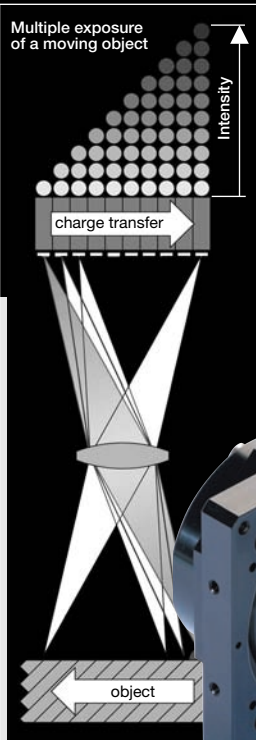




# TDi-Zeilenkamera SK4096CTDI-40XL

4096 x 96 Pixel, 13x13µm, 40 MHz Pixelfrequenz,  
Interface: **CameraLink**



Interface	Order Code	max. Pixel frequency	max. line frequency
 GIGE™	SK4096GTDI-XL	60 MHz	14.00 kHz
 CAMERA Link	SK4096CTDI-40XL	40 MHz	9.46 kHz
LVDS	SK4096ZTDI-XL	60 MHz	14.00 kHz

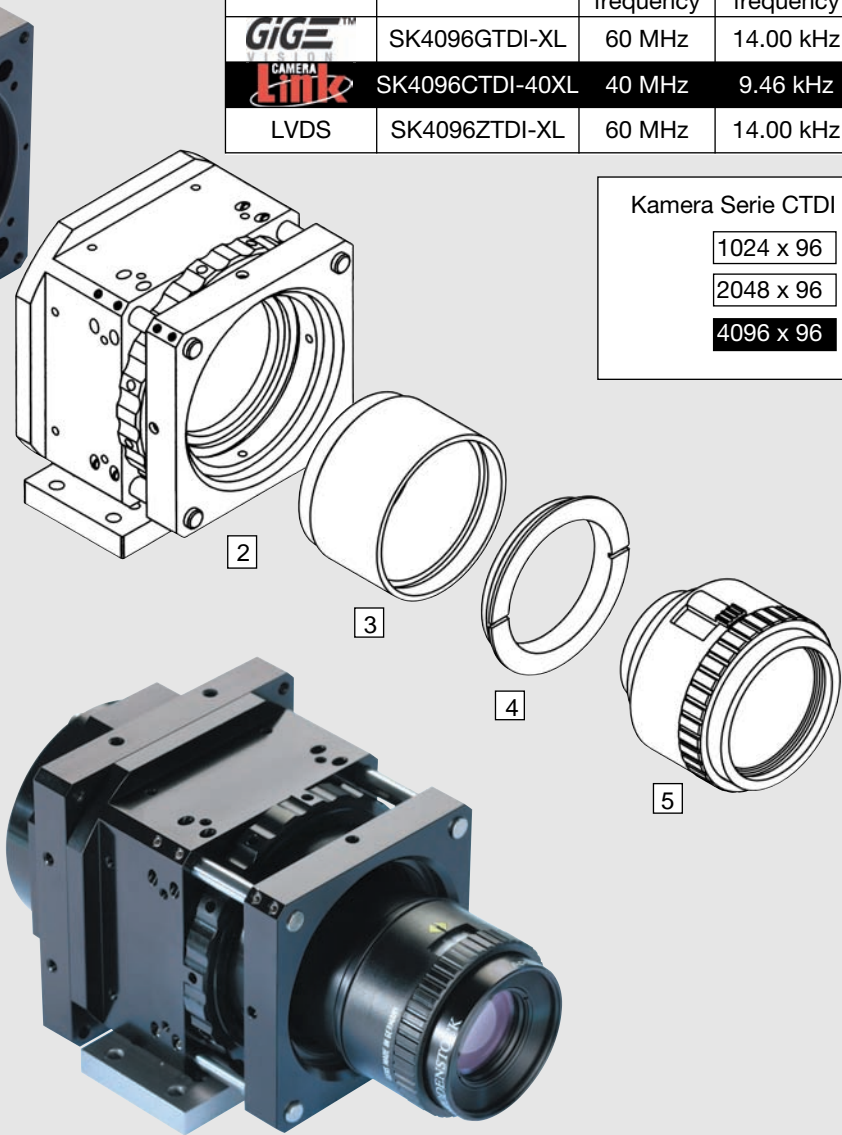
Kamera Serie CTDI

1024 x 96

2048 x 96

**4096 x 96**

- 1 CCD-Zeilenkamera **SK4096CTDI-40XL** montiert mit:
- 2 Fokusadapter **FA26-S45**
- 3 Zwischenring ZR-L...
- 4 Objektiv-Adapter M39-45
- 5 Objektiv APO-Rodagon D1x



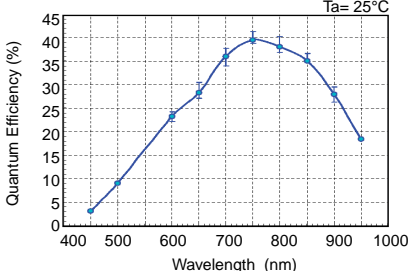

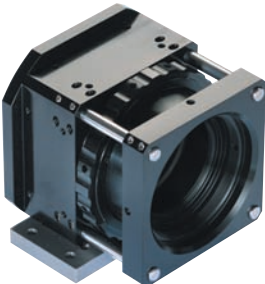


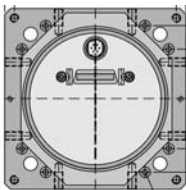



### Charakteristik:

- Video 8/12 Bit (Single Tap)
- Zeilenfrequenz bis 9,46 kHz
- Anti-Blooming
- TDI Sensor, 96 Stufen
- sehr hohe Lichtempfindlichkeit
- 100% optischer Füllfaktor
- CameraLink-Schnittstelle (Base)

### Inhalt:

	Seite
Technische Daten Sk4096CTDI-40XL, Zubehör .....	2
Technische Daten CTDI-Serie, Hinweise .....	3
Anschluß, Steuersignale.....	4
CameraLink-Interface.....	5
Timing-Diagramm.....	6
Konfigurationsprogramm, Kamerabefehle .....	7
Belichtung, Bildgenerierung, TDI-Prinzip.....	8
Blooming.....	9
Maßzeichnung .....	10
Sensordaten .....	11
Hinweise, Garantie, EU-Konformitätserklärung .....	12

Zubehör (optional)		Technische Daten	
<b>Kabelsatz</b>  für Zeilenkameras mit CameraLink-Schnittstelle der Serien CTO, CSD, CTDI, CPT, CJR, CJRC bestehend aus Steuerkabel und Stromversorgungskabel.		<b>1. Steuerkabel:</b> 26-polig, geschirmt, beidseitig mit Mini D Ribbon-Steckverbinder (male, 26-polig). <b>SK9018.5 MM</b> <b>Bestell-Code</b> MM= Stecker beidseitig (male) 3 = 3 m Kabellänge 5 = 5 m (Standardkabellänge) x = kundenspezifisch	
<b>2. Stromversorgungskabel:</b> 6-polig geschirmt, mit Steckverbinder Lumberg SV60 (6-polig, male) und Steckverbinder Hirose HR10A (6-polig, female). <b>SK9015.5 MF</b> <b>Bestell-Code</b> MF= Stecker male / female 3 = 3 m Kabellänge 5 = 5 m (Standardkabellänge) x = kundenspezifisch		<b>Kameratyp</b> SK4096CTDI-40XL <b>Bestell-Code</b> <b>Sensor:</b> CCD linear <b>Typ:</b> CCD 5045 <b>Pixelanzahl:</b> 4096 x 96 <b>Pixelgröße:</b> 13x13µm <b>Pixelabstand:</b> 13µm <b>Zeilenbreite:</b> 13µm <b>Aktive Länge:</b> 53,20 mm <b>Pixelfrequenz:</b> 40 MHz <b>Zeilenfrequ. max:</b> 9,46 kHz <b>Zeilenfrequ. min:</b> 1,00 kHz <b>Integrationszeit min:</b> 0,130 ms <b>Integrationszeit max:</b> 1,0 ms <b>Dynamikbereich:</b> 1:4000 <b>Spektralbereich:</b> 400-1000 nm	
<b>Stromversorgung</b>  <b>PS 051515</b> <b>Bestell-Code</b> Input: 100-240 VAC, 0,8A, 50/60Hz, Eingangsbuchse nach IEC 320 (3-polig). Output: 5VDC/2,5A, 15VDC/0,5A, -15VDC/0,3A, Ausgangsbuchse Lumberg KV60 (6-polig, female)		<b>Spektrale Empfindlichkeit</b> 	
<b>Software</b>  <b>SK91CL-WIN</b> <b>Bestell-Code</b> SKLinScan®: Betriebsprogramm mit oszilloskopischer Signaldarstellung und 2D-Scan, Werkzeug für Systemjustage (Grabber bei Bestellung angeben). SKCLConfig: Konfigurationsprogramm für CCD-Zeilenkameras mit CameraLink-Schnittstelle (gehört zum Lieferumfang der Kamera, unterstützt alle Grabber)		<b>Steuereingänge:</b> MasterCock (optional) StartOfScan <b>Ausgangssignal:</b> LVAL <b>Video Signal:</b> 8/12 Bit digital, Single Tap <b>Interface:</b> CameraLink <b>Spannungen:</b> +5 V, +15 V <b>Leistungsaufnahme:</b> 3,8 W	
<b>Objektive, Adapter</b>  <b>Fokus-Adapter FA26-S45</b> <b>Bestell-Code</b> Präzisionsadapter mit Linearführung und Gewindetrieb für die präzise Einstellung und dauerhafter Fixierung der Fokusalage. - Hub 27 mm, 10 mm Hub pro Umdrehung - Arretierschrauben für die Fokusalage - Objektivgewinde M45x0,75, M39x1/26" über Adapter M39-45		<b>Objektiv-Anschluss:</b> M72 x 0,75 <b>Arbeits temperatur:</b> + 5°C ... + 45 ° <b>Gehäuse (B x T):</b> 84 mm x 43 mm <b>Gewicht:</b> 0,3 kg	
 <b>Zwischenringe ZR-L25</b> <b>Bestell-Code</b> 15= Länge 15 mm 25= Länge 24,5 mm 60= Länge 60 mm 87= Länge 87 mm		<b>Kamerarückseite</b> <b>Steckverbinder: Power:</b> Hirose Serie HR10A, 6pin-male <b>Daten:</b> Mini D Ribbon, 26pin-female	
 <b>Objektiv-Adapter M39-45</b> <b>Bestell-Code</b> Objektiv: M39 x 1/26" Kamera: M45 x 0,75			
 <b>Scan- und Makro-Objektive</b> M39 x 1/26", z.B.: - APO-Rodagon D1x 4,0/75 - APO-Rodagon D2x 4,5/50 - APO-Rodagon N 4,0/80			



Kameratyp	SK1024CTDI	SK2048CTDI	SK4096CTDI-40XL
Sensor:	CCD linear	CCD linear	CCD linear
Typ:	CCD525	CCD525	CCD5045
Pixelanzahl:	1024 x 96	2048 x 96	4096 x 96
Pixelgröße:	13x13µm	13x13µm	13x13µm
Pixelabstand:	13µm	13µm	13µm
Zeilenbreite:	13µm	13µm	13µm
Aktive Länge:	13,30 mm	26,60 mm	53,20 mm
Anti-Blooming	ja	ja	ja
Integration Control	nein	nein	nein
CDS 1)	ja	ja	ja
Pixelfrequenz:	50 MHz	100 MHz	40 MHz
Zeilenfrequenz max:	43,40 kHz	43,40 kHz	9,46 kHz
Zeilenfrequenz min:	1,00 kHz	1,00 kHz	1,00 kHz
Integrationszeit min:	0,023 ms	0,023 ms	0,130 ms
Integrationszeit max: 2)	1,0 ms	1,0 ms	1,0 ms
Dynamikbereich:	1:2500	1:2500	1:4000
Spektralbereich:	400-1000 nm	400-1000 nm	400-1000 nm
Videosignal:	8/12 Bit	2*8 Bit	8/12 Bit
Schnittstelle:	Camera Link	Camera Link	Camera Link
Spannungsversorgung:	+5V, +15V	+5V, +15V	+5V, +15V
Stromaufnahme	2,4 W	2,6 W	3,8 W
Objektivanschluss:	M40x0.75	M40x0.75	M72x0.75
Gehäuse (Ø x T):	Ø65mm x 54 mm	Ø65mm x 54 mm	□84 mm x 43 mm
Gewicht:	0,2 kg	0,2 kg	0,3 kg
Arbeitstemperatur:	+ 5°C ... + 45 °	+ 5°C ... + 45 °	+ 5°C ... + 45 °

1) CDS = Correlated Double Sampling. Technologie zur Rauschminderung bzw. Erhöhung der Lichtempfindlichkeit.

2) Längere Integrationszeiten sind technisch möglich, verschlechtern aber das Signal-Rauschverhältnis.

Weitere technische Details zum Sensor enthalten die Daten des Sensorherstellers (siehe Seiten 11, 12).



Die erfolgreiche Arbeit mit der Zeilenkamera setzt eine gewissenhafte Justage des gesamten optischen Systems voraus. Zu beachten sind dabei die Ausrichtung der Beleuchtung, die Fokusslage des Objektivs, die Blendeneinstellung und sowie die senkrechte Anordnung der Sensorachse zur Meßobjektachse bzw. zur Bewegungsrichtung des zu scannenden Objekts.

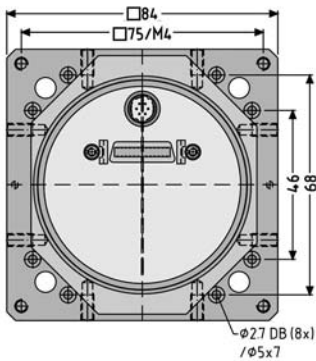
Für den Betrieb der Kamera ist ein Grabber erforderlich, der den CameraLink Base-Konfiguration erfüllt. Der Grabber liefert die StartOfScan(SOS)-Signale und steuert damit die Belichtungszeit und die Zeilenfrequenz der Kamera.

Mit dem Konfigurationsprogramm SkCLConfig lassen sich weitere Kameraparameter wie Gain, Offset und Pixelfrequenz über die serielle Schnittstelle des CameraLink-Interfaces einstellen. Das Programm benutzt dafür die clser\*\*\*.dll, die allen CameraLink-Grabbern beiliegt. Für die Entwicklung von Appli-

kationssoftware ist das SDK des Grabberherstellers zu nutzen. Für ausgewählte Grabber<sup>1</sup> bietet Schäfter+Kirchhoff das Betriebsprogramm SkLineScan® an. Die oszilloskopische Darstellung des Zeilenkameranalsignals mit Zoom-Funktion und Online-Parametrierung der Kamera ist ein wichtiges Werkzeug für die Einrichtung des optischen Systems. Auf Kundenwunsch wird das SkLineScan-Programm auch für andere CameraLink-Grabber angepaßt.

Die Kamera wird werkseitig abgeglichen und mit Standardeinstellungen für Gain und Offset ausgeliefert. Die Gain- und Offset-Werte sind über die Software veränderbar. Dabei ist zu beachten, daß zu starke Änderungen von Gain und Offset die Signalqualität beeinträchtigen können. Die zuletzt eingestellten Gain/Offset-Werte werden in der Kamera gespeichert und sind beim nächsten Anschluß der Kamera wieder aktiv.

<sup>1</sup> Matrox Serie, CORECO, NI-PCI 1428, microEnable III



Steckverbinder:

**Power:**  
Hirose Serie HR10A,  
6pin-male

**Daten:**  
Mini D Ribbon,  
26pin-female

## Spannungsversorgung

+ 5 V	± 5%	ca. 300 mA	( 20 MHz Clock)
		ca. 320 mA	( 40 MHz Clock)
+15 V	± 5%	ca. 105 mA	( 20 MHz Clock)
		ca. 245 mA	( 40 MHz Clock)



Signal	Pin	Signal	Pin
+ 15 V	1	+ 5 V	4
+ 15 V	2	GND	5
+ 5 V	3	GND	6

## Steckerbelegung

Mini D Ribbon 26 pin female

Signal	Pin	Pin	Signal
GND	1	14	GND
X0-	2	15	X0+
X1-	3	16	X1+
X2-	4	17	X2+
Xclk-	5	18	Xclk+
X3-	6	19	X3+
SerTC+	7	20	SerTC-
SerTFG-	8	21	SerTFG+
CC1-	9	22	CC1+
CC2+	10	23	CC2-
CC3-	11	24	CC3+
CC4+	12	25	CC4-
GND	13	26	GND

## Steuersignale

### Input Control Signale:

Die CCD-Zeilenkamera benötigt zum Betrieb die Steuersignale "Clock" (MCLK) und "Start Of Scan" (SOS). Das Clock-Signal wird intern durch einen 40-MHz-Oszillator erzeugt. Alternativ kann dieser durch einen Frequenzteiler auf 20 MHz eingestellt werden. Das Clock-Signal kann optional auch extern eingespeist werden.

Die Kameraelektronik reagiert auf die Flanken dieser Signale, die dementsprechend "sauber" sein sollten.

Die Frequenz des "Start of Scan" Signals bestimmt die Anzahl der Zeilen pro Sekunde. Bei der positiven Flanke dieses Signals gelangen die angesammelten Ladungsträger aller Pixel in das analoge Schieberegister des Zeilensensors und werden im Takt des Clocksignals ausgelesen.

Die Frequenz des Clock-Signals bestimmt die Geschwindigkeit, mit der die Ladungsträger der einzelnen Pixel eines Zeilensensors am Videoausgang der Kamera erscheinen. Bei jeder positiven Flanke gelangen die Ladungsträger der nächsten beiden Pixel zum Video-Ausgang.

Die Clock und "Start of Scan" Signale brauchen nicht synchronisiert zu werden. Die Clockfrequenz sollte so gewählt werden, daß zwischen zwei aufeinanderfolgenden "Start of Scan" Signalen genügend Clockpulse anliegen, um die Zeilenkamera

auszulesen. Die Kamera SK4096CTDI-40XL benötigt für das vollständige Auslesen eines Zeilenscans 4096+130 Clockpulse. Der Single-Tap-Sensor der SK4096CTDI-40XL hat damit 4226 Takte für die Übertragung von 4096 Pixeln zur Verfügung. Die Pixelrate entspricht der internen Clockfrequenz der Kamera.

**MCLK:** Master-Clock in: bestimmt die Frequenz des Pixeltransportes 40 MHz max.

**SOS:** Start of Scan: 30 ns minimale Pulslänge. Mit der Frequenz des SOS Signals wird die Zeilenfrequenz der Kamera bestimmt. Die ansteigende Flanke des SOS Signals startet den Auslesevorgang. Die Ladungsträger innerhalb des Sensors werden in die Analog-Transportregister parallel zur Sensorzeile überführt.

## Camera Control

Signal Name	I/O	Typ	Beschreibung
TRIG1	I	RS644	CC1 - Synchronisationseingang (SOS)
TRIG2	I	RS644	CC2 - Start Integrationsperiode im dual synchro mode (nur Kameras mit Integration Control)
CLK_IN	I	RS644	CC3 - Externer Pixeltakt (optional)

I= Input, O= Output, IO= Bi-Direktional, P= Power/Ground, NC= nicht verbunden,  
Hinweis: CC4 wird nicht verwendet

## Video Data

Für die Übertragung der High-Speed-Videodaten von der Kamera zum Frame Grabber sind die differentiellen LVDS-Signale X0-X3 und XCLK reserviert. Die Videodaten werden zwischen Kamera und Grabber in mehreren seriellen Kanälen übertragen. Die Grundlage des seriellen Protokolls bildet der Channel Link-Chipsatz von National Semiconductor. Der CameraLink-Standard definiert die Pixel-Signalnamen, die Beschreibung des Signalpegels sowie die Steckerbelegung und die Pinbelegung des Chips.

Signal Name	I/O	Typ	Beschreibung
D[0-15]	O	RS644	Pixel Data
STROBE	O	RS644	Output Data Clock, Daten sind bei steigender Flanke gültig
LVAL	O	RS644	Line Valid, aktiv High Signal

I= Input, O= Output, IO= Bi-Direktional, P= Power/Ground, NC= nicht verbunden,  
Hinweis: FVAL, wie im CameraLink-Standard definiert, wird hier nicht verwendet. FVAL ist ständig auf 0(Low)-Pegel gesetzt. DVAL wird nicht verwendet. DVAL ist ständig auf 1(High)-Pegel gesetzt. Bei Single-Output werden die Daten auf ODD ausgegeben (multiplex).

## Bit-Zuweisungen 16-Bit-Daten (F16)

Bit	DS90CR285 Pin Name	Bit	DS90CR285 Pin Name	Bit	DS90CR285 Pin Name	Bit	DS90CR285 Pin Name
D 0	Tx0	D 7	Tx5	D14	Tx19	NC	Tx14
D 1	Tx1	D 8	Tx7	D15	Tx20	NC	Tx10
D 2	Tx2	D 9	Tx8	NC	Tx21	NC	Tx11
D 3	Tx3	D10	Tx9	NC	Tx22	STROBE	TxCLK
D 4	Tx4	D11	Tx12	NC	Tx16	LVAL	Tx24
D 5	Tx6	D12	Tx15	NC	Tx17		
D 6	Tx27	D13	Tx18	NC	Tx13		

Die Bit-Zuweisungen sind konform mit der CameraLink-Spezifikation in der Basis-Konfiguration.

## Serielle Kommunikation

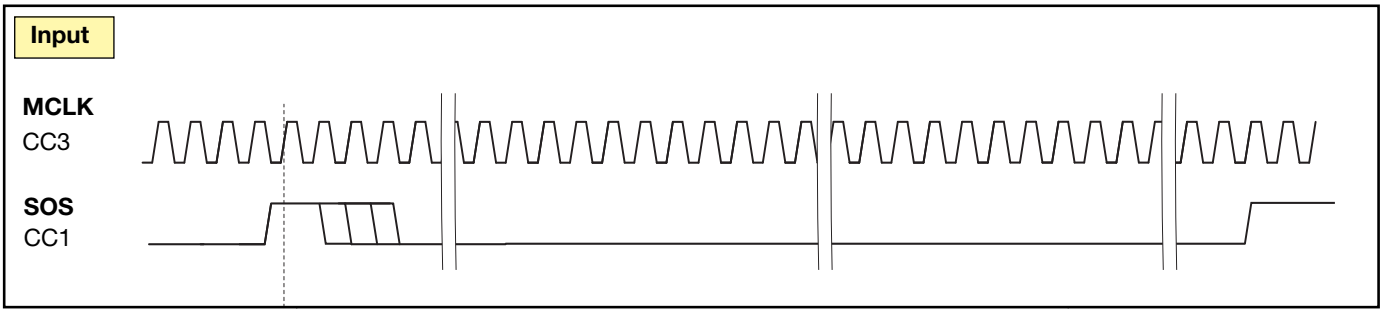
Signal Name	I/O	Typ	Beschreibung
SerTFG	O	RS644	Differential-Paar für serielle Kommunikation zum Frame Grabber
SerTC	O	RS644	Differential-Paar für serielle Kommunikation vom Frame Grabber

Die CameraLink-Schnittstelle unterstützt zwei LVDS-Signalleitungen für die Kommunikation zwischen Kamera und Frame Grabber. Diese asynchrone serielle Kommunikation basiert auf dem RS232-Protokoll.

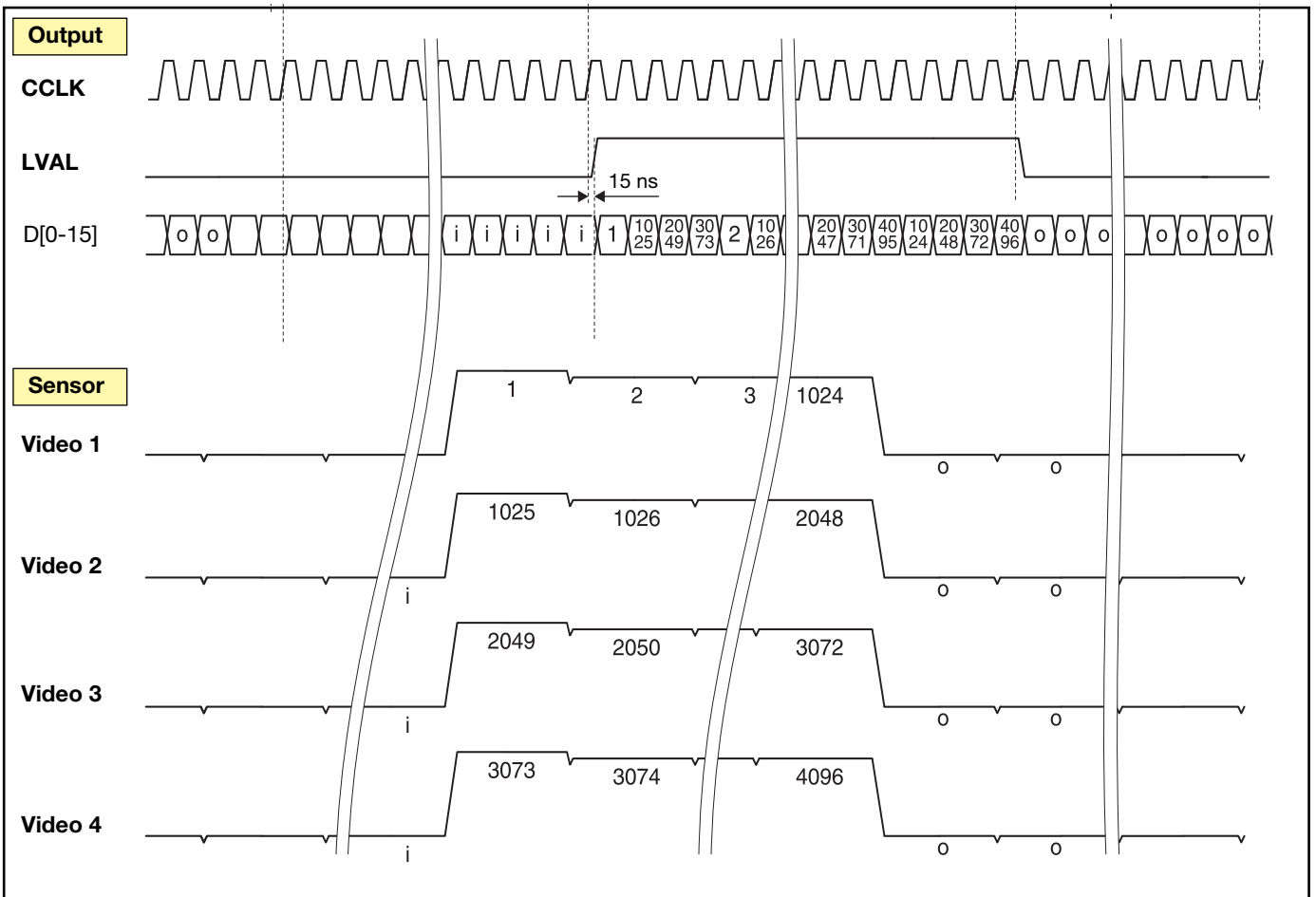
Die Konfiguration der seriellen Leitung ist:

- Voll Duplex / ohne Handshake
- 9600 Bauds, 8-Bit-Daten, kein Paritäts-Bit, 1 Stop-Bit





40ns      126 Clock Cycles      4096 Clock Cycles      8 Clock Cycles min



15 ns

Die Schwarzwertpixel befinden sich 7 bis 20 Pixel vor Pixel Nr. 1.

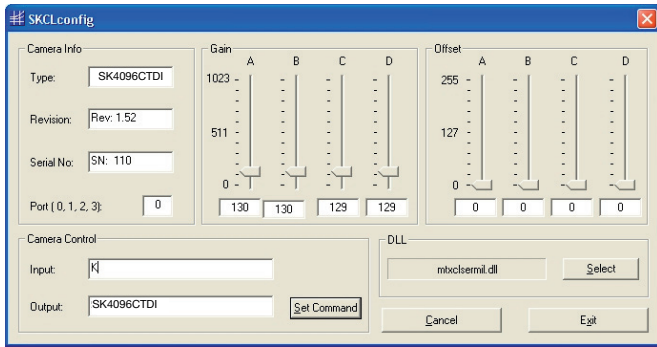
i = Isolation Pixels, o = Overclocking

```

Beispiel Signalgenerierung SK4096CTDI

PUCHAR    pSegment[4];
int        pOffset= 1024;
int        i, s, p, line;
PUCHAR    pSource;      // Zeiger Kameradaten
PUCHAR    pDestination; // Zeiger auf Zeilensignal
.....
if (pDestination==NULL) pDestination= pSource;
for (i= 0; i< 4; i++)
{
    pSegment[i]= new UCHAR[1024];
}

for ( line= 0; line< MAXLINES; line++)
{
    PUCHAR pScan= (PUCHAR)pSource+line*pixelPerLine;
    for (p= 0; p< pOffset; p++)
    {
        for ( s= 0; s< 4; s++)
            *(pSegment[s]+p)= *pScan++;
    }
    pScan= (PUCHAR)pDestination+line*pixelPerLine;
    for (s= 0; s< 4; s++)
        memcpy(pScan+s*pOffset, pSegment[s], pOffset);
}
for (i= 0; i< 4; i++) delete [] pSegment[i];
    
```



Das Konfigurationsprogramm **SKCLConfig** ist ein Tool zur Programmierung der CameraLink-Kamera und deren Statusabfrage. Es kommuniziert mit der Kamera über die serielle Schnittstelle des CameraLink-Interfaces. Das Programm nutzt dafür die clser\*\*\*.dll, welche bei der Grabber-Installation in das Systemverzeichnis eingetragen wird. Der DLL-Name beginnt mit dem Standard 'clser' (Matrox mtxcclser..) und enthält spezifische Zeichen des Grabberherstellers (\*\*\*). Da die Befehle in der DLL standardisiert sind, arbeitet das Programm mit jedem Grabber, der den CameraLink-Standard erfüllt. Sind mehrere clser\*\*\*.dll's auf dem Rechner installiert, benutzt das Programm die erste gefundene DLL. Der DLL-Name wird angezeigt.

Nach dem Start werden Informationen über Typ, Revision und Seriennummer der Kamera abgefragt. Im Feld "Type" muß der Kameraname erscheinen.

Nach dem Start des SKCLConfig-Programms werden die Schieber für Gain und Offset entsprechend den in der Kamera gespeicherten Werten positioniert. Die Gain- und Offset-Werte der Kamera können mit den Schiebern verändert werden. Die maximal mögliche Verstärkung des Kamerasignals beträgt 24dB (Gain=1023). Bei Veränderungen von Gain und Offset sollte das Zeilensignal der Kamera beobachtet werden (z.B. mit dem SkLineScan-Programm). Mit zunehmender Verstärkung des Signals erhöht sich auch das Rauschen - das Signal/Rausch-Verhältnis wird schlechter.

Die Kamera SK4096CTDI-40XL hat jeweils 4 Bereiche für Gain und Offset. Die Signalintensitäten in den einzelnen Regelbereichen sind bestmöglich anzugleichen.

Die Kamera wird mit optimaler Gain/Offset-Einstellung ausgeliefert (Grundeinstellung). Nach Veränderungen von Gain und Offset kann eine neuer Abgleich erforderlich sein. Dabei ist wie folgt vorzugehen:

### 1. Offset:

Das Videosignal bei abgedunkeltem Sensor mit den Offset-Reglern auf nahe 0 einstellen. Das Zeilensignal sollte noch sichtbar sein.

### 2. Verstärkung:

Den Sensor leicht überbelichten. Mit den Gain-Reglern den Begrenzungspunkt des Videosignals auf etwa '255' (8 Bit-Daten) oder höher einstellen.

Befehl	Rückmeldung	Beschreibung
Gxxxx<CR>	0=ok, 1= not ok	Gain1 setting 0 - 24 dB (xxxx= 0-1023)
Bxxxx<CR>	0=ok, 1= not ok	Gain2 setting 0 - 24 dB (xxxx= 0-1023)
Hxxxx<CR>	0=ok, 1= not ok	Gain3 setting 0 - 24 dB (xxxx= 0-1023)
Jxxxx<CR>	0=ok, 1= not ok	Gain4 setting 0 - 24 dB (xxxx= 0-1023)
Oxxx<CR>	0=ok, 1= not ok	Offset1 setting (xxx= 0-255)
Pxxx<CR>	0=ok, 1= not ok	Offset2 setting (xxx= 0-255)
Qxxx<CR>	0=ok, 1= not ok	Offset3 setting (xxx= 0-255)
Uxxx<CR>	0=ok, 1= not ok	Offset4 setting (xxx= 0-255)
F8<CR>	0=ok, 1= not ok	Output format: 8 Bit data
F10<CR>	0=ok, 1= not ok	Output format: 10 Bit data
F12<CR>	0=ok, 1= not ok	Output format: 12 Bit data
C20<CR>	0=ok, 1= not ok	Camera clock: 20 MHz
C40<CR>	0=ok, 1= not ok	Camera clock: 40 MHz
T0<CR>	0=ok, 1= not ok	test pattern off
M1<CR>	0=ok, 1= not ok	Extern trigger CC1 input
M2<CR>	0=ok, 1= not ok	Free run with max line rate
<b>Abfragen:</b>		
K<CR>	SK4096CTDI<CR>	SK type number
R<CR>	Rev1.20<CR>	Revision number
S<CR>	SNr00140<CR>	Serial number
I<CR>	SK4096CTDI<CR>	Camera identification
I1<CR>	VCC:00501<CR>	Operation voltage VCC
I2<CR>	VDD:01523<CR>	Operation voltage VDD
I3<CR>	moo:00003	Operation mode
I4<CR>	CLo:00020<CR>	Camera clock low frequency
I5<CR>	CHi:00040<CR>	Camera clock high frequency
I6<CR>	Ga1:00043<CR>	Gain1
I7<CR>	Ga2:00044<CR>	Gain2
I8<CR>	Of1:00011<CR>	Offset1
I9<CR>	Of2:00009<CR>	Offset2
I10<CR>	Ga3:00043<CR>	Gain3
I11<CR>	Ga4:00044<CR>	Gain4
I12<CR>	Of3:00011<CR>	Offset3
I13<CR>	Of4:00009<CR>	Offset4

Ctrl. Register	CLink3	EPLD	EN7	EN6	EN5	EN4	EN3	EN2	EN1	EN0
8 Bit									0	0
10 Bit									0	1
12 Bit									1	0
Low Clock							0	0		
High Clock							0	1		
Clock CC3							1	0		
Mode 1 extern Trigger				0	0					
Mode 2 free run, max line rate				0	1					

Die Kamera SK4096CTDI-40XL hat eine maximale Zeilenfrequenz von 9,46 kHz. Der programmierbare Bereich für die Belichtungsperiode beträgt 0,106 ms bis 1,0 ms.

Für die Programmierung der Belichtungsperiode muß das Zeitintervall zwischen zwei SOS-Signalen mindestens  $N = 4096$  Pixeltakte zuzüglich sensorabhängiger passiver Pixeltakte  $N_P$  lang sein. Bei der SK4096CTDI-40XL - Kamera sind dies 134. Der Sensor benötigt also  $4096 + 134 = 4230$  Takte für das vollständige Auslesen einer belichteten Zeile.

Die Auslesegeschwindigkeit wird durch die Pixelfrequenz (MCLK) bestimmt.

Die kürzeste Belichtungsperiode  $T_E$  der Kamera berechnet sich mit:

$$T_E = \frac{(N + N_P)}{f_p}$$

Die maximale Zeilenfrequenz ergibt sich aus:

$$f_L = 1 / T_E$$

Beispiel: SK4096CTDI-40XL  
40 MHz Pixelfrequenz

$$T_E = (4096 + 134) / 40 \text{ MHz}$$

$$T_E = 0,106 \text{ ms}$$

$$f_L = 40 \text{ MHz} / (4096 + 134)$$

$$f_L = 9,46 \text{ kHz}$$

## Technische Details zur Belichtung:

Die lichtempfindlichen Elemente des Sensors speichern Ladungsträger, die in einem bestimmten Zeitintervall durch einfallendes Licht erzeugt werden. Die akkumulierten Ladungen werden in Spannungen umgewandelt. Die Spannungswerte sind das Maß für die einfallende Lichtintensität in den einzelnen Pixeln.

Die **Integrationszeit** ist das Zeitintervall, in dem die Ladungsträger akkumuliert werden.

Die **Belichtungsperiode**  $T_E$  ist die Zeit, in der die Ladungsträger vollständig in das Schieberegister des Zeilensensors ausgelesen werden. Die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden positiven Flanken des SOS-Signals bestimmt die Belichtungsperiode.

Die maximale Zeilenfrequenz ergibt sich aus  $f_{L \max} = 1/T_E$ .

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

Die scharfe und proportional richtige Abbildung der gescannten Oberfläche erfordern bei TDI-Kameras die exakte Synchronisation der Transportgeschwindigkeit, in Abhängigkeit von der Belichtungszeit und des Abbildungsmaßstabs. Zusätzlich ist bei der Bewegung ist Vorzugsrichtung der Kamera zu beachten.

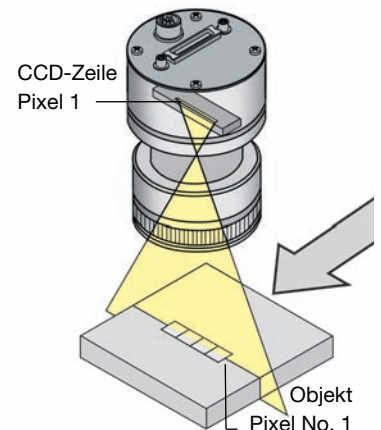
$$V_O = \frac{W_P \cdot \beta}{t_E} \quad [1]$$

$V_O$  = Objektgeschwindigkeit

$W_P$  = Pixelbreite

$\beta$  = Abbildungsmaßstab

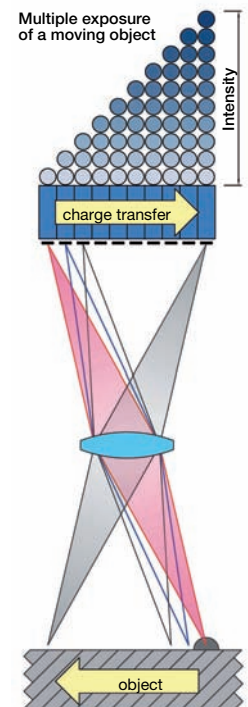
$t_E$  = Belichtungszeit



Das **TDI-Prinzip** basiert auf der zeitverzögerten Mehrfachbelichtung eines bewegten Objektes. Der Sensor besteht aus 96 nebeneinander liegenden Sensorzeilen. Am Ende jeder Belichtungsperiode werden die bislang erzeugten Ladungen zeilenweise in die jeweils nächsthöhere Zeile verschoben (vgl. Abb. "charge transfer"). Während der folgenden Belichtungsperioden kommen weitere Ladungen hinzu, die aufsummiert, Zeile für Zeile weitertransportiert und schließlich nach 96 Belichtungen als Videosignal ausgegeben werden.

Durch eine zum zeilenweisen Ladungstransfer synchrone (und parallele) Objektbewegung wird im Effekt eine 96-fache Mehrfachbelichtung erreicht. Hierbei ist das Objekt nach einer Belichtungsperiode soweit verschoben, dass es durch das Objektiv auf die jeweils nächste Sensorzeile abgebildet wird - dahin, wo auch die Ladungen aus der vergangenen Periode transportiert wurden.

Zeilenkameras mit Time Delayed Integration (TDI)-Technologie haben eine 96-fach höhere Lichtempfindlichkeit als vergleichbare herkömmliche Zeilenkameras. Insbesondere bei Messungen an lichtschwachen Objekten (z.B. Waferinspektion mit Dunkelfeldbeleuchtung) sind mit einer TDI-Kamera deutlich höhere Mess- und Scan-Geschwindigkeiten erreichbar. Voraussetzung für den Einsatz von TDI-Kameras ist die Bewegung des Objektes in einer Vorzugsrichtung mit einer definierten Geschwindigkeit.





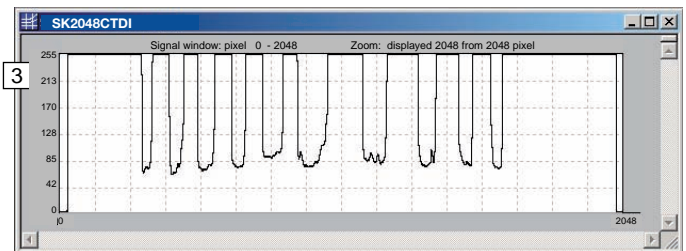
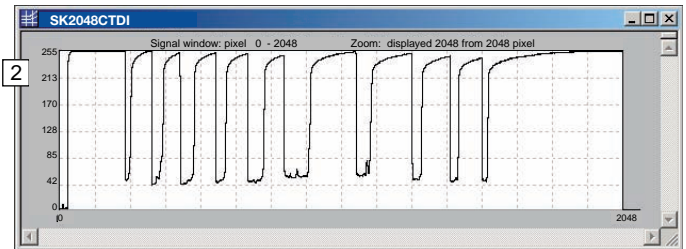
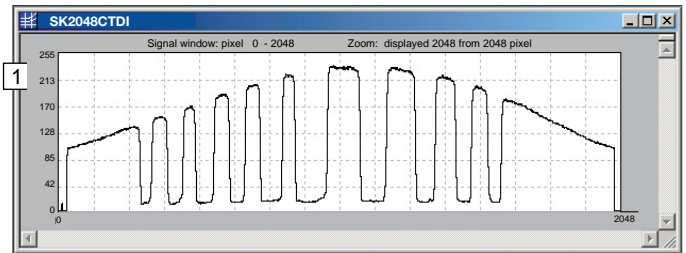
## Blooming

Wenn Pixel aufgrund starker Belichtung keine Ladung mehr aufnehmen können, also gesättigt sind, geben sie bei weiterer Belichtung ihre überschüssige Ladung an nachfolgende Pixel ab. Dieser Effekt wird Blooming genannt. Das Blooming führt zu einer Verfälschung der geometrischen Zuordnung von Bild und Objekt im Zeilensignal.

CCD-Zeilencameras mit Anti-Blooming-Sensor leiten bei Überbelichtung den Ladungsüberschuß über ein "Drain Gate" ab. Nachfolgende weniger belichtete Pixel werden nicht mehr aufgefüllt. Die Signalstrukturen bleiben auch bei Überbelichtung positionsgenau erhalten.

Die CCD-Zeilencameras der CTDI-Serie haben einen Anti-Blooming-Sensor und verfügen somit über einen Überbelichtungsschutz. Das Blooming Drain Gate hat jedoch eine Kapazitätsgrenze. Allgemein gilt:

Je weniger Pixel überbelichtet sind, desto besser ist die Anti-Blooming-Wirkung des Drain-Gates. Für einzelne Pixel kann ein Ladungsüberschuß bis zum 2000-fachen der Sättigungsladung abgeleitet werden. Mit zunehmender Anzahl überbelichteter Pixel verringert sich der abführbare Ladungsüberschuß.



Oszilloskopische Signaldarstellungen von CCD-Zeilensignalen (Barcode im Auflicht), SK2048CTDI

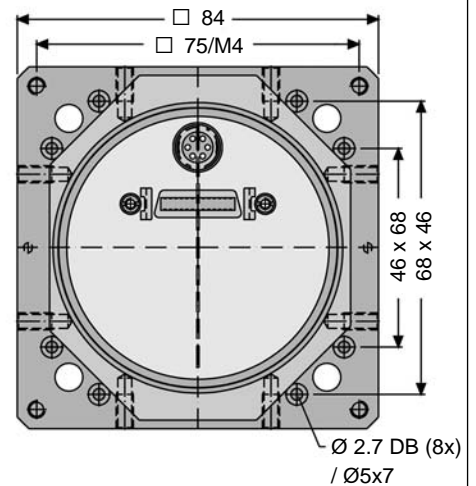
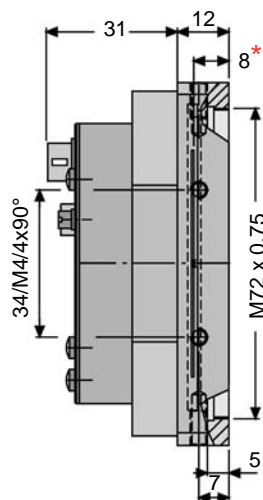
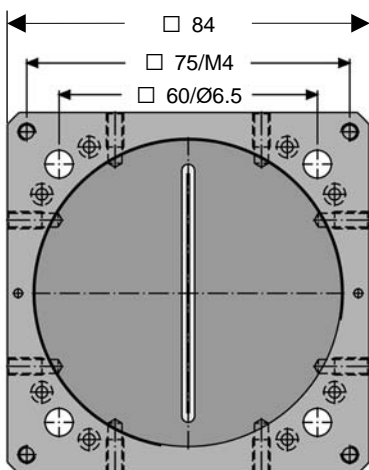
- 1 CCD-Zeilensignal mit mittenbetonter Ausleuchtung und steilen Signalfanken. Integrationszeit  $t_A = 0,158$  ms
- 2 Überbelichtung durch längere Integrationszeit ( $t_A = 0,533$  ms). Im Sensor wird der Blooming-Effekt durch Verstellen der Blooming-Control-Spannung provoziert (niedrige  $V_A$ ). Die Signalstrukturen sind verfälscht.
- 3 Die Blooming-Control-Spannung begrenzt das Ausgangssignal des Sensors auf ca. 90% der Sättigungsspannung  $V_{SAT}$ . Die Anti-Blooming-Funktion ist aktiv. Auch bei noch längerer Integrationszeit ( $t_A = 0,806$  ms) bleiben die Kantenpositionen aus Bild 1 erhalten.



- 1 CCD-Zeilenkamera  
**SK4096CTDI-40XL**  
montiert mit:
- 2 Fokusadapter **FA26-S45**
- 3 Zwischenring **ZR-L...**
- 4 Objektivadapter **M39-45**
- 5 Makro-Objektiv 1:1, APO-  
Rodagon D1x 4.0/75

CameraLink-Kameragehäusetyp **CC5**  
Objektivgewinde **M72 x 0.75**

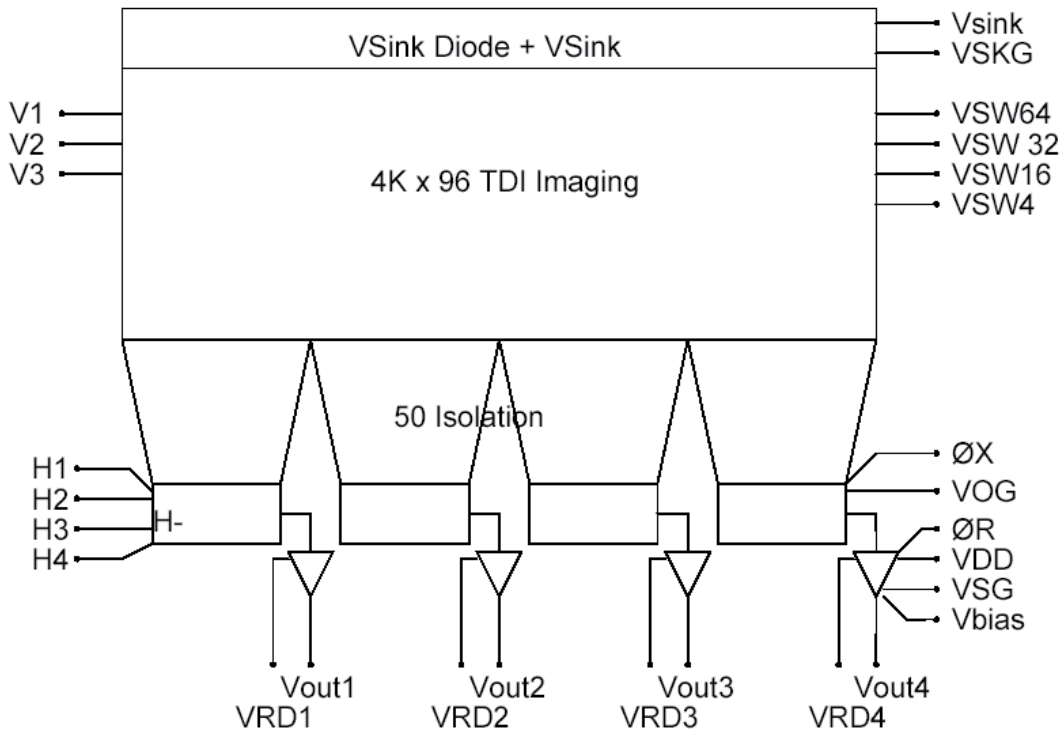
\* Kamera-Auflagemaß



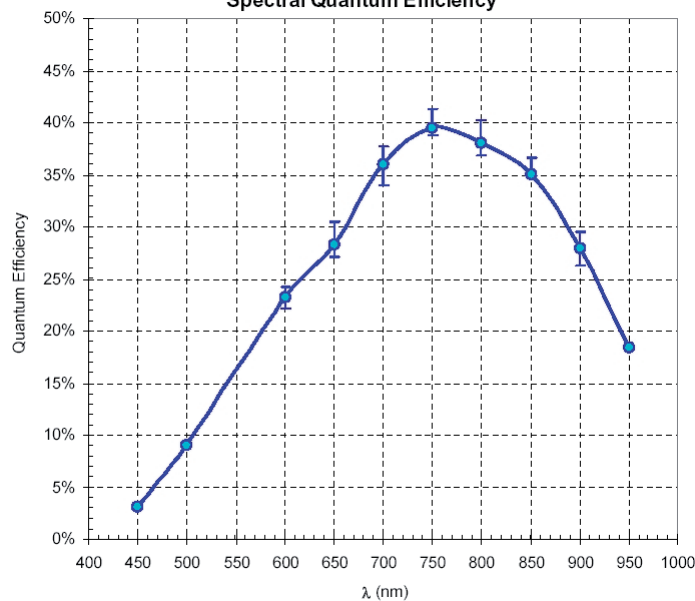
12. Sensordaten

Hersteller: Fairchild Imaging®  
 Typ: CCD5045  
 Datenquelle: Fairchild Imaging® CCD5045 - Data Sheet

CCD5045 Block Diagram



Spectral Quantum Efficiency



## Performance Specifications

Description	Symbol	Min	Typical	Max	Units	Remarks
Vertical saturation charge	Qsat	150	200	-	Ke-	
QE at 650 nm	QE	20	22	-	%	
Readout noise	Noise	-	70	100	e-	
Dynamic range	DR	2700	3000	-		
Horizontal CTE	HCTE	0.9999	0.99995	-		Per transfer
Vertical CTE	VCTE	0.999	0.9995	-		Per transfer
Photoresponse non-uniformity	PRNU	-	5	10	%	TDI = 96
Dark current	Idark	-	1	-	nA/cm <sup>2</sup>	
Dark signal charge density	Idark	-	10500	-	Elec/pixel/sec	
Dark signal non-uniformity	DSNU	-	< 5%	-	Qsat	
Output amplifier DC offset		-	10.3	-	Vdc	
Output amplifier sensitivity		2.5	3	3.5	µV/e-	
Antiblooming	AB	1500	2000	-		X saturation
Peak responsivity	Resp.	-	320	-	V/µj/cm <sup>2</sup>	At 650 nm
Test Conditions:						
Tests were performed at 25°C with horizontal clock frequency of 25 MHz per output and vertical clock frequency of 23 kHz.						

### 13. Hinweise und Garantie

Dieses Technische Handbuch ist mit größter Sorgfalt erstellt worden. Es wird jedoch keine Gewähr für die Freiheit von Fehlern und Irrtümern gegeben.

Für die angegebenen Schaltungen, Beschreibungen und Tabellen wird keine Gewähr bezüglich der Freiheit von Rechten Dritter übernommen.

Mit den Angaben in den technischen Beschreibungen werden Baugruppen spezifiziert, nicht Eigenschaften zugesichert.

Die Garantie für die CCD-Zeilenkamera beträgt 24 Monate. Die Garantie erlischt bei unsachgemäßen Eingriffen.

### 14. EU-Konformitätserklärung



Dieses Produkt entspricht den Schutzanforderungen der EG-Richtlinie 89/336/EWG. Die Anforderungen der DIN EN 61326 werden erfüllt.