

## Arbeitsabstände von Mess- und Inspektionsobjektiven

### **Blindes Vertrauen**

**Mit der Größe eines zu prüfenden Werkstücks wachsen oft auch die Schwierigkeiten der dabei verwendeten Mess- und Inspektionsobjektive. Eine der zentralen Fragen ist in diesem Zusammenhang die nach dem optimalen Arbeitsabstand – ein für den Anwender außerordentlich wichtiger Kennwert.**

Als Arbeitsabstand wird die Distanz zwischen dem untersten Punkt des Objektivs bis zur Gegenstandsebene bezeichnet. Die Gegenstandsebene wiederum ist diejenige am Werkstück, die im Bild scharf dargestellt werden soll.

Ist das zu prüfende Teil relativ flach oder weist es nur geringe Höhenabstufungen auf, verursacht auch ein relativ geringer Arbeitsabstand meist keine Probleme, da das Messobjektiv fest eingestellt werden kann.

Nun wird beim optischen Messen oder Inspizieren, zum Beispiel mit Mikroskopen, ja unterhalb des Objektivs agiert. Um dabei einen zügigen Arbeitsablauf zu ermöglichen, sollten sich die Werkstücke leicht und schnell auf das Messgerät legen und auch wieder entfernen lassen. Mit zunehmender Größe oder Sperrigkeit der Prüflinge wird dafür immer mehr Bewegungsspielraum benötigt.

Zudem erfordern größere Werkstücke wegen der ausgeprägten Höhenunterschiede in ihrer Struktur ein häufiges Nachfokussieren während der Prüfung. Weisen die Objektive des Messgeräts nur einen geringen Arbeitsabstand auf, kann es beim Fokussieren passieren, dass sie – bedingt durch den geringen Arbeitsabstand – auf dem Werkstück aufsetzen. Dann muss der Prüfbereich neu eingestellt oder das verschobene Werkteil neu ausgerichtet werden, was natürlich einen erheblichen Zeitverlust bedeutet. Nicht ausgeschlossen ist auch, dass das Werkstück oder gar das Messobjektiv durch den hohen Druck beim Aufsetzen beschädigt werden.

Diese Risiken lassen sich mit einem größeren Arbeitsabstand erheblich begrenzen. Ein großer Arbeitsabstand ermöglicht ein unkompliziertes und sicheres Arbeiten, da die Gefahr, das Objektiv beim Auflegen und Entfernen des Werkstücks zu beschädigen, relativ gering ist. Außerdem ist das Fokussieren des Bildes problemlos, weil kaum ein Risiko besteht, das Objektiv versehentlich auf das Werkstück aufzusetzen.

Wäre es unter diesen Voraussetzungen nicht logisch, beim Prüfen großer Werkstücke ausschließlich Objektive mit sehr großen Arbeitsabständen einzusetzen? So einfach ist die Lösung leider nicht. Denn ihr stehen gleich mehrere physikalische Grenzen und Herausforderungen der Optik entgegen, vor allem die Schärfentiefe und das Auflösungsvermögen.

### **Die Schärfentiefe**

Die Schärfentiefe bezeichnet die Länge entlang der optischen Achse, in der das durch das Objektiv erzeugte Bild scharf erscheint.

# Mitutoyo

Theoretisch müssten sich die Lichtstrahlen, die von einem Punkt des Gegenstands ausgehen, auch alle wieder in einem Punkt schneiden. Das ist allerdings bei den in Objektiven meist eingesetzten sphärischen Linsen mit ihren formbedingten Abbildungsfehlern nicht der Fall.

Stattdessen besteht immer eine gewisse Grundunschärfe. Sie macht es unmöglich, einen definierten Punkt auf der optischen Achse zu finden, an dem die Unschärfe minimal ist. Vielmehr gibt es stets einen kleinen Bereich entlang der optischen Achse, in dem sich die Schärfe des Abbilds nicht erkennbar ändert. Die Breite dieses Bereichs nennt man Schärfentiefe. Ein steilerer Öffnungswinkel des Objektivs, wie er ja bei großem Arbeitsabstand gegeben ist, verstärkt diesen Effekt noch. Umgekehrt führt ein kleiner Arbeitsabstand wegen des dann flachen Öffnungswinkels automatisch zu einer geringeren Schärfentiefe.

Größer wird der Öffnungswinkel natürlich auch, wenn die Brennweite ab- oder der Linsenradius zunimmt. Da der Linsenradius bei abgeglichenen Objektiven jedoch nicht frei wählbar ist, ist eine Änderung des Öffnungswinkels nur durch eine Änderung des Arbeitsabstands möglich.

Für reine Betrachtungen ist ein großer Schärfentiefenbereich sicherlich von Vorteil, da kleinere Höhenunterschiede nicht zu einem wiederholten Nachfokussieren führen. Für Messungen und Auswertungen im Bild ist eine hohe Schärfentiefe dagegen ein großer Nachteil, da es hier zu perspektivischen Verzerrungen kommt, die jede Auswertung verfälschen können. Gleichzeitig

wird eine Höhenmessung, die optisch nur durch Scharfstellung realisiert werden kann, mit zunehmender Schärfentiefe auch immer unsicherer.

## **Das Auflösungsvermögen**

Das Auflösungsvermögen ist ein weiterer wesentlicher Indikator für die Qualität eines Objektivs. Unter Auflösungsvermögen versteht man den kleinsten Abstand, den zwei Punkte oder parallele Linien gerade noch zueinander haben dürfen, damit sie durch das Objektiv noch als zwei getrennte Objekte erkannt werden.

Das Problem liegt nun darin, dass eine Erhöhung des Arbeitsabstands stets mit einem verringerten Auflösungsvermögen verbunden ist. Verkleinert man den Abstand zwischen den Objekten unter das Auflösungsvermögen, werden sie nicht mehr als zwei getrennte erkannt, sondern als ein einziges, etwas breiteres. Gesehen werden dann statt zweier Punkte ein Querstrich, statt zweier Striche ein breiter Balken.

Für das Auflösungsvermögen sind im Wesentlichen drei Faktoren verantwortlich: die Wellenlänge des Lichts, die Winkelapertur und das Medium zwischen Werkstück und Objektiv.

In der Regel wird bei Objektiven mit sichtbarem Licht gearbeitet und das Medium zwischen Objektiv und Prüfobjekt ist Luft. Für diesen Regelfall ergibt sich ein theoretisch maximal erreichbarer physikalischer Grenzwert für die Auflösung von  $0,2 \mu\text{m}$ . Dieser theoretische Grenzwert wäre allerdings nur dann zu erreichen, wenn der Öffnungswinkel des Objektivs  $90^\circ$  betragen würde.

Und das bedeutet: das Werkstück läge bereits im Objektiv – in der Praxis natürlich völlig absurd.

Realität ist stattdessen: Je weiter das Werkstück vom Objektiv entfernt ist – also je größer der Arbeitsabstand ist – umso steiler wird der Öffnungswinkel und schlechter das Auflösungsvermögen.

### **Was bleibt, ist blindes Vertrauen**

Als Anwender muss man letztlich Objektive finden, die einerseits einen relativ großen Arbeitsabstand und andererseits dennoch ein hohes Auflösungsvermögen und eine kleine Schärfentiefe aufweisen. Eine schwierige Aufgabe. Denn vor dem Kauf hat man nur wenig Möglichkeiten, die Qualität und das Leistungsvermögen eines Mess- oder Inspektionsobjektivs verlässlich zu bewerten. Im Grunde bleibt einem nur „blindes“ Vertrauen in die Angaben des Herstellers.

Orientierungshilfe bei der Objektivauswahl geben allerdings besondere Leistungsbeweise, wie sie zum Beispiel der Messgerätehersteller Mitutoyo antritt. Dessen Objektive zeichnen sich im weltweiten Vergleich nachweislich durch die größten Arbeitsabstände bei gleichzeitig hohem Auflösungsvermögen aus.

*Autor:*

*Dipl.-Ing. Jürgen Bergmann*

*Mitutoyo Messgeräte GmbH*

[www.mitutoyo.de](http://www.mitutoyo.de)

# **Mitutoyo**