

Bachelorarbeit

Arbeitstitel:

Präventive messtechnische Abbildung typischer Fertigungsabweichungen

Betreuer: M.Sc. Robert Hofmann

Prüfer: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sophie Gröger

Name: Jan Doant

E-Mail: jan.doant@s2017.tu-chemnitz.de

Studiengang: Bachelor Maschinenbau (7.Semester)

Matrikelnummer: 461311

Eingereicht am: 06.06.2018

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche gekennzeichnet.

Chemnitz, 06.06.2018

Unterschrift des Verfassers

Inhaltsverzeichnis

Selbstständigkeitserklärung	1
1 Einführung	3
2 Oberflächenabweichungen und -unvollkommenheiten	4
2.1 Begriffe	4
2.1.1 Wirkliche Oberfläche	4
2.1.2 Istoberfläche	4
2.1.3 Geometrische Oberfläche	4
2.1.4 Gestaltabweichungen	5
2.1.5 Oberflächenunvollkommenheiten	6
3 Typische Abweichung verschiedener spanender Fertigungsverfahren	8
3.1 Ursachen für Fertigungsabweichungen	8
3.2 Fertigungsabweichungen beim Drehen	9
3.3 Fertigungsabweichungen beim Bohren	11
Abbildungsverzeichnis	13

1 Einführung

2 Oberflächenabweichungen und -unvollkommenheiten

2.1 Begriffe

Um die Qualität einer technischen Oberfläche beurteilen zu können, ist es zunächst unerlässlich verschiedene standardisierte Begriffe zu definieren. Dazu geben sowohl DIN 4760, als auch DIN EN 8785 diverse Bezeichnungen vor, welche die möglichen auftretenden Oberflächenunvollkommenheiten voneinander abgrenzen und ordnen sollen.

2.1.1 Wirkliche Oberfläche

DIN 4760 definiert den Begriff der Wirklichen Oberfläche als die tatsächliche, den betrachteten Gegenstand von seinem Umgebungsmedium trennende Oberfläche. Für die Messtechnik ist diese Gestalt allerdings nicht in voller Gänze zu erfassen. Aus diesem Grund werden weitere Begriffe benötigt um die Wirkliche Oberfläche zu abstrahieren und für die Messtechnik verfügbar zu machen.

2.1.2 Istoberfläche

Als Istoberfläche bezeichnet die oben beschriebene Norm das messtechnisch erfasste Abbild der wirklichen Oberfläche eines Formelementes. Dabei ist festzuhalten, dass hier von einer bereits vereinfachten Oberfläche zu sprechen ist. Abhängig von Messverfahren, Messparametern, Messplan und -abfolge ergeben sich für verschiedene Messungen auch unterschiedliche Istoberflächen des Objektes. Dies ist bei der Betrachtung und Analyse einer Istoberfläche stets zu beachten. Natürlich wirken sich auch systematische und zufällige Messfehler auf die Gestalt der Istoberfläche aus. Um von der messtechnisch erfassten Gestalt des Bauteils auf dessen Gestaltabweichungen schließen zu können ist der nachfolgende Begriff der geometrischen Oberfläche unerlässlich.

2.1.3 Geometrische Oberfläche

Als geometrische Oberfläche wird in DIN 4760 die ideale Form des betrachteten Objektes definiert. Sie wird auch als Nennform bezeichnet und ist durch die jeweiligen technischen Zeichnungen oder andere technische Unterlagen, wie zum Beispiel 3D-CAD-Informationen festgeschrieben. Da kein Fertigungsprozess fehlerfrei abläuft, ist es unmöglich diese Idealgeometrie in der Realität zu fertigen. Allerdings ist es mit Hilfe der technischen Dokumente möglich zulässige

Abweichungen von der Idealgeometrie festzulegen. Vielmehr dient diese Beschreibung in der Messtechnik als Referenz, um die im folgenden Abschnitt behandelten Gestaltabweichungen überhaupt erst erfassbar zu machen.

2.1.4 Gestaltabweichungen

Als Gestaltabweichungen werden in der beschreibenden Norm die Gesamtheit aller Abweichungen der messtechnisch erfassten Istoberfläche von der idealen geometrischen Oberfläche bezeichnet. Grundlage für das Vorhandensein von Gestaltabweichungen sind mannigfaltig und werden in den folgenden Abschnitten noch weiter ausgeführt. Grundsätzlich ist festzustellen, dass unterschieden wird zwischen solchen Abweichungen, die nur durch Betrachtung des gesamten Objektes und Abweichungen, die nur durch Analyse eines Ausschnittes der Oberfläche erkennbar werden (siehe Abb.1). Dazu werden die Gestaltabweichungen in 6 verschiedenen Ordnungen klassifiziert.

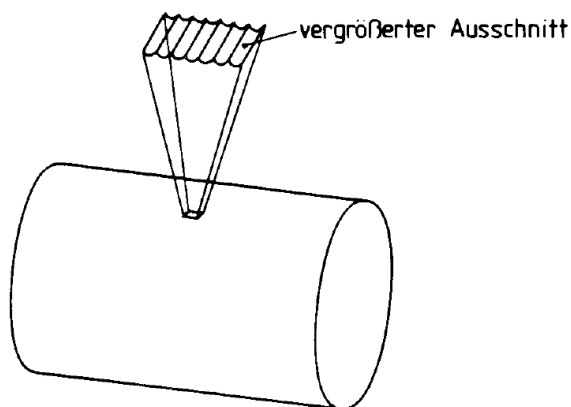


Abbildung 1: Ausschnitt aus der Istoberfläche

Als Gestaltabweichungen 1.Ordnung werden in DIN 4760 jene Gestaltabweichungen beschrieben, die, wie weiter oben bereits angeschnitten, bei der Beurteilung der gesamten Istoberfläche ersichtlich werden. Abweichungen dieser Kategorie werden als Formabweichungen bezeichnet. Darunter zählen beispielsweise Geradheits-, Ebenheits- und Rundheitsabweichungen. Diese Art der Abweichungen begründet die Norm in fehlerhaften Führungen der bearbeitenden Maschine, Durchbiegung von Werkzeug oder Werkzeugmaschine, falscher Einspannung des Werkstückes, Verschleiß oder Härteverzug.

Die 2. Ordnung der Gestaltabweichungen wird unter dem Begriff Welligkeit geführt. Es handelt sich dabei um periodisch wiederholt auftretende Gestaltabweichungen der gemessenen Oberfläche eines untersuchten Formelements. Als wellig definiert die Norm DIN 4760 Abweichungen, bei denen das Verhältnis von Wellenabständen zur Wellentiefe generell zwischen 1000:1 und 100:1 liegt. Es handelt sich also um relativ niederfrequente Wellen mit einer verhältnismä-

ßig niedrigen Amplitude. Als grundlegende Ursachen für die Entstehung von welligen Formen nennt die Norm sowohl außermittige Einspannung des Werkstücks als auch Form- und Laufabweichungen des Werkzeugs und Schwingungen der Werkzeugmaschine und des Werkzeugs.

Die Gestaltabweichungen 3. bis 5. Ordnung werden als Rauheit bezeichnet. Sie sind nur durch Betrachtung eines Oberflächenausschnitts des Objektes zu erkennen. Rauheitsabweichungen kehren entweder regelmäßig oder unregelmäßig wieder. Sie sind gekennzeichnet durch ein Verhältnis der Abstände zur Tiefe zwischen 100:1 und 5:1. Es handelt sich also im Vergleich zum im vorherigen Abschnitt beschriebenen Welligkeitsphänomen um hochfrequenter Abweichungen der Oberfläche. Innerhalb Klasse der Rauheitsabweichungen lassen sich verschiedene Ausprägungen beschreiben. So unterscheidet Rillen (4. Ordnung), Riefen, Schuppen, Kuppen (5. Ordnung) und Oberflächenrauheit, welche durch die Gefügestruktur hervorgerufen wird (6. Ordnung). Diese Kategorien unterscheiden sich in Frequenz und Amplitude ihrer Form (siehe Abb. *Todo*). Außerdem lassen sich verschiedene Ursachen für ihr Auftreten finden.

Rillen werden durch die Form der Werkzeugschneide sowie aufgrund des eingestellten Vorschubes und der Schnittbewegung des Werkzeuges hervorgerufen. Riefen, Schuppen und Kuppen sind Oberflächenunvollkommenheiten, deren Gründe im Prozess der Spanbildung zu finden sind. Des Weiteren lassen sie sich beispielsweise durch Werkstoffverformung beim Strahlen oder Knospenbildung bei galvanischer Behandlung erklären.

Rauheiten, welche durch die Gefügestruktur des Werkstoffes verursacht werden, sind durch Kristallisationsvorgänge oder Veränderungen der Oberfläche durch beispielsweise chemische oder korrosive Vorgänge entstanden. Sie bilden zusammen mit der 6. Ordnung der Gestaltabweichungen, welche durch den Gitteraufbau des Materials zu erklären sind, die nicht mehr durch Messverfahren ermittelbaren Gestaltabweichungen.

Das bedeutet, dass in der Istoberfläche für gewöhnlich eine Struktur zu erkennen ist, die durch Überlagerung der Gestaltabweichungen 1. bis 4. Ordnung verursacht wird.

2.1.5 Oberflächenunvollkommenheiten

Zusätzlich zu den in DIN 4760 aufgeführten Gestaltabweichungen werden in DIN EN ISO 8785 Oberflächenunvollkommenheiten erläutert. In der Norm werden diese als „Element, Unregelmäßigkeit oder Gruppe von Elementen und Unregelmäßigkeiten der wirklichen Oberfläche, die unbeabsichtigt oder zufällig durch die Bearbeitung, Lagerung oder Funktion der Oberfläche entstanden sind“ definiert. Es wird dabei unterschieden zwischen nach innen orientierten (Vertiefung), nach außen gerichteten (Buckel), kombinierten und stellenweisen Oberflächenunvollkommenheiten. Kombinierte Oberflächenunvollkommenheiten enthalten sowohl Anteile von Vertie-

fungen als auch Buckeln. Stellenweise Unvollkommenheiten besitzen eine kaum messbare Erhöhung bzw. Vertiefung.

In Abbildung 2 sind einige Beispiele für jede genannte Kategorie der Oberflächenunvollkommenheiten zu finden.

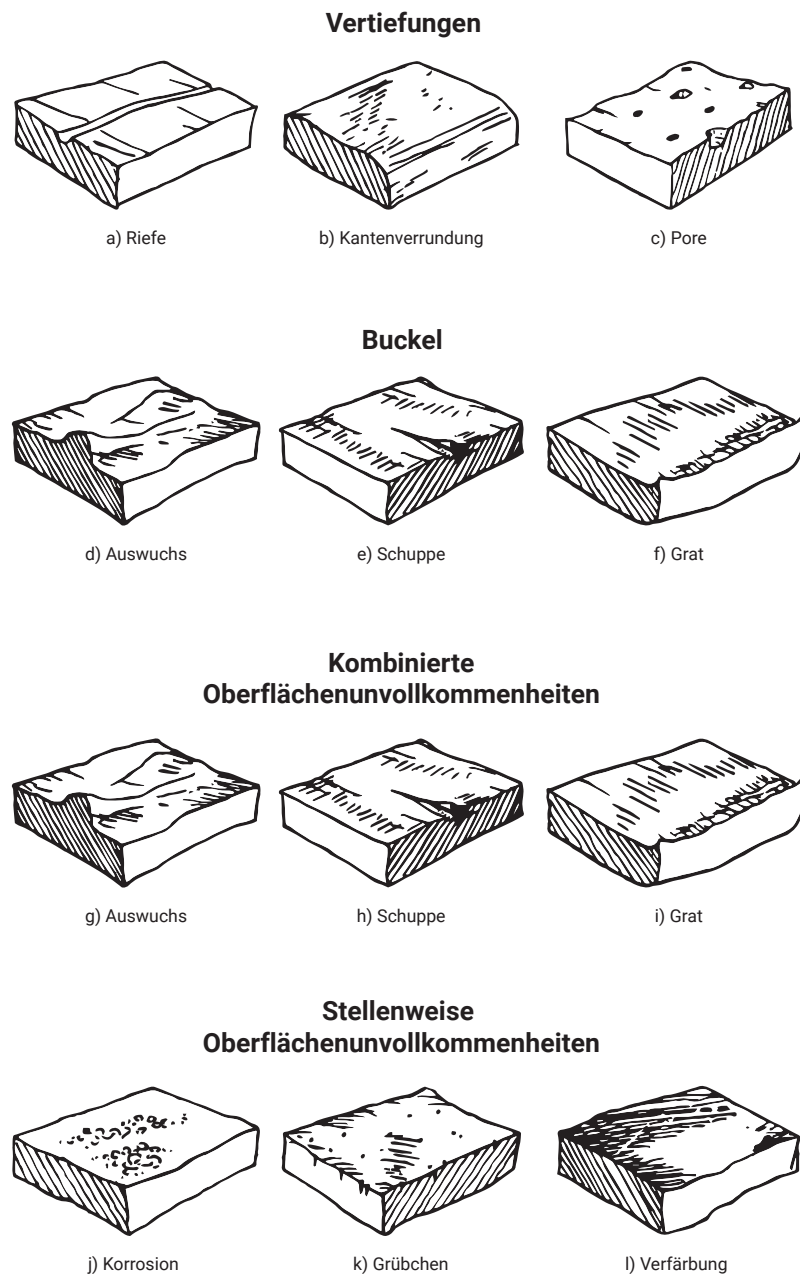


Abbildung 2: DIN EN 8785 - Oberflächenunvollkommenheiten

3 Typische Abweichung verschiedener spanender Fertigungsverfahren

3.1 Ursachen für Fertigungsabweichungen

Jedes Bauteil, welches in einem Fertigungsverfahren hergestellt wird entspricht in seiner Realgestalt nicht der in den Fertigungsunterlagen (Technische Zeichnung oder CAD-Model) festgehaltenen Idealgeometrie. Es sind durch verschiedene Einflüsse stets Abweichungen von der Geometrischen Oberfläche des Objektes festzustellen. Dies hat nach [Denkena] verschiedene Ursachen, die im Werkstück selbst, dem bearbeitenden Werkzeug, der Werkzeugmaschine oder Fertigungsumgebung liegen.

So werden als Ursachen für Fertigungsabweichungen, die durch das Werkzeug bestimmt werden bereits vorhandene Form- und Lagetoleranzen des Rohteils, Festigkeitsunterschiede der abzuspannenden Teile, Auslösung bzw. Einbringung von Eigenspannungen in das Werkstück und örtlich und zeitlich veränderliche Temperaturfelder im Bauteil genannt. Es ist festzuhalten, dass Wärmeeinbringung am Werkstück vor allem Formfehler zur Folge hat. Bei zylindrischen Bauteilen zeigen sich diese hauptsächlich in axialer Richtung, wegen inhomogener elastischer Erwärmung.

Weiterhin hat auch das bearbeitende Werkzeug einen sehr großen Einfluss auf die wirkliche Geometrie des Bauteils. Hier sind besonders die Nachgiebigkeit des Werkzeugs bzw. Werkzeughalters, die Lageabweichung des Werkzeugs beim Werkzeugwechsel sowie der Verschleiß des Werkzeugs zu nennen. Dabei hat der Werkzeugverschleiß einen maßgeblichen Einfluss auf die Maß- und Formgenauigkeit. Werkzeugverschleiß führt zu Schneidenversatz, dies wiederum begründet die Fehler, die die Maßhaltigkeit betreffen. Die Formabweichungen sind in den durch den Werkzeugverschleiß auftretenden höheren Schneidkräften bedingt. Diese führen zusammen mit der Nachgiebigkeit Werkzeugmaschine zum auftreten dieser Abweichungen.

Der Einfluss der bearbeitenden Maschine liegt in ihrer Nachgiebigkeit im Kraftfluss und ihrer thermischen Wirkung. So kommt es zu geometrischen Abweichungen und thermisch bedingten Verformungen während des Bearbeitungsprozesses. Ungenauigkeiten in den Führungen der Werkzeugmaschine führen über die kinematischen Kette der Maschine zu sich fortpflanzenden geometrischen Fehlern im Bauteil [Neugebauer]

Auch die Umgebung der Maschine wirkt natürlich auf die Werkstückqualität ein. So führen externe Wärmequellen, Änderungen der Umgebungstemperatur oder eine Veränderung der Kühlschmierung zu Abweichungen am Werkstück. Zählt man den Bearbeiter des Bauteils zu den Umgebungsfaktoren hinzu, ergeben sich auch durch systematische oder zufällige menschliche

Fehler in der Einrichtung und Überwachung des Bearbeitungsprozesses, Einflüsse auf die Formgestalt des Bauteils.

Es ist festzuhalten, dass ein komplexes System an Einflussfaktoren auf das Werkstück einwirken, die sich gegenseitig beeinflussen können. Es ist nicht möglich, ohne detaillierte Kenntnis aller Faktoren bereits im Vorfeld konkret vorherzusagen, welche Abweichungen bei einem Fertigungsverfahren zu erwarten sind. Durch Erfahrungswerte lassen sich allerdings typische Abweichungen für die einzelnen Fertigungsverfahren beschreiben.

3.2 Fertigungsabweichungen beim Drehen

Beim Fertigungsverfahren Drehen sind, je nach konkretem Drehverfahren, unterschiedliche Maßtoleranzen zu erreichen. So sind laut [Dietrich.2014] beim Schlichtdrehen Toleranzen von IT7 bis IT8 realistisch, beim Feinschlichten können unter optimalen Drehbedingungen sogar Genauigkeiten von IT6 umgesetzt werden. Das deckt sich mit den Angaben nach [Denkena.2011] wonach mit konventionellen Drehmaschinen Maßabweichungen von IT6 bis IT7 realisierbar sind. Ergänzend dazu werden mögliche Rundheitsabweichungen auf konventionellen Drehmaschinen von weniger als $2,5\mu\text{m}$, Zylindrizitätsabweichungen von weniger als $2\mu\text{m}$ und gemittelte Rautiefen R_z von 2 bis $6\mu\text{m}$ beschrieben.

Außerdem wird die mögliche Fertigungsgenauigkeit von Präzisionsdrehmaschinen genannt. Dabei werden Maßabweichungen im Bereich von IT5 bis IT6, Rundheitsabweichungen von $0,2\mu\text{m}$, Zylindrizitätsabweichungen von weniger als $0,1\mu\text{m}$ sowie eine gemittelte Rauhtiefe R_z von $0,5\mu\text{m}$ erreicht. Dies ist also ein deutlich genaueres Verfahren, was bei der Betrachtung der zu erwartenden Abweichungen unbedingt in Erwägung gezogen werden muss.

Die theoretische Oberflächenrauheit einer drehend hergestellten Oberfläche lässt sich laut [Dietrich.2014] und [Paucksch.2008] mit der Formel

$$R_t = \frac{f^2}{r_e}$$

berechnen. In dieser Formel beschreibt r_e den Eckenradius und f den Vorschub des Werkzeugs in axialer Richtung. Die Vorschubgeschwindigkeit hat demnach einen quadratischen Einfluss auf die theoretische Oberflächenrauheit und gibt diese maßgeblich vor. Mit zunehmender Nutzungsdauer des Werkzeuges steigt dessen Verschleiß wobei sich somit der Betrag des Eckenradius stets ändert. Dies resultiert laut oben genannter Formel in einer Veränderung der Oberflächengüte des bearbeiteten Geometrieelements.

Drehende Verfahren weisen eine starke gerichtete Bearbeitungsrichtung auf, weshalb durch-

weg gerichtete, rillige Oberflächen entstehen. Diese gerichteten Oberflächen weisen in der Regel quer zur Schnitttrichtung größere Rauheiten als in Schnitttrichtung auf.[Denkena] Diese Rillen sind stark geprägt von der Form und dem Verschleißzustand des Drehmeißels sowie der Vorschubbewegung. [Paucksch.2008] Weiterhin ist die Oberflächenrauheit geprägt von der Zerspanbarkeit des Werkstoffes. Eine gute Zerspanbarkeit ermöglicht geringe Fehler in der Form und Oberflächengüte des Bauteils. Werkstoffe mit einer homogenen Gefügebildung erreichen eine höhere Arbeitsgüte einfacher als Werkstücke mit Fehlstellen (z.B. Lunker oder Porositäten).

Wie alle Verfahren erzeugt auch das Drehen erfahrungsgemäß typische Fehler am Werkstück, die konkreten Ursachen zugeordnet werden können. Dies ermöglicht, den Rückschluss vom Fehler auf die Ursache und ermöglicht eine Anpassung der Prozessparameter um eine höhere Arbeitgenauigkeit zu steuern.

Ungenügende Maßgenauigkeit lässt sich zum Beispiel über einen zu hohen Verschleiß des Werkzeuges erklären. Mit übermäßigem Verschleiß wird der Schneidkantenversatz des Drehmeißels zu groß, was eine kontrollierte Einstellung der Oberflächenrauheit erschwert. Eine weitere Ursache für zu hohe Maßabweichungen kann weiterhin in einer Durchbiegung des eingespannten Werkstückes liegen. Dies resultiert aus zu hohen Passivkräften bei der Zerspanung (zu hohe Schnitttiefe oder Werkzeugvorschub), fehlender Abstützung schlanker Werkstücke oder einem zu hohen Einstellwinkel κ des Werkzeuges. [Schönherr]

Ein weiterer Fehler, der sich bei drehend hergestellten Bauteilen finden lässt ist die Unrundheit des Profils außerhalb der vorgegebenen Toleranzen. Ein Grund dafür liegt in der übermäßigen Durchbiegung des Bauteils aus den oben genannten Gründen. Außerdem wirken sich eine ungenaue, außermittige Zentrierung, Längsführungen oder Hauptspindellagerungen mit zu viel Spiel und elastische Verformungen des Werkstückes durch zu hohe Spannkraften negativ auf die Rundheit des Bauteils aus.[Dietrich.2014], [Schönherr.2002]

Bei Drehteilen lassen sich weiterhin wellige Oberflächen feststellen. Die ergibt sich aus Schwingungen der Drehmaschine und damit auch des Werkzeuges im Eingriff durch zu hohes Spiel in den Führungen der Maschine. Außerdem führen eine zu falsche Werkzeugeinspannung und zu hohe Schnittleistungen zum Einbringen von zusätzlichen Schwingungen in die Werkzeugmaschine, was die Bildung welliger Oberflächen begünstigt. [Dietrich.2014]

Rattermarken am Werkstück entstehen aufgrund eines instabilen Werkzeugs (Auskräglänge zu groß, Schaftquerschnitt zu gering oder instabile Einspannung), zu hohen Passivkräften bei der Bearbeitung, einem zu hohen Freiflächenverschleiß oder einer ungenügenden Schneidkanten-schärfe des Werkzeuges, beispielsweise wegen einer Beschichtung dessen. [Schönherr.2002]

Eine konische Form des angestrebten zylindrischen Bauteils entsteht laut [Dietrich] aufgrund einer nicht fluchtenden Anordnung von Drehachse der Maschine und der Achse der Spitze des

Reitstocks.

Kratzer auf der Oberfläche eines Drehteils lassen sich auf Oxidationsverschleiß der Nebenschneide des Werkzeugs oder auf den Kontakt mit Spänen zurückführen, welche die fertig gedrehte Oberfläche beschädigen. [Schonherr.2002]

3.3 Fertigungsabweichungen beim Bohren

Beim Fertigungsverfahren Bohren sind verschiedene Maßtoleranzen und Rautiefen zu erreichen. Auch beim Bohren sind die Werte stark von dem Bohrverfahren und den Prozessparametern abhängig. Tabelle 1 stellt den Sachverhalt anschaulich dar.

Verfahren	Maßtoleranz	Rautiefe R_t in μm	Oberflächenqualität
Bohren ins Volle	IT12	80	Schruppen
Aufbohren mit Wendelsenkern	IT11	20	Schlichten
Senken mit Flach- und Formsenkern	IT9	12	Schlichten
Reiben	IT7	8	Feinschlichten
Ausdrehen mit Ausdrehmeißel oder mehrschneidigem Bohrkopf	IT7	8	Feinschlichten
Ausdrehen mit Hartmetallschneiden und sehr kleinem Spanungsquerschnitt	IT7	4	Feinschlichten

Tabelle 1: Maßtoleranzen und Rautiefen verschiedener Bohrverfahren (Quelle: Todo)

Des Weiteren beschreibt [Schoenherr] die Abhängigkeit der erreichbaren Genauigkeiten vom Material des Bohrers. So sind mit HSS-Spiralbohrern Toleranzen von IT12, mit Vollhartmetall-Spiralbohrern Toleranzen von IT9 und mit geradgenutetem Vollhartmetallbohrer Toleranzen von IT7 herstellbar.

Generell ist aber zu sagen, dass ein Bohren ins Volle mit einem Wendelbohrer stets eine Schrubbearbeitung darstellt. Das heißt es ist keine hochgenaue Fertigung möglich. Viel bessere Genauigkeiten lassen sich mit Reiben, Senken, Feinbohren und Ausdrehen erzielen. [Schonherr.2002]

Die Formgenauigkeit einer Bohrung wird hauptsächlich durch deren Rundheit und Geradheit beschrieben. Mangelnde Formgenauigkeit kann verschiedene Ursachen haben. Dazu zählen eine nicht ausreichende hohe Steifigkeit von Werkzeugmaschine, Werkzeug und der Werkzeugaufnahme. Weiterhin wirken sich eine schlechte Zentrierung beim Anschnitt, ungleichmäßiges Schneiden aller Hauptschneiden des Bohrers und zu hohe Belastungen (Vorschub- und Schnittkräfte) negativ auf die Formhaltigkeit der Bohrung aus. Positiv können sich hingegen die Verwendung

geradgenuteter oder rechtsgedrallter Bohrer und eine gute Spanbildung (Spanformung, Spanbruch, Spanabfuhr) niederschlagen.

Von Werkzeugen verursachte Asymmetrien unterscheiden sich deutlich von werkstückbedingten Asymmetrien. Dadurch entstehen typische Bohrfehler.

Durch ungünstige Werkzeuge zu begründende Fehler bohrend hergestellter Flächen sind beispielsweise Überweite und Konizität des Geometrielements. Dabei sind nach [Paucksch] vor allem durch Anschlifffehler erzeugte asymmetrische Werkzeuge ursächlich. Diese sind charakterisiert durch Hauptschneidenlängenunterschiede, Einstellwinkeldifferenzen, Spitzenlängenabweichungen und Außermittigkeit der Werkzeugquerschneide. Überweite kommt dabei am häufigsten vor. [Winkler] nennt neben dem ungünstigen Anschliff des Bohrers außerdem den Einsatz falscher Bohrerdurchmesser sowie den übermäßig langen und damit verschleißreichen Einsatz von Bohrern als weitere Gründe für eine Überweite der Bohrung.

Abbildungsverzeichnis

1	Ausschnitt aus der Istoberfläche für die Beurteilung der Gestaltabweichung . . .	5
2	DIN EN 8785 - Oberflächenunvollkommenheiten	7