORM EN ISO 10360-2: 2002, Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmessgeräte (KMG) - Teil 2: KMG angewendet für Längenmessungen

[12] OENORM EN ISO 10360-2: 2006, Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmessgeräte (KMG) - Teil 2: KMG angewendet für Längenmessungen

[13] OENORM EN ISO 10360-3: 2000, Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmessgeräte (KMG) - Teil 3: KMG mit der Achse eines Drehtisches als vierte Achse

[14] OENORM EN ISO 10360-4: 2003, Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmessgeräte (KMG) - Teil 4: KMG in Scanningmodus

[15] OENORM EN ISO 10360-5: 2000 Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmessgeräte (KMG) - Teil 5: KMG mit Mehrfachtastern (ISO 10360-5:2000)

[16] OENORM EN ISO 10360-6 Norm 2002-04-01
Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmessgeräte (KMG) - Teil 6: Abweichungsabschätzung beim Berechnen zugeordneter Geometrieelemente nach Gauß

[17] OENORM EN 14253-1: 1998- ISO 14253-1 (1998) Geometrical Product Specifications (GPS) – Inspection by measurement of work pieces and measuring equipment. Part 1: Decision rules. For Proving conformance or non conformance with specifications.

[18] OENORM EN 14253-1:1999, Geometrische Produktspezifikationen (GPS) - Prüfung von Werkstücken und Meßgeräten durch Messen - Teil 1: Entscheidungsregeln für die Feststellungen von Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung mit Spezifikationen (ISO 14253-1:1998)

[19] ISO/TS 14253-2 (1999) Geometrical Product Specifications (GPS) Inspection by measurement of work pieces and measuring equipment. Part 2: Guide to the Estimation of uncertainty in GPS measurement, in calibration of measuring equipment and in product verification

[20] OENORM EN 14253, 2004-02-01
Mechanische Schwingungen - Messung und rechnerische Ermittlung der Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen auf den Menschen am Arbeitsplatz im Hinblick auf seine Gesundheit - Praxisgerechte Anleitung

[21] OENORM EN 14253/A1 Norm-Entwurf, 2007-07-01
Mechanische Schwingungen - Messung und rechnerische Ermittlung der Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen auf den Menschen am Arbeitsplatz im Hinblick auf seine Gesundheit - Praxisgerechte Anleitung (Änderung)

[22] OENORM ENV ISO 14253-2 Vornorm, 2002-06-01
Geometrische Produktspezifikationen (GPS) - Prüfung von Werkstücken und Messgeräten durch Messungen - Teil 2: Leitfaden zur Schätzung der Unsicherheit von GPS-Messungen bei der Kalibrierung von Messgeräten und bei der Produktprüfung

[23] OENORM EN 15394-3 Norm- Entwurf, 2006-01-01
Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Prüfung von Werkstücken und Messgeräten durch Messen - Teil 3: Richtlinien für das Erzielen einer Einigung über Messunsicherheitsangaben (ISO/TS 14253-3:2002)

[24] OENORM ENV 13005 Vornorm, 1999-07-01 Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen

[25] OENORM EN ISO 1: 2002 Norm, 2002
Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Referenztemperatur für geometrische Produktspezifikation und -prüfung

[26] ÖNORM GUM 1 (1996) Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen, Entwurf 1

[27] VDI/VDE Richtlinien 2617 (2001) Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten Kenngrößen und deren Prüfung, Blatt 5

[28] VDI/VDE Richtlinien 2617 (2006) Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten Kenngrößen und deren Prüfung, Blatt 8

[29] VDI/VDE Richtlinien 2617-1 (2006) Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten Kenngrößen und deren Prüfung, Blatt 9

Internetquellen:

[30] Autosieger (2007) GP Kanada: Ralf Schumacher und Montoya disqualifiziert, http://www.autosieger.de/article2409.html , download 1. November 2007, 22 h

[31] Direkt Industry (2007) Messgeräte und Prüfgeräte, http://www.directindustry.de/cat-/messgerate-und-prufgerate-l.html , download 1. Oktober 2007, 11:30h

[32] Hofmann, Dietrich (2007) Normen und Dokumente in der OKM, http://united-vision.net/download/vorlesung_okm/vorlesung_4.ppt#315,2 ,Lernziele, download 15 November 2007, 23h

[33] Mitutoyo (2007) Produkt Lounge, http://www2.mitutoyo.de/index.php?id=1114&L=0 , download 2 Oktober 2007, 12:00 h

[34] Plath, Hans Henning (2004) Technischer Support Genauigkeitsüberwachung von großen Koordinatenmessgeräten mittels demontierbarem Kugelstab und Auswerteprogramm GUK®-KS, http://www.koba.de/Support.pdf , download 4 Oktober 2007, 21 h

[35] Präzisionsmesstechnik (2007 a) Produkte. Mess-/Prüfgeräte. Temperaturmessgeräte. Kompakte Temperatur- Messsonden zur berührungslosen Infrarot- Temperaturmessung, http://www.praezisionsmesstechnik.de/pmgpt/temperaturmessgeraete/produkte.html , download 10 Dezember 2007, 22 h

[36] Präzisionsmesstechnik (2007 b) Produkte. Mess-/Prüfgeräte. Temperaturmessgeräte. Minisensoren zur berührungslosen Infrarot-Temperaturmessung, http://www.praezisionsmesstechnik.de/pmgpt-/temperaturmessgeraete/minisensor/produkte.html , download 10 Dezember 2007, 22:15 h

[37] Test - und Meßsysteme Vertriebs -GmbH (2007) Kalibrierung, http://www.kalibrierung.de-/kalibrierung.htm , download 12 September 2007, 11 h

[38] TU Wien Abt. Austauschbau und Messtechnik (2007) Austauschbau und Messtechnik, http://aum.ift.tuwien.ac.at/home/AuM.pdf , download 10 Oktober 2007, 10 h

[39] VDI (2007) Ziele des VDI, http://www.vdi.de/vdi/zdv/ , download 15. November 2007, 22:00 h

[40] Wäldele, Franz et al (2007) Simulationsverfahren von Koordinatenmesstechnik, http://www.braunschweig.ihk.de/innovation_umwelt/technologietransferpreis/ttp_2004/VortragPTB-IHK-gesamt.pdf , download, 3. Dezember 2007, 10 h

[41] Wikipedia (2007 a) GUM (Norm), http://de.wikipedia.org/Wikipedia/GUM_(Norm)#Entstehungsgeschichte , download 10. November 2007, 22h

[42] Wikipedia (2007 b) Internationale Organisation für Normung (ISO), http://de.wikipedia.org/Wikipedia/Internationale_Organisation_f%C3%BCr_Normung, download 3. November 2007, 16:00 h

[43] Wikipedia (2007 c) Verein Deutsche Ingenieure, http://de.wikipedia.org/Wikipedia/Verein_Deutscher_Ingenieure, download 18. November 2007, 21h

[44] Wikipedia (2007 d) Widerstandsthermometer, http://de.wikipedia.org/Wikipedia/Widerstandsthermometer, download 10. November 2007, 23:30 h

[45] Wikipedia (2007 e) Präzision, http://de.wikipedia.org/wiki/Pr%C3%A4zision, download 12. Dezember 2007, 20h

[46] Wikipedia (2007 f) Temperatursensoren, http://de.wikipedia.org/wiki/Temperatursensor, download 10. Dezember 2007, 11h

[47] Zeiss (2007) Messdienstleistungen, DKD- Kalibrierung von Referenzwerkstücken, http://www.zeiss.de/41256a7f00423bc4/Contents-Frame-/4af4d82ef6b2509ec125714800373893, download 3. Oktober 2007, 11:30 h

[48] Zeiss – Holos Freiformflächensoftware, CAD http://www.michaelneuhaus.de/cmm/koordinatenmesstechnik.htm, download 16. Dezember 2007, 11h

Anhang

Im folgenden Abschnitt sollen die im Rahmen dieser Arbeit besprochenen unterschiedlichen KMG anhand einer Reihe von Bildern gezeigt werden, welche ich im Zuge dieser Arbeit im Feinstmessraum und Nanotechnologie Laborraum eingesetzt habe. [38]

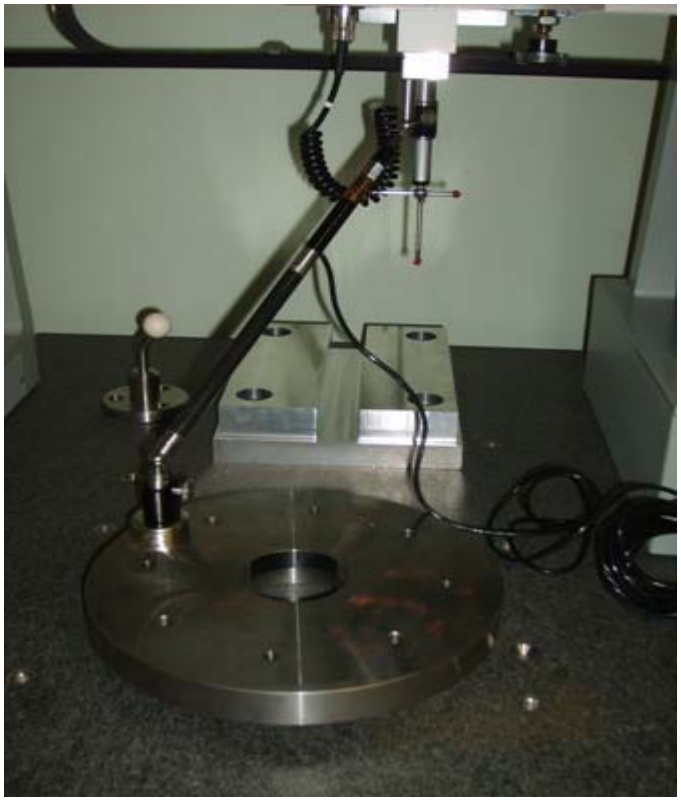
Anhang Abbildung 1 KMG- UMM 500

Anhang Abbildung 2 KMG- Abnahme. TU Wien Abt. Austauschbau und Messtechnik

Anhang Abbildung 3 Optisches Koordinatenmessgerät [32]

Anhang Abbildung 4 Kugelstab

Anhang Abbildung 5 Überprüfung eines KMG mittels Kugelstabs



Anhang Abbildung 6 KMG Sensoric

Anhang Abbildung 7 Prüfkörper

Anhang Abbildung 8 Laserinterfrometer

Anhang Abbildung 9 TU Wien, Laborraum der Abt. Austauschbau und Messtechnik