

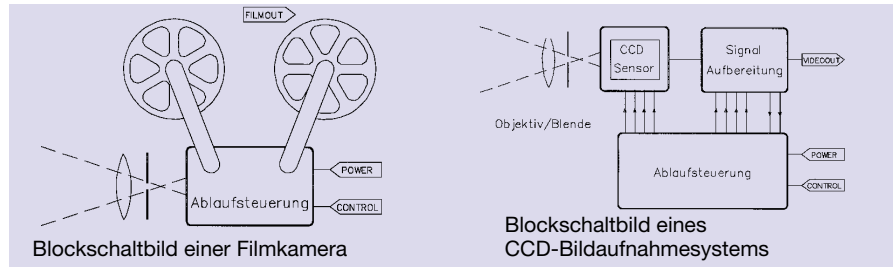
1. Grundprinzip eines Bildaufnahmesystems

Das Grundprinzip eines CCD-Bildaufnahmesystems läßt sich mit dem Vergleich einer Filmkamera einfach erklären:

Während in beiden Systemen die Komponenten Objektiv/Blende und zentrale Ablaufsteuerung vorzufinden sind und auch die gleiche Aufgabe besitzen, liegt der Unterschied in der Bildaufnahme und Bildausgabe.

Bei der Filmkamera wird der fotoempfindliche Film zum Objektiv bewegt, belichtet und abtransportiert. Der Transport des Filmmaterials geschieht über mechanische Teile zu den Filmrollen, wo die Information gelagert wird (siehe Abbildung).

Bei einem CCD-Bildaufnahmesystem dagegen bewegt sich nichts mechanisch (CCD ist die Abkürzung für Charge Coupled Device). Das durch das Objektiv einfallende Licht wird auf einen CCD-Sensor abgebildet, die



Lichtinformation wird durch den inneren Fotoeffekt als elektrische Ladung gespeichert und muß nun wie beim Film abtransportiert werden, jedoch geschieht dies rein elektrisch. Dafür ist die zentrale Ablaufsteuerung zuständig, die mit einer hohen quarzstabilen Frequenz getaktet wird und dem CCD die notwendigen Ablaufsignale zuführt (siehe Abbildung).

Der CCD-Sensor liefert die optisch generierte Information nicht als komplettes Bild weiter, sondern Punkt für Punkt und zeilenweise in serieller elektrischer Form. Dieses elektrische Signal wird in der Signalaufbereitungsstufe in ein genormtes Format umgesetzt und anschließend zum Ausgang weitergeleitet.

Ein großer Vorteil ist die sofortige Verfügbarkeit der Information nach dem Belichten, denn bei der Filmkamera muß der belichtete Film erst entwickelt werden, was Zeit und Geld kostet.

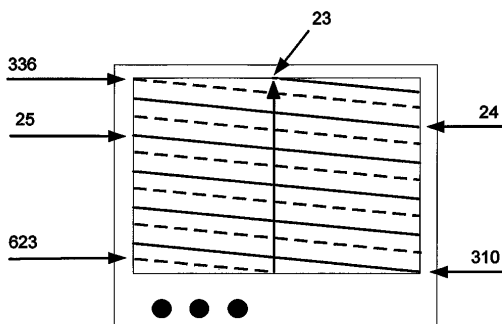
Damit nicht jeder Hersteller seine eigenen Vorschriften zum Auslesen der elektrischen Information definiert, gibt es eine Video-Norm, durch die eine einheitliche Grundlage und damit eine Kompatibilität zu anderen Videogeräten geschaffen wurde.

Die Video-Norm

Das Auslesen eines CCD-Sensors wird durch die Video-Norm festgelegt, die das Timing und die Pegel zur Übertragung vorschreibt. Es wird zwischen der europäischen CCIR-Norm und der US-Norm RS170 unterschieden.

Um eine flimmerfreie Bildwiedergabe zu erhalten, arbeiten beide Normen nach dem Interlaced-Verfahren (Zeilensprungverfahren). Dies bedeutet, daß ein Videovollbild (FRAME) in zwei Halbbilder (FIELDS) aufgeteilt und zeilenversetzt ausgegeben wird. Damit verdoppelt sich die Bildwechselfrequenz und die Bildwiedergabe ist flimmerfrei.

Da für den Rücklauf des Elektronenstrahls im Monitor (Bildwechsel) einige Zeilen verwendet werden, sind in der CCIR-Norm von den 625 Zeilen nur 576 (FRAME) bzw. von den 312,5 Zeilen nur 288 (FIELD) sichtbar.



Die 312,5 Zeilen von FIELD1 und FIELD2 werden mit jeweils 50Hz (20ms) bei der Videoausgabe am Monitor dargestellt. Die Ausgabe des Videosignals (sprich der beiden Halbbilder FIELD1 und FIELD2) erfolgt immer zeilenversetzt (interlaced), egal wie das Bild vom CCD-Sensor erfaßt wird.

Zählweise:

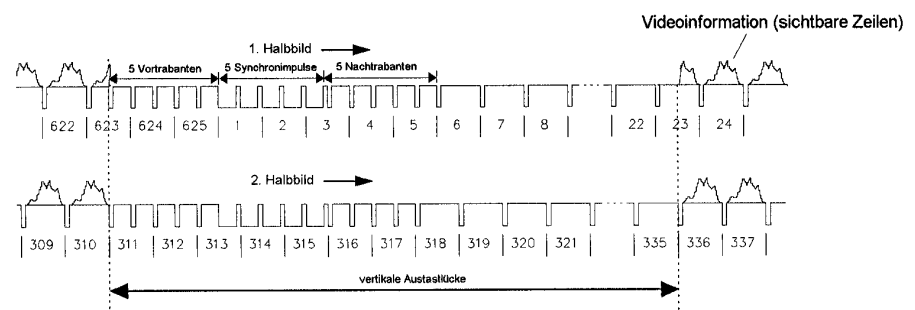
FIELD1: Zeilen 1 ... 312 davon sichtbar: Zeilen 23 ... 310
 FIELD2: Zeilen 312,5 ... 623 davon sichtbar: Zeilen 336 ... 623

Entnehmen Sie nachfolgender Tabelle die technischen Daten der beiden Normen:

Norm	CCIR	RS170
Vertikale Abtastfrequenz	50 Hz	59,9 Hz
Vertikale Abtastzeit (=Übertragungszeit Halbbild)	20 ms	16,68 ms
Vertikale Rücklaufzeit	1,536 ms	1,271 ms
Horizontale Abtastfrequenz	15,625 kHz	15,734 kHz
Horizontale Abtastzeit (=Übertragungszeit Zeile)	64 µs	63,55 µs
Horizontale Rücklaufzeit	11,52 µs	10,76 µs
Zeilenzahl davon sichtbar	625 574	525 485

**Video-Timing-
diagramme
für die CCIR-
und RS170-Norm**

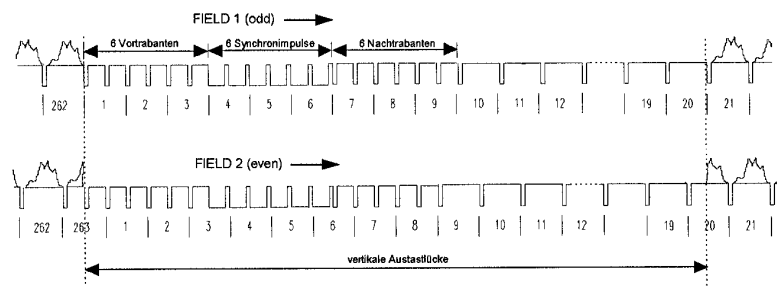
CCIR-Norm



Bei der CCIR-Norm werden die Zeilen von 1 bis 625 durchnummeriert.

CCIR	Zeilennummerierung	sichtbare Zeilen
1. Halbbild	1 ... 312	23 ... 310
2. Halbbild	312,5 ... 625	336 ... 623

RS170-Norm



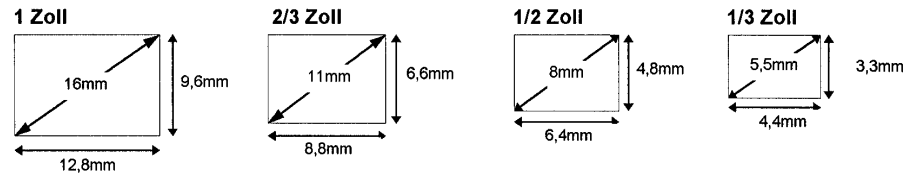
Bei der RS170-Norm sind die beiden Halbbilder in FIELD1 und FIELD2 aufgeteilt. Jedes FIELD beginnt mit der Zeilennummer 1.

RS 170	Zeilennummerierung	sichtbare Zeilen
FIELD1 (odd)	1 ... 262	23 ... 262
FIELD2 (even)	1 ... 263	20,5 ... 263

CCD-Chip Formate

Die Formatangabe des Bildsensors in Zoll kommt aus der Zeit, in der es nur Fernsehöhren gab. Eine runde Aufnahmeöhre mit 1" Durchmesser (25mm) hatte ein rechteckiges, aktives Fenster mit einer Diagonalen von 16mm. Dieses Format hat man bisher beibehalten.

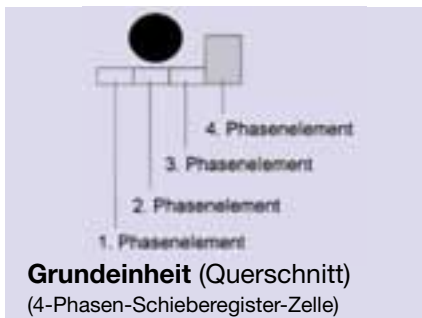
CCD-Chips werden in verschiedenen Aufnahmeformaten angeboten:



1"-Chips werden heutzutage nur noch selten eingesetzt, 1/2" und 1/3"-Chips dagegen finden immer mehr Anwendung, v.a. im Bereich der Überwachung, bei Miniaturkameras und bei Home-Videokameras.

In der Meßtechnik wird der 1/3"-Chip selten eingesetzt, da mit der Reduzierung der aktiven Sensorfläche die einzelnen Pixel auch immer kleiner werden und damit die Auflösung immer schlechter. Aus diesem Grund sind der 1/2" und 2/3"-Chip in der Meßtechnik immer noch dominierend und werden es auch noch in absehbarer Zeit bleiben. Eine gute Abbildung ist bei den meisten Applikationen wichtiger, als die Größe des CCD-Chips und damit auch die Größe der Kamera.

2. Funktionsprinzip des Ladungstransports



In jedem CCD-Sensor wird Licht in elektrische Ladung umgewandelt, die abtransportiert und elektronisch weiterverarbeitet werden muß. Das Prinzip des Ladungstransports beruht auf der Ladungsverschiebung, die in sog. Schieberegistern stattfindet.

Ein Schieberegister kann aus drei oder vier Zellen (abhängig von der CCD-Technik) bestehen, in denen jeweils eine **Ladungsbarriere** oder eine **Ladungssenke** auftreten kann. In nachfolgender Erläuterung wird ein Schieberegister mit vier Zellen verwendet (4-Phasen-Schieberegister-Zelle). Eine solche 4-Phasen-Schieberegister-Zelle stellt eine **Grundeinheit** dar. Sämtliche Grundeinheiten einer CCD-Spalte ergeben ein **vertikales Schieberegister**.

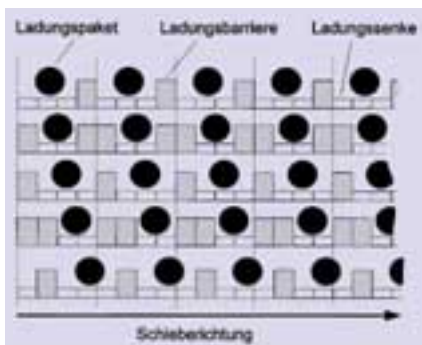
Prinzip der Ladungsverschiebung

Die Phasenelemente können elektronisch einzeln angesteuert werden und stellen für das Ladungspaket entweder eine Ladungsbarriere oder eine Ladungssenke dar. Dadurch wird das Ladungspaket in eine Richtung weitertransportiert (geschoben).

Es gibt mehrere CCD-Wandler Techniken, von denen sich zwei auf dem Markt durchgesetzt haben:

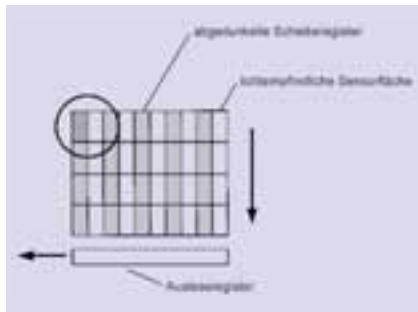
- Interline-Transfer-Sensor
- Frame-Transfer-Sensor

Auf den nachfolgenden Seiten wird der Aufbau und das Funktionsprinzip dieser beiden Sensortypen erklärt.

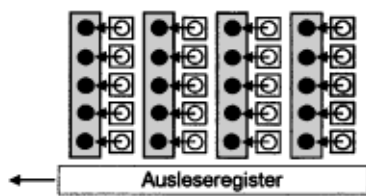


3. Interline-Transfer-Sensor

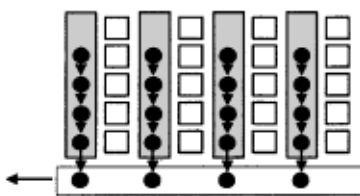
Aufbau des Sensors



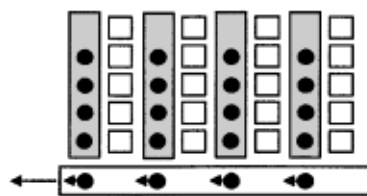
Der Sensor ist in Belichtungs- und Speicherbereiche unterteilt. Diese sind beim Interline-Transfer-Sensor streifenförmig angeordnet. Über die lichtempfindliche Sensorfläche (Belichtungsbereich) wird die Information dem CCD-Chip zugeführt. Über eine Verbindung zwischen der Sensorfläche und der vertikalen Schieberegister wird die entstandene Ladung innerhalb kurzer Zeit (ca. $2,5\mu\text{s}$) in die abgedunkelte Schieberegisterzelle (Speicherbereich) parallel übernommen. Die Ladungen der vertikalen Schieberegister werden nun zeilenweise in das horizontale Schieberegister (Ausleseregister) geschoben und von dort seriell ausgelesen.



paralleles Übernehmen der Ladungen
Dauer: ca. $2,5\mu\text{s}$

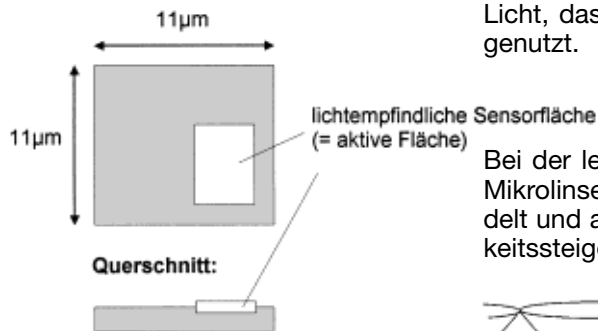


vertikales Schieben ins Ausleseregister,



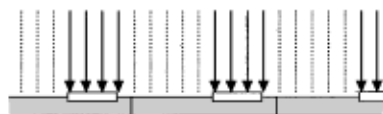
horizontales, serielles Auslesen der Zeilen

Lens-on-chip Technik

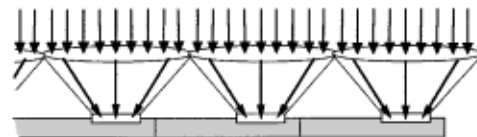


Beim Interline-Transfer-Sensor ist die aktive, lichtempfindliche Sensorfläche nur ein kleiner Teil der gesamten Sensorzelle. Die sogenannten „Stege“ um die aktive Fläche herum können kein Licht aufnehmen. Das Licht, das auf diese Stege fällt wird bei herkömmlichen CCD-Chips nicht genutzt.

Bei der lens-on-chip-Technik wird nun auf jede einzelne Sensorzelle eine Mikrolinse aufgebracht, die das Licht, das auf die Stege fallen würde, bündelt und auf die aktive Sensorfläche lenkt. Dadurch wird eine Empfindlichkeitssteigerung um ca. Faktor zwei erzielt.



Sensorzellen ohne lens-on-chip



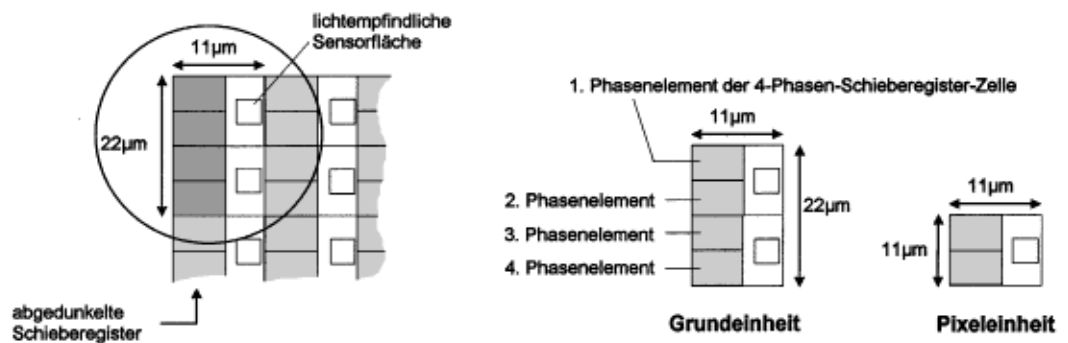
Sensorzellen mit lens-on-chip

3.1 Video Sensor Aufbau

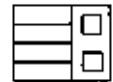
Für CCD-Chips in der CCIR-Norm sind typische Werte 290 Zeilen pro Halbbild und 780 Spalten. Ein Vollbild muß ein Seitenverhältnis von 4:3 haben.

In der nachfolgenden Abbildung ist ein Ausschnitt (Kreis) des Sensors (siehe Seite 7, oben) vergrößert dargestellt:

Eine Grundeinheit ($11 \times 22 \mu\text{m}$) besteht aus zwei Pixeleinheiten (odd- und even-Pixel, je $11 \times 11 \mu\text{m}$). Jede Grundeinheit enthält eine 4-Phasen-Schieberegister-Zelle mit vier abgedunkelten Phasenelementen, die zusammen ein Ladungspaket transportieren können.

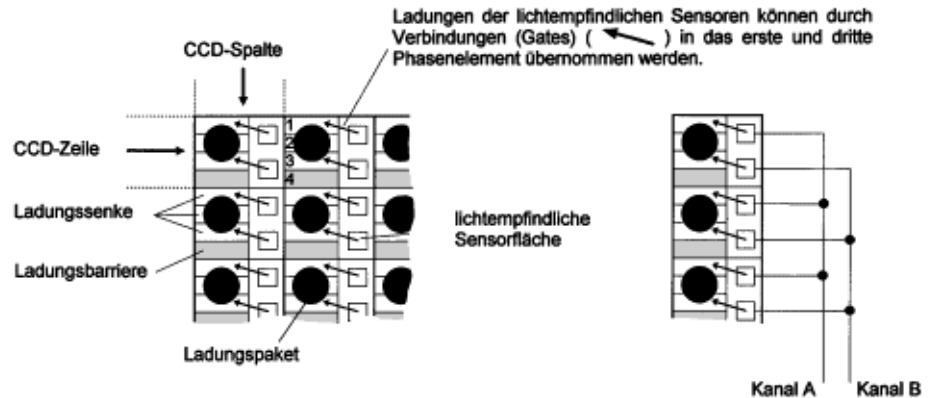


Die Grundeinheit wird nachfolgend vereinfacht dargestellt:



Betriebsarten des Sensors

Der Interline-Transfer-Sensor ist in Zeilen und Spalten unterteilt:



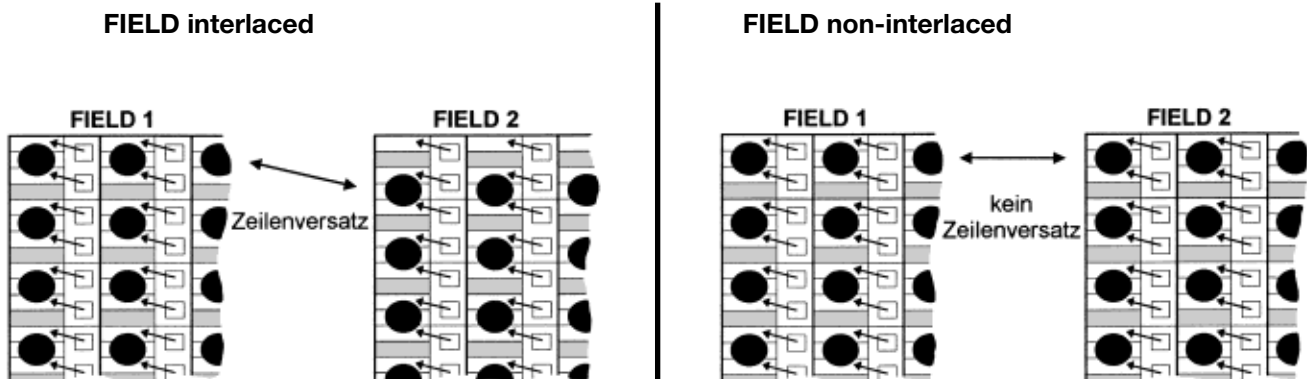
In obigem Beispiel wird das vierte Phasenelement gesperrt. Die durch Übernahmeimpulse übernommenen Ladungen aus den lichtempfindlichen Sensorflächen bilden in den Ladungssenken eine Gesamtladung, ein Ladungspaket (●), das aus dem CCD-Chip, zusammen mit all den anderen Ladungspaketen, über die vertikalen Schieberegister ausgelesen (herausgeschoben) wird.

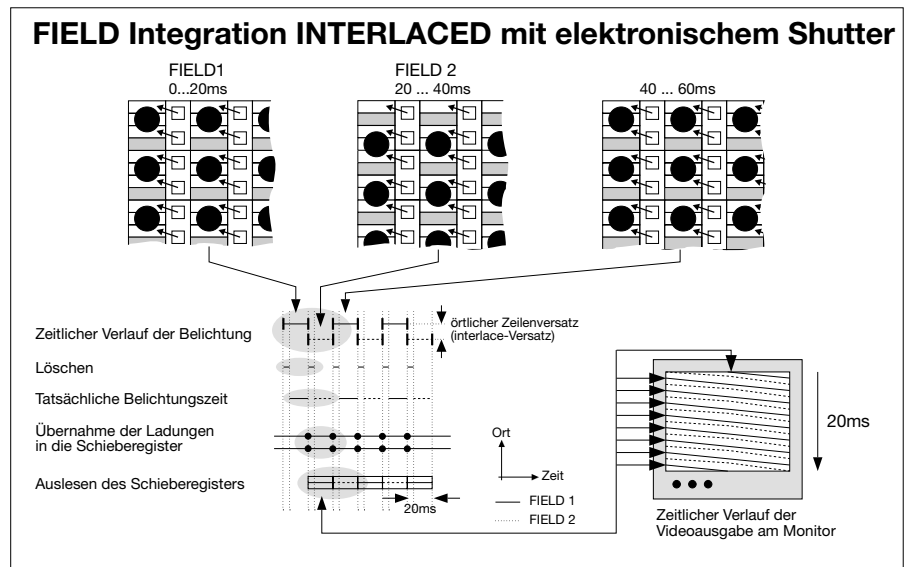
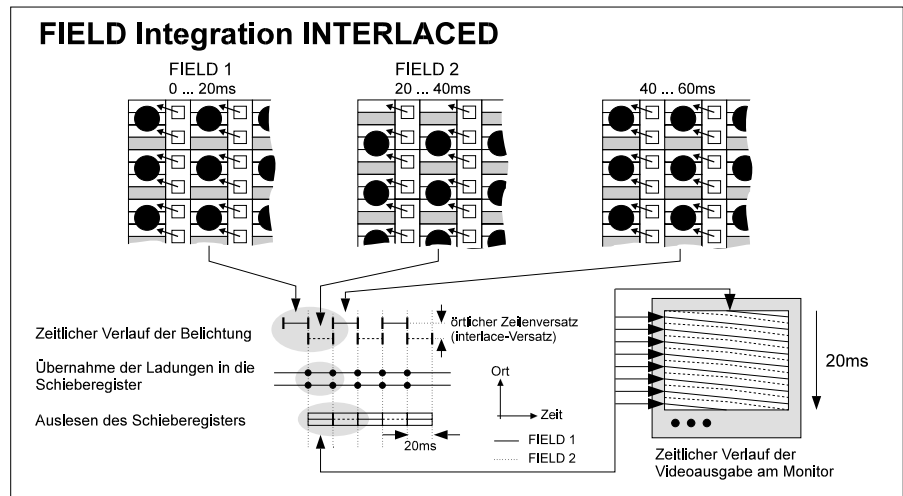
Es sind zwei Verbindungskanäle vorhanden, welche die Ladungen abtransportieren. Kanal A verbindet die ersten Phasenelemente, Kanal B die dritten Phasenelemente jeder Grundeinheit. Die Steuerung beider Kanäle erfolgt unabhängig voneinander.

Die Integration (Belichtung) der Ladungen in den Sensoren erfolgt gleichzeitig mit dem Auslesen aus den abgedunkelten Schieberegistern. Das Schieberegister, welches in der CCIR-Norm ca. 290 Zeilen hat, wird kontinuierlich alle 20ms komplett ausgelesen. In der dunklen getasteten Phase (vertikale Austastlücke, siehe S. 18) wird das neu entstandene Bild von den Sensoren in die Schieberegister übernommen. Dieser Vorgang findet in Zeile 10 statt und dauert ca. 2,5µs.

Durch das Übernehmen werden die Sensoren gelöscht und ein neuer Belichtungszyklus beginnt. Je nach Ansteuerung der Übernahmekanäle (Kanal A oder B) lassen sich die beiden Betriebsarten **FIELD-Integration** (20ms Belichtungszeit) und **FRAME-Integration** (40ms Belichtungszeit) steuern.

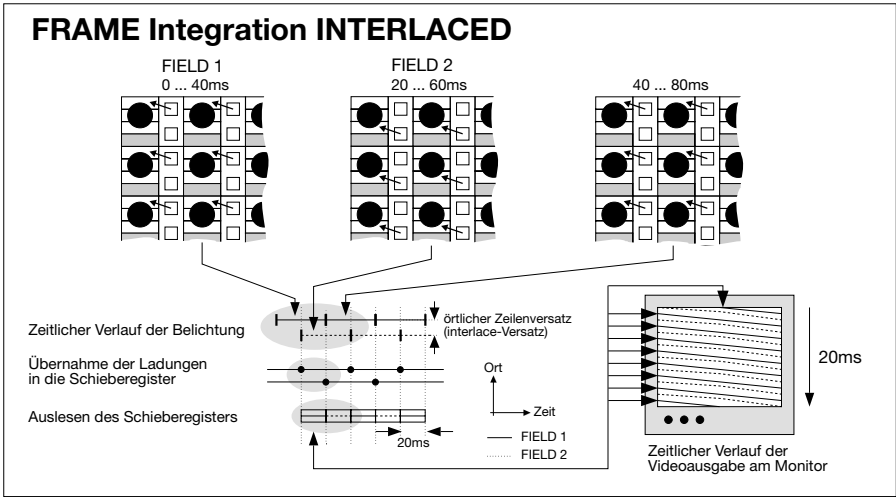
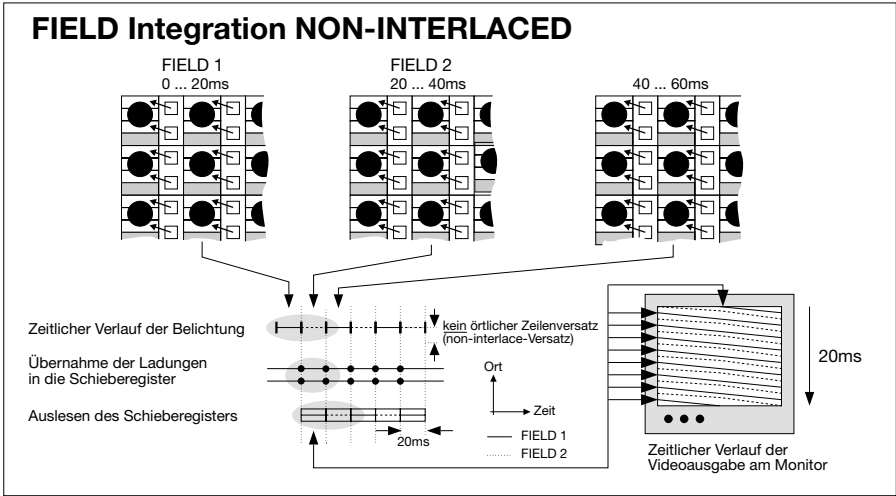
Zusätzlich zur Steuerung über die Kanäle A und B lassen sich auch die Ladungsbarrieren beim Übernehmen unterschiedlich vorbesetzen. Dadurch ergeben sich die Betriebsarten **interlaced** (zeilenversetzt) und **non-interlaced**.





Beim Interline-Transfer-Sensor gibt es die Möglichkeit, alle lichtempfindlichen Sensoren auf einmal zu löschen. Es werden dabei sämtliche Dioden in Flußrichtung geschaltet. Über ein Substrat können die entstandenen Ladungen als Strom abfließen. Durch das Löschen werden die Ladungen in den abgedunkelten Schieberegistern nicht beeinflusst.

Ein Shutterbetrieb in der Betriebsart FRAME-Integration ist nicht möglich.



Zusammenfassung der Betriebsarten

Betriebsart	Belichtungszeit pro Halbbilder	Zeitliche Folge der Belichtungen	Örtliche Position der Halbbilder
FIELD-Integration interlaced	20ms	nacheinander	versetzt
FIELD-Integration non-interlaced	20ms	nacheinander	gleich
FRAME-Integration interlaced	40ms	überlappend	versetzt

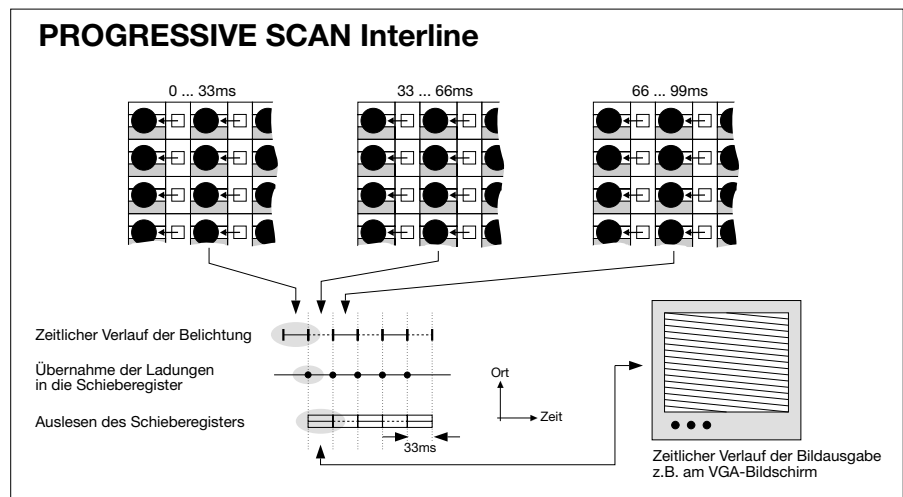
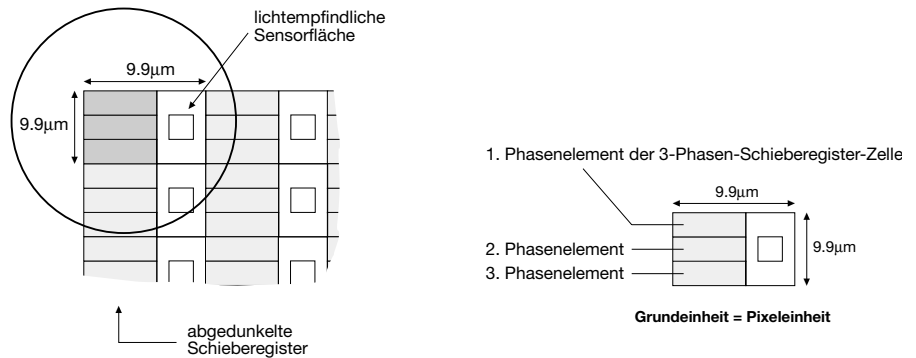
3.2 Progressive Scan Sensor

Bei den Progressive Scan Sensoren handelt es sich um neuere Sensortypen, bei denen die volle Bildauflösung genutzt wird. Typische Bildformate sind z.B. die VGA Auflösung mit 640x480 Pixeln oder die höher auflösende SuperVGA mit 1280x1024 Pixeln.

Die Einschränkung der Halbbildauflösung, wie beispielsweise bei den Video Sensoren, gibt es bei den Progressive Scan Sensoren nicht.

In der nachfolgenden Abbildung ist ein Ausschnitt des Sensors vergrößert dargestellt.

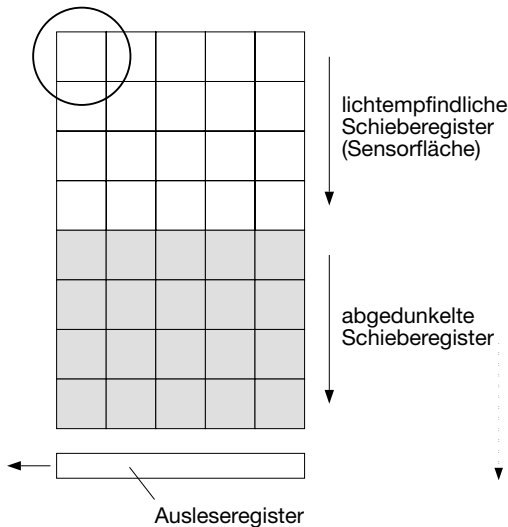
Die Grundeinheit enthält hier im Gegensatz zum Videosensor nur drei Phasenelemente. Diese sind ausreichend, da auf die Halbbilddarstellung keine Rücksicht genommen werden muß.



4. Frame-Transfer-Sensor

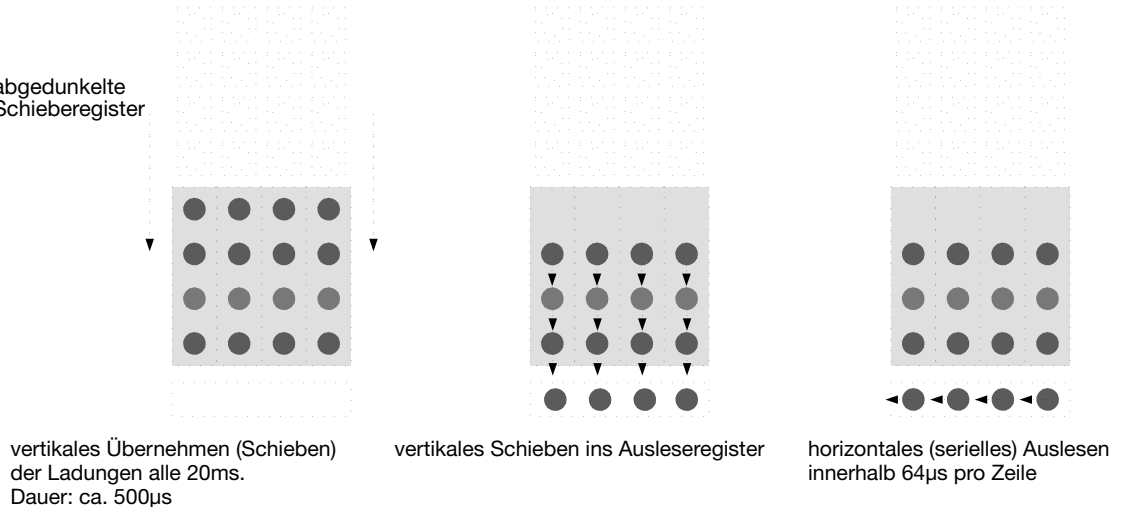
4.1 Video Sensor

Aufbau



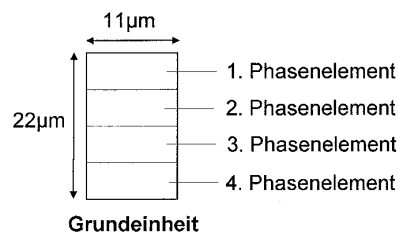
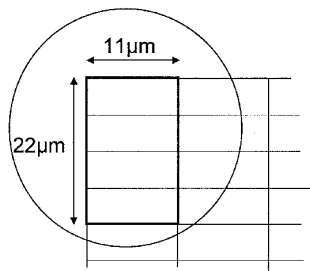
Beim Frame-Transfer-Sensor sind der Belichtungs- und der Speicherbereich in zwei großen Blöcken angeordnet. Die gesamte CCD-Fläche (lichtempfindliche und abgedunkelte Schieberegister) ist etwa zweimal so groß wie die des Interline-Transfer-Sensors.

Die Schieberegister selbst sind bei diesem Sensor lichtempfindlich. Die gesamte Ladung wird innerhalb ca. 500µs durch das Transportregister in das abgedunkelte Schieberegister geschoben. Von dort werden die Ladungen vertikal ins Ausleseregister geschoben und seriell ausgelesen (innerhalb 64µs pro Zeile).



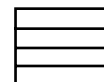
Beim Frame-Transfer-Sensor sind typische Werte für einen CCD-Chip 290 Zeilen pro Halbbild und 780 Spalten. Ein Seitenverhältnis von 4:3 muß gewährleistet sein.

Nachfolgend ist ein Ausschnitt (Kreis) des Sensors vergrößert dargestellt:

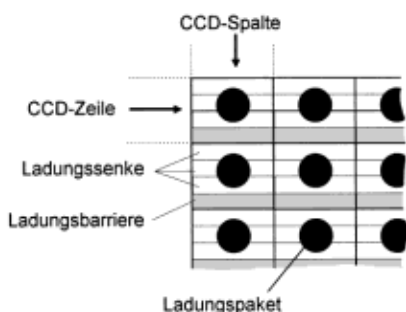


Bei diesem Sensortyp gibt es auch eine Grundeinheit, die wiederum aus einer 4-Phasen-Schieberegister-Zelle mit vier Phaseelementen besteht. Diese Grundeinheit stellt eine Zelle des vertikalen Schieberegisters dar und kann ein Ladungspaket transportieren.

Die Grundeinheit wird nachfolgend vereinfacht dargestellt:



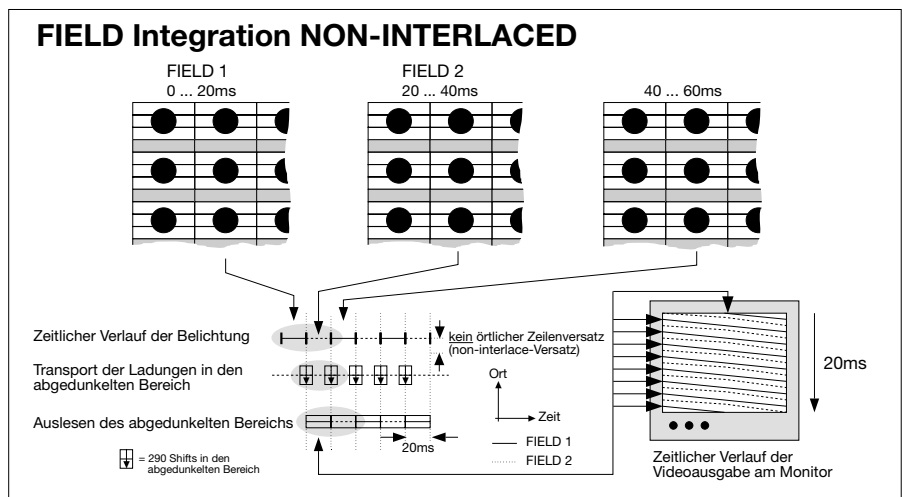
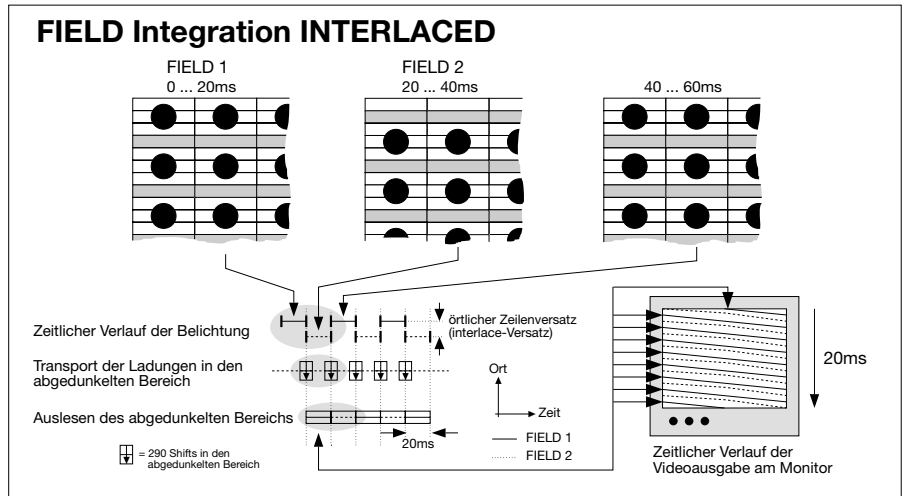
Betriebsarten des Sensors



Der Frame-Transfer-Sensor ist in Zeilen und Spalten unterteilt.

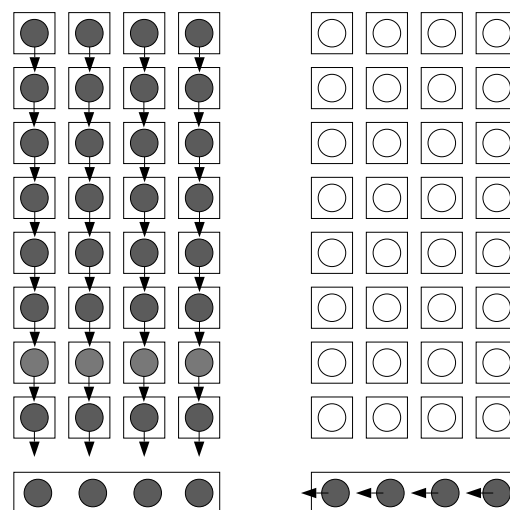
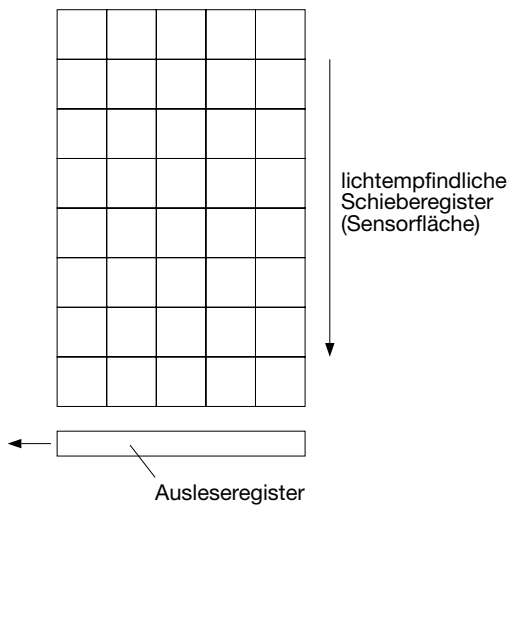
Bei diesem Sensortyp sind die Schieberegister selbst lichtempfindlich. Durch entsprechendes Versetzen der Ladungsbarrieren werden die Betriebsarten **interlaced** (zeilenversetzt) oder **non-interlaced** erzeugt. Während in den lichtempfindlichen Sensorzellen neue Ladung aufintegriert wird, werden die abgedunkelten Schieberegister ausgelesen. In der vertikalen Austastlücke (siehe S. 18) werden alle 290 Ladungspakete auf einmal von der lichtempfindlichen Fläche in die abgedunkelte Fläche geschoben (290 Shifts).

Es gibt nur die beiden Betriebsarten FIELD-interlaced und FIELD non-interlaced.



4.2 Full-Frame Sensor

Bei Full-Frame Sensoren existiert, im Gegensatz zum Videosensor, kein Speicherbereich.
Die komplette Sensorfläche ist lichtempfindlich.



Die Verschlusszeit kann von diesem Sensortyp nicht selbst gesteuert werden. Es ist ein externer Verschluss notwendig.
Full-Frame Sensoren werden hauptsächlich mit hoher Auflösung (500 x 500 ... 4000 x 4000 Pixel) hergestellt.
Der Ladungstransport innerhalb des Sensors ist mit dem des Videosensors identisch.

5. Diskussion von Video-Sensoren

Beide Sensortypen - Interline-Transfer sowie Frame-Transfer - können in der Betriebsart FIELD-Integration betrieben werden. Die Betriebsart FRAME-Integration ist ausschließlich Interline-Transfer-Sensoren vorbehalten, mit einem Frame-Transfer-Sensor ist dies nicht möglich.

Die vertikale örtliche Auflösung ist bei FRAME-Integration maximal, bei FIELD-Integration beträgt sie etwa 70%, da die Zeilen beim interlace-Versatz überlappen.

Nachteile der FRAME-Integration sind die 40ms Belichtungszeit pro Halbbild, die außerdem noch phasenverschoben ablaufen, so daß mit FIELD-Integration eine höhere zeitliche Auflösung erreicht wird.

Je nach dem Einsatz der Kamera ist die eine oder andere Betriebsart von Vorteil. Zum Beispiel bei sehr langen Belichtungszeiten (>1s) wird

bei FRAME-Integration gleichzeitig ein Vollbild belichtet, während bei FIELD-Integration zwei hintereinander belichtete Halbbilder aufgenommen werden müssen.

Benutzt man zum Beispiel externe Verschlüsse (Laserblitz, Blitzlicht, mechanischer Shutter oder Bildverstärker), so erreicht man bei FRAME-Integration eine Vollbildauflösung, da gleichzeitig beide Halbbilder belichtet werden können. Eine Belichtung im FIELD-Modus würde nur ein Halbbild erzeugen.

Elektronische Kurzzeitverschlüsse, die durch Löschen der Ladung, sowie schnelles Übernehmen der Ladungen in die abgedunkelten Schieberegister erzeugt werden, können sehr gut mit Interline-Transfer-Sensoren verwirklicht werden. Hierzu wird allerdings der FIELD-Integrationsmodus benötigt. Ein elektronischer Shutter mit FRAME-Integrati-

on bzw. mit Vollbildauflösung ist durch den Chipaufbau nicht möglich. Dazu bräuchte man Sensoren, die Schieberegister in voller Zeilenanzahl (580 anstelle von 290 Zeilen) besitzen, d.h. jeder lichtempfindlichen Zelle steht ein volles vertikales Schieberegister zur Verfügung (siehe: Progressive Scan Sensor).

Interline-Transfer-Sensoren besitzen eine höhere Quanten-Ausbeute im blauen und grünen Spektralbereich. Frame-Transfer-Sensoren sind dagegen im roten und IR-Bereich empfindlicher.