

## Serie Praxiswissen – Folge II-04:

# Kleinteile-Geometrieprüfung mit Bildverarbeitung

### 1. Aufgabenstellung

Fehlerhafte Kleinteile können trotz geringer Herstellungskosten erhebliche Folgekosten bei deren Weiterverarbeitung verursachen. Nicht erkannte Toleranzüberschreitungen führen oft zur Fehlfunktion ganzer Baugruppen oder Fertigprodukte. In Einzelfällen, insbesondere bei Verbindungselementen, kann es sogar zu Sicherheitsrisiken kommen. Deshalb wird den Zulieferern von Kleinteilen zunehmend eine 100%-Geometrieprüfung von den Kunden vorgeschrieben. Einsatzmotive für den Hersteller sind z.B. Sortierung bei unzureichender Fertigungsgenauigkeit oder Prozessstabilität sowie die Sicherstellung der Kundenzufriedenheit bei Endverbrauchern.

Kleinteile werden in Massenfertigung hergestellt und liegen überwiegend als Schüttgut vor. Lediglich Präzisionsteile werden häufiger schonend in Magazinen transportiert. Auf Kaltmassivumformungs-Stufenpressen hergestellte Press- und Fließpressteile, Stanz-, Feinstanz- und Stanzbiegeteile sowie Präzisions-Dreh- und Frästeile sind als kundenspezifische Zulieferteile die erste wichtige Produktgruppe. Die zweite große Gruppe zu prüfender Teile bilden Verbindungselemente wie Schrauben, Muttern, Bolzen und Scheiben.

Geometrieprüfungen erfolgen bevorzugt per Bildverarbeitung im sogenannten Durchlichtverfahren. Der Prüfling wird dabei zwischen Beleuchtung und Kamera hindurchgeführt. Aus dem Schattenbild können die Konturverläufe mit Subpixelinterpolation sehr genau ermittelt werden. Innere Merkmale werden teilweise im Auflichtverfahren erkannt. Beleuchtung und Bildaufnahme erfolgen hier aus der gleichen Richtung. Sogenannte Laser-Mikrometer und Laser-Abstandsmessgeräte werden oft ergänzend zur Messung von Höheninformationen eingesetzt. Seltener sind dagegen zerstörungsfreie Materialprüfsysteme zur Gefügeprüfung zu integrieren.

Prüfaufgabe	Typische Merkmale	Machbarkeit
<b>Maßhaltigkeit von Außenkonturen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Umfangskonturen</li> <li>Durchgehende Innenkonturen wie Bohrungen oder Ausstanzungen</li> <li>Außengewinde</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gut messbar mit Bildverarbeitung im Durchlichtverfahren</li> <li>Für Höhenmessungen werden oft ergänzende Laser-Mikrometer integriert</li> </ul>
<b>Anwesenheit nicht durchgehender Innenkonturen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sacklöcher</li> <li>Vertiefungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schwieriger erkennbar mit Bildverarbeitung im Auflichtverfahren</li> <li>Einsatz von Laserabstandssensoren</li> </ul>
<b>Anwesenheit von Innengewinden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Innengewinde in durchgehenden Bohrungen oder Sacklöchern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anwesenheit von Innengewinden mit Bildverarbeitung im Auflichtverfahren erkennbar; auch bei Sacklöchern</li> <li>Keine Innengewindevermessung</li> </ul>
<b>Spanfreiheit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anhaftende Späne</li> <li>Späne in Sacklöchern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gut erkennbar an Außenkonturen</li> <li>In Sacklöchern bedingt erkennbar</li> </ul>
<b>Vollständigkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anwesenheit und richtiger Sitz aller Montageteile</li> <li>Vollständige Ausformung z. B. von Spritzguss oder Sinterteilen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Meistens mit Bildverarbeitung erkennbar</li> </ul>
<b>Oberflächenfehler</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dellen, Einprägungen</li> <li>Kratzer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Überwiegend machbar jedoch sind andere Bildverarbeitungsfunktionen als bei Messaufgaben einzusetzen</li> <li>Eher spezialisierte Anbieter</li> </ul>

**Tabelle 1: Aufgaben der Kleinteile-Geometrieprüfung**



## 2. Verfügbare Lösungstechnologien und Produktklassen

Hinsichtlich Prüfrate, Zuverlässigkeit und Messgenauigkeit kommt der Teilehandhabung bei der Kleinteile-Geometrieprüfung eine entscheidende Rolle zu. Für höhere Anforderungen werden komplette Prüfzellen angeboten deren wesentliche Unterschiede sich im Handhabungskonzept zeigen.

<b>1. Kleinteileprüfzellen</b>
<p>Kleinteileprüfzellen sind komplette vollautomatische Geometrieprüfmaschinen für vorwiegend als Schüttgut vorliegende Kleinteile mit Prüftechnik, Mechanik, Steuerung und anwendungsspezifischem Engineering. Wesentliche Funktionsgruppen sind Teilezuführung, Werkstückhandhabung für die Messstationen, Bildverarbeitung und Sortierstationen für Gut- bzw. Schlechteile. Optional können Messsysteme für ergänzende Zusatzprüfungen sowie Verpackungseinrichtungen hinzukommen.</p>
<p><b>1.1. Kleinteileprüfzellen mit Teilerutsche</b>          Die vereinzelt Prüflinge werden über eine Rutsche an einer oder mehreren 2D-Messkameras mit telezentrischen Objektiven vorbeigeführt. Gemessen wird im Durchlichtverfahren, daß heißt die Teile unterbrechenden den Strahlengang zwischen Beleuchtung und Kamera. Deshalb ist die Rutsche entweder aus Glas ausgeführt, oder mit Öffnungen als Messfenster versehen. Eine mechanische Sortierweiche trennt Gut- und Schlechteile.</p>
<p><b>1.2. Kleinteileprüfzellen mit horizontalem Glasdreheller</b>          Nach der lagerichtigen Zuführung und Vereinzelung werden die Prüflinge auf einen rotierenden Gesteller abgelegt. Der Gesteller fördert diese meistens an mehreren Kamerastationen vorbei an denen die Teile aus verschiedenen Ansichten im Durchlicht- oder im Auflichtverfahren geprüft werden. Pneumatisch werden Gut- und Schlechteile an den Sortierstationen ausgeblasen.</p>
<p><b>1.3. Kleinteileprüfzellen mit vertikalem Drehteller</b>          Ausbuchtungen am Umfang eines vertikalen Drehtellers nehmen die geordnet zugeführten Teile bei diesem Handhabungskonzept auf. Axiale Durchlichtanordnungen sowie axiale und radiale Auflichtanordnungen der Kameras sind hier möglich.</p>
<p><b>1.4. Kleinteileprüfzellen mit Stahlband-Förderung</b>          Vororientierte rotationssymmetrische Kleinteile werden zwischen zwei hochkant stehenden umlaufenden Stahlbändern eingespannt und auf diese Weise unter der im Durchlicht arbeitenden Kamera hindurchgefördert. Die Stahlbänder weisen eine sehr geringe Dicke auf und beeinflussen deshalb nicht das Messergebnis in der Aufsicht.</p>
<p><b>1.5. Kleinteileprüfzellen mit Industrieroboter</b>          Komplexe Kleinteile werden durch einen Industrieroboter von der Bereitstellungsposition entnommen und können in beliebigen Ansichten bzw. Projektionen dem Kamerasystem zur Vermessung präsentiert werden. Die Teilebereitstellung kann manuell, in Magazinen oder als Schüttgut erfolgen.</p>
<b>2. Kamerasysteme zum flexiblen Ordnen</b>
<p>Kamerasysteme zum flexiblen Ordnen werden in die Förderstrecken automatischer Schüttgut-Zuführlösungen integriert. Mittels Kamera und Bildverarbeitung erkennen sie Typ sowie Orientierung der geförderten Teile, um falsch orientierte Teile in den Teiebunker zurückzubefördern und richtig orientierte passieren zu lassen. Gleichzeitig kann eine grobe Geometrieprüfung erfolgen.</p>
<p><b>2.1. Kamerasensoren zur Lageerkennung</b>          Kamerasensoren zur Lageerkennung erfassen die Orientierung zuzuführender Teile mit Zeilen- oder Flächenkameras im Durchlichtverfahren. Die Geräte werden in bestehende Förderstrecken quasi als flexible Schikanen integriert. Zwischen Beleuchtung und Kamera des Sensors werden die Teile hindurchgefördert. Mit dem Auswertergebnis können Sortiereinrichtungen angesteuert werden.</p>
<p><b>2.2. Kamera-Ordnungseinheiten</b>          Kamera-Ordnungseinheiten sind integrierte flexible Zuführsysteme bestehend aus Bildverarbeitung, Förderstrecke und Sortiereinrichtungen z.B. Ausblasdüsen zur Trennung von richtig und falsch orientierten sowie von Schlechteilen. Zeilenkameras erfassen im Durchlichtverfahren die zwischen Beleuchtung und senkrechter Kamerazeile hindurchgeförderten Teile. Aus Gründen der Messgenauigkeit wird eine separate schwingungsentkoppelte Förderstrecke eingesetzt.</p>

**Tabelle 2: Lösungstechnologien und Produkte zur Kleinteile-Geometrieprüfung**



Hohe Stückzahlen und geringe Teilekosten erfordern aus Wirtschaftlichkeitsgründen einen hohen Automatisierungsgrad der Geometrieprüfung. Automatisierungsgrad sowie die Bereitstellung als Schüttgut wiederum stellen hohe Anforderungen an das Handhabungskonzept für die Kleinteile. Damit wird die Handhabung der Prüflinge zu einer zentralen Herausforderung und dem wichtigsten Unterscheidungsmerkmal der angebotenen Lösungen. Aus diesem Grund bieten spezialisierte Anbieter hier für hohe Anforderungen ausschließlich komplette Prüfmaschinen als Kleinteileprüfzellen an.

### 3. Auswahl der Lösungstechnologie

Bei geringeren Genauigkeitsanforderungen bis ca. 0,3 mm können kostengünstige Kamerasysteme zum flexiblen Ordnen eingesetzt werden. Diese Bildverarbeitungslösungen können neben der Zuführaufgabe auch eine Geometrieprüfung durchführen. Möglich ist die Messung durchgehender Außen- und Innenkonturen im Durchlichtverfahren. Höhere Prüfgenauigkeiten bis typisch 0,01 mm, mehrere Prüfansichten sowie komplexere Prüfmerkmale erfordern den Einsatz von Kleinteileprüfzellen auf die sich nachfolgende Ausführungen konzentrieren.

Auswahlkriterien	Rutsche	Horizontaler Glasdrehsteller	Vertikaler Drehsteller	Stahlband	Messroboter
<b>Teilegeometrie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotations-symmetrisch</li> <li>• Flach</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flach</li> <li>• Kompakt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotations-symmetrisch</li> <li>• auch mit Kopf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotations-symmetrisch</li> <li>• Flach</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beliebig</li> <li>• Komplexe Teile</li> </ul>
<b>Anzahl Prüfstationen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typisch 1-2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typisch bis 6</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typisch bis 4</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typisch 1-2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typisch 1-2</li> <li>• Beliebige Anzahl Ansichten</li> </ul>
<b>Auflichtprüfungen für Anwesenheitskontrollen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bedingt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bedingt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Möglich; aber kein Standard</li> </ul>
<b>Taktrate</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typisch bis 200 Teile/ min</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typisch bis 400 Teile/ min</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typisch bis 400 Teile/ min</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typisch bis 600 Teile/ min</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beispiel 6 Teile/ min bei 10 Merkmalen</li> <li>• Oft für Stichprobenmessungen</li> </ul>
<b>Anzahl Ausschleusstationen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 mit Teileweiche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mehrere möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mehrere möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 mit Teileweiche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mehrere möglich</li> </ul>

**Tabelle 3: Auswahlkriterien für Handhabungskonzepte von Kleinteile-Geometrieprüfzellen**

Die Lösungsauswahl bei Kleinteileprüfzellen wird entscheidend durch die Werkstückgeometrie beeinflusst. Bei kompakten Prüfteilen z.B. Muttern weisen Länge, Breite und Höhe des umschreibenden Rechtecks typische Kantenverhältnisse bis 1:1,5 auf. Der Glassteller ist hier meistens das Handhabungskonzept der Wahl. Rotationssymmetrische Dreh- und Pressteile können in einer Rutsche mit Prismenschiene am einfachsten geprüft werden. Bei hohen Prüfratenanforderungen bieten sich die Stahlband-Handhabung oder der vertikale Drehsteller als Alternativen an. Für flache Teile wie Stanzteile bietet sich eine Rutsche mit Flachschiene oder für komplexe Prüfungen der Glassteller an. Die Komplexität einer Prüfaufgabe wird bestimmt von der Anzahl der Prüfstationen bzw. Prüfansichten, der Notwendigkeit komplexerer Beleuchtungskonzepte sowie dem Umfang nicht im Durchlicht zu erkennender Prüfmerkmale.

Zu berücksichtigen ist die Abhängigkeit von Taktrate und Teillelänge. Je kürzer das Teil desto höher ist die erreichbare Taktrate. Begrenzend ist nicht die Bildverarbeitung sondern die Handhabungstechnik mit Teilezuführung und Verkettung der Messstationen.



#### 4. Anforderungsparameter und Produktauswahl

Bei der Lastenhefterstellung und Produktauswahl sind insbesondere folgende Spezifikationsparameter zu berücksichtigen:

Anforderungsparameter	Definition/ Einfluss/ typische Werte
<b>Leistungsparameter</b>	
<b>Wiederholpräzision</b>	<p>Die örtliche Wiederholpräzision ist die Genauigkeit mit der sich eine Messung mit einem definierten Messnormal bei mehrfachem Hindurchfördern zwischen Beleuchtung und Kamera wiederholen lässt. Es findet also eine örtliche Veränderung mit dem Referenzprüfling statt in Abgrenzung zur zeitlichen Wiederholpräzision mit Messreihen bei feststehendem Prüfling.</p> <p>Zur Kleinteileprüfung ist in der Regel die Wiederholpräzision anstelle der absoluten Messgenauigkeit vollkommen ausreichend, da geringe Abweichungen von bekannten Sollwerten zu messen sind.</p> <p>Die Wiederholpräzision ist abhängig von der Größe des auf den Kamerachip abgebildeten Messfensters. Als Daumenwert kann eine Wiederholpräzision von 0,05% des Messfensters genommen werden. Bei einem Messfenster von 20 mm beträgt die Wiederholpräzision ca. 0,01 mm.</p>
<b>Prüfteilrate</b>	<p>Eine wesentliche Leistungsgröße der Prüfzelle ist die Prüfteilrate. Diese wird üblicherweise in Teile/min. beschrieben. Engpass ist hier die Handhabungstechnik und nicht die eigentliche Messung. Die Zuführsysteme sind in ihrer Ausbringungsleistung begrenzt. Gravitation und Zentrifugalkraft z.B. bilden physikalische Grenzen der Verkettung.</p> <p>Die Prüfteilrate hängt ab von Handhabungskonzept (siehe Tabelle 3) und Teillelänge. Je länger ein Prüfling in Förderrichtung desto geringer wird die Taktfolge in Zuführung und Verkettung. Typische Prüfteilraten beim Glastellerprinzip liegen z.B. zwischen 120 Teile/min. für Zahnräder und 480 Teile/min. für M3-Muttern.</p>
<b>Maximale Prüfteilgröße (Parameter abhängig von Prüfteilgeometrie)</b>	
	Die Prüfteilgröße ist wichtig für die Dimensionierung der Teilehandhabung und der Messobjektive. Messfeldgröße der Kamera und Messgenauigkeit sind direkt miteinander gekoppelt. Nachstehende Grenzwerte für Standardkonzepte sind als Anhaltspunkte zu verstehen. Darüber hinausgehende Sonderlösungen sind im Einzelfall möglich.
<b>Max Teilegröße</b> - kompakte Teile	Maximale Kantenlänge eines umschreibenden Rechtecks. Maximale Prüfteilgrößen bis 80 mm sind typisch.
<b>Max. Teiledurchmesser</b> - rotationssymmetrische Teile	Maximaler Außendurchmesser eines rotationssymmetrischen Prüfteils. Durchmesserwerte bis 50mm werden von den meisten Systemen beherrscht.
<b>Max. Teillelänge</b> - rotationssymmetrische Teile - flache Teile	Maximale Kantenlänge eines umschreibenden Rechtecks der zu prüfenden Teile. Teillelängen bis 100 mm sind gängig.
<b>Max. Prüfteilbreite</b> - flache Teile	Maximale Breite flacher Prüfteile quer zur Förderrichtung. Werte bis 80 mm sind in der Regel unkritisch.
<b>Einsatzvoraussetzungen</b>	
<b>Stabile Lagen</b>	Vorhandensein von Auflageflächen, -linien oder -punkten auf denen das Teil gefördert werden kann ohne umzufallen oder zu kippen. Für alle Schüttgut-Prüfzellen ist dieses eine notwendige Einsatzvoraussetzung
<b>Gereinigte und getrocknete Teile</b>	<p>Sind die Teile frei von anhaftendem Öl, Schmutz und Wasser? Wurden die Teile nach einem Reinigungsprozess getrocknet? Insbesondere Handhabungskonzepte mit Glasteller oder Glasrutsche sind empfindlich gegen derartige Verunreinigungen. Die Handhabung mit Stahlbändern oder vertikalem Drehteller ist etwas unempfindlicher.</p> <p>Grundsätzlich wird jedoch jedes Messergebnis durch Anhaftungen von Öl, Schmutz oder Wasser verfälscht. Deshalb sollten die Prüfteile grundsätzlich sauber und trocken sein.</p>

**Tabelle 4: Anforderungsparameter für Spezifikation und Auswahl von Kleinteile-Geometrieprüfzellen**



## 5. Inhalte im Such- und Spezifikationswerkzeug xpertgate

In dem gebührenfreien Such- und Spezifikationswerkzeug [www.xpertgate.de](http://www.xpertgate.de) finden Sie zu diesem Thema:

- Eine Lieferantenübersicht der am deutschen Markt vertretenen Anbieter zu den oben beschriebenen Produktklassen
- Spezifikations-Lösungssuchen zur Produktauswahl über die oben beschriebenen Anforderungsparameter
- Lösungssuchen nach Anwendungen
- Applikationsbeispiele verschlagwortet nach Anwendungen, Erzeugnissen und Branchen

