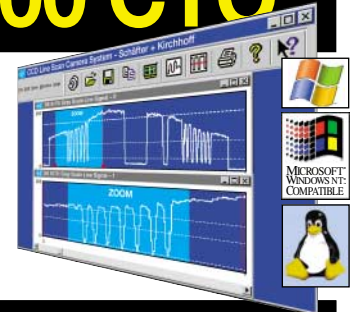


# CCD-Zeilenkamera SK 7500 DTO \* SK 7500 CTO \*

Digital s/w, 7500 Pixel, 7 x 7 µm, 40 MHz Pixelfrequenz



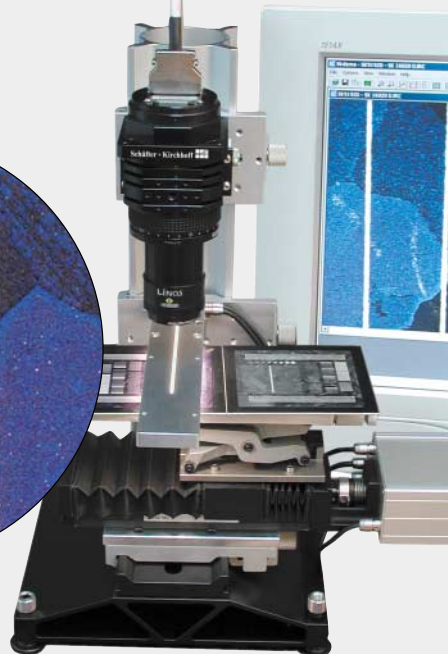
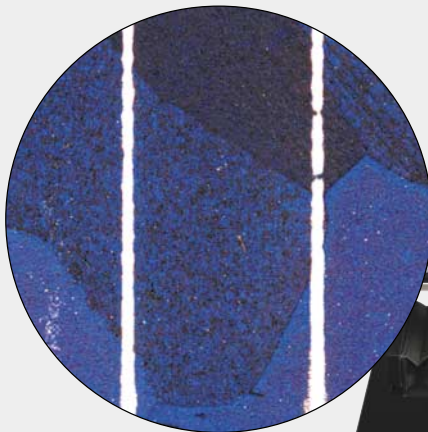
**SK7500DTO** \* LVDS-Schnittstelle  
**SK7500CTO** \* Camera Link

Pixelzahl	7500
Pixelgröße	7x7 µm
CCD-Sensorenlänge	52,5 mm
Pixelfrequenz	max. 40 MHz
Zeilenfrequenz	max. 5,2 kHz
Dynamikbereich	1 : 500 (rms)
Spektralbereich	400 – 900 nm

Datenblatt: [www.SuKHamburg.de/dl/ti-SK7500-d.pdf](http://www.SuKHamburg.de/dl/ti-SK7500-d.pdf)

## Applikation

### Großflächen-Scan-Makroskop für die automatische Gridfinger-Inspektion



### Solarzellen auf die Finger geschaut

Die Effizienz von Solarzellen hat sich kontinuierlich gesteigert. Der Gesamtwirkungsgrad aber ist abhängig von vielen einzelnen Produktionsschritten. Ein wesentlicher Qualitäts- und Leistungsfaktor ist die Güte der im Siebdruckverfahren aufgetragenen Kontaktstreifen oder „Grid Finger“.

Solarzellen haben sich als Schlüsselkomponenten regenerativer Energiequellen etabliert. Wesentlicher Faktor für die hohe Akzeptanz ist die Lebensdauer, der gesteigerte Wirkungsgrad, die Umweltverträglichkeit und gezielte Subventionierung.

Zur Erreichung eines hohen Qualitätsstandards werden die einzelnen Fertigungs- und Montageschritte kontrolliert und gesteuert. Ein Qualitäts- und Leistungsmerkmal ist die Güte der im Siebdruckverfahren aufgetragenen Sammler für die Stromabführung. Im Fachjargon: Grid-Finger und Bus-Bar. Herstellungsbedingt können Querschnittsverjüngung und Unterbrechungen auftreten. Mögliche Ursachen hierfür sind Veränderungen der Siebdruckmaske durch Partikelablagerung, Konsistenzänderungen der aufgetragenen silber- und glashaltigen Paste und Störungen des bei ca. 800°C stattfindenden Trockenprozesses.

Solarzellen der neuen Generation haben eine Größe von 150 x 150 mm und Grid-Finger der Kontaktbreite 100 µm. Die bei der Überprüfung der Kontaktbreite geforderte Genauigkeit ist 10 µm. Für diese Messaufgabe, die online erfolgen soll, ist die digitale CCD-Zeilenkamera SK7500DTO mit 7500 Pixeln prädestiniert.

Bei einer Messfeldbreite von 150 mm resultiert eine optische Auflösung von 20 µm. Durch die Anwendung von Subpixel-Algorithmen (Bild 4+5) wird die Genauigkeitsanforderung der Breitenbestimmung erfüllt. Zur Generierung eines 2D-Bildes wird die Solarzelle lateral zur CCD-Zeile unter der Kamera transportiert. Bei einer Zeilenfrequenz von 5,2 kHz und einer Auflösung von 20 µm erfolgt bei einer Meßstrecke von 150 mm der Transport in 1,5 Sekunden.

Da in Längsrichtung der Grid-Finger für die Fehleranalyse mit reduzierter Auflösung gearbeitet wird, reduziert sich die für die Überprüfung einer Solarzelle benötigte Zeit auf weniger als eine Sekunde.

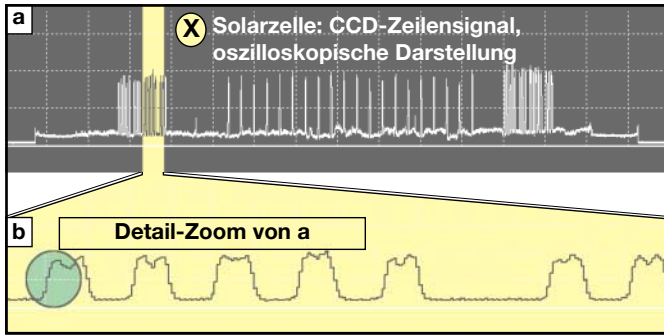
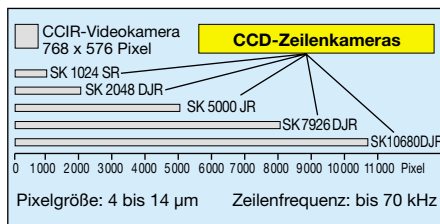


Bild 2. Oszilloskopische Darstellung CCD-Zeilensignal

### CCD-Zeilenkameras

sind Halbleiter-Kameras mit nur einer lichtempfindlichen Zeile, die je nach Typ bis zu 10680 Bildelemente (Pixel) von 4 – 14 µm Breite enthalten. Eine zweidimensionale Abbildung entsteht durch Bewegung des Objektes senkrecht zum Zeilensensor (Scannen). Die Pixelzahl und die Pixelbreite des CCD-Zeilensensors bestimmen zusammen mit dem Abbildungsmaßstab β (Messfeld/Sensorklänge) die Auflösung.



Optische Auflösung von CCD Zeilensensoren

### Oszilloskopische Signaldarstellung

Bild 2 zeigt in der x-Schnittlinie von Bild 3 das digitalisierte Signal einer CCD-Zeilenkamera mit 7500 Pixeln als Helligkeitsverlauf über dem Zeilensensor mit 8-Bit-Auflösung.

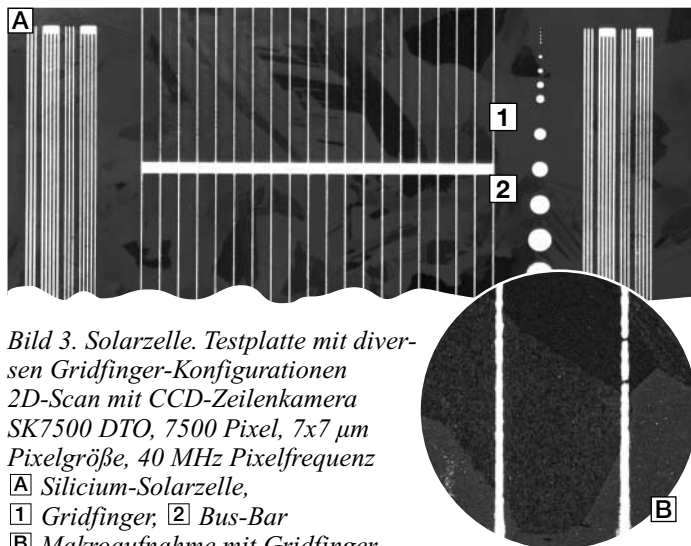


Bild 3. Solarzelle. Testplatte mit diversen Gridfinger-Konfigurationen 2D-Scan mit CCD-Zeilenkamera SK7500 DTO, 7500 Pixel, 7x7 µm Pixelgröße, 40 MHz Pixelfrequenz

A Silicium-Solarzelle, 1 Gridfinger, 2 Bus-Bar

B Makroaufnahme mit Gridfingerunterbrechung und Kristallstruktur

Die Zoom-Funktion (Bild 2) ermöglicht die Kontrolle einzelner Pixelübergänge. Signalform, Flankensteilheit, Abbildungseigenschaft des Objektivs wie Modulation und Bildfeldebnung werden kontrolliert.

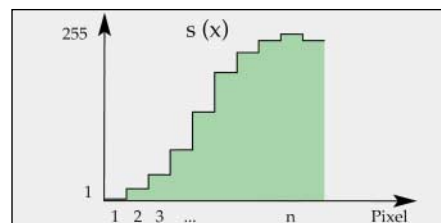


Bild 4. Kantensignal  $s(x)$  für Subpixelauflösung

### Subpixel-Algorithmus

Die Genauigkeit von 10 µm bei der Messung der Grid-Finger-Breite wird mit folgendem Subpixel-Algorithmus erreicht.

1. Grobe Vorselektion einer Kante im Zeilensignal  $s(x)$  über lokal adaptive Intensitätsschwellen.
2. Bestimmung der Anfangs- und Endpixeladresse sowie der Pixelanzahl  $n$  der Kante.
3. Bildung der 1. Ableitung  $s'(x)$  über  $n$  Pixel.
4. Berechnung des Flächenschwerpunkts  $S_x$  in  $s'(x)$ .

Fokuseinstellung sowie die Wechselwirkung von Beleuchtung, Zeilenfrequenz und Integrationszeit werden online dargestellt. Bedingt durch die hohe Pixelzahl sind in der Darstellung des vollständigen Zeilensignals Details nicht ersichtlich.

Im Synchronbetrieb bestimmt der Microcontroller der Motorsteuerung die Zeilenfrequenz. Im Asynchronbetrieb (freilaufende Zeilenfrequenz) ist für eine formatgetreue Bilderfassung die Transportgeschwindigkeit an die Zeilenfrequenz und den Abbildungsmaßstab anzupassen.

### Kamerasteuerung

Die Steuerung der CCD-Zeilenkamera erfolgt über die PC-Interfacekarte SK9192D. Als Schnittstelle zwischen Rechner und Kamera parametrisiert die PCI-Bus-Interfacekarte das Kamerasignal in Zeilenfrequenz und Integrationszeit.

Interne und externe Synchronisationsmodi unterstützen den Synchron- und Asynchronbetrieb von Kamera und Scan-

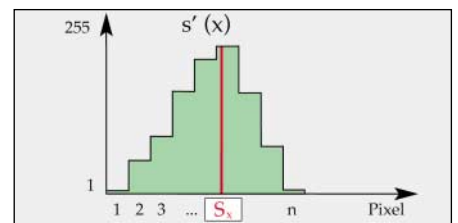


Bild 5. Erste Ableitung des Kantensignals  $s'(x)$

nertisch bei konstanter Integrationszeit. Spezielle Vorverarbeitungsfunktionen onboard beschleunigen die Signalauswertung im PC. Die Shading-Korrektur gleicht Beleuchtungsunterschiede im Zeilensignal aus. Mit der Window-Funktion wird eine Pixel-Region im Zeilensignal ausgewählt (ROI). Der 2D-Scan wird dann nur in diesem Bereich generiert.

5. Umrechnung der Ortskoordinate  $S_x$  in die geometrische Kantenposition.

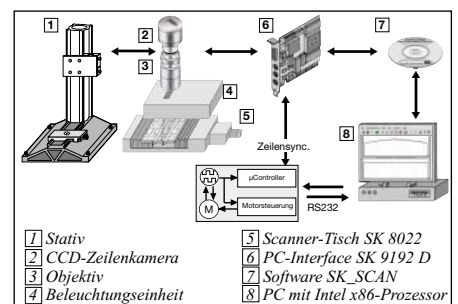


Bild 6. Systemkomponenten des 2D-Scanners

### Bildgenerierung

Ein zweidimensionales Bild entsteht durch Bewegung des Objekts: Die Transportrichtung verläuft senkrecht zur Sensorachse der CCD-Zeilenkamera.

### Modulares Baukastensystem

Der vorgestellte 2D-Scanner (Bild 6) ist durch seine modulare Konzeption und die normierten Schnittstellen für Kamera und Scannertisch für die Qualitätskontrolle im Labor oder in der Produktion geeignet. Mit wenigen Handgriffen erfolgt die Umstellung von s/w- auf Farbkamera oder das Auswechseln der Beleuchtungseinrichtungen.

## CCD-Zeilenkamera SK 7500 DTO Schnittstelle LVDS CCD-Zeilenkamera SK 7500 CTO Schnittstelle Camera Link 7500 Pixel, 7 x 7 µm, 40 MHz Pixelfrequenz



1 CCD-Zeilenkamera SK 7500... montiert mit 2 Objektiv  
 1.1 Modular-Fokusadapter

- Charakteristik**
- Digitalkamera 8 Bit
  - sehr lichtempfindlich
  - Zeilenfrequenz bis 5,2 kHz
  - hohe Dynamik
  - rauscharm
  - Gehäuse (BxHxT) 82mm x 82mm x 95mm

### Technische Daten

Kamera Typ:	<b>SK 7500 DTO</b> <b>SK 7500 CTO</b>
<b>Bestell-Code</b>	
Sensor:	CCD linear
Pixelanzahl:	<b>7500</b>
Pixelgröße:	7 µm x 7 µm
Pixelabstand:	7 µm
Zeilenbreite:	7 µm
Aktive Länge:	<b>52,5 mm</b>
Pixel Frequenz:	maximum 40 MHz
Zeilenfrequenz:	<b>maximum 5,2 kHz</b>
Integrationszeit:	minimum 0,05 kHz minimum 0,192 ms maximum 20 ms
Dynamikbereich:	1 : 500 (rms)
Spektralbereich:	400 - 900 nm

### Zubehör

#### Für Zeilenkamera SK 7500 DTO

**PC-Interface** **PC-Interface SK 9192 D Best.-Code**  
 Interface für digitale CCD-Zeilenkameras  
**PCI-Bus**, Vorverarbeitungsfunktionen on-board: Shading Correction, Windowing, Thresholding externe Synchronisation (LineSync, FrameSync)

**Software** **SK91PCI-WIN \* Best.-Code**  
**SK91PCI-LX \*\* Best.-Code**  
 Betriebsprogramm  
**SKLineScan®** für oszilloskopische Signalдарstellung und Kameraparametrierung. Treiber, DLLs, Klassen-Bibliotheken für C++ und Beispielprogramme für die Programmierung eigener Applikationen. Betriebssysteme: \* Windows XP/2000/NT, \*\* Linux

**Kabel** **Anschlußkabel SK9019 Best.-Code**  
 für Digital-CCD-Zeilenkameras der Kameraserien XSD, DPD, DPT, DJR, DJRC etc.  
 36-poliges geschirmtes Kabel für Kamera- und Videosignale. Standard: 3m Kabellänge, ein- oder beidseitig mit Centronics-Steckverbinder (female, 36-polig).

**SK9019.3 FF Best.-Code**  
 FF = Stecker beidseitig (female)  
 F = Stecker einseitig (female)  
 3 = 3 m (Standardkabellänge)  
 5 = 5 m Kabellänge  
 x = Kabellänge nach Kunden-Spezifikation

**Die Stromversorgung für die Kamera SK 7500 DTO erfolgt über das PC-Interface SK9192D!**

#### Für Zeilenkamera SK 7500 CTO

**PC-Interface** **Frame Grabber** für Zeilenkameras mit Camera Link Schnittstelle. Empfohlen:  
 - MicroEnable III, Silicon Software  
 - Pc2CamLink, Coreco Imaging

**Software**  
 1. Software Development Kit (SDK) vom Grabber Hersteller.  
 2. SkLineScan für oszilloskopische Signalдарstellung und Kameraparametrierung.

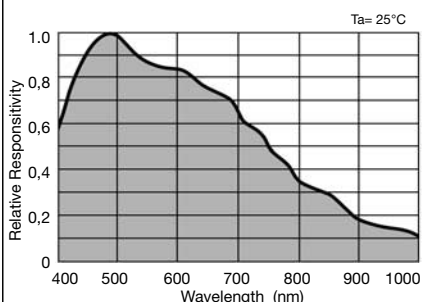
**Kabelsatz** für Zeilenkameras mit Camera-Link-Schnittstelle der Serien CSD, CPD, CPT, CJR, CJRC etc. bestehend aus Steuerkabel und Stromversorgungskabel.

**1. Steuerkabel:** 26-polig, geschirmt, beidseitig mit Mini D Ribbon-Steckverbinder (male, 26-polig).  
**SK9018.5 MM Best.-Code**  
 MM = Stecker beidseitig (female)  
 3 = 3 m Kabellänge  
 5 = 5 m (Standardkabellänge)  
 x = Kundenspezifisch

**2. Stromversorgungskabel:** 6-polig geschirmt, mit Steckverbinder Lumberg SV60 (6pol, male) und Steckverbinder Hirose HR10A (6pol, female).  
**SK9015.5 MF Best.-Code**  
 MF = Stecker (male/female)  
 3 = 3 m Kabellänge  
 5 = 5 m (Standardkabellänge)  
 x = Kundenspezifisch

**Power Supply** **PS 051515 Best.-Code**  
 Input: 100 - 240 VAC • 0,8A • 50/60 Hz  
 Eingangsbuchse nach IEC 320 (3-polig)  
 Output: 5VDC/2,5A, 15VDC/0,5A, -15VDC/0,3A  
 Ausgangsbuchse Lumberg KV60 (6pol, female)

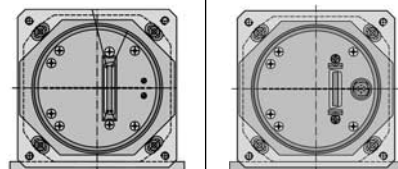
### Spektrale Empfindlichkeit



**Steuereingänge** Master Clock  
 StartOfScan (SOS)

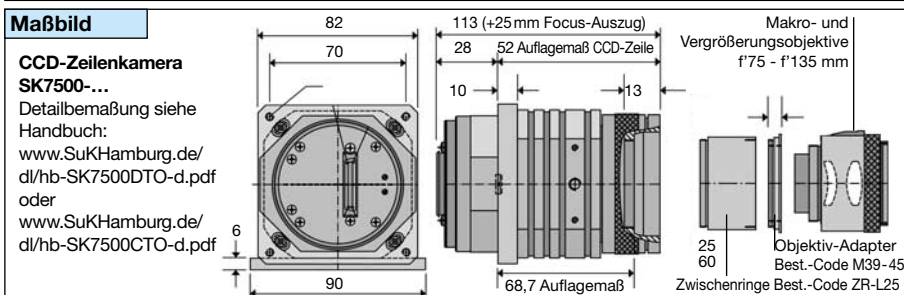
### CCD-Zeilenkameras

<b>SK 7500 DTO</b>	<b>SK 7500 CTO</b>
• Schnittstelle: LVDS	• Schnittstelle: Camera Link
• Spannungsversorgung: +5 V +15 V -15 V	• Spannungsversorgung: +5 V +15 V
• Leistungsaufnahme: 2 Watt	• Leistungsaufnahme: 2 Watt
• Steckertyp: Mini Centronics 36pin-male	• Steckertyp (Daten): Mini D Ribbon 26pin-female
	• Steckertyp (Power): Hirose Serie HR10A 6pin-male



**Beleuchtung** **10W Excimer-Strahler** Hochleistungs-Fluoreszenzlampe mit Innenreflektor  
 Nutzlänge 210 mm, Länge 278mm, Ø 10/14 mm, **Best.-Code LINEX-A4-10W24**  
**40W Excimer-Strahler** mit Innenreflektor, Nutzlänge 800 mm, Länge 375 mm, Ø 10/14 mm, **Best.-Code LINEX-A3-10W40**  
**HF-Inverter für 10W Excimer-Strahler** Versorg.sp. 24VDC **Best.-Code LINEX-A4-QT-1X24/24**  
**HF-Inverter für 40W Excimer-Strahler** Versorg.sp. 24VDC **Best.-Code LINEX-A3-QT-1X24/24**  
**Kabel mit Steckverbinder** Länge 700 mm, einseitig Stecker für HF-Inverter LINEX-QT-1X **Best.-Code LINEX-A4-QT-MOLEX-700**

**Objektive** - hochauflösende **Vergößerungs- und Makro-Objektive**  
**Zwischenringe** Zwischenring: **ZR-R25**, **ZR-R60**, **ZR-R87**  
**Filter** zur Unterdrückung von Fremdlicht bei LED- und Laserdioden-Beleuchtung (Kantenfilter) und spiegelnden Reflexen (Polarisationsfilter).



**Sonstiges:**  
 Arbeitstemperatur: + 5°C ... + 45 °  
 Gehäuse (B x H x T): 82 mm x 82 mm x 95 mm  
 Gewicht: 0,7 kg  
 Objektivanschluß: M 39 x 1/26"

**Handbuch** für SK 7500 DTO siehe unsere Web.Site:  
[www.SuKHamburg.de/dl/hb-SK7500DTO-d.pdf](http://www.SuKHamburg.de/dl/hb-SK7500DTO-d.pdf)

**Handbuch** für SK 7500 CTO siehe unsere Web.Site:  
[www.SuKHamburg.de/dl/hb-SK7500CTO-d.pdf](http://www.SuKHamburg.de/dl/hb-SK7500CTO-d.pdf)

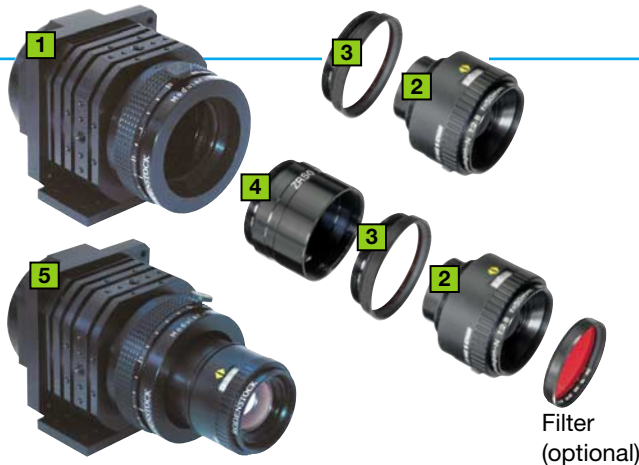
## CCD-Zeilenkamera SK 7500 DTO-... CCD-Zeilenkamera SK 7500 CTO-...

### Vergrößerungs- und Makroobjektive

Vergrößerungs- und Makroobjektive haben eine hohe Abbildungsqualität (70 Lp/mm) im angegebenen Maßstabsbereich (s. Tabelle 1). Ein Fokussiermechanismus wie bei CCTV- und Fotoobjektiven ist nicht vorhanden. Der erforderliche Objektivauszug wird durch den Modularfokus der Zeilenkamera und einen oder mehrere Zwischenringe ZR-L25 eingestellt.

Das Hauptkriterium für die Objektivauswahl ist der gewünschte Abbildungsmaßstab. Aus der Brennweite  $f$  und dem Auflagemaß  $sA_\infty$  des gewählten Objektivs, dem Kameraauflagemaß  $sK$  und dem Abbildungsmaßstab  $\beta$  werden anschließend die erforderlichen Zwischenringe und der benötigte Modularfokus-Auszug berechnet (s. Beispiel).

Der Objektiv-Adapter M39-45 ist Bestandteil der Kamera. Objektive und Zwischenringe ZR-L25 bis ZR-L87,5 müssen separat bestellt werden.



Filter (optional)

- 1 CCD-Zeilenkamera SK7500DTO-...
- 2 Objektiv
- 3 Objektiv-Adapter M39-45
- 4 Zwischenring ZR-L25
- 5 CCD-Zeilenkamera montiert mit Objektiv

Tabelle 1

Vergrößerungs- und Makro-Objektive Best.-Code	Brennweite $f'$ = mm	Blendenzahl $k$	Arbeitsblende	Auflösung max. (µm)	CCD-Sensordlänge max. (mm)	Abbildungsmaßstab $\beta$ optimal	Bereich des Abbildungsmaßstabs $\beta$	Auflagemaß $sA_\infty$ (mm)	Hauptpunkt-Abstand - HH' (mm)	Objektiv-Länge (mm)	Anschraubgewinde	Außen-Ø (mm)	Filtergewinde	$OO'$ = Abstand CCD-Zeile bis Meßbereich (L)	A = Abstand Objektiv-Meßbereich	Tubuslänge LT bei optimaler Abbildung	Zwischenring 25 mm Best.-Code CR-L25	Fokusauszug (mm)				
Apo-Rodagon-N 4,0/80	82,5	4	X	7	85	10x	4-15	77,0	-2,8	30,8	M39 x 1/26" Ø 54 mm M 40,5 x 0,5	995	879	16,3	-	-	12,3					
Apo-Rodagon-N 4,0/105	105	4	X	7	90	6x	4-15	99,1	-3,0	36,3								851	698	47,5	1x	19,0
Apo-Rodagon D1x	75,1	4	X	7	85	1x	0,8-1,2	61,6	-14,8	34,3								286	115	67,7	2x	14,7
Apo-Rodagon D2x	74,6	4,5	X	7	85	2x	1,2-2,5	72,1	-2,2	30,4								334	194	40,4	1x	11,9
Apo-Rodagon D	120	5,6	X	7	150	2x	0,5-3	112,9	-2,98	30,7								537	333	103,9	4x	1,9

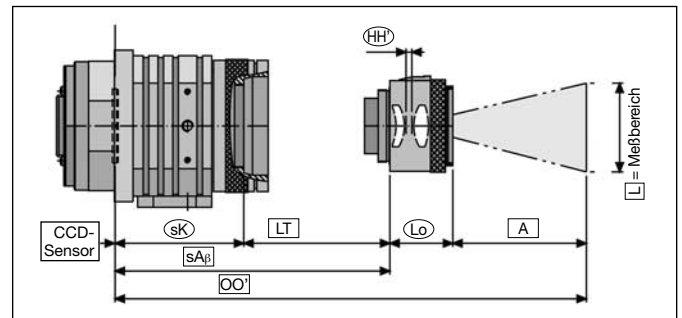
Diese Angaben gelten für den optimalen Abbildungsmaßstab

#### Systemparameter und Berechnungsgrößen

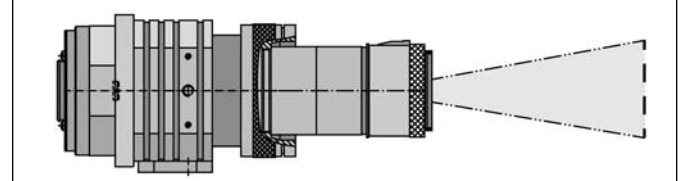
- $f$  = Objektivbrennweite (mm)
- $\beta$  = Abbildungsmaßstab :  $\beta = L/S$
- $OO'$  = Abstand (mm) zwischen Meßbereich und CCD-Zeilensensor.  
 $OO' = (\beta + 1/\beta + 2) f + HH'$
- $L$  = Meßbereich (mm)
- $S$  = Sensorlänge (mm)  
 $S = 52,5$  mm bei SK7500DJR  
 $S = 55,5$  mm bei SK7926DJR
- $HH'$  = Hauptpunkt-Abstand des Objektivs.  $HH'$  kann positiv oder negativ sein (s. Tabelle). Vorzeichenrichtig addieren!
- $sA_\infty$  = Objektiv-Auflagemaß für Abbildung unendlich entfernter Objekte
- $\Delta s'$  = Vergrößerung des Objektiv-Auflagemaßes für Nahbereichs und Makroaufnahmen:  $\Delta s' = f / \beta$
- $sA_\beta$  = Objektiv-Auflagemaß für Abbildungsmaßstab  $\beta$  :  $sA_\beta = sA_\infty + \Delta s'$
- $sK$  = Kamera-Auflagemaß für CCD-Sensor:  $sK = 69$  mm bei SK7500DJR
- $LT$  = Tubuslänge, berechnet mit  $LT = sA_\beta - sK$ , zu realisieren durch Auszug des Modularfokus (0-25 mm), Objektiv-Adapter M39-45 (4 mm) und (bei Bedarf) ein oder mehrere Zwischenringe ZR-25 (24,5 mm)
- $Lo$  = Objektivlänge (Auflage bis Vorderkante)
- $A$  = Abstand Objektiv-Meßbereich

#### Beispiel für $OO'$ bei $\beta = 4$ , Meßbereich $L=210$ mm Objektiv Apo-Rodagon-N 4,0/80

- $f$  = 82,5 (Objektivbrennweite mm)
  - $\beta$  = 4 (Abbildungsmaßstab)
  - $sA_\infty$  = 77 (Objektiv-Auflagemaß für unendlich)
  - $HH'$  = 2,78 (Hauptpunkt-Abstand des Objektivs)
  - $sK$  = 69 mm (Kamera-Auflagemaß für CCD-Sensor)
  - $OO' = (\beta + 1/\beta + 2) f + HH' = (4 + 1/4 + 2) 82,5 \text{ mm} - 2,78 \text{ mm} = 512,8 \text{ mm}$
  - $\Delta s' = f / \beta = 82,5 \text{ mm} / 4 = 20,6 \text{ mm}$
  - $sA_\beta = sA_\infty + \Delta s' = 97,6 \text{ mm}$
  - $LT = sA_\beta - sK = 97,6 \text{ mm} - 69 \text{ mm} = 28,6 \text{ mm}$
- Realisiert durch :
- |                         |                |
|-------------------------|----------------|
| Modularfokus-Auszug     | 24,6 mm        |
| Objektiv-Adapter M39-45 | 4,0 mm         |
| Summe                   | 28,6 mm = $LT$ |



Konfiguration mit Apo-Rodagon D1x für  $\beta = 1$  (mit 2x ZR-L25,  $OO' = 286$  mm)



Konfiguration mit Apo-Rodagon N 1:4/80 mm für  $\beta = 10$  (ohne Zwischenring,  $OO' = 995$  mm)

