



Anwendung von Messtastern auf Werkzeugmaschinen - die Möglichkeiten und Grenzen -

Bachelor-Thesis

Zur Erlangung des Hochschulgrades Bachelor of Engineering

an der



vorgelegt von: Benjamin Scharffenstein
Matr.- Nr. 1859882

Department: Maschinenbau und Produktion
Studiengang: Produktionstechnik und -Management

Am: 10.April 2012

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Günther Gravel
Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christian Stark
Wissenschaftlicher Betreuer: Dipl.-Ing. Holger Scharffenstein

Betrieb: E.M.A. Maschinen- und Apparatebau GmbH



Danksagung

Mein besonderer Dank gilt allen Personen, die mich bei der Erstellung dieser Bachelor-Thesis unterstützt haben.

An dieser Stelle gilt mein Dank meinen beiden Korrektoren, Prof. Dr.-Ing. Günther Gravel, der mich durch seine hilfreichen Anregungen immer wieder unterstützt, sowie Prof. Dr.-Ing. Christian Stark, der mir mit seinen wertvollen Hinweisen weitergeholfen hat und sich freundlicherweise bereit erklärt hat, als Zweitgutachter zu fungieren.

Des weiteren möchte ich mich bei meinem Vater, Dipl.-Ing. Holger Scharffenstein, Geschäftsführer der Firma E.M.A. GmbH, sehr herzlich bedanken, da er mich im Rahmen meiner Bachelor-Thesis in den Räumen der Firma unterstützt und diese Arbeit erst möglich gemacht hat.

Danken möchte ich natürlich auch allen anderen Kollegen der Firma E.M.A., die mir die komplette Zeit mit gutem Rat zur Seite gestanden haben und mir das Ausarbeiten der Arbeit erleichtert haben.

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis.....	II
Abbildungsverzeichnis.....	III
Formelzeichen.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	V
Kurzreferat.....	VI
1 Einleitung.....	1
2 Stand der Technik.....	2
2.1 Werkzeugmaschine.....	3
2.1.1 NC-Steuerung.....	3
2.1.2 Wegmesssysteme.....	4
2.2 Messen.....	6
2.2.1 Messfehler.....	6
2.2.2 Koordinatenmessmesstechnik.....	7
2.2.3 Taktile Koordinatenmessmaschine.....	8
2.4 Messtastersysteme für Bearbeitungszentren.....	9
2.5 Längenausdehnungskoeffizient α	12
2.6 Fehlerrechnung.....	13
3 Aufgabenstellung.....	14
4 Herkömmliche Vorgehensweise.....	16
5 Durchführung.....	17
5.1 Vier Achs-Bearbeitungszentrum Heckert CWK 1600.....	17
5.2 Lehren-Bearbeitungszentrum ENSHU 800V	18
5.3 Koordinatenmessgerät EURO-C 123010	19
5.4 Messtaster OMP60 und MP10 von Renishaw.....	20
5.4.1 Wiederholgenauigkeit bei längerem Tastereinsatz.....	22
5.4.2 Durchbiegen von Tasterschäften.....	23
5.4.3 Taster kalibrieren.....	23
5.5 Einsatz von Messtastern unter realen Bedingungen.....	25
5.5.1 Prüfmittelfähigkeit.....	29
5.5.2 Beurteilung.....	34
5.6 Möglichkeiten an Großbauteilen.....	34
5.6.1 Auswahl Bauteil.....	35
5.6.2 Referenznormal.....	37
5.6.3 Ermittlung der Längenausdehnungskoeffizienten.....	40
5.7 Berechnungsgrundlagen und Programmierung.....	45
5.8 Anwendung.....	47
6 Fazit.....	49
Literaturverzeichnis.....	50
Anhang.....	51

Abkürzungsverzeichnis

BAZ	Bearbeitungszentrum
WZM	Werkzeugmaschine
KMM	Koordinatenmessmaschine
KMG	Koordinatenmessgerät
MTS	Messtastersystem
TS	Tastersystem
MT	Messtaster
RN	Referenznormal

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Der Lageregelkreis [4].....	4
Abbildung 2.2: Direktes Wegmesssystem [4].....	5
Abbildung 2.3: Indirektes Wegmesssystem [4].....	5
Abbildung 2.4: Indirekte/Direktewegmessung im Lageregelkreis [4].....	6
Abbildung 2.5: Qualitätsregelkreis[2].....	7
Abbildung 2.6: Schaltendes Tastsystem [3].....	9
Abbildung 2.7: Messendes Tastsystem [3].....	9
Abbildung 2.8: RMP600 Renishaw.....	10
Abbildung 2.9: TC76 Blum Novotest.....	10
Abbildung 2.10: Messtastersystem mit Funk- Signalübertragung[8].....	11
Abbildung 2.11: Messtastersystem mit Infrarot- Signalübertragung[10].....	11
Abbildung 3.1: Ablaufplan.....	15
Abbildung 5.1: Heckert CWK 1600.....	17
Abbildung 5.2: ENSHU 800V	18
Abbildung 5.3: Optisches Messtastersystem von Renishaw[8].....	21
Abbildung 5.4: Taster/ Tasterverlängerung.....	23
Abbildung 5.5: Beispielhafte Positionsverschiebung unterschiedlicher Bauteile.....	27
Abbildung 5.6: Fertigungsmessaufgabe.....	28
Abbildung 5.7: Schnittdarstellung Ventilkörper.....	29
Abbildung 5.8: Spindelwerkzeug im Einsatz.....	29
Abbildung 5.9: Messtaster im Einsatz.....	30
Abbildung 5.10: Meßreihen der 6,2 H5 Passung vom BAZ und KMM.....	32
Abbildung 5.11: Messreihen, Erwartungswert und Toleranzband.....	33
Abbildung 5.12: Heckert CWK 1600 Athletic.....	36
Abbildung 5.13: 3D-Zeichnung: Abstandsmaß 1450mm	37
Abbildung 5.14: Maschinenbett auf der Mehrfachvorrichtung.....	38
Abbildung 5.15: Prüfprotokoll Referenznormal.....	39
Abbildung 5.16: Vorrichtung/ Referenzmaß auf der Koordinatenmessmaschine.....	40
Abbildung 5.17: Einzelmesswerte und Mittelwert AlMgSi1.....	42
Abbildung 5.18: Proportionalität Aluminium AlMgSi1.....	43
Abbildung 5.19: Lineare Regression und Bestimmtheitsmaß R^2	43
Abbildung 5.20: Längenunterschied: α Tabelle, α Ermittelt.....	44
Abbildung 5.21: Messprotokoll Probeteil.....	47
Abbildung 5.22: Messwerte Versuchsreihe, Abstand 1450 mm.....	48

Formelzeichen

l	[<i>mm</i>]	Länge nach Wärmezufuhr
l_0	[<i>mm</i>]	Anfangslänge
Δl	[<i>mm</i>]	Längendifferenz
t	[$^{\circ}C$]	Endtemperatur
t_0	[$^{\circ}C$]	Anfangstemperatur
Δt	[<i>K</i>]	Temperaturdifferenz
α	[$^{\circ}C^{-1}$]	linearer Ausdehnungskoeffizient
v_{Antast}	[<i>mm/min</i>]	Antastgeschwindigkeit
L_T	[<i>mm</i>]	Tastereinsatzlänge
R^2	[1]	Bestimmtheitsmaß
M_R	[<i>mm</i>]	Referenzmaß
F_{Antast}	[<i>mm</i>]	Antastkraft
\bar{x}	[<i>mm</i>]	Mittelwert
n	[1]	Anzahl Messung
x_i	[<i>mm</i>]	Einzelmesswert
σ	[<i>mm</i>]	Standardabweichung
R	[<i>mm</i>]	Spannweite
x_{max}	[<i>mm</i>]	maximaler Wert einer Messreihe
x_{min}	[<i>mm</i>]	minimaler Wert einer Messreihe
ΔM	[<i>mm</i>]	Differenzmaß
M_{ist}	[<i>mm</i>]	Ist-Referenzmaß
M_R	[<i>mm</i>]	Referenzmaß
x_{soll}	[<i>mm</i>]	Zeichnungsmaß
x	[<i>mm</i>]	Verfahrweg
α_{Al}	[$^{\circ}C^{-1}$]	Ausdehnungskoeffizient Aluminium
α_{St}	[$^{\circ}C^{-1}$]	Ausdehnungskoeffizient Stahl
λ	[<i>Grad</i>]	Auslösewinkel

Tabellenverzeichnis

Tabelle 5.1: Taster Eckdaten (*Einstellbar), (** 50 mm Tastereinsatzlänge) [8].....	22
Tabelle 5.2: Messreihe 6,2H5 auf BAZ.....	30
Tabelle 5.3: Messreihe 6H5 auf KMM.....	30
Tabelle 5.4: Daten für statistische Auswertung.....	31
Tabelle 5.5: Daten der Aluminiumlegierung: AlMgSi1	41
Tabelle 5.6: Vergleich Längenausdehnungskoeffizient.....	43
Tabelle 5.7: Feste Parameterwerte.....	44
Tabelle 5.8: Zwischenergebnisse.....	45
Tabelle 5.9: Versuchsreihe Abstand 1450+/- 0,025mm	46

Kurzreferat

In dieser Arbeit wird untersucht, in wie weit der Einsatz von Messtastern auf Werkzeugmaschinen möglich ist. Qualitätssicherung durch den Einsatz von Messtastern direkt auf der Werkzeugmaschine reduziert die Nebenzeiten und kann Fehler vermeiden, die durch den Bediener entstehen können. Die Genauigkeit vom Bearbeitungszentrum ist stark abhängig von der Umgebung. Große Bauteile, die bearbeitet werden, nehmen während der Bearbeitung die Temperatur der Maschine an. Es ist nicht ungewöhnlich, dass die Temperatur in der Maschine von der in der Fertigungshalle abweicht. Es wird deutlich, dass stark schwankende Ergebnisse erzielt werden, wenn das Klimaumfeld schwankt.

Um die hohe Qualität zu garantieren, muss eine 100 prozentige Kontrolle der Bauteile erfolgen. Die Dokumentation der Werkstücke übernimmt die Qualitätssicherung. Bislang können nur untergeordnete Messaufgaben auf den Bearbeitungszentren ausgeführt werden. In zwei verschiedenen Versuchsreihen wird aufgezeigt, welche Messaufgaben auf dem Bearbeitungszentrum mit einem Messtastersystem sicher durchgeführt werden können.

Als erstes soll deutlich gemacht werden, bis zu welcher Genauigkeit wiederholt sicher auf einer Werkzeugmaschine gemessen werden kann. Daraus wird gefolgert welche Faktoren die Grenzen festlegen. Die gewonnene Erkenntnis soll als Grundlage für die nächste Untersuchung dienen. Außerdem wird der Längenausdehnungskoeffizient α experimentell ermittelt und mit der abweichenden Literatur diskutiert.

Im nächsten Schritt soll geprüft werden, wie z.B. auch Achsabstände mit Hilfe eines Referenznormals sicher erfasst werden können. Fehler, die normalerweise durch Temperaturdifferenzen entstehen, können so kompensiert werden.

1 Einleitung

Das Messen auf Bearbeitungszentren (BAZ) mit Messtastern (MT) ist heute ein fester Bestandteil der Prozessüberwachung. Ein großer Vorteil, Werkstücke direkt auf dem BAZ mit einem Messtastersystem (MTS) vermessen zu können, ist die Reduzierung von Nebenzeiten, wie z.B bei der Nullpunktbestimmung. Auch werden Handhabungsfehler des Bedieners mit Handmessmitteln reduziert und Eingabefehler vermieden.

Die großen Messtasterhersteller werben damit, dass das erste Teil einer Serie, direkt und einfach auf der Werkzeugmaschine vermessen werden kann. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass bei jeder Messung auf einem BAZ immer der Fehler der Maschine in das Messergebnis eingeht. D.h. ein BAZ mit einem MTS ersetzt auf keinen Fall die Qualitätssicherung mit ihrem Koordinatenmessgerät (KMG). Durchmesser von Bohrungen können zwar präzise mit Tastersystemen (TS) gemessen werden, Achsabstände können so jedoch nicht sicher erfasst werden, da der Maschinenfehler der beim Fertigen der Bohrung zur Maßabweichung führt, genauso das Messergebnis verfälscht. Mit dieser Arbeit sollen diese Fehler minimiert werden.

Diese Arbeit wird bei der Firma E.M.A. durchgeführt, die seit 1978 im Maschinenbau aktiv ist. Es werden hochpräzise Großbauteile für namhafte Hersteller gefertigt. Diese Bauteile werden im allgemeinen Maschinenbau sowie bei der Druckmaschinenherstellung und im Bereich der Erdölförderung eingesetzt. Die Firma fertigt auf modernen Drei- bzw. Vier- und Fünf-Achsigen Werkzeugmaschinen in einer klimatisierten Fertigungshalle.

Die Qualität der Werkstücke wird durch drei moderne Koordinatenmessgeräte gewährleistet.

2 Stand der Technik

Da ein BAZ eine beträchtliche Investition darstellt, ist es nur verständlich, dass das Messen mit Messtastern auf Bearbeitungszentren zum Standard gehört. Moderne BAZ ermöglichen aufgrund ihrer hohen Grundgenauigkeit den wirtschaftlichen Einsatz von Messtastern. Kleinere Werkstücke können bis auf einige Mikrometer genau gefertigt und gemessen werden. Bei Großbauteilen jedoch, hat die Temperatur vom Werkzeug, der Maschine, dem Werkstück und dem Kühlschmiermittel einen entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis.

Die Kommunikation zwischen Messtaster und Werkzeugmaschine erfolgt über eine Signalempfangeinheit und einem Interface, das Signale aufarbeitet und an die Steuerung der Werkzeugmaschinen weiter gibt.

Damit der Messtaster in der laufenden Produktion eingesetzt werden kann, hat dieser einen zugewiesenen Platz im Werkzeugmagazin.

Dieser Platz im Werkzeugmagazin wird als numerischer Wert in der Steuerung der Werkzeugmaschine abgelegt. So kann der Messtaster wie ein spanendes Werkzeug von der Werkzeugmaschine aufgerufen werden.

Bei E.M.A. sind unterschiedliche MTS von der Firma Renishaw mit der dazu gehörigen Software „Easy Probe“ im Einsatz. Bisher werden Sie dort zur Lagenbestimmung der Werkstücke sowie zur Werkstückvermessung eingesetzt.

2.1 Werkzeugmaschine

Die WZM bzw. das BAZ gehört heute zu den bedeutendsten Produktionsmitteln für die Bearbeitung von metallischen Werkstoffen. WZM werden nach DIN 69651 in Einzelmaschinen und Mehrmaschinensysteme unterteilt. Während die Einzelmaschine nur ein Verfahren ausführen kann, wie zum Beispiel Bohren (man spricht hier dann von einer Bohrmaschine), können Mehrmaschinensysteme bohren **und** fräsen. Es werden also unterschiedliche Verfahren auf einer Maschine realisiert. Mehrmaschinensysteme, die mit einer Arbeitsspindel und Vorschubsachsen ausgestattet sind und mit einer NC-Steuerung programmiert werden können, sind NC-Maschinen. Verfügt eine Maschine über einen automatischen Werkzeugwechsler und einen Werkzeugspeicher, spricht man von einem BAZ. Es wird zu einer Fertigungszelle in Verbindung mit einem Werkstückwechsler. Fertigungsstraßen, die aus zwei oder mehr Maschinen bestehen und durch z.B. Roboter mit Material versorgt werden, sind Fertigungssysteme.[1]

2.1.1 NC-Steuerung

Um eine sichere Automatisierung von Werkzeugmaschinen zu gewährleisten, ist eine Steuerung notwendig, die die komplizierten Abläufe überwacht. In dem Begriff „NC-Steuerung“ bedeutet NC, numerical control oder einfach: steuern mit Ziffern oder Zahlen. [2]

Es werden drei Arten von Steuerungen unterschieden: Punkt-, Strecken- und Bahnsteuerung. Punktsteuerungen werden für einfache Positioniervorgänge eingesetzt. Mit den Streckensteuerungen können Geraden parallel oder unter einem Winkel zur einer Maschinenachse gefahren werden. Die heutigen Bearbeitungszentren sind alle mit Bahnsteuerungen ausgerüstet mit denen es möglich ist, „so ziemlich jede“ erdenkliche Bewegung, wie z.B. Kreise oder Splines in der Ebene oder im Raum auszuführen.

Der Richtigkeit halber müsste es eigentlich CNC-Steuerung heißen, da die NC-Steuerung der modernen Bearbeitungszentren alle Mikroprozessoren enthalten.

Die wesentliche Aufgabe der NC-Steuerung ist es, die Relativbewegung zwischen Werkstück und Werkzeug zu überwachen. Dabei sind die Geschwindigkeits- und

Wegabweichungen sowie Technologiedaten in einem NC-Programm hinterlegt. Außerdem wird von der Steuerung verlangt, die Fahrbefehle von dem Werkstückkoordinatensystem mittels Koordinatentransformation auf das Maschinenkoordinatensystem umzurechnen, um diese verarbeiten zu können. Die Korrekturdaten, wie Werkzeuglänge und Werkzeugradius müssen von der Steuerung permanent berücksichtigt werden.[3]

Die Werkstücknullpunkte werden zur Bestimmung des Bauteils verwendet, sie beziehen sich immer relativ auf das Maschinenkoordinatensystem. Für verschiedene Bauteile sowie unterschiedliche Bearbeitungsschritte können mehrere Werkstücknullpunkte in der Steuerung abgelegt werden, um diese bei Bedarf aufzurufen.

2.1.2 Wegmesssysteme

Die Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück muss von der WZM möglichst präzise ausgeführt werden. Hierzu werden sowohl Weg als auch Geschwindigkeit der Achsen in sich und zueinander geregelt. Für jede Vorschubachse gibt es einen Lageregelkreis, der aus einer Regeleinrichtung, einem Antriebssystem und einem Messsystem besteht. In den Lageregelkreis geht die Soll-Position der Achse als Führungsgröße hinein und die Ist-Position als Ausgangsgröße heraus. Die Ausgangsgröße wird von einem Messsystem aufgenommen und in einer Rückführung an die Regeleinrichtung weitergegeben. Die Regeleinrichtung subtrahiert die Ausgangsgröße von der Führungsgröße, das Ergebnis ist die Regeldifferenz. Diese Regeldifferenz wird an den Drehgeber für den Motor weiter gegeben, der entsprechend die Differenz kompensiert. Der Lageregelkreis ist schematisch in Abbildung 2.1 zu sehen.[4]

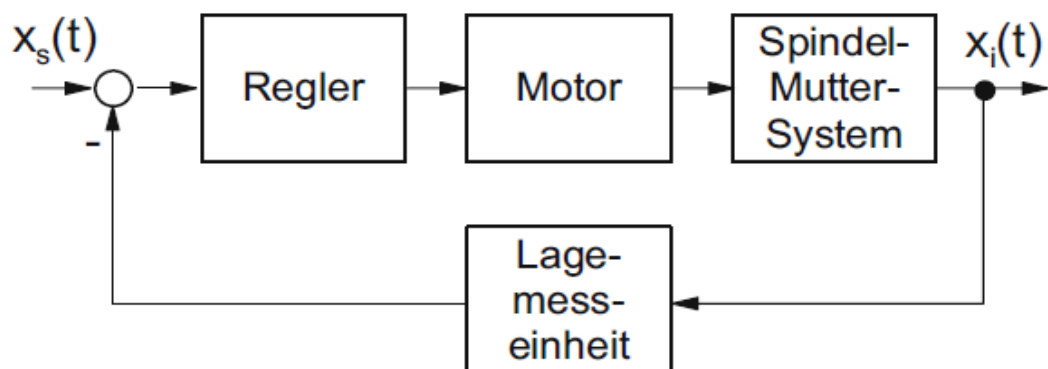


Abbildung 2.1: Der Lageregelkreis [4]

Es wird zwischen direkter und indirekter Messwerterfassung unterschieden. Bei der direkten Messwerterfassung wird die Ist-Position des Tisches einer translatorischen Achse mit einem Linearmesssystem direkt erfasst. Bei der indirekten Wegmessung wird durch den Einsatz eines Drehaufnehmers der Drehwinkel des Antriebsmotors erfasst. Durch den bekannten physikalischen Zusammenhang zwischen Steigung der Kugelrollspindel und dem Drehwinkel kann indirekt die Ist-Position des Tisches errechnet werden. Die Abbildungen 2.2 und 2.3 zeigen die jeweiligen Anordnungen der Messsysteme. [4]

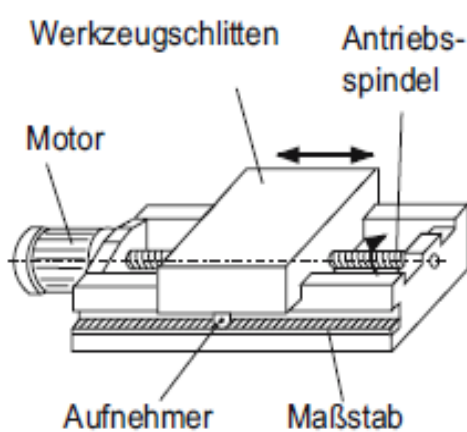


Abbildung 2.2: Direktes Wegmesssystem [4]

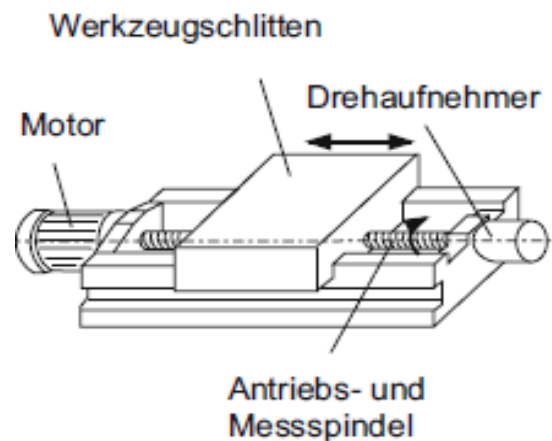


Abbildung 2.3: Indirektes Wegmesssystem [4]

Abbildung 2.4 zeigt schematisch die Anordnung der Messsysteme im Lageregelkreis. Bei indirekten Wegmesssystemen erfolgt die Messwertaufnahme vor dem Federmassesystem, bei direkter Wegmessung dahinter. Das Federmassesystem besteht im Wesentlichen aus der Kugelrollspindel als Feder bzw. Dämpfer und dem Schlitten mit Tisch als Masse. Bei großen BAZ's, auf denen sehr hohe Beschleunigungen und Verzögerungen mit großen Massen realisiert werden, können Resonanzspitzen entstehen, die bei direkter Wegmessung die Messwertaufnahmen unmöglich machen. Der Lageregelkreis wird in einem solchen Fall instabil. Bei indirekter Wegmessung tritt dieses Problem nicht in diesem Ausmaß auf, aber die Dehnung der Kugelrollspindel wird hierbei nicht erfasst. Für große BAZ's ist die direkte Wegmessaufnahme, aufgrund des hohen Federmassesystems und daraus folgend der geringeren Beschleunigungs- und Verzögerungskräfte, die bessere Lösung. Wobei kleinere Werkzeugmaschinen, die hoch dynamisch arbeiten, durchaus mit

einem indirekten Wegmesssystem ausreichend ausgerüstet sind. Da in den Antriebsmotoren für die Achsen Wegmesssysteme integriert sind, würde ein direktes Wegmesssystem eine zusätzliche, nicht unerhebliche Investition darstellen.[4]

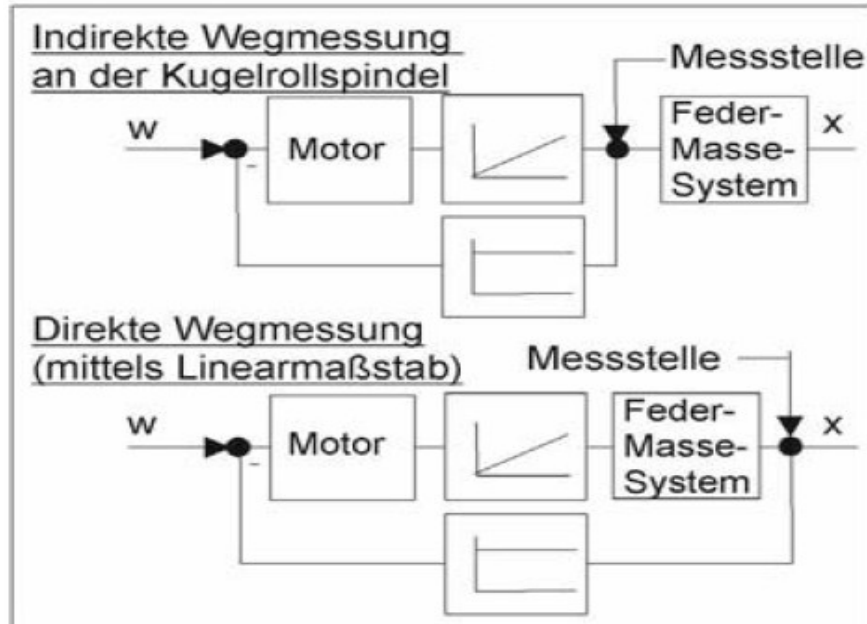


Abbildung 2.4: Indirekte/Direktewegmessung im Lageregelkreis [4]

2.2 Messen

Messen ist das quantitative Vergleichen zwischen einer Messgröße und einer Einheit. Mit physikalischen Größen können Eigenschaften von Körpern, Zuständen oder Verfahren beschrieben werden. Sämtliche physikalische Einheiten lassen sich auf das internationale SI- Einheitensystem zurückführen.[5]

2.2.1 Messfehler

Wird von einem Messgerät ein Messwert angezeigt, ist davon auszugehen, dass dieser nicht der richtige Wert sein muss. Der wahre Wert befindet sich im Bereich um das Messergebnis. Die Messabweichung ist immer die Summe aus mehreren, unterschiedlichen Fehlern. Es werden systematische und statistische Fehler unterschieden. Die beiden Fehler setzen sich zum Gesamtergebnis der Messabweichung zusammen.

Wird eine Messung mehrfach wiederholt, tritt immer der gleiche systematische Fehler auf, er zeigt also deterministisches Verhalten. Der statistische Fehler verhält sich anders als der Systematische. Es wird immer ein anderer Wert bei der Messung festgestellt. Ist der statistische Fehler „sehr klein“ im Vergleich zum Systematischen, kann von einer hohen Wiederholgenauigkeit ausgegangen werden.[2]

2.2.2 Koordinatenmesstechnik

In den letzten Jahrzehnten hat sich die Koordinatenmesstechnik als flexible und universell einsetzbare Methode zur Erfassung von fast jeder beliebigen Kontur etabliert. Die Koordinatenmesstechnik hat einen hohen Stellenwert im Qualitätsregelkreis. Produkte die aus dem Fertigungsprozess kommen, durchlaufen eine Produktprüfung. In der Produktprüfung wird festgestellt, in wie weit die Anforderungen an das Bauteil erfüllt sind. Bei Abweichungen gehen direkte Informationen an den Fertigungsprozess zurück und können berücksichtigt und ggf. korrigiert werden. Die Abbildung 2.5 zeigt den Qualitätsregelkreis.

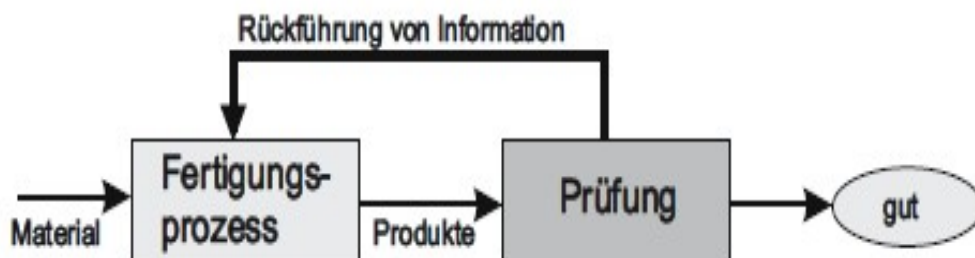


Abbildung 2.5: Qualitätsregelkreis[2]

Durch immer komplexer werdende Geometrien der Bauteile, war es nicht mehr möglich nur mit konventionellen Messmitteln die gefertigten Bauteile zu prüfen. Gerade die messtechnische Ermittlung von Formelementen und die räumliche Beziehung dieser Elemente zueinander war vor dem Einsatz der Koordinatenmesstechnik sehr aufwendig und nicht sicher beherrschbar. Neben den taktilen Messmethoden kamen durch die stetig verbesserte Rechnerleistung auch optische Messverfahren zum Einsatz und gewinnen

zunehmend an Bedeutung. Es gibt kein Messverfahren mit dem an jedem Bauteil jedes Merkmal erfasst werden kann. Abhilfe schaffen sogenannte Multisensorkoordinatenmessgeräte. Auf diesen Anlagen können unterschiedliche Sensortypen in einem Koordinatensystem verwendet werden. Es ist also möglich, messtechnische Probleme, die mit den beispielsweise taktilen Sensoren nicht erfasst werden können, auf der gleichen Maschine mit optischen Sensoren zu messen und zu beurteilen.[6]

2.2.3 Taktile Koordinatenmessmaschine

Bei taktilen Koordinatenmessmaschinen werden mit einer Kugel an einem Taststift befestigt, Einzelpunkte durch Berührung mit der Werkstückoberfläche erfasst. In die Einzelpunkte werden logisch, Ausgleichselemente eingepasst, die das Bauteil geometrisch beschreiben.

Man unterscheidet bei den taktilen Systemen im Wesentlichen, ob der Kontakt der Kugel mit der Werkstückoberfläche messend oder schaltend erfasst wird. Bei den schaltenden Systemen wird durch Auslenken des Taststiftes ein Schaltsignal und damit eine Messwertaufnahme ausgelöst. Das schaltende System oder der schaltende Messkopf ist nach dem Dreibeinprinzip aufgebaut und realisiert eine Dreipunktauflage, wobei jede Auflage als Schalter ausgebildet ist. Bei Kontakt zwischen Taster und Werkstück wird ein Schalter geöffnet und die Messpunktaufnahmen erfolgen. Abbildung 2.6 zeigt dieses Tastsystem.[7]

Schaltenden Tastsystemen ist es nur möglich Einzelpunktantastungen vorzunehmen. Messende Tastsysteme hingegen können unter ständigem Kontakt mit der Werkstückoberfläche eine Vielzahl von Antastungen aufnehmen und verarbeiten. Drei, parallel angeordnete, orthogonale Ebenen ermöglichen in allen sechs Raumrichtungen das Antasten des Bauteils. Die Auslösung des Schaltsignals wird auch hier durch das Auslenken des Tasterstifts erzeugt. Die Signalaufnahme bei einer Antastung erfolgt induktiv. siehe Abbildung 2.7.[3][7]

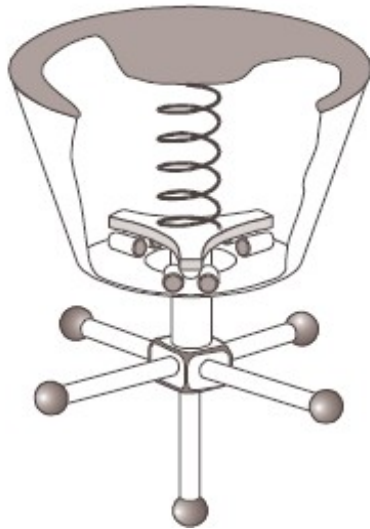


Abbildung 2.6: Schaltendes Tastsystem [3]



Abbildung 2.7: Messendes Tastsystem [3]

In den Abbildungen 2.6 und 2.7 sind Sterntaster zu sehen; die einzelnen Taster können angewählt werden und so fünf Seiten des Werkstücks erreichen und antasten. Neben den Sterntastern gibt es auch Koordinatenmessgeräte, die über eine Tasterschwenkeinrichtung verfügen.

2.4 Messtastersysteme für Bearbeitungszentren

Das Messen mit Messtastersystemen in Bearbeitungszentren gehört wie bei den Koordinatenmessgeräten zu den taktilen Messmethoden. Anfänglich wurde ausschließlich mit schaltenden Tastsystemen auf Werkzeugmaschinen gearbeitet. Heute ist es möglich, messende Tastsysteme auf einem BAZ einzusetzen. Der Hersteller Blum-Novotest hat vor kurzem einen messenden Taster „TC76-DIGILOG“ für den Einsatz in BAZ vorgestellt. Der Vorteil hier ist, dass man sehr große Bauteile, wie z.B. Zahnräder, die für die Windkraftenergie benötigt werden, direkt auf dem BAZ messen zu können. Durch den „Scan-Betrieb“ können Grafiken von Zahnprofilen erstellt werden. Zudem können Oberflächen unter ständigem Kontakt mit dem Messtaster abgefahren werden, um Flächenfehler zu ermitteln, die durch partiellen Schneidenausbruch entstehen. Die Signalerfassung erfolgt nicht wie beim klassisch messenden Tastersystem von KMM

induktiv, sondern mit Hilfe einer Lichtschranke. Hier wird der prozentuale Anstieg der Abschattung erfasst und ausgewertet. Auch der Hersteller Renishaw hat mit dem hoch genauen „RMP 600“ einen robusten Messtaster für den rauen Einsatz in BAZ's auf dem Markt. Der „RMP 600“ ist mit Dehnmessstreifen-Technologie ausgestattet und bietet dadurch die Möglichkeit, 3D-Messungen an Bauteilen vorzunehmen.[8][9] Die Abbildungen 2.9 (Blum Novotest), und 2.8 (Renishaw) zeigen die unterschiedlichen TS.



Abbildung 2.9: TC76 Blum Novotest



Abbildung 2.8: RMP600 Renishaw

Um die mechanische Schnittstelle zwischen Messtaster und BAZ herzustellen, wird dieser wie ein Bohrfutter oder eine Messerkopfaufnahme in eine Grundaufnahme eingespannt. MTS bestehen immer aus einem Messtaster, einer Empfängereinheit und einem Interface, wobei das Interface auch in der Empfängereinheit integriert sein kann. Die Signalübermittlung vom Messtaster kann entweder optisch, über Infrarottechnologie oder mit hochfrequenter Funktechnik übertragen werden. Die Art und Weise, wie ein Signal übertragen wird, hängt hauptsächlich von der Bauart der Maschine ab. Es spielt auch die Reichweite der Signalübertragung eine entscheidende Rolle zur Auswahl des Systems. Bewegen sich Messtaster und Empfänger auf einer Achse, sollte ein optisches System verwendet werden. Wenn aber der Taster eine Relativbewegung zu dem Empfänger ausführt, wird die Funktechnik angewendet. Zudem ist zu beachten, dass die Reichweite der Signalübertragungsart für die jeweilige Maschine ausreicht bzw. eventuell auch keinen Sinn mehr macht.

Die Signalübertragung per Funktechnik ist für besonders große Bearbeitungszentren vorgesehen, kann aber unter Umständen von Störquellen beeinflusst werden. Die Abbildungen 2.10 und 2.11 zeigen die unterschiedlichen Signalübertragungen und ihre Reichweite.

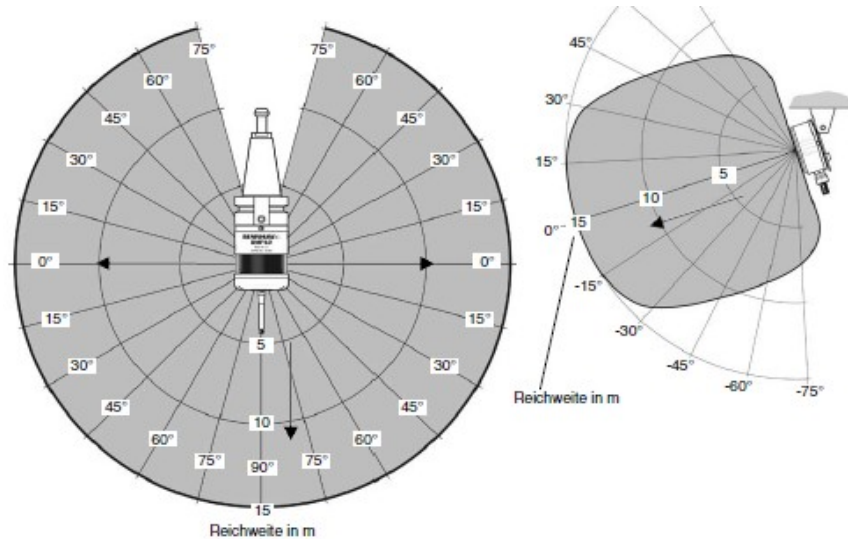


Abbildung 2.10: Messtastersystem mit Funk- Signalübertragung[8]

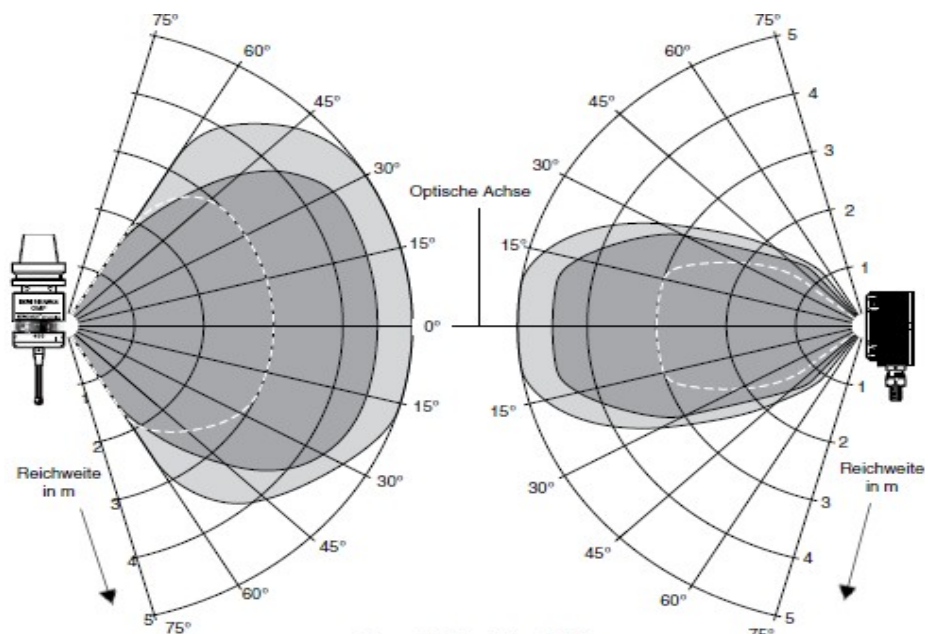


Abbildung 2.11: Messtastersystem mit Infrarot- Signalübertragung[10]

Mit speziellen Messzyklen, die der Hersteller anbietet, können Messaufgaben im Automatik- oder im Handbetrieb auf dem BAZ durchgeführt werden. Weiter können mit einer Software von einem Computer direkt in ein CAD-Modell Messroutinen erstellt werden, die auf dem BAZ ablaufen. Somit besteht die Möglichkeit, das eben noch gefertigte Bauteil direkt auf der Maschine zu protokollieren.[8][10]

2.5 Längenausdehnungskoeffizient α

Erfährt ein fester, metallischer Stoff eine Energiezufuhr in Form von Wärme, kann man beobachten, wie dieser länger wird. Mit der Anfangslänge l_0 und der sich ergebenden Länge l kann die Längendifferenz oder die Längenänderung Δl wie folgt berechnet werden:

$$\Delta l = l - l_0 \quad (2.1)$$

Wird ein metallischer Stab bekannter Länge um eine bekannte Temperaturdifferenz Δt erwärmt, wird dieser Stab um die Längendifferenz länger. Nimmt man nun das gleiche Material mit der doppelten Anfangslänge und erwärmt dieses wieder um die gleiche Temperaturdifferenz, ergibt sich genau die doppelte Längendifferenz. Es gibt also eine proportionale Beziehung aus dem Produkt von Temperaturdifferenz und Anfangslänge zu Längendifferenz.

$$\Delta l \sim \Delta t \cdot l_0 \quad (2.2)$$

Für Temperaturänderung Δt gilt, wie für die Längendifferenz Δl auch, Endwert minus Anfangswert.

$$\Delta t = t - t_0 \quad (2.3)$$

Unternimmt man den gleichen Versuch mit einem anderen metallischen Werkstoff unter denselben Bedingungen, ergeben sich zwar andere Längenänderungen aber die Proportionalität bleibt. Es existiert eine materialbezogene, physikalische Größe, der Proportionalitätsfaktor oder linearer Längenausdehnungskoeffizient α , mit der Einheit $[\text{°C}^{-1}]$. Somit ergibt sich die physikalische Gleichung (2.4) für die Längenänderung.

$$\Delta l = \alpha \cdot \Delta t \cdot l_0 \quad (2.4)$$

Für die Berechnung der absoluten Länge l ergibt sich durch Einsetzen der Gleichung (2.1) in (2.3) und Umstellung die Gleichung (2.5).

$$l = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t) \quad (2.5)$$

Zwar ist der Längenausdehnungskoeffizient nicht ideal linear, aber für die hier folgenden Temperaturbereiche ausreichend genau.[11]

2.6 Fehlerrechnung

Die Berechnungsgrundlagen, die hier geschaffen werden, beziehen sich auf zufällige und nicht erfassbare Fehler. Damit eine Fehlerrechnung durchgeführt werden kann, muss zunächst eine Messreihe aufgenommen worden sein.

Mit der Gleichung 2.6 wird der Mittelwert \bar{x} der Messreihen berechnet, die Einheit des Mittelwerts ist dieselbe wie die der Einzelwerte x_i .

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.6)$$

Die Standardabweichung σ , die in der Gleichung 2.7 gezeigt wird, ist die wichtigste Rechengröße für die zufälligen Abweichungen von den Einzelwerten x_i . Die Anzahl n der Messungen bestimmt die Zuverlässigkeit des Zahlenwerts σ_n .

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.7)$$

Die Spannweite R , berechnet sich mit der Gleichung 2.8. Sie ist die Differenz zwischen dem größten Wert x_{max} und dem kleinsten Wert x_{min} .

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (2.8)$$

Um die Informationen zu erhalten, wo sich der Mittelwert zum Erwartungswert μ befindet, wird mit der Gleichung 2.9 der Abstand g berechnet.

$$g = \bar{x} - \mu \quad (2.9)$$

Der Abstand g gibt außerdem Aufschluss darüber, ob in der Messreihe ein systematischer Fehler vorhanden ist. [6][12]

3 Aufgabenstellung

Bei der mechanischen Fertigung treten aufgrund von z.B. Bearbeitungskräften und Temperaturgängen, Abweichungen zwischen Soll- und Istmaß auf. Im Rahmen dieser Arbeit sollen die Möglichkeiten und Grenzen aufgezeigt werden, in wieweit der Einsatz von Messtastern auf WZM zur Kompensation der Maß-, Form- und Lageabweichungen möglich ist. Die Ungenauigkeiten, die am Werkstück entstehen und nicht aus dem Geometriefehler der BAZ's kommen, sind hauptsächlich Fehler die sich durch die Temperaturänderung ergeben.

Die Messungen, Berechnungen und Kompensationen sollen in die Bearbeitung integriert werden. Dadurch, dass die WZM das gerade gefertigte Bauteil vermisst, entfallen Nebenzeiten wie das Auf- und Abspannen der Bauteile. Zudem werden Bedienerfehler ausgeschlossen, die beim erneuten Ausrichten und Anfahren des Bauteils auftreten könnten. Mit Hilfe von Vergleichsmessungen zwischen einem Referenznormal (RN) und dem gefertigten Bauteil sollen weitere Fehler erkannt werden. Die Soll- und Ist-Abweichung vom RN zum Messergebnis am Bauteil, soll von der Steuerung der WZM selbstständig verrechnet und kompensiert werden.

Vorhandene Tastersysteme von den führenden Herstellern werden gegenübergestellt und die Vor- und Nachteile aufgezeigt. Die am Markt verfügbare Software kann hier nur bedingt eingesetzt werden. Zum Großteil muss für diese spezielle Messstrategie die Software erweitert werden.

Es gilt, ein möglichst universelles RN zu konstruieren und anzufertigen, welches für ein breites Aufgabenspektrum eingesetzt werden kann. Das RN wird nach der Fertigung auf einem KMG vermessen und protokolliert. Es muss gewährleistet werden, dass die Geometrie und Maßhaltigkeit bei Raumtemperatur (20°C) den vorgegebenen Toleranzen entspricht. Das RN befindet sich gemeinsam mit dem Bauteil im Arbeitsraum des BAZ's und dient vor jeder Messung zur Kalibrierung des Messsystems. Besonders die Temperaturgänge der Maschine können nur auf diesem Wege direkt erfasst und kompensiert werden.

Mit Hilfe von Makro-Programmen sollen die NC-Programme für die spezifischen Messaufgaben bauteilbezogen angepasst werden. Die NC-Programme werden so mit den

Makros verknüpft, dass diese automatisch, Zustellungen und Verfahrenswege in die Schlichtoperation einbeziehen. Die Abbildung 3.1 soll den schematischen Ablauf der Arbeit wiedergeben.

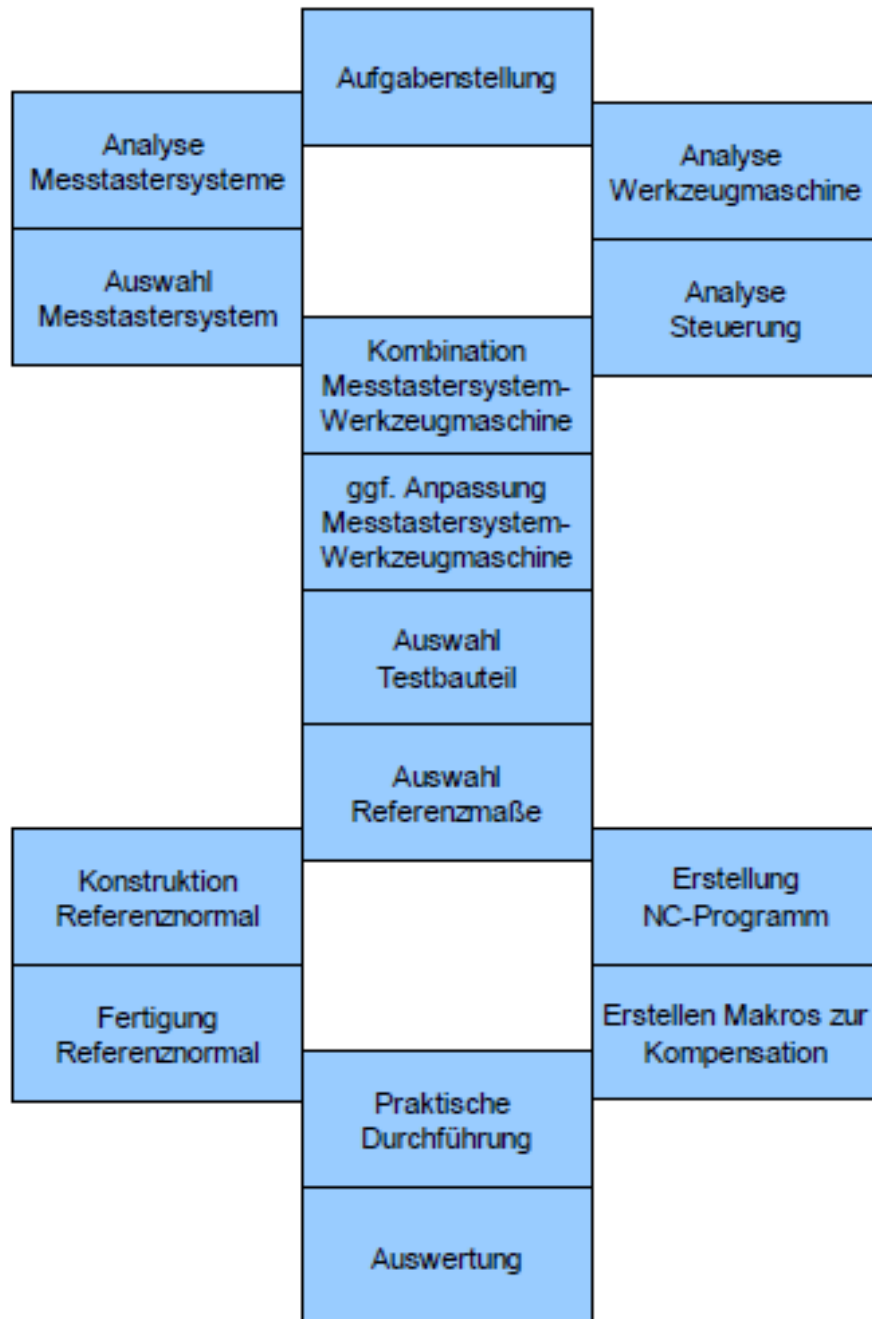


Abbildung 3.1: Ablaufplan

4 Herkömmliche Vorgehensweise

Um bei Großbauteilen hohe Genauigkeiten und enge Toleranzen erreichen zu können, werden diese, mit ihren aus der Zeichnung vorgegebenen Anforderungen, nicht in einem Arbeitsgang fertiggestellt. Zu viele Parameter könnten das Ergebnis beeinflussen und zum Ausschuss des Bauteils führen.

Das Unternehmen E.M.A. GmbH setzt schon seit einigen Jahren Messtaster in der spanenden Fertigung ein. Mit Hilfe von Messtastern und Messzyklen werden Rohteile vermessen. Außerdem werden Bohrungsdurchmesser erfasst.

Das Einmessen von Rohteilen ermöglicht die genaue Positionsermittlung des Bauteils nach dem Aufspannen, welches sich undefiniert im Arbeitsraum auf dem BAZ befindet. Nach dem Antasten des Bauteils kann der Werkstücknullpunkt ideal in das Bauteil gelegt werden und es kann mit der Bearbeitung begonnen werden.

Zum Einen entstehen bei großen Zerspanungsvolumen Spannungen, die die Geometrie des Bauteiles massiv beeinflussen. Es ist nicht ungewöhnlich, dass ein aufgespanntes Bauteil in der WZM gemessen, maßhaltig ist, und im entspannten Zustand auf dem KMM nicht im Bereich der geforderten Toleranzen liegt. Diese, aus dem Verzug bzw. aus der Verspannung entstehenden Maßabweichungen, können natürlich nicht mit einem Messsystem auf der WZM ermittelt werden. Hierfür wird es immer notwendig sein, Werkstücke möglichst in Gebrauchslage auf einem KMM zu messen, da so die elastische Verformung durch das Bauteileigengewicht berücksichtigt wird.

Zum Anderen ändern sich bei langen Laufzeiten die Fertigungsbedingungen auf der WZM in Abhängigkeit von der Temperatur. Es ist also von Nöten, Bauteile vor der Schlichtoperation zu messen, um festzustellen, ob gegebenenfalls Korrekturen erforderlich sind. Vormessen bedeutet aber, die Werkstücke müssen von der WZM abgebaut werden und zum Messen auf eine KMM gebracht werden.

Die anfallenden Wartezeiten können zu weiteren Fehlern durch Temperaturänderung führen. Weiterhin können sich auch beim erneuten Aufspannen, Spannfehler ergeben. „Zahlendreher“ bei der Korrektur Eingabe sind ein weiterer Schwachpunkt dieser Vorgehensweise.

5 Durchführung

Es soll nun gezeigt werden, in welchem Genauigkeitsbereich mit Messtastern gearbeitet werden kann und unter welchen Bedingungen der Einsatz von Messtastern auf einem BAZ messtechnisch die Grenze erreicht hat. Die Voraussetzung für die Durchführung der folgenden Versuche, die Grenzen und Möglichkeiten zu ermitteln, sind möglichst konstant bleibende Umgebungsbedingungen. Der wichtigste Punkt ist eine konstante Umgebungstemperatur in der Fertigungshalle. Da die Halle mit einer Klimaanlage ausgerüstet ist, schwankt die Temperatur um maximal +/- 1 Grad Celsius. Somit sind temperaturbedingte Fehler sehr gering und dadurch die Messwerte reproduzierbar.

5.1 Vier Achs-Bearbeitungszentrum Heckert CWK 1600

Das BAZ „Heckert CWK 1600“ ist ein horizontales Gross-Bearbeitungszentrum in Kreuzbettbauweise. Das BAZ ist mit einer Fanuc-16M Steuerung ausgerüstet. Diese Steuerung zeichnet sich durch hohe Programmierflexibilität und Prozesssicherheit aus. Aus der Abbildung 5.1 soll deutlich werden, welche Ausmaße dieses BAZ hat.



Abbildung 5.1: Heckert CWK 1600

Die als Schweißkonstruktion ausgelegten Hauptgruppen sind rechneroptimiert, thermosymmetrisch gestaltet und verfügen über eine hohe dynamische und statische Stabilität. Somit ist eine hohe Langzeitgenauigkeit und Bearbeitungspräzision gewährleistet. Auf dem Kreuzbett sind die Profilwälzführungen für den Rahmenständer

(Z-Achse) und den werkstückseitigen Tischschlitten (X-Achse) montiert. Die Y-Achse, die ebenso über Profilwälzführungen verfügt, trägt den Getriebekasten mit der Hauptspindel. Die Werkzeugaufnahme erfolgt über die HSK100-Schnittstelle. Über den Hohlchaftkegel zentriert sich das Werkzeug in der Hauptspindel. Es wird über die Plananlage an der Planfläche der Hauptspindel bei radial angreifenden Kräften abgestützt.

Die Verfahrswege der Maschine betragen 2300 x 1600 x 1525 mm [x,y,z]. Durch die Positionsunsicherheit von kleiner 0,007 mm können sehr genaue Bearbeitungen durchgeführt werden. Die vierte Achse (B-Achse) ist mit einer Eingabefreiheit von 0,001 Grad ein vollwertiger NC-Rundtisch und erlaubt eine Mehrseitenbearbeitung bei hoher Positioniergenauigkeit. Die Hauptspindel kann durch das im Antriebsmotor verbaute Messsystem bei Bedarf beliebig positioniert werden. Dadurch kann die Hauptspindel (C-Achse) als NC-Achse verwendet werden. Dabei leistet die Hauptspindel ein maximales Drehmoment von 1200 Nm und eine maximale Drehzahl von 6000 U/min. [1][13]

5.2 Lehren-Bearbeitungszentrum ENSHU 800V

Das Drei Achs-Lehren-Bearbeitungszentrum „ENSHU 800V“ mit vertikal angeordneter Spindel ist ein hoch genaues BAZ in Kreuzbettbauweise.[1] Mit der „Fanuc 15i“ werden die Prozesse gesteuert und überwacht. Das Kettenmagazin kann bis zu 40 Werkzeuge aufnehmen. Die Abbildung 5.2 zeigt das BAZ.



Abbildung 5.2: ENSHU 800V

Konstruktionsbedingt unterstützt das Maschinenbett die lineargeführte X-Achse auf der gesamten Verfahrlänge. Die Betten der X- und Y-Achse sind Schweißkonstruktionen. Der Fahrständer, der Spindelkopf mit Getriebekasten und der Tisch sind gegossen. Die Y-Achse ist als Fahrständer ausgelegt, dieses Prinzip; garantiert eine sehr präzise Bewegung dieser Baugruppe. Die translatorische Bewegung der Z-Achse erfolgt auf Flachführungen und trägt den Getriebekasten und den Spindelkopf. Damit Spindelwachstum während der Bearbeitung vermieden wird, verfügt der Spindelkopf über eine eigene Umlaufkühlung. Alle Achsen der ENSHU 800V werden mit einer Software temperatur-kompensiert.

Der Arbeitstisch hat eine Aufspannfläche von 2250 x 820 mm und ist für eine Tragfähigkeit von maximal 3000 kg ausgelegt. Der Verfahrweg in X-Richtung beträgt 2040 mm.

Die 2-stufige Getriebespindel besitzt einen Spindelkonus ISO 50 BIG-PLUS. Bei maximaler Drehzahl von 6000 U/min stehen 18,5 kW Arbeitsleistung zur Verfügung. Das max. Drehmoment von 520 Nm kann bei einer Spindeldrehzahl von 20- bis 345 U/min genutzt werden. Die Rundlaufgenauigkeit der Spindel beträgt 0,006 mm bei einem 300 mm langen Werkzeug. Keramik-Kugellager mit einem Innendurchmesser von 100 mm geben der Arbeitsspindel eine hohe Biegesteifigkeit und ermöglichen die guten Rundlaufeigenschaften.

Für den gesamten Verfahrbereich der 800V kann zuverlässig eine Positioniergenauigkeit von 0,005 mm und eine Wiederholgenauigkeit von +/- 0,0015 mm garantiert werden. Beim Zirkularfräsen wird eine Genauigkeit von 0,005 mm erreicht. Durch den Einsatz von direkten Messsystemen in jeder Achse wird noch einmal diese Präzision fundamementiert.

[14]

5.3 Koordinatenmessgerät EURO-C 123010

Das hier betrachtete KMG EURO-C 123010 von der Firma Mitutoyo hat ein Messvolumen von 1200 mm x 3000 mm x 1000 mm. Es können Bauteilgewichte bis 2000 kg bewerkstelligt werden. Das Portal gleitet in allen drei Achsen mit Luftlager auf einem 8000 kg schweren Granitblock. Das KMG verfügt über eine schaltende, motorisch PH-10M Tasterschwenkeinrichtung von Renishaw.

Die Präzisions-Glasmaßstäbe sind mit einer Auflösung von 0,0005 mm in einem temperaturstabilen Reinraum produziert. Neuartige, sich selbst nachstellende Luftlager, werden in allen Achsen eingesetzt. Die Maschine ist mit der Software „GEOPAK-3“ ausgerüstet, die sich auszeichnet durch eine Lernprogrammierung mit minimalem Bedienungsaufwand.

Der schaltende Messtaster von Renishaw verfügt über ein feinfühliges Tastsystem, das Antastungen aus allen Richtung mit einer hohen Reproduzierbarkeit erlaubt. Der Signalauslösung geht eine begrenzte Auslenkung der Tasterspitze voraus. Diese Tasterspitze ist in 720 fest arretierten Positionen schwenk- und kalibrierbar. Dadurch können mit wenigen Grundtastern sämtliche Messaufgaben abgearbeitet werden. Das KMM ist mit einer automatischen Tasterwechseleinrichtung ausgerüstet, die acht unterschiedliche Tasterkombinationen aufnehmen kann.[15]

5.4 Messtaster OMP60 und MP10 von Renishaw

Der Messtaster OMP 60 sowie der MP10 von Renishaw werden standardmäßig zum Einrichten und Messen von Werkstücken auf horizontalen und vertikalen BAZ's eingesetzt. Die Signale der Messtasters werden optisch mit Infrarottechnologie an die Steuerung übermittelt. Bei Berührung des Messtasters mit der Werkstückoberfläche wird ein optisches Signal „OMP“ an den Empfänger „OMM“ gesendet. Der Empfänger gibt das Signal an das „MI12“ Interface weiter, das die Konvertierung der Signaldaten in die Steuerung ermöglicht. Abbildung 5.3 zeigt das Messtastersystem.

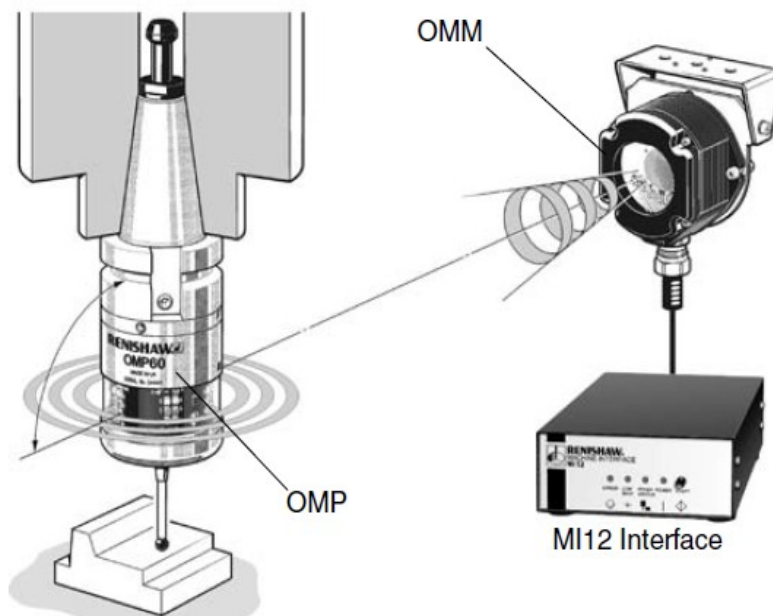


Abbildung 5.3: Optisches Messtastersystem von Renishaw[8]

Mit den, vom Hersteller zur Verfügung gestellten, Messzyklen werden unterschiedlichste Anwendungen unterstützt. Die Messzyklen sind auf die Steuerung des BAZ zugeschnittene Programme, die im Handbetrieb oder im Automatikbetrieb als Hauptprogramm sowie als Unterprogramm aufgerufen werden können.

Die Tabelle 5.1 beinhaltet die wichtigsten Eckdaten der Messtaster OMP60 und PM10. Aus den Werten der Tabelle 5.1 ist ersichtlich, dass sich die beiden Messtaster in ihren technischen Spezifikationen kaum unterscheiden.

		MP 10	OMP 60
Wiederholgenauigkeit (2σ)**		1,0 μm	1,0 μm
Antastkraft	X-Y Ebene	0,75-1,4 [N]	0,75-1,4 [N] *
	Z Richtung	4,9 [N]	5,3 [N] *
Antastgeschwindigkeit		480 [mm/min]	480 [mm/min]

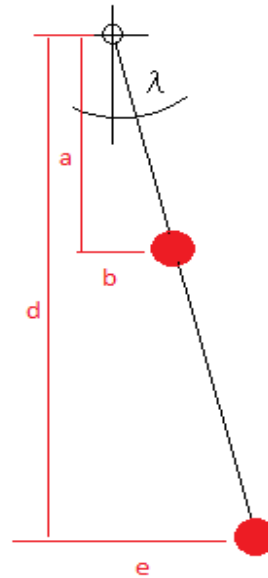
Tabelle 5.1: Taster Eckdaten (*Einstellbar), (** 50 mm Tastereinsatzlänge) [8]

Die Werte in der Tabelle 5.1 sind vom Hersteller angegeben. Bei dem OMP60 kann die Antastkraft in jeder Antastrichtung manuell eingestellt werden. Die Wiederholgenauigkeit der Messtaster von einem Mikrometer sind von der Tastereinsatzlänge sowie der Antastgeschwindigkeit abhängig.

5.4.1 Wiederholgenauigkeit bei längerem Tastereinsatz

Die Messtasterhersteller geben für ihre MTS eine Wiederholgenauigkeit an. Diese Wiederholgenauigkeit wird aber nur unter den vom Hersteller angegebenen Voraussetzungen erreicht. Verändert man Parameter, die Einfluss auf die Wiederholgenauigkeit haben, wie z.B. Veränderungen der Tastereinsatzlänge, können die vom Hersteller angegebenen Werte nicht mehr eingehalten werden.

Das Messwerk des MT hat mechanische Komponenten, die eine gewisse Ungenauigkeit mit sich bringen. In der Abbildung 5.4 wird gezeigt, wie sich die Verlängerung eines Messtastereinsatzes auf das Messwerk und damit auf die Wiederholgenauigkeit auswirkt.



*Abbildung 5.4: Taster/
Tasterverlängerung*

Damit eine Messwertaufnahme erfolgen kann, muss der Tastereinsatz um einen gewissen Winkel λ ausgelenkt werden. Bei einer Tasterlänge von a ist der Weg b zurückzulegen, der notwendig ist, um das Tastsignal auszulösen. Bei doppelter Tasterlänge, muss so mindestens der doppelte Antastweg verfahren werden, um den Auslösewinkel λ zu erreichen.

5.4.2 Durchbiegen von Tasterschäften

In dem Moment, in dem die Tasterkugel die Werkstückoberfläche berührt, erfolgt noch keine Messwertaufnahme, dazu ist eine gewisse Kraft erforderlich. Diese Kraft bewirkt eine plastische Verformung des Messtasters, die aber bei der Kalibrierung erkannt und bei Messaufgaben berücksichtigt wird.

Unter gewissen Bedingungen kann das Durchbiegen des Tasterschafts trotzdem Einfluss auf das Messergebnis haben, z.B. dann, wenn die Anfahrriichtung an einem Messpunkt eine andere ist, als bei der Kalibrierung. Wird der Taster in der X-Y Ebene parallel zu den Achsen kalibriert, sollte auch, wenn möglich, in gleichen Richtungen beim Messen angetastet werden.

5.4.3 Taster kalibrieren

Das Kalibrieren von Messtastern für den Einsatz auf dem BAZ ist nicht zwingend notwendig. Die Anwendung des Tasters entscheidet, ob es sinnvoll ist, den Taster zu kalibrieren oder nicht. Wird beispielsweise ein Rohteil eingemessen, ist die Grundgenauigkeit vollkommen ausreichend. Sollte der Taster aber bei anspruchsvollen Messaufgaben zum Einsatz kommen, ist es von dringender Notwendigkeit den Messtaster zu kalibrieren. Wenn Tastereinsätze getauscht werden oder wenn manuelle Eingriffe vorgenommen werden, ist eine Kalibrierung zwingend erforderlich.

Der Messtaster sollte in folgenden Fällen kalibriert werden:

- ein neuer bzw. anderer Tastereinsatz wird installiert
- ein Tastersystem kommt zum ersten Mal zum Einsatz
- die Wiederholgenauigkeit ist nicht mehr gegeben
- in regelmäßigen Intervallen, um eine Grundgenauigkeit zu erhalten
- sollten Kollisionen oder andere Einflüsse die Genauigkeit beeinträchtigt haben

Beim Kalibrieren gilt es, die Position der Tasterkugel im Maschinenkoordinatensystem zu definieren, das heißt die genaue Tasterlänge, der Tastermittenversatz zur Spindelachse der Maschinen und der Durchmesser der Tasterkugel müssen bestimmt werden.

Gerade bei sehr genauen Messungen sollte der Durchmesser des Lehrings (Einstellnormal) so gewählt werden, dass er dem zu messenden Durchmesser im Bauteil entspricht. Für Messaufgaben, die das Prüfmittel aus MTS und WZM ausreizen, sollte nach jedem Werkzeugwechsel der Messtaster kalibriert werden. Andernfalls könnte das Messergebnis durch den Werkzeugwechselfehler beeinflusst werden.

Ein Messtaster ist vollständig kalibriert, wenn die genaue Länge, der Tasterkugelradius und der Mittenversatz der Tasterkugel bestimmt sind. Damit der Taster kalibriert werden kann, bedarf es eines bekannten Maßes, welches sich auf das Maschinenkoordinatensystem bezieht.

Das bedeutet, die Position des Kalibrierrings muss eine definierte Position im Maschinenkoordinatensystem haben, damit der Tasterkugelradius und der Mittenversatz von dem BAZ berechnet werden können. Um die genaue Länge des Messtasters zu bestimmen, kann im einfachsten Fall, sofern möglich, der Maschinentisch im Kalibriermodus angemessen werden.

Für unterschiedliche Messaufgaben gibt es zwei Möglichkeiten den Messtaster zu kalibrieren:

Wenn nur der Durchmesser einer Bohrung genau ermittelt werden soll, reicht es, den Taster mit positionierter Spindel in einem bekannten Leerring zu kalibrieren.

Wenn außerdem auch die Position der Bohrung gemessen werden soll, gibt es zwei Möglichkeiten der Kalibrierung. Entweder man kennt die genaue Position des Leerrings im Koordinatensystem der WZM, oder man nutzt die Option der definierten Spindelpositionierung und vermisst den Taster bei C0 und C180.

Aus den Informationsblättern der WZM sowie der Messtaster geht hervor, dass unter idealen Bedingungen sehr genaue Messungen möglich sind. In der Praxis sind die idealen Bedingungen selten realisierbar. Oft beeinflussen Kühlwasser, Temperaturgänge und auch Verschmutzungen die Messergebnisse.

5.5 Einsatz von Messtastern unter realen Bedingungen

Die Untersuchung wird auf dem vertikalen Lehren-Bearbeitungszentrum „ENSHU 800V“ realisiert. Die Fertigungsaufgabe besteht in der Nacharbeit einer 6H5 Bohrung, die auf einem Fertigdurchmesser von 6,2H5 gespindelt wird. Nach DIN ISO 286-1, hat das tolerierte Maß 6,2 eine Toleranzklasse von $h5$. Dies bedeutet, der Toleranzgrad 5 erlaubt ein Fertigmaß zwischen $6,200$ und $6,205$ mm. [16]

Damit nicht jedes einzelne Bauteil der Kleinserie vom Maschinenbediener ausgerichtet werden muss, wird ein Einmesszyklus in den Fertigungsablauf eingebunden. Der Messtaster „OMP 60“ vermisst den Fertigdurchmesser 6,2H5 mm auf dem BAZ.

Diese Messaufgabe soll Aufschluss darüber geben, ob der Messtaster und die WZM genügend Potential haben, ein sicheres und vertrauensvolles Messergebnis zu liefern.

Die Durchführung läuft nach folgendem Schema ab:

- Werkstück auf dem Maschinentisch aufspannen, Werkstücknullpunkt G55 wird für das Einmessen des Bauteils bestimmt, (nur beim ersten Werkstück)
- Einrichten des Lehrings im Arbeitsraum der Maschine (Nullpunkt zur Kalibrierung des Messtasters, G54)
- Bearbeitungsnullpunkt G56 wird vom Messtaster für jedes Bauteil bestimmt. G56 ändert sich mit jedem Bauteil
- Bohrung wird gespindelt
- Passung 6,2 H5 wird mit Messtaster gemessen, Aufnahme einer Messreihe
- Werkstück wird auf dem KMG gegengemessen, Aufnahme einer Messreihe
- Die Messreihen werden verglichen und beurteilt

Die grobe Positionierung des Bauteils im Arbeitsraum erfolgt über drei feste Anlagepunkte. Hier wird der Werkstücknullpunkt G55 vergeben. Da über die Anlagepunkte die Position der Bohrung indirekt erfasst wird, erfolgt die exakte Bestimmung der Bohrung mit einem Messtaster. Die Abbildung 5.5 zeigt die Positionsabweichungen der einzelnen Bohrungen.

Der schwarze Kreis ist durch den Werkstücknullpunkt G55 definiert und dient lediglich als grobe Orientierung für den Einmessvorgang. Die blauen Kreise symbolisieren die unterschiedlichen Bauteile und die Positionen der Bohrungen, die sich durch die festen Anlagen ergeben. Die Differenzmaße, ΔX und ΔY die sich mit jedem Werkstück ändern, werden von dem Messtaster gemessen und in den Bearbeitungsnullpunkt G56 geschrieben.

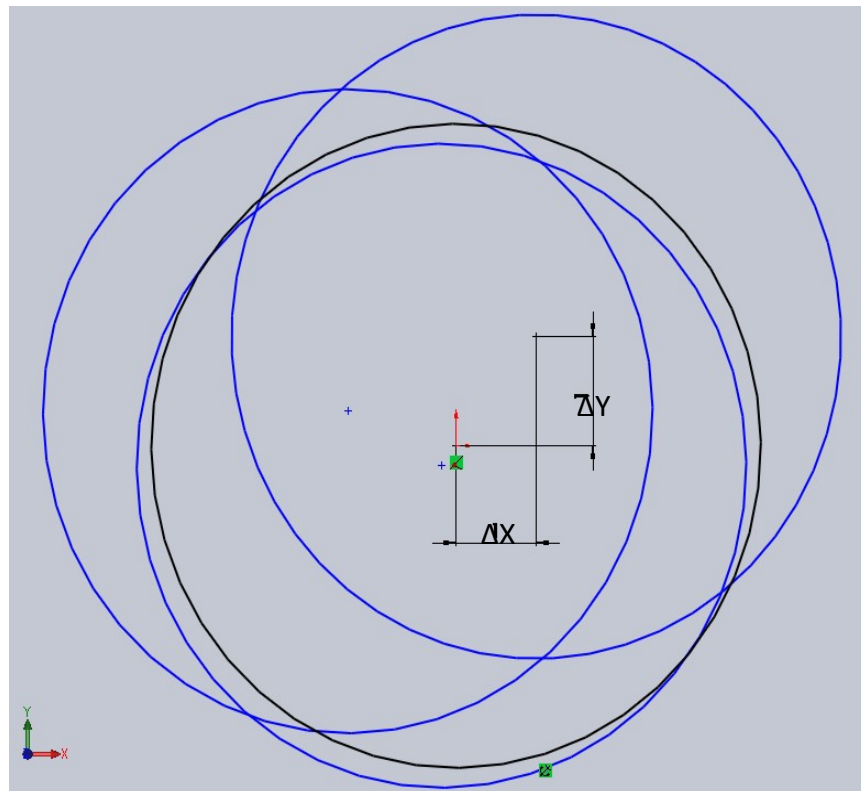


Abbildung 5.5: Beispielhafte Positionsverschiebung unterschiedlicher Bauteile

Abbildung 5.6 zeigt den prinzipiellen Aufbau der Fertigungs- und Messaufgabe auf dem BAZ „ENSHU 800V“. Der rote Pfeil zeigt auf den Lehring.

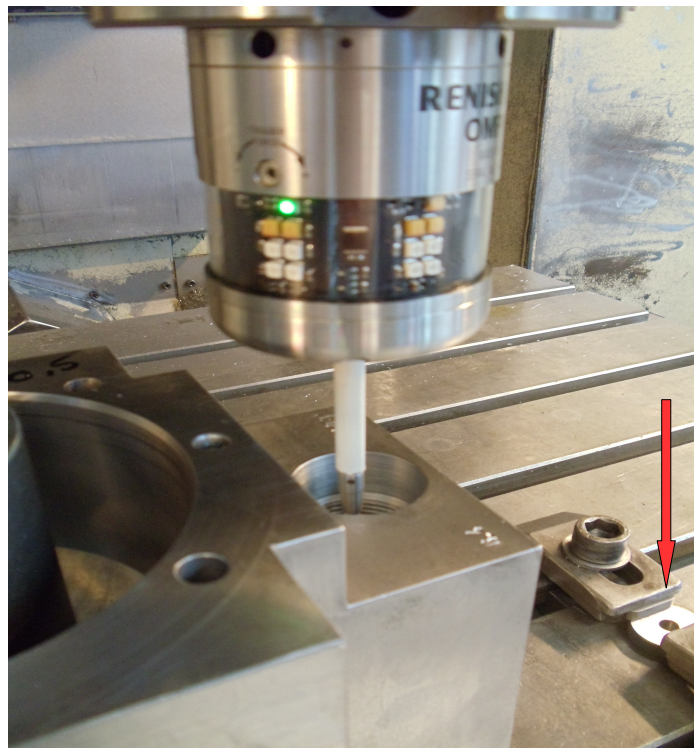


Abbildung 5.6: Fertigungsmessaufgabe

Unmittelbar neben dem Werkstück ist ein Lehring positioniert, mit dem der Messtaster nach dem Einwechseln in das BAZ vor jeder Messung kalibriert wird. Dadurch kann der Werkzeugwechselfehler das Messergebnis nicht beeinflussen und die Messunsicherheit wird minimiert. Zusätzlich ist zu beachten, dass aufgrund der schlechten Zugänglichkeit der zu messenden Bohrung der Taster verlängert werden muss.

Mit dem Messtaster „OMP 60“ wird zunächst die Position der vorgefertigten Bohrung bestimmt. Diese wird jeweils im Bearbeitungskoordinatensystem G56 abgeleitet.

Im nächsten Schritt wird die Passung 6,2H5 mit einem Spindelsystem „Multi Bore“ der Firma Wohlhaupter hergestellt. In Abbildung 5.7 ist der Ventilkörper in der Schnittdarstellung zu sehen.

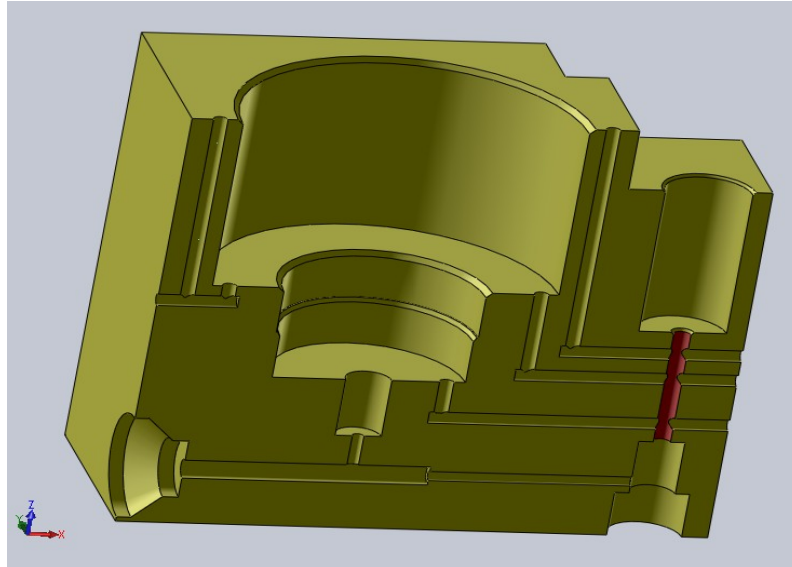


Abbildung 5.7: Schnittdarstellung Ventilkörper

Der rot eingefärbte Zylinder deutet die zu fertigende Bohrung an, die über eine Länge von 35 mm ausgespindelt werden soll.

Abbildung 5.8 zeigt das Spindelwerkzeug vor seinem Einsatz. Nach Fertigstellung der Bohrung wird der Durchmesser der Bohrung mit dem Messtaster bestimmt.

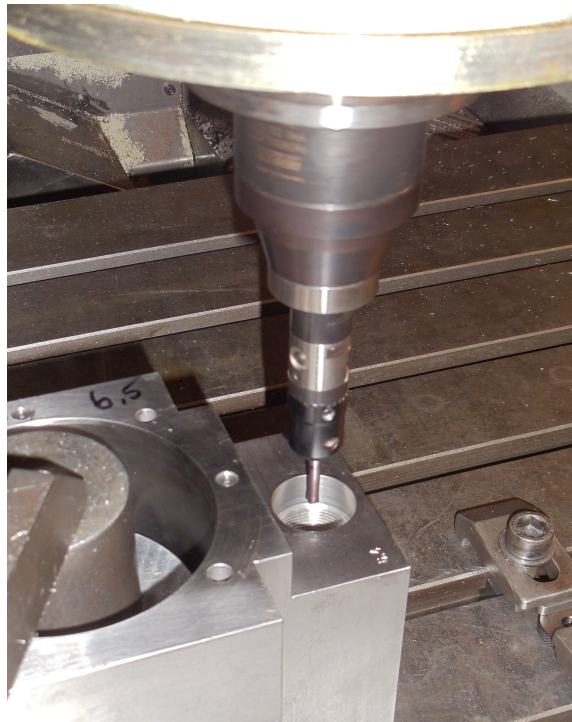


Abbildung 5.8: Spindelwerkzeug im Einsatz

Fertigungstechnisch ist das Spindeln dieser Bohrung, bedingt durch die Länge und den unterbrochenen Schnitt, eine Herausforderung und nicht einfach zu bewerkstelligen. Das Spindelwerkzeug muss sehr lang ausgelegt werden. Das schlechte Verhältnis von Durchmesser zur Länge des Werkzeugs kann unter Umständen dazu führen, dass das Werkzeug unter dem Schnittdruck ausweicht und nicht der geforderte Durchmesser gefertigt werden kann.

5.5.1 Prüfmittelfähigkeit

Im Folgenden soll untersucht werden, ob die Prüfmittelfähigkeit mit dem System aus WZM und MT für diese Anwendung ausreichend genau ist. Nach dem Datenblatt für den Messtaster OMP 60 von Renishaw hat dieser eine Wiederholgenauigkeit von $1,0 \mu m$ bei 2σ , einer Antastgeschwindigkeit $v_{Antast} = 480 [mm/min]$ und einer Tastereinsatzlänge $L_T = 50 [mm]$. Die WZM hat eine Wiederholgenauigkeit von $1,5 \mu m$.

Um die Bohrung im Inneren des Bauteils zu erreichen, muss der Taster verlängert werden. Abbildung 5.9 zeigt den Messtaster während einer Messoperation am Bauteil.



Abbildung 5.9: Messtaster im Einsatz

Durch die längere Tastereinsatzlänge von $L_T=130\text{ mm}$ und durch den im Durchmesser reduzierten Taststift, kann das Messergebnis aufgrund größerer Biegung negativ beeinflusst werden. Die Antastgeschwindigkeit, v_{Antast} ist auf 30 mm/min reduziert, um der Biegung entgegen zu wirken.[10]

Nach Fertigstellung der Passung, misst der MT die Bohrung eines Werkstücks zwölf mal. Die Messwerte sind in der Tabelle 5.2 aufgezeigt.

Anzahl Messungen n	Messwert BAZ [mm]
1	6,200
2	6,198
3	6,201
4	6,202
5	6,198
6	6,199
7	6,199
8	6,199
9	6,198
10	6,201
11	6,202
12	6,200

Tabelle 5.2: Messreihe 6,2H5 auf BAZ

Es fällt auf, dass die Messwerte um das Maß 6,2 liegen. Außerdem zeigt die Messreihe das etwa die Hälfte der Bohrungen zu klein sind und damit nicht in der Toleranz liegen.

Die identische Messreihe wird auf dem KMM wiederholt um die Messreihe vom BAZ besser deuten zu können.

Die Tabelle 5.3 zeigt die Messreihe, die auf dem KMM gemessen wurde. Aus der Tabelle geht hervor, das die Anzeige der KMM eine Nachkommastelle mehr ausgibt. Und das alle gemessenen Werte nahe der oberen Toleranzgrenze liegen.

Anzahl Messungen n	Messwert KMM [mm]
1	6,2052
2	6,2050
3	6,2048
4	6,2051
5	6,2052
6	6,2049
7	6,2050
8	6,2053
9	6,2049
10	6,2052
11	6,2050
12	6,2051

Tabelle 5.3: Messreihe 6H5 auf KMM

In der Abbildung 5.10 sind die Messwerte von der WZM und dem KMG mit ihren Mittelwerten aufgezeigt.

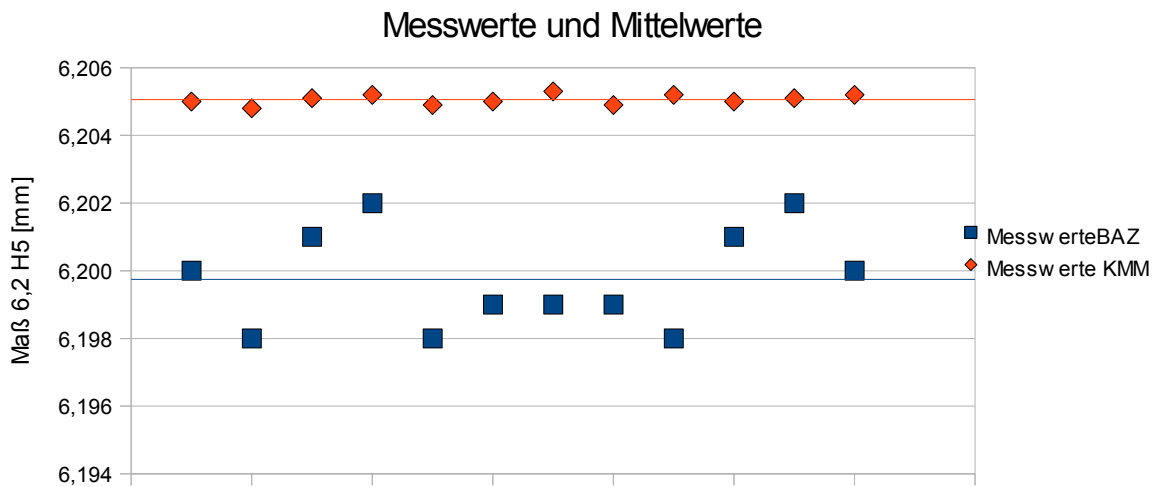


Abbildung 5.10: Meßreihen der 6,2 H5 Passung vom BAZ und KMM

Mit den Gleichungen aus dem Abschnitt „Fehlerrechnung“ wird der Mittelwert, die Standardabweichung, die Spannweite sowie der Abstand vom Mittelwert zum Erwartungswert für die Messreihen von der KMM und dem BAZ berechnet und in der Tabelle 5.4 gezeigt. Der Erwartungswert μ ist die Mitte der Toleranz der Passbohrung mit $\mu=6,2025\text{ mm}$.

Die Tabelle 5.4 zeigt die für die statistische Berechnungen wichtigen Werte.

	BAZ	KMM
Mittelwert \bar{x}	6,1998	6,2051
Standardabweichung σ	0,0015	0,0002
Spannweite R	0,0040	0,0005
Abstand Mittelwert zum Erwartungswert g	-0,0028	0,0026
Absoluter Abstand g_a	0,0054	

Tabelle 5.4: Daten für statistische Auswertung

Wie aus der Tabelle 5.4 zu entnehmen ist, liegt der tatsächliche Bohrungsdurchmesser bei 6,2051 mm. Er ist also um 0,0026 mm vom Erwartungswert entfernt. Daraus folgt ein absoluter Versatz von $g_a=0,0054\text{ mm}$.

Die Abbildung 5.11 stellt die gemessenen Werte der Messreihen vom KMM und dem BAZ grafisch dar. Außerdem ist in der Abbildung der Erwartungswert (mittlere Toleranz) und das Toleranzband gezeigt.

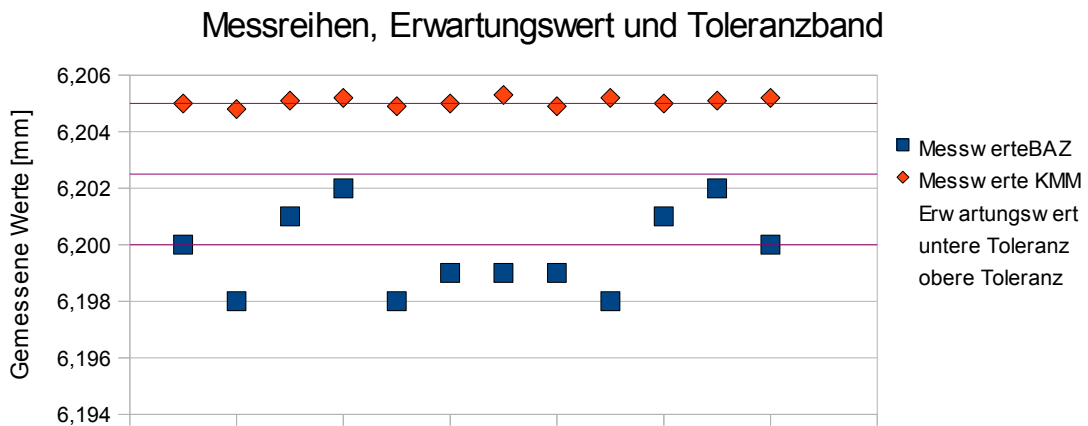


Abbildung 5.11: Messreihen, Erwartungswert und Toleranzband

Die roten Messwerte sind vom KMM gemessen und sollen als Bezug dienen. Die blauen Messwerte sind die Messwerte, die auf dem BAZ mit den MT gemessen wurden. Die lila Linien zeigen die obere und untere Toleranz sowie den Erwartungswert μ .

Die Daten vom KMM werden verwendet, um festzustellen, ob die Messmöglichkeiten des BAZ ausreichen, um das Ist-Maß der Passbohrung hinreichend sicher zu bestimmen. Es muss sowohl die Streuung der Werte als auch der absolute Versatz des Mittelwertes von den gemessenen Werten des BAZ beachtet werden. Die Werte, die von der KMM ermittelt wurden, streuen kaum und werden als Ist-Wert angenommen. Das BAZ weist eine deutlich höhere Streuung und einen absoluten Versatz der Messwerte auf. Es kann festgestellt werden, dass das Messmittel aus BAZ und MT eine nicht hinreichende Wiederholgenauigkeit hat, um diese Aufgabe sicher zu dokumentieren.

Es ist somit aufgezeigt, dass das BAZ nicht in der Lage ist, den vorgegebenen Toleranzbereich hinreichend genau zu ermitteln. Aus der Abbildung 5.11 geht hervor, dass sich der Fehler aus einem systematischen und einem zufälligen Fehler zusammensetzt.

Die Spannweite der gemessenen Werte nimmt fast den gesamten Toleranzbereich in Anspruch. Zudem ist der Mittelwert der Messreihe um den Betrag $g_a = 0,0054 \text{ mm}$ verschoben. Dies deutet auf einen systematischen Fehler hin, der zwar hier berücksichtigt werden könnte, aber in der Praxis keine Bedeutung hat, da davon auszugehen ist, dass sich

dieser Fehler unter anderen Bedingungen verändert. Die Spannweite mit $R=0,004 \mu m$ deutet auf eine Wiederholunsicherheit hin, die nicht beherrschbar ist.

Um festzustellen, ob sich der Messprozess eignet, kann eine Prüfmittelfähigkeitsuntersuchung durchgeführt werden. Unterschiedliche Verfahren können Aufschluss über die Fähigkeit der Prüfmittel geben. Allerdings eignen sich nicht alle Verfahren gleich gut zur Ermittlung.

Bevor ein Verfahren ausgewählt und zur Beurteilung des Prüfprozesses herangezogen wird, sollte die kleinste Auflösung des Messsystems betrachtet werden. Der Grenzwert der Auflösung sollte 5% [17] der Toleranz nicht überschreiten. Mit der Gleichung 5.1 wird der Wert der Auflösung in Prozent berechnet.

$$Auflösung_{\text{Prozent}} = \frac{Auflösung}{Toleranz} \cdot 100 \quad (5.1)$$

Die Digitalanzeige der WZM zeigt Zahlenwerte bis zur dritten Nachkommastelle an, die kleinste Auflösung ist somit 0,001 mm. Die Passung 6,2 H5 hat einen Toleranzgrad von 0,005 mm. Es lässt sich eine prozentuale Auflösung von 20% errechnen. Damit kann hier eine weitere Betrachtung der Prüfmittelfähigkeit abgebrochen werden.[17]

5.5.2 Beurteilung

Die großen Unterschiede der Messwerte zwischen der KMM und dem BAZ haben gezeigt, dass Toleranzen in diesem Bereich nicht sicher auf der WZM gemessen werden können.

Weiter wurde gezeigt, dass die WZM eine nicht hinreichend genaue Auflösung bietet, um genauere Messergebnisse abzulesen. Schaut man sich die Messreihe der WZM aus Tabelle 5.2 an, würde eine exaktere Auflösung keinen Vorteil bringen, da die Streuung der einzelnen Werte zu groß ist.

Werden die Werte von Auflösung und Toleranz in Gleichung 5.1 eingesetzt, ergibt sich ein Ergebnis von 20%. Daraus lässt sich mit einer guten Bestimmtheit sagen, dass das Prüfmittel nicht hinreichend genau Auskunft über den wahren Messwert gibt. Für die Bestimmung von Nullpunkten ist das System hinreichend genau. Jedoch können solch kleine Toleranzen nicht sicher gemessen werden.

Allerdings muss bei dieser Betrachtung darauf hingewiesen werden, dass das Tastsystem bei der vom Hersteller vorgesehenen Tasterlänge von $L=50\text{mm}$ deutlich bessere Ergebnisse liefern würde.

5.6 Möglichkeiten an Großbauteilen

Aus Abschnitt 5.5 sind die messtechnischen Möglichkeiten auf einem BAZ mit einem Messtastersystem deutlich geworden und sollen in diesem Kapitel berücksichtigt werden. Bei Toleranzen kleiner 10 Mikrometer können keine vertrauensvollen Messergebnisse mehr erreicht werden. Aus der Tabelle 5.1 geht hervor, dass der hier verwendete Messtaster MP10 dem OMP 60 in seinen messtechnischen Grundlagen identisch ist. Daher ist davon auszugehen, dass gleiche Messeigenschaften vorliegen.

Da größere Bauteile nach dem Toleranzsystem DIN ISO 286-1, -2 toleriert werden, ergeben sich bei größeren Bauteilabmaßen größere Toleranzen. Dadurch kann der systematische Fehler aus dem Prüfmittel bei größeren Toleranzen eher vernachlässigt werden. Die Abbildung 5.12 zeigt, welche Größenordnung die Bauteile bei der Firma E.M.A. annehmen können.



Abbildung 5.12: Heckert CWK 1600 Athletic

Um Maßabweichungen, die zufällig auftreten, zu erfassen, wird ein Referenzmaß genutzt. Es wird sich aufgrund von unterschiedlichen Einflüssen verändern. Diese Veränderung wird erfasst und soll berücksichtigt werden. Im Folgenden wird ein Werkstück betrachtet, das ein Bearbeitungsmaß fordert, welches aufgrund seiner engen Tolerierung fertigungstechnisch große Ansprüche stellt.

5.6.1 Auswahl Bauteil

Ausgewählt wurde ein Maschinenbauteil aus AlMgSi1. In dieses Maschinenbett sollen vier Bohrungen eingebracht werden, jeweils zwei Bohrungen haben einen Bezug zueinander. Der Abstand x der Passbohrungen ist mit $x=1450\pm 0,1\text{ mm}$ angegeben. Diese Toleranz konnte sicher eingehalten werden. An diesem Werkstück wird geprüft, welche Toleranzeinschränkung mit oben beschriebener Vorgehensweise möglich ist.

In diesem Abschnitt der Arbeit soll geprüft werden, ob es möglich ist, eine Toleranz von $x=1450\pm 0,025\text{ mm}$ sicher zu fertigen. In der Abbildung 5.13 ist das zu fertigende Abstandsmaß in einer 3D-Zeichnung des Bauteils angedeutet.

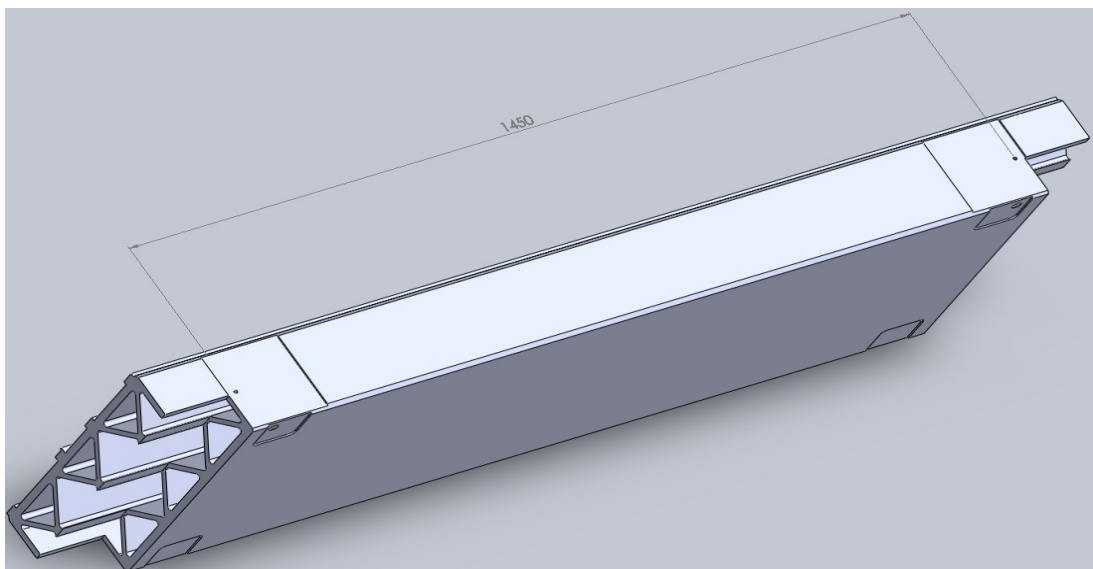


Abbildung 5.13: 3D-Zeichnung: Abstandsmaß 1450mm

Die Aufspannung des Bauteils ist in der Abbildung 5.14 zu sehen. Die Vorrichtung ist so konstruiert, dass alle drei Aufspannungen die zur Fertigstellung des Bauteils nötig sind auf ihr realisiert werden. Die Vorrichtung ist sehr stabil konstruiert, dadurch sollen elastische Verformungen durch große Prozesskräfte verhindert werden. Das Bauteil welches flach auf der Vorrichtung montiert ist, befindet sich in der Position in der auch die Passbohrung eingebracht werden.



Abbildung 5.14: Maschinenbett auf der Mehrfachvorrichtung

An dieser Stelle wird noch einmal die Gleichung 5.1 herangezogen, um auf die Auflösegenauigkeit hinzuweisen und hier zu zeigen, dass das Messmittel aus dem BAZ „HEC 1600“ und dem MT „PT 10“ hinreichend genau ist.

Die Auflösung von $0,001\text{ mm}$ sowie die gewählte Toleranz von $0,05\text{ mm}$ wird in die

$$\text{Gleichung 5.1 eingesetzt: } \text{Auflösung}_{\text{Prozent}} = \frac{\text{Auflösung}}{\text{Toleranz}} \cdot 100 = \frac{0,001\text{ mm}}{0,05\text{ mm}} \cdot 100 = 2\text{ Prozent}$$

Die Auflösegenauigkeit von 2% zeigt, dass das Messmittel bei dieser Betrachtung ein hinreichendes Potenzial hat, um die Messaufgabe zu bewerkstelligen.

5.6.2 Referenznormal

Das RN ist eine Maßverkörperung oder Einstellmaster, welches einen Wert, in diesem Fall eine Länge, in Millimeter speichert. Durch die Wahl des zu optimierenden Fertigungsprozesses wird das RN bestimmt.

Um die Gestaltung so einfach wie möglich zu machen, wird das RN in die Vorrichtung des Bauteiles integriert.

Weitere Vorteile dieser Ausführung sind:

- Es werden keine zusätzlichen Bauteile im Arbeitsraum des BAZ benötigt
- Es werden keine weiteren Störkanten gebildet
- Es muss keine Umprogrammierung des bereits laufenden Programms durchgeführt werden
- Das Referenzmaß M_R befindet sich in unmittelbarer Umgebung des zu messenden Bauteils

Das Referenzmaß $M_R=1660,1\text{ mm}$ wurde gewählt, da im Abstandsbereich der Fertigungsbohrungen (1450 mm) keine Möglichkeiten bestanden, die Referenzbohrungen in die Vorrichtung einzubringen.

Da das Referenzmaß als temperaturabhängige Größe dienen soll, wird auf der KMM das gefertigte Referenzmaß M_R bei Raumtemperatur gemessen. Die Abbildung 5.15 zeigt das Prüfprotokoll des Referenzmaßes.

E.M.A. Maschinen u. Apparatebau GmbH		Datum 20.02.2012	Uhrzeit 13:20	Seite 1/1
		Prüfer: Lambrecht		Protokollnummer: 0
Auftrags-Nr.	Artikel-Nr.	Zeichnungs-Nr.		
Benennung REFERENZNORMAL	Teile-Nr.	Arbeitsgang		

Sp.	Zeile	Element	Pkt.	X-Koo. X-Winkel	Y-Koo. Y-Winkel	Z-Koo. Z-Winkel	Durchmesser Abst./Winkel	Form
Pos.	Toleranz	Ref.	Nennwert[mm]	OT	UT	Istwert	Abweichung	Fehler Grafik
1	53	Kreis(Gauß)		19.950	0.020	19.962	0.012	
		Durchmesser			-0.020			-----****_
1	53	Kreis(Gauß)			0.010		0.001	
		Rundheit						**____
2	54	Kreis(Gauß)		19.950	0.020	19.958	0.008	
		Durchmesser			-0.020			-----****_
2	54	Kreis(Gauß)			0.010		0.001	
		Rundheit						**____
1	55	Abstand(Ohne Kompensation)		1660.100	0.010	1660.096	-0.004	
		Abstand YZ			-0.010			---***-----
1	56	Ebene(Gauß)			0.010	0.007	0.007	
		Ebenheit						*****_

Abbildung 5.15: Prüfprotokoll Referenznormal

Die gelb eingefärbten Zahlenwerte zeigen die Rundheit der beiden gefertigten Bohrungen auf, sowie den Abstandsfehler. Wie aus dem Prüfprotokoll ersichtlich, ist der tatsächliche Wert für das Referenzmaß M_R nur 4 Mikrometer kleiner als der programmierte Wert. Die Abbildung 5.16 zeigt das Referenzmaß (Vorrichtung) auf der KMM. Die roten Pfeile deuten die beiden Bohrungen an, die als Referenzmaß gespeichert sind.

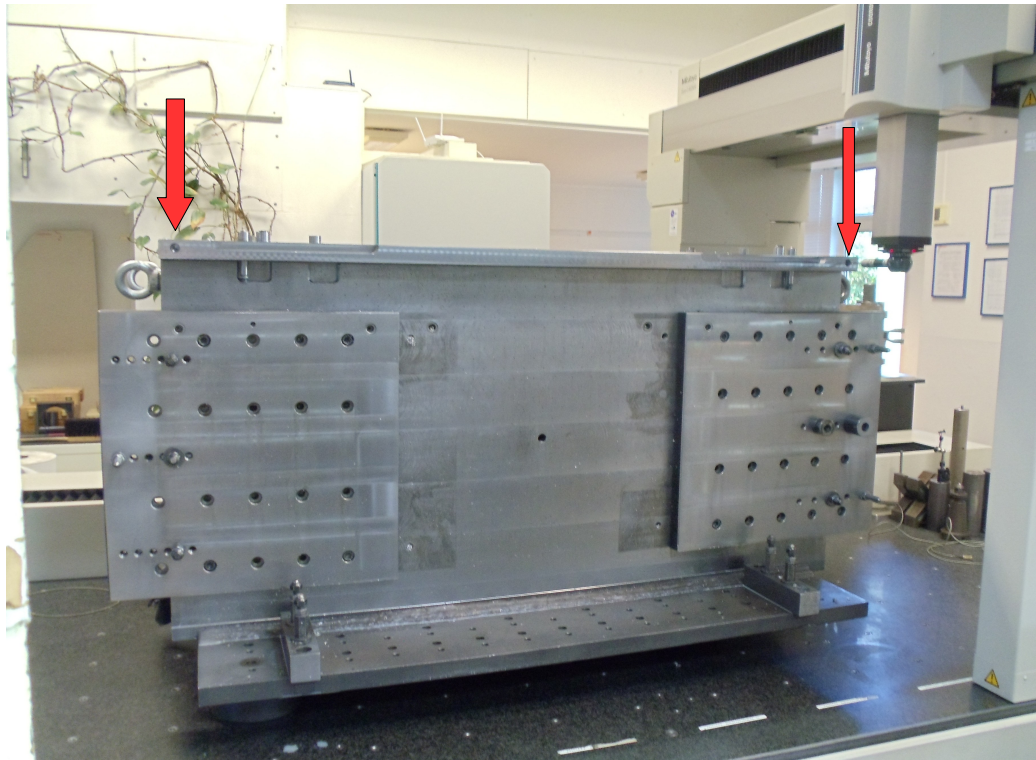


Abbildung 5.16: Vorrichtung/ Referenzmaß auf der Koordinatenmessmaschine

5.6.3 Ermittlung der Längenausdehnungskoeffizienten

Durch die zulässige Toleranzbreite in den chemischen Zusammensetzungen der Legierungen kann es vorkommen, dass auch der Längenausdehnungskoeffizient nicht exakt dem theoretischen Tabellenwert entspricht. Um mögliche Fehler auszuschließen, die sich durch die Berechnung mit falschen oder nicht hinreichend genauen Längenausdehnungskoeffizienten ergeben, werden diese Werte für das Material des RN und das Material des Bauteils experimentell ermittelt.

Für die Ermittlung der Längenausdehnungskoeffizienten werden Proben der Werkstoffe untersucht. Auf der KMM werden die Proben mit einer Temperatur ungleich der Raumtemperatur gemessen. Diese Versuchsreihe wird in diesem Abschnitt am

Aluminiumwerkstoff deutlich gemacht. Für die Ermittlung des α -Wertes für Stahl gilt diese Beschreibung analog.

Das KMG MC850 von Zeiss wird hier für die Längenmessung genutzt. Um die Temperatur zu erfassen wird ein Thermometer „TESTO 925“ verwendet. Das Thermometer wurde in Eiswasser geprüft und lieferte einen Messwert von $0,1^\circ\text{C}$, der hier hinreichend genau ist, um die Ermittlung durchzuführen.

Die Probe der Aluminiumlegierung AlMgSi1 wird mit einer Temperatur $t_0=14,5^\circ\text{C}$ isoliert und definiert auf der KMM eingerichtet. Das Maß $l_0=977,027\text{mm}$ gemessen. Im Laufe der Zeit gleicht sich die Temperatur der Werkstoffprobe der Raumtemperatur t_R an. Mit dem Thermometer wird die exakte Temperatur vor jeder Messung festgehalten. Nach Aufnahme der Ist-Temperatur t startet ein Messablauf, in dem die Ist-Länge l der Werkstoffprobe ermittelt wird.

Um einen möglichst großen Bereich zu untersuchen, wird eine zweite Messreihe aufgenommen bei der sich die Werkstoffprobe abkühlt, um Raumtemperatur zu erlangen.

Für jeden Messzyklus gilt, dass dieser kurz und immer gleich abläuft. Im Automatikbetrieb wird sichergestellt, dass der Messzyklus und die Antastpunkte immer gleich sind. Somit gehen nur geringe Einflüsse durch unterschiedliche Antastkraft oder Temperaturänderung während der Messung in das Messergebnis ein.

Die Gleichung (2.4) umgestellt nach der gesuchten Größe α ergibt folgende Formel (5.2).

$$\alpha = \frac{\Delta l}{\Delta t \cdot l_0} \quad (5.2)$$

Mit den absoluten Werten für Temperatur t_0 und Länge l_0 und den sich ergebenden, relativ ändernden Werten über die Zeit, kann die Temperatur- und Längendifferenz mit den Gleichungen aus dem Kapitel 2.4 berechnet werden. Weiter lassen sich mit der Gleichung (5.2) für die Wertepaare die dazugehörigen Längenausdehnungskoeffizienten α berechnen. In der Tabelle 5.5 sind die Werte für α , Δt und Δl aufgeführt.

Messung	α [1/°C]	Δt [°C]	Δl [mm]
1	0,000029968	2,5	0,07320
2	0,000027196	3,5	0,09300
3	0,000028120	3,8	0,10440
4	0,000027412	4,6	0,12320
5	0,000026190	5,1	0,13050
6	0,000026785	5,3	0,13870
7	0,000026845	5,7	0,14950
8	0,000026561	6,1	0,15830
9	0,000024320	10,0	0,24910
10	0,000026148	10,7	0,26250
11	0,000025675	12,3	0,29540
12	0,000026385	13,9	0,33130
13	0,000024395	14,5	0,37380
14	0,000024581	16,5	0,41390
15	0,000025110	17,9	0,45730
16	0,000025496	20,5	0,48710

Tabelle 5.5: Daten der Aluminiumlegierung: AlMgSi1

Um Genaueres über die Messwerte zu erfahren, wurde zunächst der Mittelwert $\bar{\alpha}$ aus dem Längenausdehnungskoeffizienten α der beiden Messreihen mit der Gleichung 2.6 berechnet und dem Tabellenwert gegenübergestellt.

Aus der Gleichung 2.6 ergibt sich ein Mittelwert für $\bar{\alpha}_{Al} = 0,0000262 [1/°C]$. In der Literatur und in Tabellenwerken wird für dieses Material ein Wert von $\alpha_{AlTabelle} = 0,0000234 [1/°C]$ angegeben.

Der Unterschied der beiden Werte, von 11.97% ist erheblich und kann zu fehlerhafter Kompensation führen.

Um eine visuelle Information der Messwerte zu erhalten, werden diese in einer Punktwolke um den Mittelwert gelegt, wie in Abbildung 5.17 zu sehen ist.

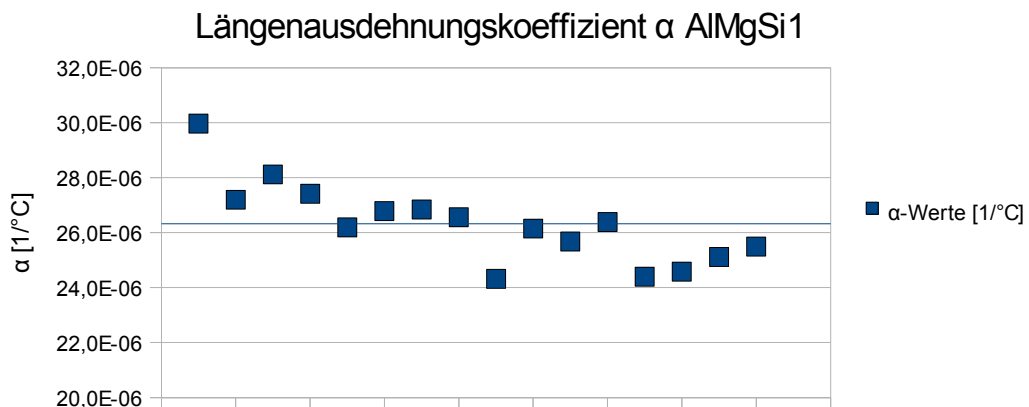


Abbildung 5.17: Einzelmesswerte und Mittelwert AlMgSi1

Im Kapitel 2.5 Längenausdehnungskoeffizient α , wurde auf eine Proportionalitätsbeziehung zwischen Temperatur- und Längendifferenz hingewiesen. Die Abbildung 5.18 zeigt die Längenänderung als Funktion von der Temperaturänderung.

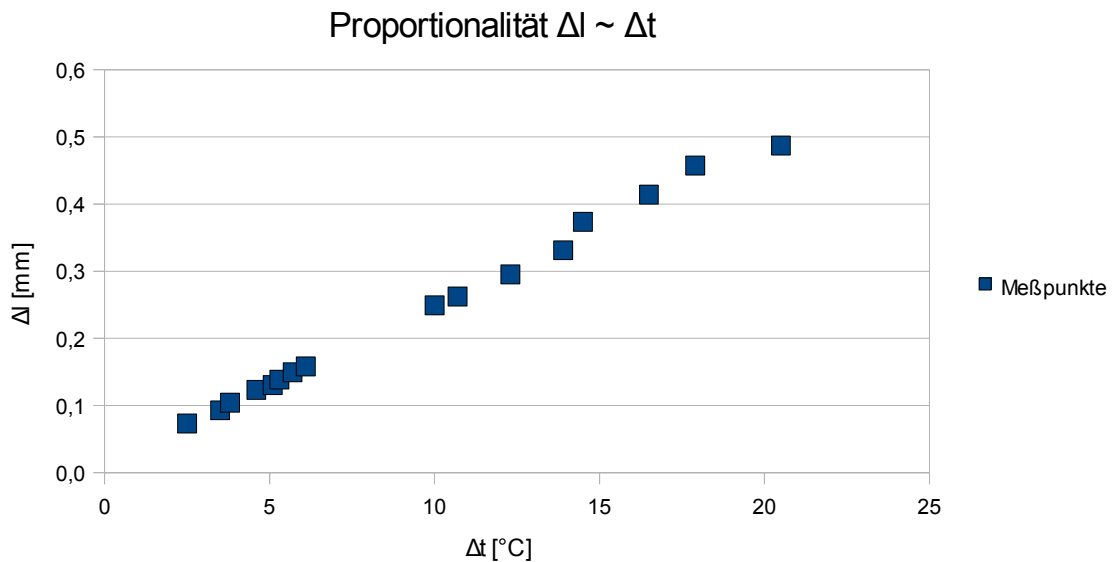


Abbildung 5.18: Proportionalität Aluminium AlMgSi1

Bei dem Verlauf der Messwerte liegt es nahe, eine Regressionsanalyse durchzuführen, um die Zusammenhänge der Messwerte quantitativ zu beschreiben. In Abbildung 5.19 wird der scheinbar lineare Zusammenhang durch die entsprechende Regressionskurve bestätigt.

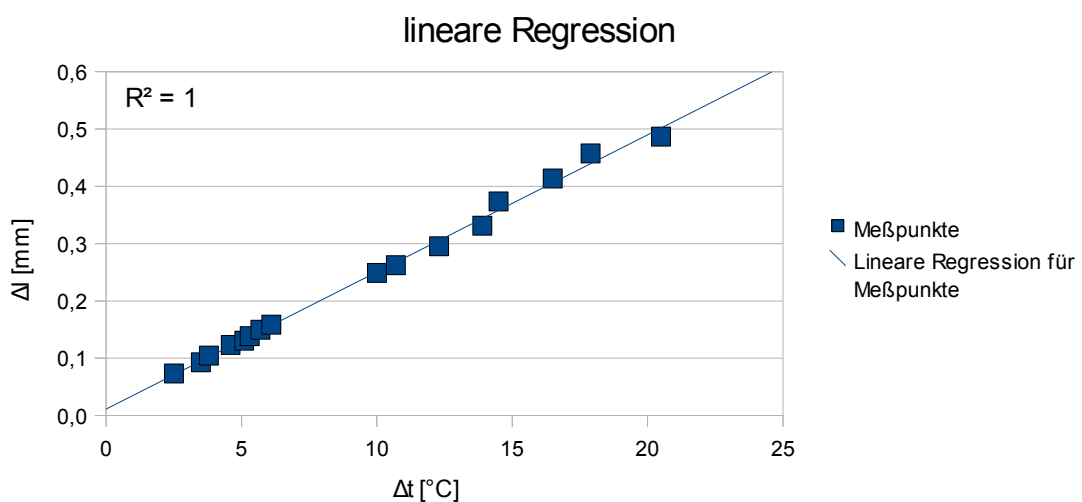


Abbildung 5.19: Lineare Regression und Bestimmtheitsmaß R^2

Das Bestimmtheitsmaß der Regressionskurve von $R^2 = 1$ zeigt einen perfekten, linearen Zusammenhang, der sich aus den Werten der Messreihen ergeben hat.

Gerade wenn es um große Längen geht, wird der Fehler durch Temperatureinflüsse größer. In der Abbildung 5.20 wird die Differenz der Ausdehnungskoeffizienten an einem Beispiel deutlich gemacht.[7]

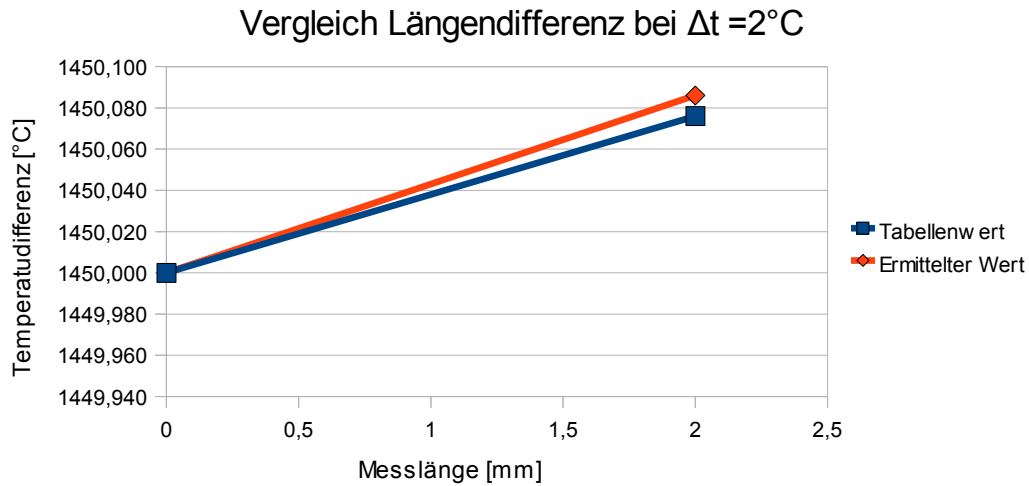


Abbildung 5.20: Längenunterschied: α Tabelle, α Ermittelt

Um den Längenunterschied deutlich zu machen, wird eine Temperaturdifferenz von 2°C angenommen und in die Gleichung 2.4 eingesetzt. Die Berechnung wird jeweils mit dem ermittelten Längenausdehnungskoeffizienten und mit dem Tabellenwert berechnet. Die Tabelle 5.6 zeigt die Längenunterschiede für Aluminium AlMgSi1 und Stahl S355J2+H

	AlMgSi1 $\Delta L [mm]$	S355J2+H $\Delta L [mm]$
$\alpha_{Tabelle}$	1450,076	1660,039
$\alpha_{Ermittelt}$	1450,086	1660,044
Längenunterschied	0,010	0,005

Tabelle 5.6: Vergleich Längenausdehnungskoeffizient

Die hier betrachtete Untersuchung gilt in gleicher Weise für den Stahlwerkstoff, der sich ergebene Längenausdehnungskoeffizient $\bar{\alpha}=0,0000134 [1/^\circ\text{C}]$ wird für die folgenden Berechnungen genutzt. Der Tabellenwert für den Stahlwerkstoff ist $\alpha_{SiTabelle}=0,0000117 [1/^\circ\text{C}]$, der prozentuale Unterschied ergibt sich zu ca. 12,7%. Die Abbildungen für den Stahlwerkstoff und die Diagramme sind im Anhang abgelegt.

5.7 Berechnungsgrundlagen und Programmierung

Da das Referenznormal aus Stahl hergestellt ist, das Werkstück jedoch aus einer Aluminiumlegierung besteht, müssen die unterschiedlichen Längenausdehnungskoeffizienten Berücksichtigung finden. Aber auch der Längendifferenz wird ein Faktor zugewiesen, der in die Berechnungen eingeht.

Nun gilt es, eine Formel zu ermitteln mit der das BAZ selbstständig den veränderlichen Abstand x der Bohrungen berechnen kann. Aus der Überlegung ergibt sich die Gleichung 5.3.

$$x = x_{soll} + \left(\frac{x_{soll}}{M_R} \cdot \Delta M \cdot \left(\frac{\alpha_{Al}}{\alpha_{St}} \right) \right) \quad (5.3)$$

Die einzige Variable in dieser Gleichung verbirgt sich in dem Differenzmaß ΔM . Die Gleichung 5.4 zeigt wie ΔM berechnet wird.

$$\Delta M = M_{ist} - M_R \quad (5.4)$$

Das Abstandsmaß M_{ist} , ist das Maß welches der Messtaster vor der Bearbeitung in dem Referenznormal misst und damit die veränderliche Variable der Gleichung 5.4. Das Referenzmaß M_R ist mit den anderen „festen Werten“ in der Variablen-tabelle der WZM unter zugewiesenen Parametern abgelegt und wird zur Berechnung aufgerufen. Tabelle 5.7 zeigt die „festen Werte“ mit ihren dazugehörigen Parameter.

Parameter	Zahlenwert	Beschreibung
#610	1660,096	Referenzmaß M_R
#611	2605,000	α Aluminium
#612	1278,100	α Stahl
#613	1450,000	Zeichnungsmaß x_{soll}

Tabelle 5.7: Feste Parameterwerte

Weiter werden die Quotienten, $\frac{x_{soll}}{M_R}$ und $\frac{\alpha_{Al}}{\alpha_{St}}$ aus dem Klammerausdruck, die als Multiplikatoren verwendet werden, erklärt und gezeigt.

Da das veränderliche Referenzmaß M_{ist} in Stahl abgenommen wird, die Bearbeitung aber in Aluminium stattfindet, ist das Verhältnis von $\frac{\alpha_{Al}}{\alpha_{St}}$ zu berücksichtigen.

Außerdem darf der Längenunterschied zwischen Bearbeitungsmaß x_{soll} und Referenzmaß nicht vernachlässigt werden. Durch den Quotienten aus $\frac{x_{soll}}{M_R}$ wird ebenfalls ein Faktor berechnet der in die Gleichung 5.3 aufgenommen wird. Die Zahlenwerte aus Tabelle 5.7 werden eingesetzt und in der Tabelle 5.8 als Zwischenergebnis gezeigt, zudem erfolgt eine Parameterzuweisung. Da die Zwischenergebnisse Faktoren sind, haben sie die Einheit eins.

Parameter	Verhältnisse	Zwischenergebnis [1]
#605	$\frac{\alpha_{Al}}{\alpha_{St}}$	2,038
#606	$\frac{x_{soll}}{M_R}$	0,873

Tabelle 5.8: Zwischenergebnisse

Für den Klammerausdruck sind nun alle Werte bekannt und die Steuerung des BAZs kann durch die Zuweisung der Zahlenwerte auf Parameter, selbständig die Berechnung durchführen. Das Ergebnis ist der aktuelle Maschinenfehler unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Längenausdehnungskoeffizienten und der unterschiedlichen Werkstück- bzw. Referenzlängen.

Der errechnete Maschinenfehler wird unter Berücksichtigung des Vorzeichens zu dem Zeichnungsmaß x_{soll} addiert. Das Ergebnis ist der absolute Verfahrensweg x , dem der Parameter #608 zugewiesen wird. Die Maschine greift auf den Parameter #608 zu. Die Zahl in dem Parameter #608 wird in den Nullpunkt für die Bearbeitung des Bohrabstands geschrieben. Das NC-Programm für die Messaufgabe sowie für die Bearbeitung ist im Anhang abgelegt.

5.8 Anwendung

Die Berechnungen und das erstellte Messprogramm sind in das Hauptprogramm integriert, die Bearbeitungsfolge ist entsprechend angepasst. Der Programmablauf verläuft fehlerfrei und berücksichtigt die Korrekturwerte. Dadurch besteht die Möglichkeit, die angestrebten Toleranzen einzuhalten. Beim ersten Versuchslauf konnten die geforderten Toleranzen eingehalten werden. Um einen direkten Vergleich zu erhalten, wird in ein Versuchsbauteil einmal der Bohrungsabstand ohne jegliche Korrektur hergestellt und einmal mit der von der WZM errechneten Korrektur.

Die Abbildung 5.21 zeigt das Protokoll des Erstversuchs.

```

Auftrags-Nr.      :
Artikel-Nr.      :
Zeichnungs-Nr.   : PL.008.1002/04 REV.05
Benennung        : MASCHINENBETT KOMPL.
Teile-Nr.        :
Arbeitsgang      : VERSUCH
Kunde           : HEIDELBERG

BOHRUNG MIT KOMPENSATION
1 N0086 Abstand  1450.000    0.020  1449.985   -0.015  ---+----
                  -0.020
2 N0088 Abstand  1450.000    0.020  1449.983   -0.017  --+-----
                  -0.020

BOHRUNG OHNE KOMPENSATION
3 N0091 Abstand  1450.000    0.020  1449.962   -0.038  -----
                  -0.020
4 N0093 Abstand  1450.000    0.020  1449.959   -0.041  -----
                  -0.020
  
```

Abbildung 5.21: Messprotokoll Probeteil

Weitere Fertigungsversuche sollen aufzeigen, dass das positive Ergebnis kein zufälliger Wert ist. Die Tabelle 5.9 zeigt die aufgenommene Messreihe.

Versuch	Maß 1585	Maß 135	Abstand
1	1585,007	135,022	1449,985
2	1585,000	135,017	1449,983
3	1585,062	135,070	1449,992
4	1585,005	134,995	1450,010
5	1584,898	134,886	1450,012
6	1585,011	135,022	1449,989
7	1585,017	134,999	1450,018
8	1584,978	134,969	1450,009
9	1584,944	134,927	1450,017

Tabelle 5.9: Versuchsreihe Abstand 1450+/- 0,025mm

Neben der Distanz (1450 mm), sind auch die Abstände der Bohrungen zum Werkstücknullpunkt gemessen und ausgewertet. Man sieht deutlich, dass durch den Einsatz des Normals nur die Distanz korrigiert wird. Versuch 3 aus der Tabelle 5.9, veranschaulicht diesen Zusammenhang.

Abbildung 5.22 zeigt die Messwerte des Versuchs.

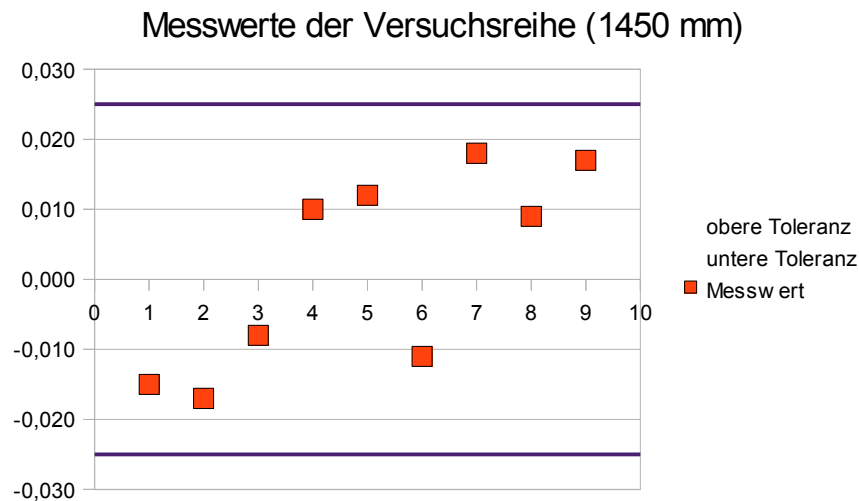


Abbildung 5.22: Messwerte Versuchsreihe, Abstand 1450 mm

Aus der Abbildung ist die obere- und untere Toleranzgrenze, sowie die Messwerte zu sehen. Die Messwerte, die bis jetzt aufgenommen wurden, liegen alle in der vorgegebenen Toleranz. Es ist davon auszugehen, dass die nächsten Ergebnisse auch in diesem Toleranzfeld liegen. An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass die Kompensation nur dann zu hundert Prozent richtig läuft, wenn das Bauteil und das Referenznormal die selbe Temperatur haben. Bis jetzt wird nur auf die Umgebung Rücksicht genommen.

6 Fazit

Aufgabenstellung dieser Arbeit ist es, die Möglichkeiten der präziseren Fertigung durch den Einsatz von Messtastern und Referenznormalen auf Werkzeugmaschinen zu entwickeln. In dem Unterpunkt „Messtastereinsatz unter realen Bedingungen“, wurden die Grenzen dieser Vorgehensweise aufgezeigt.

Es wurde ein RN gefertigt und in den Bearbeitungsablauf integriert. Die Werte α -Aluminium und α -Stahl wurden ermittelt. Erhebliche Abweichungen von den Tabellenwerten konnten somit berücksichtigt werden. Die notwendigen Formeln für die praktische Umsetzung wurden entwickelt und in das Bearbeitungsprogramm eingebunden.

Schon bei den ersten Testwerkstücken wurde eine erhebliche Toleranzeinschränkung bewirkt. Dieser Trend zeigte sich auch bei den nächsten Versuchen. Leider konnte diese Versuchsreihe noch nicht weiter geführt werden, da keine Rohteile zur Verfügung standen. Jedoch kann man aus der „Streuung“ erkennen, dass der Toleranz-Wert sich auf ein Viertel reduziert hat. Berücksichtigen muss man allerdings auch, dass die Versuchsreihe an zwei Tagen gefahren wurde. Und somit der Fehlereinfluss durch Temperaturschwankungen sehr gering war.

Nicht zu vernachlässigen sind Zeit- und Kostenersparnis bei dieser Vorgehensweise, auch ist man in der Lage auf einer „preisgünstigeren Maschine“ sehr hochwertige Teile zu fertigen, wenn nur wenige Formelemente eine sehr enge Toleranz aufweisen.

Diese Vorgehensweise ermutigt, mit ähnlichen Referenzmaßen die Fertigungssicherheit auch bei anderen eng tolerierten Werkstücken zu erhöhen.

Es ist auch denkbar, Winkelfehler und Fehler, die durch die Maschinengeometrie hervorgerufen werden, mit Winkel- Parallelnormalen zu verringern. Gerade bei Vier- und Fünf-Achsmaschinen ließen sich diese Fehler deutlich reduzieren. Auch ist man mit Winkelnormalen in der Lage, bei Werkzeugmaschinen die mit einem NC-Rundtisch ausgerüstet sind und über kein direktes Messsystem verfügen, die Positioniergenauigkeit deutlich zu erhöhen.

Die Tasterdurchbiegung, sowie die zunehmende Wiederholungsgenauigkeit gilt es weiter zu untersuchen und in die Berechnung für die Kompensation mit einzubeziehen. Außerdem sollen Temperaturunterschiede vom Bauteil und des Referenzmaßes mit in die Berechnung aufgenommen werden, um noch flexibler und genauer auf wechselnde Umgebungsbedingungen reagieren zu können.

Literaturverzeichnis

- 1: Manfred Weck, Christian Brecher, Werkzeugmaschinen Maschinenarten und Anwendungsbereiche, 2006
- 2: Rainer Tutsch, Fertigungsmesstechnik, 2006
- 3: Manfred Weck, Christian Brecher, Werkzeugmaschinen Automatisierung von Maschinen und Anlagen, 2006
- 4: Manfred Weck, Christian Brecher, Werkzeugmaschinen Mechatronische Systeme, Vorschubantriebe, Prozessdiagnose, 2006
- 5: Rainer Parthier, Grundlagen und Anwendungen der elektrischen Messtechnik für alle technischen Fachrichtungen und Wirtschaftsingenieure, 2008
- 6: VDI-Fachtagung, Technologien für eine wirtschaftliche Produktion, 2010
- 7: Hans Joachim Neumann, Präzisionsmesstechnik in der Fertigung mit Koordinatenmessgeräten , 2005
- 8: Renishaw, Messtastersysteme für CNC-Werkzeugmaschinen
- 9: Die digiloge Revolution, Blum Novotest
- 10: Renishaw, OMP60-Messtastersystem mit optischer Signalübertragung,
- 11: Prof.Dr.-Ing.Horst Schröder, Technische Thermodynamik, 2007
- 12: DIN, Dt. Inst. für Normung e.V., Längenprüftechnik 1, 1986
- 13: HECKERT, Groß-Bearbeitungszentrum CWK 1600,
- 14: WAMATEC, Wamatec Technische Beschreibung ENSHU 800V,
- 15: Mitutoyo, CNC-Koordinaten-Messgerät EURO-C 123010,
- 16: Handwerk und Technik, Tabellenbuch Metall und Technik ,
- 17: Edgar Dietrich Alfred Schulze, Prüfmittelfähigkeit und Messunsicherheit im aktuellen Normenumfeld, 2007

Anhang

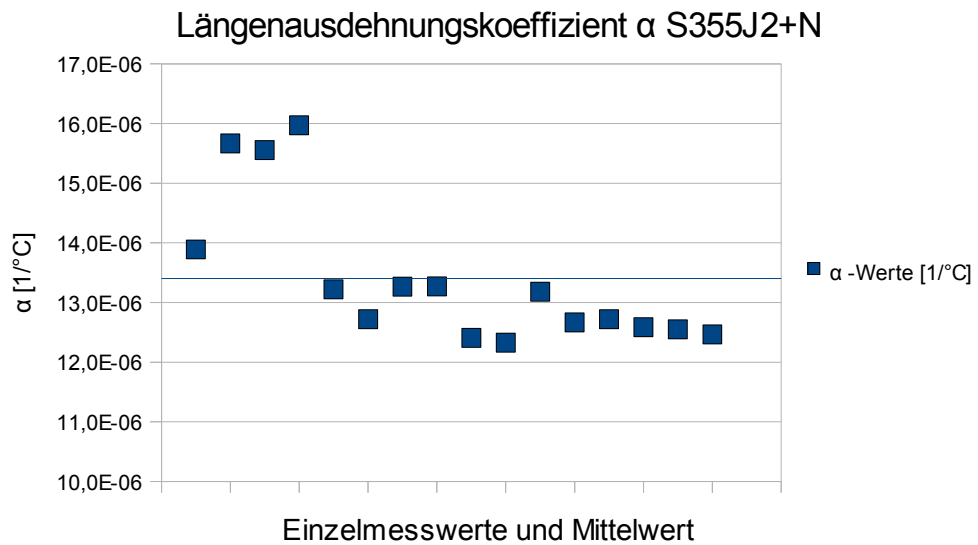
Zu 5.5 Einsatz von Messtastern unter realen Bedingungen

%	(G56 WIRD BEI P4919 GEMESSEN)
O2040	T1
(NA.VENTILKOERPER)	M107
(O-107.335.013)	(HM-FR D=12)
(01.12.2011)	G90G56G90X0Y0
M0	G43H1Z125S2000F1500
G90	M3
T99	G0Z63
M107	G1Z1
M0	G1Z.1F72
(EILGANG 25PR.)	G1Y-7
G90	G3J7Z-0.03F70
G10L2P1X-254.419Y-517.667Z7.857	G3J7
(KALIBRIEREN)	G1Y-6Z1
G0G90G54X9Y0	G0Z200
G43H99Z100	M0
G1Z10F5000	T2M107
G65P9023C1.Z-10.	(SPINDEL D=6.2)
G0Z10	(2*LAUFENLASSEN)
X0Y0	G0G90G56X0Y0
Z-5	M0
G65P9023C1.D6.	G43H2Z125S2200F1000M3
G0Z250	Z63
M0	G1Z1
(IM MACRO ABLESSEN RING)	G1Z-31F80
(IM MACRO NR.138)	M19
(SONST NOCHMALL KALIBRIEREN)	G1Y.05
M0	G0Z350
G90	M0
G10L2P2X-481.622Y-566.192Z90.833	G0Z350Y300
(EINMESSEN)	M30
G0G90G55X0Y0	%
G43H99Z100	
M98P4919	
M0	

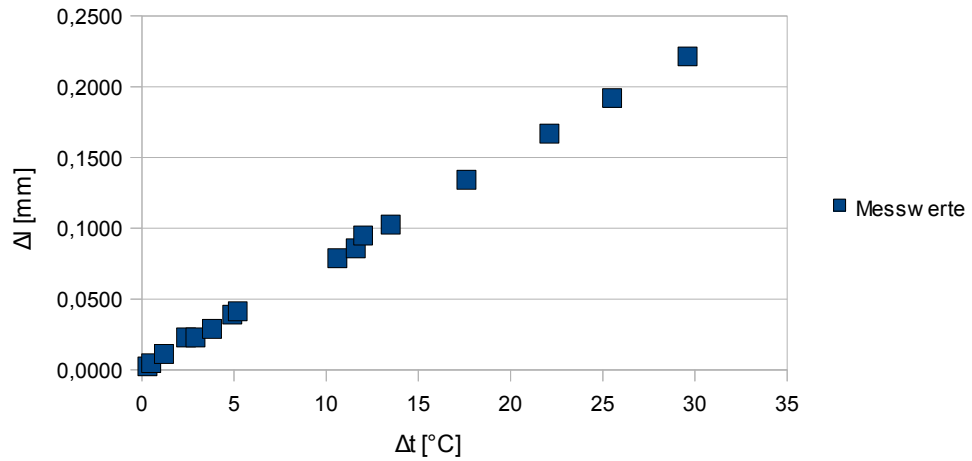
Zu 5.6.3 Ermittlung der Längenausdehnungskoeffizienten

Messung	α -Werte [1/K]	Δt [°C]	Δl [mm]
1	0,000013889	0,3	0,0025
2	0,000015666	0,5	0,0047
3	0,000015555	1,2	0,0112
4	0,000015972	2,4	0,0230
5	0,000013218	2,9	0,0230
6	0,000012719	3,8	0,0290
7	0,000013265	4,9	0,0390
8	0,000013269	5,2	0,0414
9	0,000012405	10,6	0,0789
10	0,000012327	11,6	0,0858
11	0,000013180	12,0	0,0949
12	0,000012666	13,5	0,1026
13	0,000012718	17,6	0,1343
14	0,000012586	22,1	0,1669
15	0,000012549	25,5	0,1920
16	0,000012466	29,6	0,2214

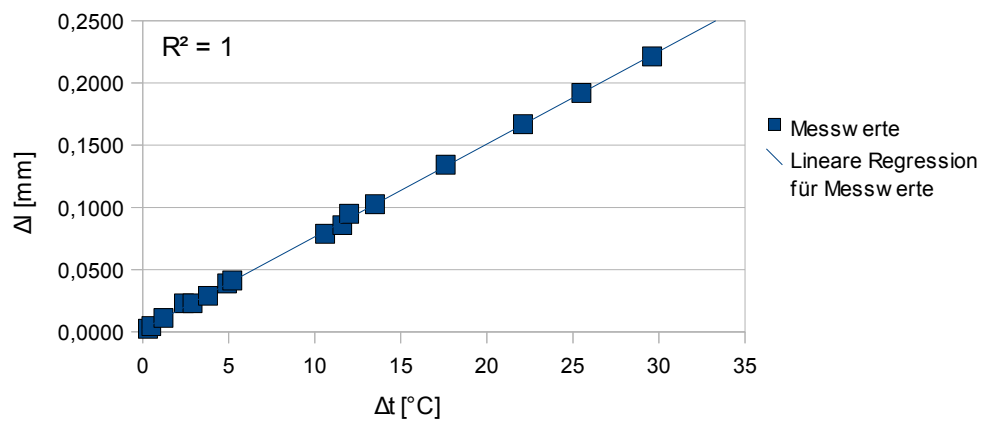
Daten Stahl: S355 J2+N



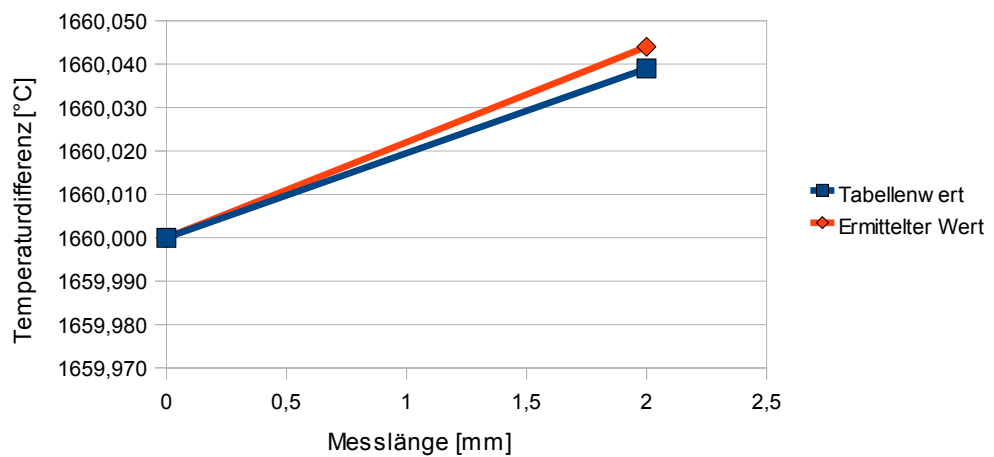
Proportionalität $\Delta l \sim \Delta t$



Lineare Regression



Vergleich Längendifferenz bei $\Delta t = 2^{\circ}\text{C}$



Kapitel 5.7 Berechnungsgrundlagen und Programmierung

Messprogramm

%	(FESTE WERTE)
O0004(MESSPROGRAMM MASCHINENBETT)	#610=1660.096(LAENGE RN)
(2. SP)	#611=2605(ALPHA ALU)
(V3)(28.03.2012)	#612=1278.1(ALPHA STAHL)
(CWK1600-3)	#613=1450(ZEICHNUNGSMA)
T38M107	MO
(MESSTASTER)	(MULTIPLIKATOREN)
(X-MASS 1660.1)	#604=#603*#610
G90	#605=#611/#612
M120	#606=#613/#610
G0G90B0	MO
G0G54.1P47X-830.05Y0	#607=#604*#605*#606
G43H38Z100	(VERFAHRWEG X)
G1Z-5F1000	#608=#613+#607
#100=19.962	(BOHRUNG B0 X-)
G65P9103F70	#620=[-#608/2]+0.1
G0Z100	(BOHRUNG B0 X+)
#601=#520	#621=[#608/2]+0.1
G0G54.1P47X830.05Y0	(BOHRUNG B180 X-)
Z100	#622=[-#608/2]-0.1
G1Z-5F1000	(BOHRUNG B180 X-)
G65P9103F70	#623=[#608/2]-0.1
G0Z100	#3000=99(BOHRUNGEN NICHT SAUBER)
#602=#520	M121
G0Z300	MO
(ABSTAND REFERENSNORMAL)	T0M6
#603=#602-#601	M30
IF[#603GE1659.996]GOTO20(>=)	%
IF[#603LE1660.196]GOTO20(<=)	
IF[#603GE1660.196]GOTO30	
IF[#603LE1659.996]GOTO30	
N20	

Fertigungsprogramm

<p>% O0040(MASCHINENBETT) (V3) (28.03.2012) (M0) N3000 (3.SPANNUNG) (O5854) (TEIL FLACH AUFGEBAUT) (2*D=16 AUF B0) G90 G10L20P43X#620Y1097Z267(B0 BO=X-725) G10L20P44X#621Y1097Z267(B0 BO=X725) G10L20P45X#622Y1097Z267(B180 BO=X-725) G10L20P46X#623Y1097Z267(B180 BO=X725) T48M107 (HM-BO.D=5.5) B0 G0G54.1P43X0Y-85 G43H48Z100S2600F650M3 G98G81Z-11R3M8M71 G54.1P44X0Y-85 G0Z1000M9 B180 G0G54.1P45X0Y-85 G0Z100M8 G98G81Z-11R3 G54.1P46X0Y-85 G0Z800M9 M0 T61M107 M0 (SPAENE) (ACHTUNG FR. ONHE BLECH) (SIEH VERFAHRWERTE) M0 (HMFR D=6F7) GOB0 G0G54.1P43X0Y-85 G43H61Z100S3000F120M3 G98G81Z-8.5R3M8 Y-85.017 Y-84.983 X0.020Y-85 X-0.020</p>	<p>G0G54.1P44X0Y-85 G98G81Z-8.5R3M8 Y-85.017 Y-84.983 X0.020Y-85 X-0.020 G0Z1000M9 M0(SPAENE) G0B180 G0G54.1P45X0Y-85 G0Z100 G98G81Z-8.5R3M8 Y-85.017 Y-84.983 X0.020Y-85 X-0.020 G0G54.1P46X0Y-85 G98G81Z-8.5R3M8 Y-85.017 Y-84.983 X0.020Y-85 X-0.020 G0Z10 G0Z1100M9 N5555 T0M107 G53X0 M0 G0G90B0 G0G90G53X-500 M0 M80 M0 M80 M0 M30 %</p>
--	--

Renishaw Messzyklus

<pre> % O9023(REN START/SETUP) (40100003.01 FANUC1) (0/6/16/18/21) IF[#13EQ2]GOTO1 IF[#13EQ3]GOTO13 M19 (START CODES) M68(TYPICAL START COMMAND, MODIFY TO SUIT) M69 G4X0.5(DWELL TIME FOR POWER UP) IF[#8EQ1]GOTO7 N1IF[#13EQ1]GOTO14 G90G80G40 IF[#24EQ#0]GOTO2 IF[#25NE#0]GOTO12 N2IF[#19EQ#0]GOTO4 IF[#19LT53]GOTO12 IF[#19GT148]GOTO12 IF[#19LE59]GOTO3 IF[#19GE101]GOTO3 GOTO12 N3IF[#3NE#0]GOTO12 N4IF[#3EQ#0]GOTO5 IF[#3LT1]GOTO12 IF[#3GT3]GOTO12 N5IF[#7NE#0]GOTO7 (SURFACE) IF[ABS[#24]GT0]GOTO6 IF[ABS[#25]GT0]GOTO6 IF[ABS[#26]GT0]GOTO6 GOTO12 N6IF[#25EQ#0]GOTO7 IF[#26NE#0]GOTO12 N7#10=135 WHILE[#10LE148]DO1 #[#10]=#0 #10=#10+1 END1 </pre>	<pre> #120=99(PROBE OFFSET) #115=0(+/-AXIS NO) #116=#[2000+#120]+#[2200+#120](ACT OFFS) #118=30(M FEED MM>100 1TOUCH) #119=2000(F FEED MM) #123=.05(ZONE MM) #129=0.5 IF[#4006EQ21]GOTO8 IF[#4006EQ71]GOTO8 #129=.04 #123=#123*#129 #119=#119*#129 #118=#118*#129 N8IF[#8EQ1]GOTO14 G31G43H#120Z[#5043-#116]F[25*#129] IF[#506LE0]GOTO9 IF[#506GT1]GOTO9 GOTO10 N9#506=.5 N10IF[#7EQ#0]GOTO11 M98P9774 GOTO13 N11M98P9773 IF[#1EQ#0]GOTO13 M98P9775 GOTO13 N12#3000=91(FORMAT ERROR) N13IF[#13EQ2]GOTO14 (STOP CODES) M68 M69(TYPICAL STOP COMMAND, MODIFY TO SUIT) N14 #130=#124 #131=#125 #132=#126 M99 %</pre>
--	--



Formblatt **Erklärung zur selbständigen Bearbeitung einer ausgeführten Bachelorthesis**

Zur Erläuterung des Zwecks dieses Blattes:

§ 16 Abs. 5 der APSO-TI-BM lautet:

„Zusammen mit der Thesis ist eine schriftliche Erklärung abzugeben, aus der hervorgeht, dass die Arbeit – bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit (§18 Absatz 1) – ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Dieses Blatt mit der folgenden Erklärung ist nach Fertigstellung der Arbeit durch jede/n Kandidat/en/in auszufüllen und jeweils mit **Originalunterschrift** (keine Ablichtungen !) **als letztes Blatt des als Prüfungsexemplar der Bachelorthesis gekennzeichneten Exemplars einzubinden.**

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann - auch nachträglich - zur Ungültigkeit der Bachelor-Abschlusses führen.

Erklärung

Hiermit versichere ich,

Name: _____ Scharffenstein _____ Vorname: _____ Benjamin _____

daß ich die vorliegende Bachelorthesis – bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema

___Anwendung von Messtastern auf Werkzeugmaschinen_-die Möglichkeiten und Grenzen-__

ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der Bachelorthesis ist erfolgt durch

_____ Ort

_____ Datum

_____ Unterschrift im Original