

3

Kameras

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die Geschichte der Photographie sowie eine Einführung in die CCD-Technologie.

3.1 Eine kleine Geschichte der Photographie

Erstaunlich an der Geschichte der Photographie ist, dass Kameras bereits lange vor deren Erfindung existierten. Es sind Quellen bis zurück ins fünfte Jahrhundert vor Christi Geburt bekannt, welche die *Camera Obscura* beschreiben. Dieser lateinische Ausdruck steht für “dunkler Raum” und beschreibt abgedunkelte Räume in der Antike, in die durch das Sonnenlicht über ein kleines Loch die Aussenwelt auf eine Wand projiziert wurde.



In der Zeit ab dem 16. Jahrhundert unserer Zeitrechnung begannen Künstler, die Camera Obscura für die in jenen Tagen beliebte Portraitmalerei zu verwenden, indem sie die Projektion der zu portraittierenden Person mit Spiegeln auf eine Zeichenunterlage leiteten und somit nur noch nachmalen mussten.

3.1.1 Verwendung von optischen Linsen



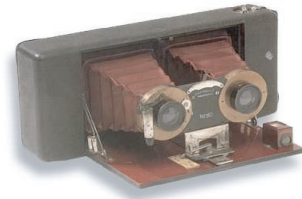
Ebenfalls ab dem 16. Jahrhundert wurden nach der Erfindung des Fernrohrs erste Versuche unternommen, durch Sammellinsen mehr Licht für die Camera Obscura zu sammeln. Dies wurde insbesondere 1725 nach Johann Schulze’s Entdeckung, dass Silbersalze durch Licht verdunkelt werden können, interessant. Diese Erfindung legte den Grundstein für die Verwendung von Filmplatten und damit der Photographie, setzte aber die Verwendung von Linsen voraus, um die durch die Reaktionsgeschwindigkeit der Silbersalze mit dem Licht bestimmte Belichtungszeit auf eine nützliche Zeitdauer zu reduzieren.

Durch die Verwendung von Linsen wurde es notwendig, die Schärfe der Bilder einstellen zu können. Um dies zu erreichen wurden zum Beispiel zwei ineinanderschlebbare Holzboxen verwendet, wobei an der einen die Optik befestigt war, an der anderen die Photoplatte. Ein anderer Ansatz waren Faltkameras, die zusätzlich den Vorteil mit sich brachten, dass sie im zusammengefalteten Zustand äusserst wenig Platz beanspruchten und dadurch leicht transportierbar

waren. Um eine ungewollte Nachbelichtung der Photoplatten zu verhindern, wurde in dieser Zeit auch der Verschluss erfunden.

3.1.2 Stereoskopische Kamera

Stereoskopische Photographie war im 19. Jahrhundert sehr populär. Es wurden diverse Designs solcher Kameras entwickelt, die jeweils gleichzeitig zwei Bilder im Abstand der Augen aufnehmen. Wurde nach der Entwicklung der Bilder jedem Auge genau ein Bild vorgelegt, so konnte die Szene mit etwas Übung oder technischer Unterstützung dreidimensional gesehen werden.



3.1.3 Mit der Filmrolle in die Gegenwart



Gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurde mit zunehmender Popularität der Photographie im Volk der Wunsch nach Handkameras wach. 1888 brachte die Eastman Dry Plate and Film Co. in Rochester, New York, eine Kamera mit dem Namen Kodak auf den Markt, welche durch ihre Beliebtheit zur Bezeichnung für die Gattung aller Handkameras wurde. Später wurde die Firma in Eastman Kodak umbenannt.

Obwohl die Kodak nicht die erste Kamera mit Filmrolle war, so gründet der weltweite Erfolg der Photographie doch ganz klar in der Erfindung der Filmrolle sowie des raschen Entwickelns und Abzugerstellens. Die Kodak war ab Fabrik mit einem Film für hundert Bilder ausgerüstet. Nach dem Ablichten musste sie für die Entwicklung zum Hersteller zurückgesandt werden. Ursprünglich war die Filmbreite 70mm. 1889 wurde auf Vorschlag von Thomas Edison auf die halbe Breite von 35mm umgestellt, die um die Zeit des ersten Weltkrieges auch für Kinofilme verwendet wurde. Erst nach einigen Jahren wurde auf die Filmrollen zu jedem Bild eine Nummer aufgedruckt, die durch ein kleines Sichtfenster gesehen werden konnte und über die noch vorhandene Anzahl unbelichteter Bilder informierte.



Ab 1924 produzierte Leitz in Deutschland die sogenannte Leica (Leitz camera), welche als erste das heutige Standardformat 24x36mm verwendete. 1932 entwickelte die deutsche Firma Ihagee die erste handliche Spiegelreflexkamera mit Filmrolle, was sofort zu einem Erfolg wurde. 1934 führte Kodak die 135er Filmkassette ein, welche bis heute verwendet wird. 1948 kam die erste Instant-Kamera von Polaroid auf den Markt, welche eine separate Entwicklung des Films überflüssig machte, da alle benötigten Chemikalien direkt in das Filmmaterial integriert waren.

Weitere Entwicklungen waren in den sechziger Jahren zuerst die integrierte Lichtmessung sowie etwas später elektronische Blitzlichter. Nachdem Canon 1976 mit der AE-1 die erste Kamera mit integriertem Microprozessor auf den Markt gebracht hatte, wurde die Photographie immer stärker durch die Elektronik beherrscht. 1978 war die Konica C35AF die erste Kamera mit Autofocus-Funktion. Durch die fortschreitende Verwendung von Elektronik und neuen Materialien wurden die Kameras auch immer kompakter. Die bisherige Vollendung fand diese Entwicklung 1996 im Advanced Photo System (APS), welches dem Photographen auf einem Film mehrere Bildformate zur Verfügung stellt und gleichzeitig den Gebrauch der Filmkassetten vereinfacht.



3.1.4 Digitalkamera



Mit dem Beginn der Achzigerjahre begann auch die Zeit der digitalen Photographie: 1980 brachte Sony den ersten Camcorder auf den Markt, 1984 brachte Canon die erste Still Video Camera in die Läden.

Erst ab 1998 hingegen verhalf der Fortschritt in der CCD-Technologie den digitalen Megapixel-Photokameras zum allgemeinen Durchbruch. Ermöglicht wurde dies insbesondere durch kleinere CCD-Elemente, welche bei fast konstanter Sensorgrösse die einzige das Auflösungsvermögen bestimmende Grösse sind.

Der Vorteil der Digitalkameras liegt in der einfachen Verarbeitung der Bilder, welche direkt auf den Computer übertragen werden können. Dies ist insbesondere für Zeitungen und Magazine interessant, da eine Verzögerung durch den Entwicklungsvorgang entfällt. Als Dateiformat wird zudem meist JPEG verwendet, wodurch die Dateien ohne grössere Nachbearbeitung im Internet veröffentlicht werden können. Ein oft vergessener Nachteil ist hingegen, dass die Bilddaten durch die Speicherung auf kurzlebigen Datenträgern wie CD-ROMs oder Festplatten im Vergleich zu über hundert Jahre überdauernden Photographien äusserst verlustgefährdet sind, was aller Voraussicht bereits in wenigen Jahren einen immensen Verlust an Information verursachen wird.

Die gezeigten Photographien von Kameras stammen sämtliche aus [36], die Zeittafel wurde durch Texte aus [13] ergänzt.

3.2 CCD-Technologie

Dank der Popularität von Digitalkameras (Kapitel 3.1.4), aber auch durch die Verwendung in Scannern und Kopierern, hat die CCD-Technologie (Charge Coupled Device) innert kürzester Zeit eine grosse Verbreitung erlebt. Im folgenden wird ein Überblick über den Aufbau solcher Sensorelemente gegeben, wobei der Blick darauf konzentriert wird, vorallem die im Verlauf der Arbeit relevanten Eigenschaften zu demonstrieren (Kapitel 4.2). Für mehr Details sei auf entsprechende einschlägige Literatur verwiesen [29].

3.2.1 Physikalischer Aufbau

Bildsensoren sind aus einer Festkörper-Klasse mit speziellen elektrischen Eigenschaften aufgebaut, sogenannten Halbleitern, welche kristallförmig aufgebaut sind. In einem solchen Kristallgitter von Atomkernen können die Elektronen nur energetische Zustände einnehmen, welche innerhalb von erlaubten Energiebändern (Leitungs- und Valenzband) liegen. Dazwischen existieren sogenannte verbotene Zonen, wobei die Bandlücke eine Energiedifferenz (*Bandlücke*) E_g hat. Ist die Bandlücke grösser als 6eV, so spricht man von einem Isolator.

Um in einem Halbleiter bewegliche Elektronen zu erhalten, muss man sie zuerst befreien, was bedeutet, sie energetisch vom Valenzband in das Leitungsband anzuheben. Nur dort sind die Elektronen beweglich und können zum Stromtransport beitragen. Jedes losgelöste Elektron hinterlässt an seinem Gitterplatz ein Loch positiver Ladung, welches nicht beweglich ist. Somit ist die Ladung immer ausgeglichen.

Falls ein während der Belichtung auf ein Sensorelement eingestrahktes Photon eine Energie aufweist, welche über der Bandlücke E_g liegt¹, wird diese Energie im Halbleiter absorbiert und

1. In Silizium ist $E_g = 1.11$ eV

damit ein oder bei genügender Energie auch mehrere mobile Elektronen-Loch-Paare erzeugt. Damit das Elektron nicht sofort wieder mit dem Loch zusammenfällt, müssen die beiden räumlich getrennt werden, was durch ein Feld mit integrierter Kapazität, eine sogenannte MOS-Struktur (Metal-Insulator-Semiconductor) erzielt wird. Diese Kapazitäten bilden die Grundlage der CCD-Technologie (Abbildung 3.1), indem sie erlauben, anhand der Anzahl vorhandener Elektronen die Intensität des eingefallenen Lichtes zu messen.

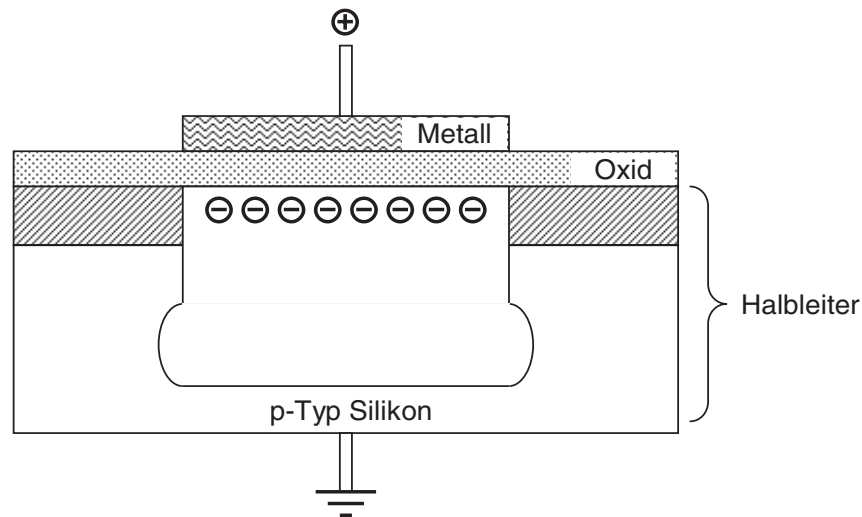


Abbildung 3.1: Illustration einer MOS-Struktur, einer Kapazität, welche aus einer dünnen Schicht Isolator (Oxid) zwischen Metallschicht und Halbleiter besteht

3.2.2 Auslesen der Bilddaten

Es wurden verschiedene Technologien entwickelt, um die in den einzelnen Sensorelementen angesammelten Elektronen in die verarbeitende Elektronik zu transferieren. Dabei spielten immer Überlegungen eine wichtige Rolle, wie zwischen den folgenden Problemen ein optimaler Kompromiss gefunden werden kann:

- Das Auflösungsvermögen des Sensors hängt von der Packungsdichte der CCD-Elemente ab.
- Es ist nicht möglich, für jedes CCD-Element eine eigene Leitung aus dem Chip herauszuführen.
- Das Auslesen des Chips soll möglichst schnell geschehen, um eine hohe Frame-Rate zu ermöglichen.
- Während des Auslesevorgangs darf keine Nachbelichtung erfolgen.
- Elektronischer statt mechanischer Verschluss wäre wünschenswert.

Abbildung 3.2 zeigt zwei mögliche Lösungen, welche im folgenden beschrieben werden.

Frame Transfer CCD

Das *Frame Transfer CCD* (FT-CCD) ist die einfachste zweidimensionale Anordnung von Pixeln. Es besteht aus einer gewissen Anzahl von Registern, meist drei. Register A ist verantwortlich für die Umwandlung von Photonen in Ladung. Nach der Belichtungszeit wird der Inhalt von dort in das Register B geschoben, welches durch Abdecken mit Metall undurchlässig für Licht gemacht worden ist. Damit sind die einzelnen Ladungspakete, welche die Bildinformation darstellen, vor einer weiteren Belichtung geschützt. Zeile für Zeile kann deshalb das

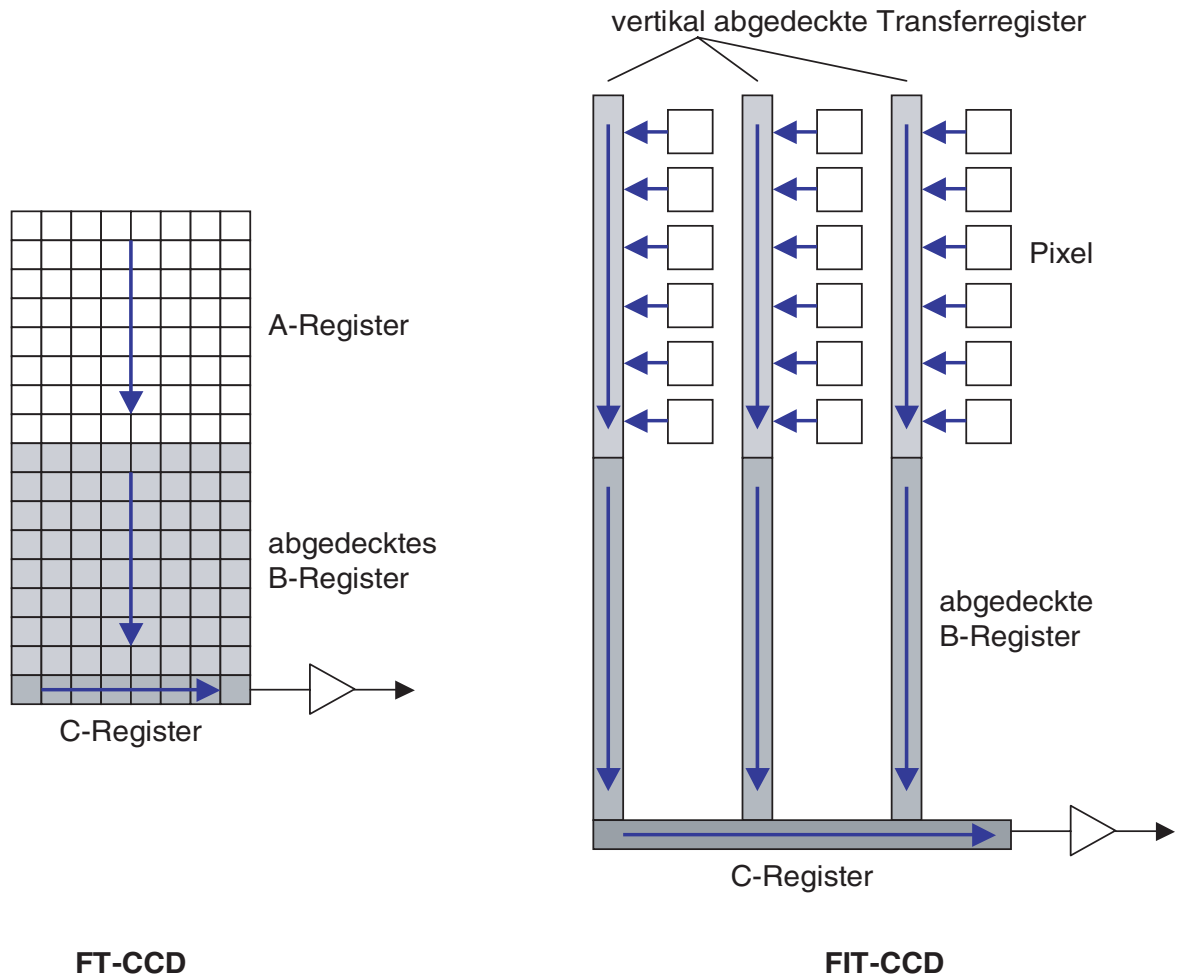


Abbildung 3.2: Auslesemechanismus bei Frame Transfer (FT) CCDs und Field Interline Transfer (FIT) CCDs [30]

Bild aus dem Register B ins Zeilenregister C gelesen werden, wo die Ladungsinformation durch Seitwärtsschieben dem Verstärker zugeführt wird. Der Nachteil dieser Architektur liegt in der relativ langen Zeit (etwa 1ms), welche vom vertikalen Bildtransfer beansprucht wird (grosse Kapazität der Elektroden, welche einen grossen Teil des Bildsensors abdecken). Während dieser sogenannten Frame-Transfer-Zeit wird das nach unten wandernde Bild von der abgebildeten Szene nachbelichtet, was die eigentliche Bildinformation verfälscht.

Field Interline Transfer CCD

Der Wunsch nach einem elektronischen Verschluss hat zur Erfindung der *Interline Transfer CCDs* (IT-CCD) geführt, welche heute der gebräuchlichste Typ von Bildsensoren sind und in praktisch allen Videokameras und Camcordern verwendet werden. Beim IT-CCD besteht ein Pixel aus einer Photodiode, welche über einen während der Belichtungszeit geöffneten MOS-FET-Schalter (Transfer Gate) seitlich mit einem vertikalen CCD verbunden ist. Diese CCD-Spalten sind mit Metall abgedeckt und deshalb nicht mehr lichtdurchlässig. Somit können der vertikale und der horizontale Ladungstransfer im Register C vom Licht geschützt stattfinden, wodurch der relativ langsame vertikale Bildtransfer nicht durch eine Nachbelichtung gestört wird.

Man beachte, dass durch das Vorhandensein der Transferregister in den Spalten zwischen den einzelnen Pixeln das Seitenverhältnis der von den Einzelpixeln benötigten Fläche nicht mehr

übereinstimmt: Ein Pixel ist zusammen mit dem Transferregister breiter als hoch. Daraus folgt, dass die Horizontalauflösung des CCD-Moduls nicht gleich der Vertikalauflösung sein kann.

Für professionelle Anwendungen genügt der Lichtschutz der Transferregister nicht, weil trotz der Metallabdeckung eine gewisse Nachbelichtung durch seitlich eingestreutes Licht zu beobachten ist. Aus diesem Grund verwendet man in Studiokameras eine Kombination von FT-CCD und IT-CCD, das sogenannte *Field Interline Transfer CCD* (FIT-CCD). Dieses hat nicht nur vertikal abgedeckte CCD-Spalten, sondern auch ein komplett abgedecktes B-Register, in welches die Bildinformation sehr schnell gelesen wird, um die Nachbelichtung zu minimieren. Aus diesem B-Register wird dann wie beim FT-CCD die Bildinformation vertikal ins Zeilenregister C geschoben und seitlich dem Verstärker zugeführt.