

Bild 1 | Abbildung telezentrisches Objektiv 0,45x für 1/2"-Sensor ohne (links) und mit (mittig) verkippter Bildebene; rechts: entozentrisches Objektiv 0,45x für 1/2"-Sensor mit verkippter Bildebene.

Bild: Sill Optics GmbH & Co. KG

Gerader Blick auf schiefe Ebene

Kundenspezifische Objektive gemäß Scheimpflug-Prinzip

Aufgrund von baulichen Voraussetzungen ist es in vielen Bildverarbeitungs-Applikationen nicht möglich, senkrecht auf die zu prüfende Objektfläche zu blicken. Neben einem eingeschränkten Bauraum ist eine häufige Ursache die Tatsache, dass die senkrechte, gerade Blickrichtung bereits von einem Bearbeitungssystem oder einem weiteren Beobachtungssystem eingenommen wird.

Die Beobachtung des Bearbeitungsprozesses eines Lasers mittels Scanobjektiv (F-Theta Objektiv) wird in vielen Fällen durch das Scanobjektiv über eine seitliche Strahlauskopplung gelöst. Nachteilig sind hierbei der laterale Fokusversatz aufgrund der unterschiedlichen Wellenlängen von Beobachtung und Bearbeitung, sowie die geringe Apertur und damit die geringe Auflösung des Vision-Systems. Als Alternative hierzu kann die Beobachtung außerhalb des Scanobjektivs installiert werden, was in einer schrägen Orientierung der optischen Achse zur Objektebene (Bearbeitungsebene) resultiert. Die dadurch entstehenden Unschärfen und Verzerrungen können mit einer geeigneten Abbildungsleistung kompensiert werden. Unabhängig von der Ursache der verkippten Objektebene ist bei der Auswahl der richtigen Objektiv-Kamera-Kombination bereits zu prüfen, welche Abbildungsleistung erreichbar ist und

mit welchen Maßnahmen man die bestmögliche Bildqualität erreicht. Objektive mit großer Schärfentiefe können unter Umständen ohne jegliche Modifikation eingesetzt werden. Bei vielen Objektiven ist hingegen eine Korrektur der Lage der Bildebene (Scheimpflug-Prinzip) notwendig. Der österreichische Geodät Theodor Scheimpflug hat bereits Anfang des 20. Jahrhunderts eine geometrische Beziehung zwischen Objektebene, Objektivhauptebene und Sensorebene definiert, die erlaubt, die Bildunschärfe, die bei Verkipfung der Objektebene entsteht, durch Verkipfung der Bildebene (Sensorebene) zu kompensieren (Bild 2). Die Verkipfung der Sensorebene gleicht damit nur Bildschärfenfehler der Abbildung aus. Bildlagefehler, wie z.B. die Verzeichnung oder die Vergrößerungsänderung aufgrund eines nicht-telezentrischen Strahlengangs bleiben weiterhin bestehen (Bild 1 links+Mitte).

Sensorseitiger Verkippwinkel

Der Verkippwinkel auf der Bildseite (Sensorseite) kann zum einen über eine Modifikation am Objektiv als auch durch eine Modifikation am Sensor erfolgen. Sensorhersteller sind hierbei meist nicht sehr flexibel in der Modifikation der mechanischen Schnittstelle. Die meisten Objektivhersteller wiederum bieten Standardobjektive mit integriertem verstellbarem Scheimpflug-Adapter an. Nachteilig sind dabei die fehlende Stabilität aufgrund der Verstellbarkeit und die Tatsache, dass dennoch stets nur eine Einstellung die optimale Abbildungsleistung ermöglichen kann. Erfolg versprechend für Anwendungen mit hohen Anforderungen sind Optiken, die speziell für das vorgegebene Setup mechanisch angepasst werden. Durch die kundenspezifische Anpassung kann auf objektseitigen Blickwinkel, Arbeitsabstand, Abbildungsmaßstab, Sensor-

größe und Kameraanschluss gezielt eingegangen werden. Es handelt sich hierbei nicht um einen Adapter, den man zwischen Objektiv und Kamera schraubt, da sonst das Auflagemaß stark beeinflusst wird. Nach exakten Berechnungen wird der Adapter in die Objektivmechanik integriert. Besonders der Kameraanschluss und das Auflagemaß sind unterschätzte Parameter bei der Verwendung eines Scheimpflug-Adapters. Aufgrund der relativ kleinen Öffnung ($\varnothing 25,4\text{mm}$) mit vergleichsweise langem Auflagemaß ($17,53\text{mm}$) ist der C-Mount unpraktisch, weil Randstrahlen an der Kameraöffnung vignettiert werden und damit nicht der komplette Sensor genutzt werden kann. Auch von einem F-Mount ist abzuraten. Wesentlich geeigneter ist, auch bei Sensorgrößen 1" und kleiner, ein M42x1 Gewindeanschluss mit $<12\text{mm}$ Auflagemaß. Bei der Projektauslegung ist außerdem zu überlegen, ob die Verkippung gegenüber der optischen Achse in nur eine Richtung (vorzugsweise kurze Sensorkante) oder in zwei Richtungen erfolgen muss. Bei Zeilenkameras ergibt sich der Vorteil, dass Verkippung 90° entgegen der Zeilenorientierung mit einem Standardobjektiv problemlos möglich ist und keine Modifikation notwendig ist.

Telezentrische Objektive

Eine telezentrische Betrachtung bei gekippter Objektebene bringt gewisse Vorteile. Zum einen bleibt der Abbildungsmaßstab nahezu konstant, auch wenn sich durch den schrägen Blickwinkel deutlich unterschiedliche Arbeitsabstände für gegenüberliegende Kanten ergeben (Bild 1 Mitte+rechts). Des Weiteren ergibt sich eine deutlich geringere Verzeichnung über den gesamten Bildbereich. Bei sehr flachen Objekten kann über die Kalibrierung dieser Effekt für ento-

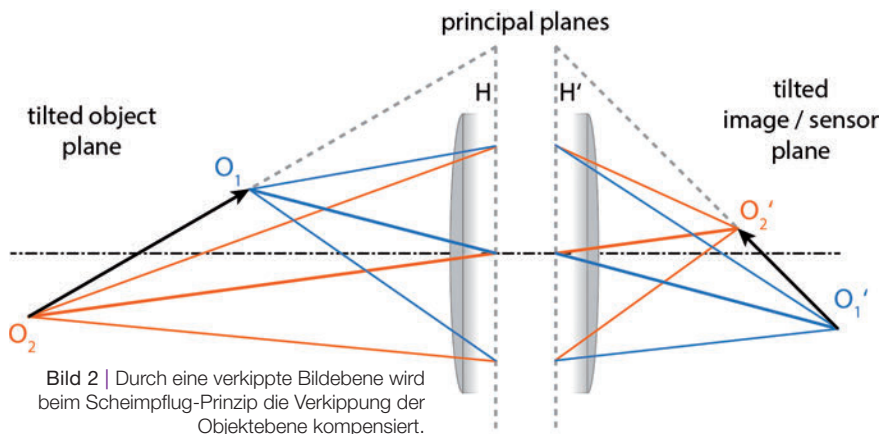


Bild 2 | Durch eine verkippete Bildebene wird beim Scheimpflug-Prinzip die Verkippung der Objektebene kompensiert.

zentrische Objektive kompensiert werden. Bei hoher geforderter Auflösung kann ein telezentrisches Objektiv dennoch gewisse Vorteile bieten. Für kleine Feldgrößen und kurze Arbeitsabstände wirkt sich dabei auch der Preisunterschied vergleichsweise gering aus.

Schärfentiefe

Nicht in jedem Anwendungsfall ist ein Scheimpflug-Adapter notwendig. Je höher die Schärfentiefe des Objektivs und je kleiner der Verkippwinkel gegenüber der senkrechten Blickrichtung, desto einfacher lässt sich die geforderte Anwendung mit Standardoptiken realisieren. Die Schärfentiefe ist abhängig von benötigter Auflösung, Apertur und Abbildungsmaßstab. Somit sind insbesondere große Objektfelder, die mit starker Verkleinerung abgebildet

werden, Abbildungen mit geringem Lichtbedarf, die eine kleine Blendenöffnung zulassen, sowie Aufnahmen, die keine hohe Anforderung an die Auflösung stellen, ohne eine modifizierte Mechanik scharf auf dem Sensor abbildbar. Anhand Ihrer Spezifikationen bietet Sill Optics Prüfung und Empfehlung geeigneter Objektive an. Für Scanobjektive mit Standard-Brennweiten bis $f'=160\text{mm}$ bieten wir zudem geeignete Standard-Beobachtungsobjektive mit vorgegebenem Betrachtungswinkel und empfohlener Sensorgröße an. ■

www.silloptics.de



Bild 3 | Besonders Kameraanschluss und Auflagemaß sind unterschätzte Parameter bei der Verwendung eines Scheimpflug-Adapters.

Autor | Andreas Platz, Projektmanagement Machine Vision, Sill Optics GmbH & Co. KG