

CIS-Sensors for Colour Image Processing: Benefits, Application Aspects and Case Studies

Dr. Nikolaus Tichawa



Burgwallstr. 14, D-86316 Friedberg
e-mail: n.tichawa@tichawa.de
URL: <http://www.tichawa.de>

1. Farb CIS-Sensoren für die Bildverarbeitung

Zunächst möchte ich die Frage beantworten, wer die **Tichawa Vision GmbH**  ist. Wir sind ein mittelständisches Unternehmen in Friedberg, Bayern, das 1991 von meiner Frau Christine und mir gegründet wurde. Als Physiker hatte ich die Idee, dass man aus den Bestandteilen eines einfachen Fax-Gerätes eigentlich eine prima Zeilenkamera bauen könnte. In der Zwischenzeit arbeiten in unserem Unternehmen 12 fachlich hochqualifizierte Mitarbeiter, um die Nachfrage nach CIS-Sensoren zu erfüllen, und unser jährliches Umsatz-Wachstum liegt bei ca. 30 %. Selbstverständlich sind wir nach DIN ISO 9001-2008 zertifiziert.

Im Laufe der Jahre haben wir uns seit 1991 auf die Entwicklung und die Herstellung von optoelektronischen Sensoren spezialisiert, wie z.B.

- Reduction Type Line Scan Sensoren
- Contact Image Line Scan Sensoren
- Low Distance Image Sensoren
- Spezielle Sensoren z.B. für Densitometrie

2. Traditionelle CIS-Sensoren in Kopierer und Faxgerät

Der Anfang meiner Überlegungen hatte ich mich mit der Technologie, die im weitesten Sinne ja Grundlage für vieles sein kann, auseinandergesetzt. In der Regel erfasst die Optik eines Faxgerätes nur Schwarz-Weiß mit 200 dpi mit einigen 100 Zeilen pro Sekunde. Erstaunlich viele Scanner, Faxgeräte und Kopierer arbeiten noch mit herkömmlichen „reduction type“ Kameras und mittels Spiegel „gefaltetem“ Strahlengang

3. Weiterentwicklung Desktop Scanner

Die Weiterentwicklung Desktop Scanner hat deutlich bessere Kennwerte

- Bis 2400 dpi realer Auflösung
- Farbe
- Aufwendige Datenverarbeitung in Software, nicht echtzeitfähig
- Die eher mäßige Bildqualität wird über Software weggemogelt

4. Der industrielle CIS



Die Weiterentwicklung der Tichawa Vision GmbH für Scanner in der fünften Generation ließ es schon in der Anfangszeit – um 2002 - möglich erscheinen

Die Objekte

- in Farbe zu erfassen
- Auflösungen bis zu 1200 dpi zu erzielen
- Geschwindigkeiten von bis über 100 000 Zeilen pro Sekunde zu erreichen

Der Einsatz unseres Erstgerätes als Kamera war dennoch eingeschränkt durch:

- Den geringen Arbeitsabstand von 0.2 mm
- Das Fehlen einer industrietauglichen Schnittstelle
- Den Mangel an langfristig verfügbaren Produkten

Die auch damals schon erkennbaren Stärken

- Niedriger Raumbedarf
- Einfache Justage
- Unempfindlichkeit gegen Vibration

motivierten uns, die Entwicklung weiterzuführen

5. Gerätevergleich

Wir haben also eine Matrix über Vor- und Nachteile in der Anwendung der gängigen Gerätearten:

- Traditioneller CIS
- Zeilenkamera
- Matrixkamera
- Modularer CIS

Tabelle 1: Gerätevergleich

Merkmal	CIS traditionell	Zeilen- kamera	Matrix- kamera	 Tichawa <i>Vision</i> GmbH Modularer CIS
Raumbedarf	Niedrig	Hoch	Hoch	Niedrig
Justage	Einfach	Komplex	Komplex	Einfach
Vibration	Gering	Hoch	Hoch	Gering
Verzeichnung	Nein	Ja	Ja	Nein
Lesebreite	Typ 216 mm	~ Bautiefe	~ Bautiefe	> 4 m
Auflösung Pixel/Zeile	6000	8000	4000	150000
Zeilenrate	< 10 kHz	> 100 kHz	> 100 kHz	> 100 kHz
Ausleuchtung und Randabfall	Nein	Bis 50 %	Bis 50 %	Nein
Randunschärfe	Nein	Ja	Ja	Nein
Sichtwinkel	Konstant	Variabel	Variabel	Konstant
Farbdeckung	Gut	Mittel	Schlecht	Gut
Farbmodell	Spektrales Loch	Überlappend	Überlappend	Überlappend
Engineering beim Anwender	Hoch	Hoch	Hoch	Niedrig
Tradeoff Auflösung vs. Zeilenrate	Ja	Ja	Ja	Nein
Arbeitsabstand und DOF	0/0,15 mm	2 – 50 mm	2 – 50 mm	0,5 – 20 mm
Produktion	China	EU, USA, Japan	EU, USA, Japan	EU
Signalverarbeitung	Fehlt	Vorhanden	Vorhanden	Vorhanden
Interne Intelligenz	Nein	Möglich	Möglich	Nein
Support	Nein	Ja	Ja	Ja
Integration mit Grabber und Software	Nein	Ja	Ja	Über Partner Stemmer Imaging

Der CIS bietet also in vielen Bildverarbeitungsanwendungen erhebliche Vorteile. Der wesentlichste Vorteil aus Sicht unserer Kunden ist vor allem der geringe Raumbedarf

6. Einführung in CIS Technologie und FarbCIS Technologie

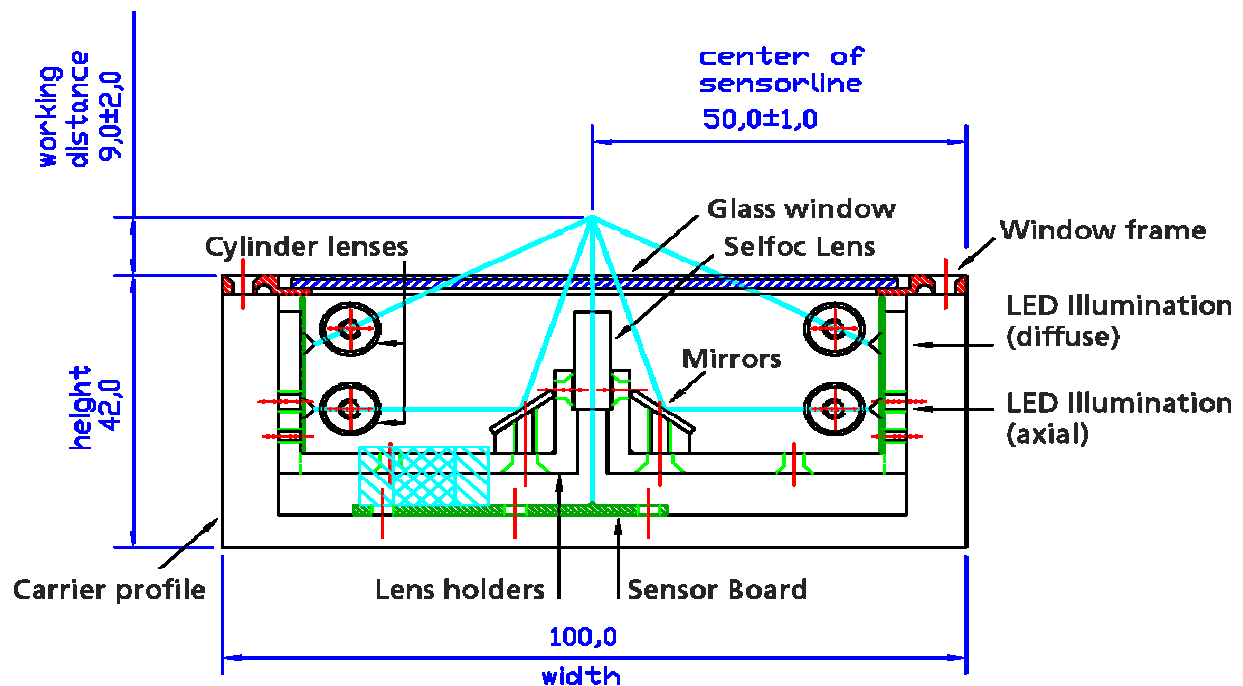


Abbildung 1: Der Aufbau von CIS-Sensoren

Wie aus der Abbildung erkennbar besteht ein CIS Sensor in der Regel aus

1. Abbildende Optik
2. Sensorelemente
3. Beleuchtung und Beleuchtungsoptik

Als **abbildende Optik** bei CIS Sensoren kommen GRIN Linsen Arrays zum Einsatz, ähnlich wie sie in Laserdruckern oder Faxgeräten verwendet werden.

Eine GRIN Linse ist im Grund genommen nur ein kurzes Stück einer Gradientenfaser mit polierten Enden. Die Gradientenfaser hat bekanntlich einen vom Radius abhängigen Brechungsindex, der Totalreflexion und die damit verbundenen Verluste vermeidet. Die abbildende Wirkung einer GRIN Linse liegt also nicht wie bei der herkömmlichen Linse in der äußeren Form begründet, sondern im örtlich veränderlichen Brechungsindex.

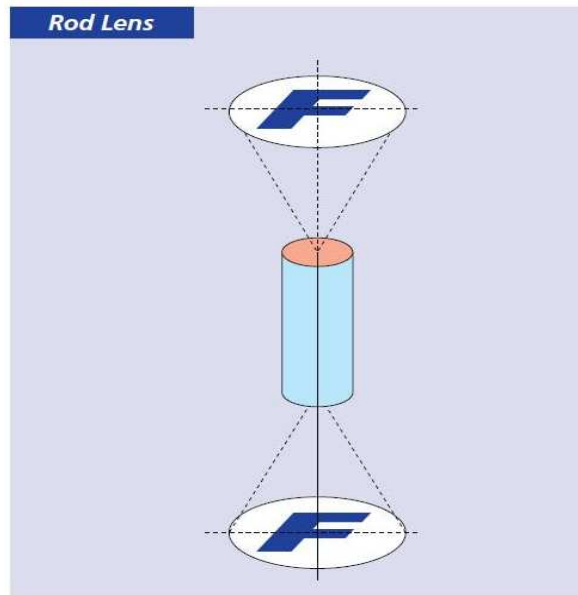


Abbildung 2: Rod Lens

Durch die zylindrische Form können GRIN Linsen zu Arrays gepackt werden.

Das Array besteht aus auf Maß geschnittenen und polierten GRIN Linsen in einem Kunstharzbett zwischen zwei Außenplatten. Die unvermeidlichen Schwankungen in der Dotierung werden – ähnlich wie man es von Folienkondensatoren kennt – durch den Zuschnitt weitgehend kompensiert

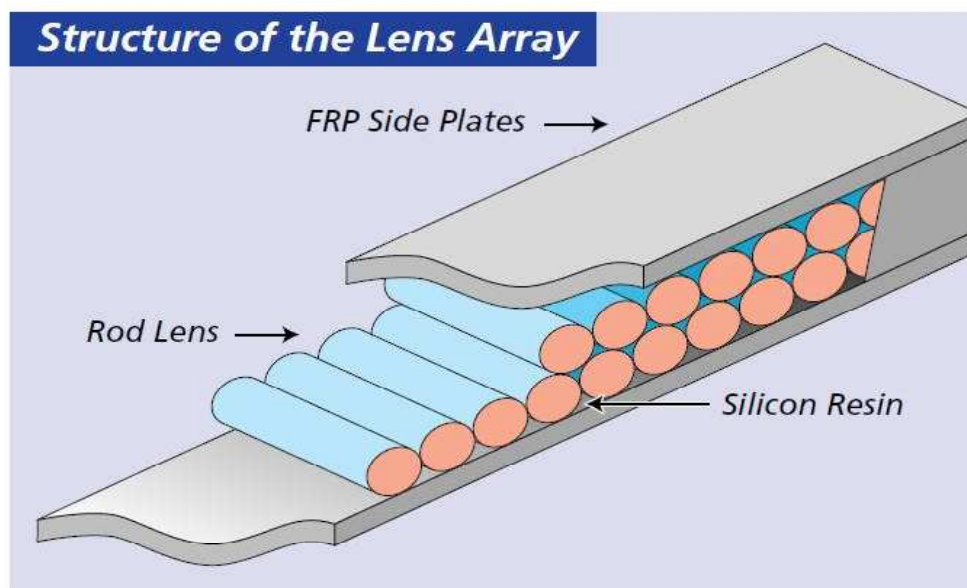


Abbildung 3: Lens Array

Die Linsen und Arbeitsabstände werden so gewählt, dass sich ein aufrechtes Bild im Maßstab

1:1 ergibt. Damit überlagern sich die einzelnen Abbildungen konstruktiv zu einem langen schmalen Gesamtbild.

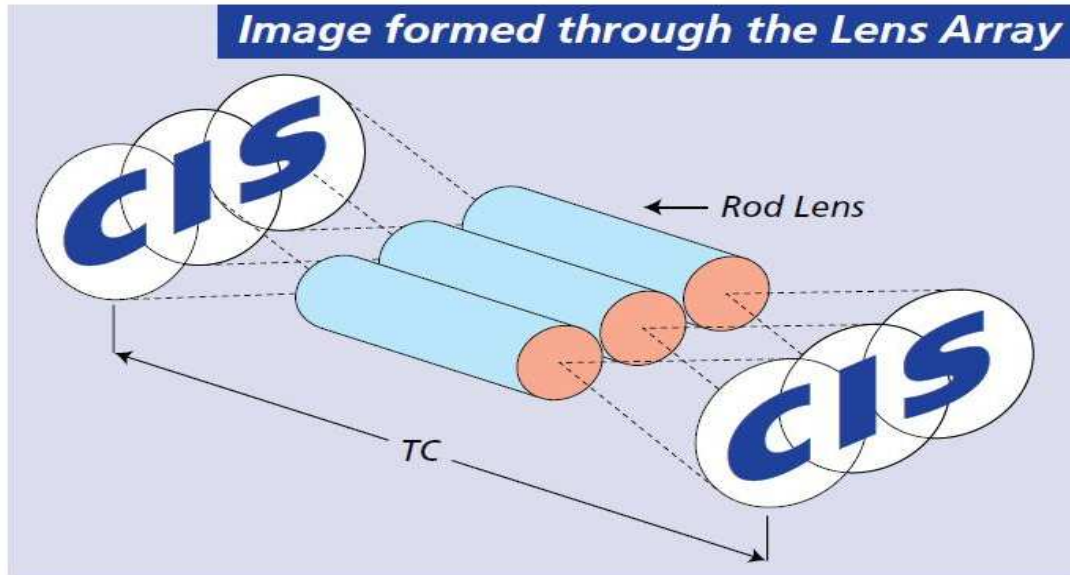


Abbildung 4: Bilddarstellung durch Linsenarray

Das Array ermöglicht im Zeilensensorbereich Abbildungsbereiche von einigen mm Breite mit bis zu mehreren Metern Länge. Gegenüber herkömmlichen abbildenden Systemen weist ein GRIN Linsen Array erhebliche Vorteile auf

- Sehr kompakter Aufbau. Objekte bis zu mehreren Metern Länge können in wenigen Zentimetern Weg abgebildet werden
- Senkrechter Blickwinkel über die gesamte Objektbreite
- Konstante Schärfe über die gesamte Objektbreite
- gleichmäßige Übertragungsfunktion über die gesamte Objektbreite
- Hohe Abbildungsgenauigkeit durch das sehr kleine Bild der einzelnen Linsen. Wir haben in Kundenapplikationen Abbildungsfehler unter 3 μm in einem Sichtfeld von 260 mm nachgewiesen

7. Die Sensorelemente von CIS Sensoren müssen

- ebenso groß sein wie das Objekt, also bis zu mehreren Metern Länge
- für industrielle Anforderungen geeignet sein (Stoß, Vibration)
- kompakt gebaut sein
- vernünftige Signalqualität bieten

Die Abbildung zeigt den typischen Aufbau eines – anreihbaren – Sensorassemblies.. Weiche Substrate (FR4) haben sich für hohe Beschleunigungen bewährt. In Verbindung mit dem

Schutz der Bonddrähte durch elastische Vergussmasse widerstanden solche Assemblies bei Tests Beschleunigungen von 10g und mehr. Es sind auch Anordnungen mit transparentem Vollverguss der Sensoren bekannt.

Unser Erfahrung nach ist damit aber die optische Weglänge nicht mehr exakt bekannt, häufig kommt es auch zu Lufteinschlüssen im Verguß mit resultierenden starken Abbildungsfehlern

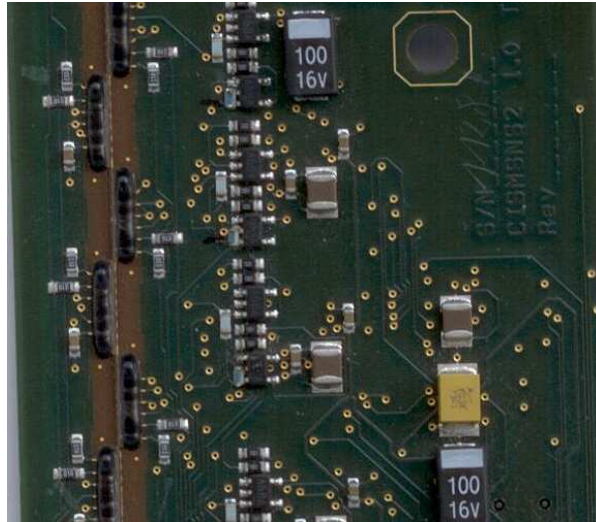


Abbildung 5: Inline-Sensorboard

Die Fugen zwischen den Sensorchips liegen typisch bei 13 μm , das ist für Auflösungen von 200 bis zu 600 dpi akzeptabel (0.1 bis 0.3 Pixel).

Für höhere Auflösungen empfiehlt sich, die Sensoren „staggered“ anzuordnen wie im Bild unten gezeigt und den Versatz in einer FIFO zu kompensieren wie von Zeilenkameras bekannt.

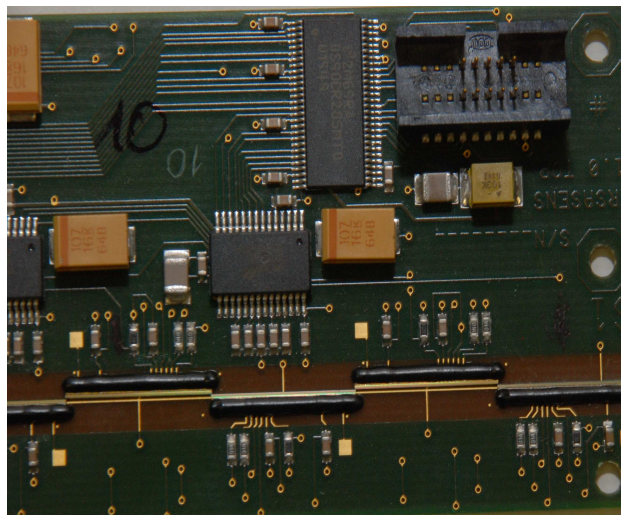


Abbildung 6: Staggered Sensorboard

8. Konzepte für CIS Farbsensoren

Die Pixel von bildgebenden Sensoren sind in der Regel zunächst nicht farbsensitiv (Ausnahme: FOVEON Sensor). Die Farbwirkung wird erst erzielt, wenn in dem Faltungintegral aus Lichtquelle, Übertragungsstrecke und Pixel farbselektive Komponenten wie farbige Lichtquellen oder Farbfilter eingesetzt werden.

Auch bei CIS Sensoren ist die Verwendung von Filtern bekannt, trilineare Implementationen ebenso wie Sensoren mit RGB-Pixeln in linearer Anordnung. Die Vielfalt von Auflösungen macht Farbfilter mit den zugehörigen Masken unverhältnismäßig teuer. Aus diesem Grund werden CIS Farbsensoren meist mit gemultiplexten farbigen Lichtquellen realisiert.

Bei unseren Farbsensoren wird der Multiplexzyklus vor dem Anwender verborgen, der innere Ablauf einer Zeile sieht etwa aus wie folgt

- Triggerimpuls
 - Mit rotem Blitz belichten, Zeile einlesen und buffern
 - Mit grünem Blitz belichten, Zeile einlesen und buffern
 - Mit blauem Blitz belichten, Zeile einlesen und buffern
 - RGB Daten ausgeben
 - Warten auf nächsten Trigger

Die resultierenden Bilder ähneln denen einer trilinearen Kamera, der Zeilenversatz beträgt allerdings nur 1/3 Pixel. Die Pixel unterschiedlicher Farbe decken sich wesentlich besser als bei einer „reduction type“ Kamera, weil die chromatische Verzeichnung praktisch entfällt.

9. Lichtquellen und Beleuchtungsoptik

In Verbindung mit CIS Sensoren sind uns nur LED Lichtquellen bekannt. Das hängt wohl mit dem geringen Bauraum sowie mit der Multiplexmöglichkeit zusammen.

Die Farbmodelle umfassen

- RGB
- RGB plus Infrarot
- Modelle mit andern Farbsequenzen für spezielle Anwendungen, z. B. Blau/IR1/IR2
- Falschfarben. In manchen Anwendungen ist es vorteilhaft, den vorhandenen RGB Standard zu nutzen, um monochrome Lichtquellen unterschiedlicher Geometrie auf ein Falschfarbenbild zu mappen

Beispiel Flieseninspektion

- Diffuses Licht für Fleckenerkennung, wird dem ROT Kanal zugewiesen
- reflektiertes Licht zur Kratzererkennung, wird dem GRÜN Kanal zugewiesen

- Backlight für die Konturerkennung, wird dem BLAU Kanal zugewiesen
- Falschfarben kombiniert mit Echtfarben

Beispiel Zigaretteninspektion

- RGB (Druckbildkontrolle)
- IR Durchlicht (Füllkontrolle)
- Streiflicht (Tabakstämme)
- UV Licht (fluoreszierende Verunreinigungen)

Beispiel eines FarbCIS MIDICIS 520, eingesetzt in der online Druckbildkontrolle im Digitaldruck

MIDICIS

Produktschlüssel: G_MDCIS_0512_0200_6TD_2RGB_2.0

Tichawa Vision GmbH



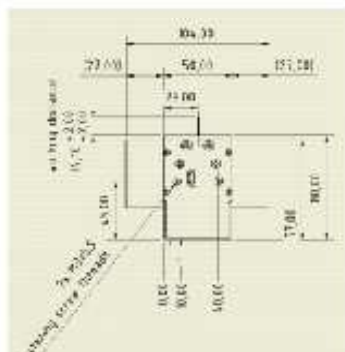
Kenndaten:

512 mm, 200dpi 0.13/52 kHz
 Lila: RGB, intern, zweifelh.
 Anzahl der Pixel: 4096
 Transporgeschwindigkeit: 438 mm/sec
 Camera Link Schnittstelle: Base Configuration
 Anzahl CL Anschlüsse: 1
 Anzahl CL Ports: 3
 Gesamtdatenrate: 14.3 MByte * 3
 Datenrate/CL Port: 14.3 MByte
 Linienbreite: ca. 1mm
 Arbeitsabstand: ca. 10mm
 Halbschärfe: ca. 4-1mm
 Shading-Korrektur
 Gehäuselänge: ca. 620 mm
 Au-Gehäuse Querschnitt: 80x104mm (HxT) mit verklebter
 Glasplatte, siehe Zeichnung
 Versorgung aus 24V/1VDC
 Stromaufnahme CIS+Licht: 4.32A + 20%
 Lüftung



Kameralink Konfiguration:

Anzahl CL Anschlüsse: 1
 Camera Link I
 Port A: 0 - 4095 (red)
 Port B: 0 - 4095 (green)
 Port C: 0 - 4095 (blue)



Zubehör:

Powerkabel
 Powersupply
 CameraLink Kabel



Abbildung 7: MIDICIS

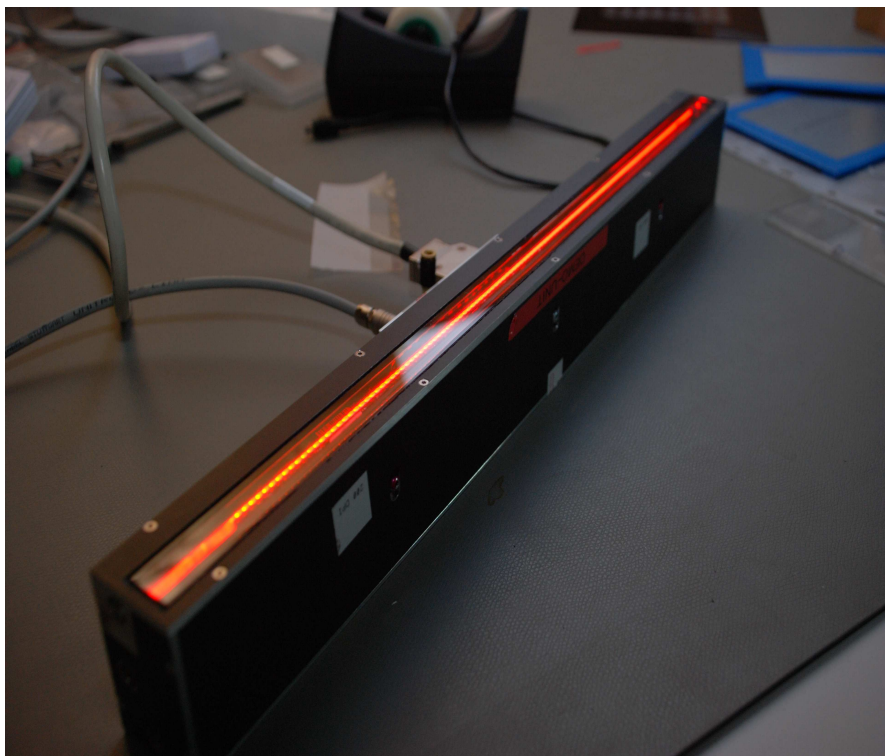


Abbildung 8: „MIDICIS In Arbeit“

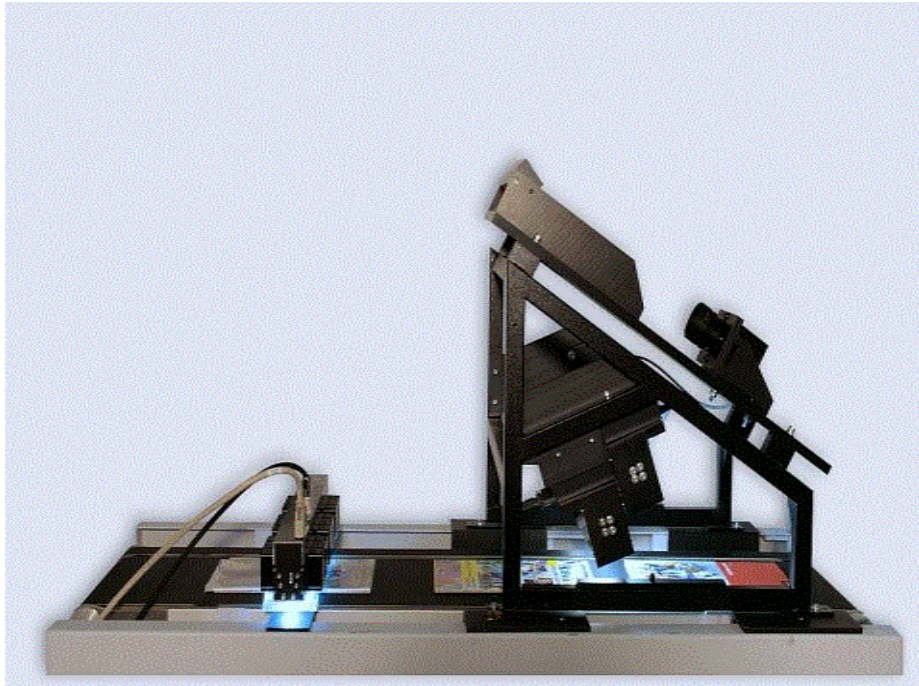


Abbildung 9: Platzbedarf „CIS vs. Zeilenkamera“

10. Spezielle Anwendungen mit Tichawa *Vision* GmbH CIS

Grundsätzlich ist der CIS für alle Anwendungen in der Bildverarbeitung geeignet, solange keine sehr hohe Tiefenschärfe erforderlich ist.

In einigen Anwendungen ist die Verwendung herkömmlicher Zeilen – oder Flächenkameras nicht oder nur unter hohem Kosten-/Zeitaufwand möglich. Hier einige Beispiele:

Beispiel Metallindustrie

- Oberflächeninspektion der Zylinderinnenfläche von Verbrennungsmotoren
 - Aufgabenstellung
 - Inspektion der Bearbeitungsspuren(Abb.9) im Zylinder überprüft
 - Sehr wenig Raum, z. B. 30 mm Innendurchmesser bei einer Leselinie mit 200 mm Länge
 - Metallische Oberfläche mit Glanzpunkten
 - Kurze Zykluszeit

- Lösung

- Verwendung unserer Rohrkamera „TubeCIS“
- Minimaler Durchmesser des Sensors von 19mm auf gewünschte Länge. Man kann also mit relativ geringen Abstand das Rohr auf die ganze Länge in einer Umdrehung abbilden. Bei 600 dpi und 30 mm Durchmesser kann die gesamte Fläche in einigen zentel Sekunden eingescannt werden (monochrom)
- Integrierte Beleuchtung mit einem holografischen Diffuser für maximale Kontrastverhältnisse



Abbildung 10: Wiedergabe Bearbeitungsspuren im Metallzylinder

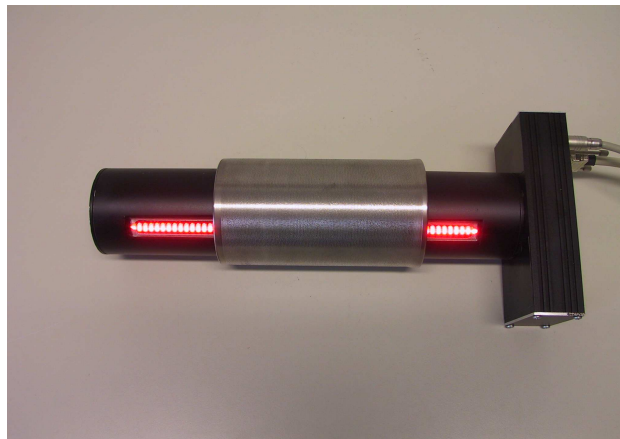


Abbildung 11: RohrCIS im Prüfling

Beispiel Pharmaindustrie

- Oberflächeninspektion des Drucks auf Glasphiolen für Medikamente
 - Aufgabenstellung
 - Kleine Objekte und enge Einbauverhältnisse

- Externe Lichtquelle und Schattenwurf
 - Durch den Druck, der auch rund um das Objekt verlaufen kann, und die Verwendung einer externen Lichtquelle entsteht bei „zu hoher“ Tiefenschärfe ein Schattenwurf Abbildung 11 der gegenüber liegenden Schrift, was zu Kontrastproblemen und Messfehlern führt.
 - Stärke des Schattenwurfs ist ebenso abhängig vom Durchmesser der Glasphiole
- Lösung
1. Verwendung eines MIDICIS mit kurzbrennweitigen Grin-Linsen
 2. Sehr kompakter Sensor
 3. sehr geringe Tiefenschärfe.
 4. Beispiel: Eine TC 54 Linse hat bei 600 dpi eine Tiefenschärfe von $\leq 0,5$ mm. Bei einer Phiole mit 8 mm Durchmesser entsteht ein Schattenwurf des gegenüber liegenden Drucks in Höhe von 55%-60% des Grauwertes des tatsächlichen Drucks. Mit kurzbrennweitiger Linse kann Schattenwurf bis unter 1 % reduziert werden.

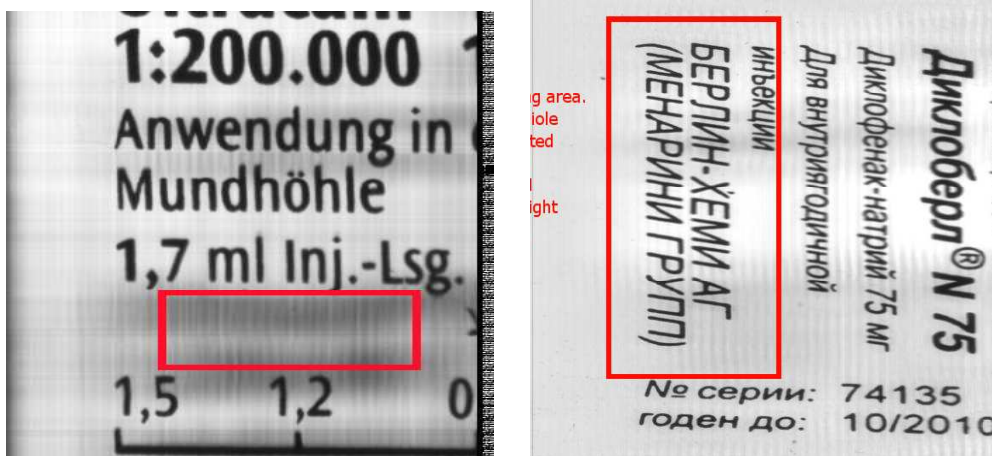


Abbildung 12: Wiedergabe Oberflächeninspektion Glas: rechts hohe, links niedrige Tiefenschärfe