CCD Chips für die Astronomie

Autor(en): **Möhle, Frank**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **49 (1991)**

Heft 246

PDF erstellt am: **20.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-898960

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

CCD Chips für die Astronomie

FRANK MÖHLE

Die Astronomie, eine der ältesten Wissenschaften, bedient sich seit jeher modernster Hilfsmittel. Waren es früher grosse Teleskope, dann die Photographie, und seit unserem Jahrhundert immer mehr die Elektronik. Seit man auf elektronischem Wege Bilder gewinnen kann, wurde versucht, diese Technik auch in der Astronomie einzusetzen. Seit der Zeit nach dem zweiten Weltkrieg waren elektronische Aufnahmegeräte, die Photomultiplier, erhältlich geworden. Diese Geräte basieren auf dem Photoeffekt, d.h. wenn ein Photon auf die Oberfläche eines photoelektrischen Materials trifft, wird ein Elektron aus dem Material emittiert. Dieses Elektron kann nun beschleunigt werden, es entsteht ein kleiner Strom, welcher nun verstärkt und gemessen werden kann. Der Vorteil dieser Technik war es, dass es erstmals möglich war, Helligkeiten von Sternen mit hoher Genauigkeit zu messen. Ein weiterer Vorteil war, dass die Photomultiplier linear arbeiten. Somit ist das Ausgangssignal direkt proportional zum einfallenden Licht. Ausserdem sind die Photomultiplier extrem empfindlich. Die Quantenausbeute reicht bis gegen 20%. (Das Auge erreicht gut 1%) Doch warum werden diese Geräte nicht viel mehr eingesetzt? Leider haben sie einen grossen Nachteil: Sie können immer nur einen kleinen Ausschnitt auf einmal aufnehmen. Will man also einen Nebel aufnehnmen, muss das Punkt für Punkt geschehen, was aber zeitlich kaum in Frage kommt.

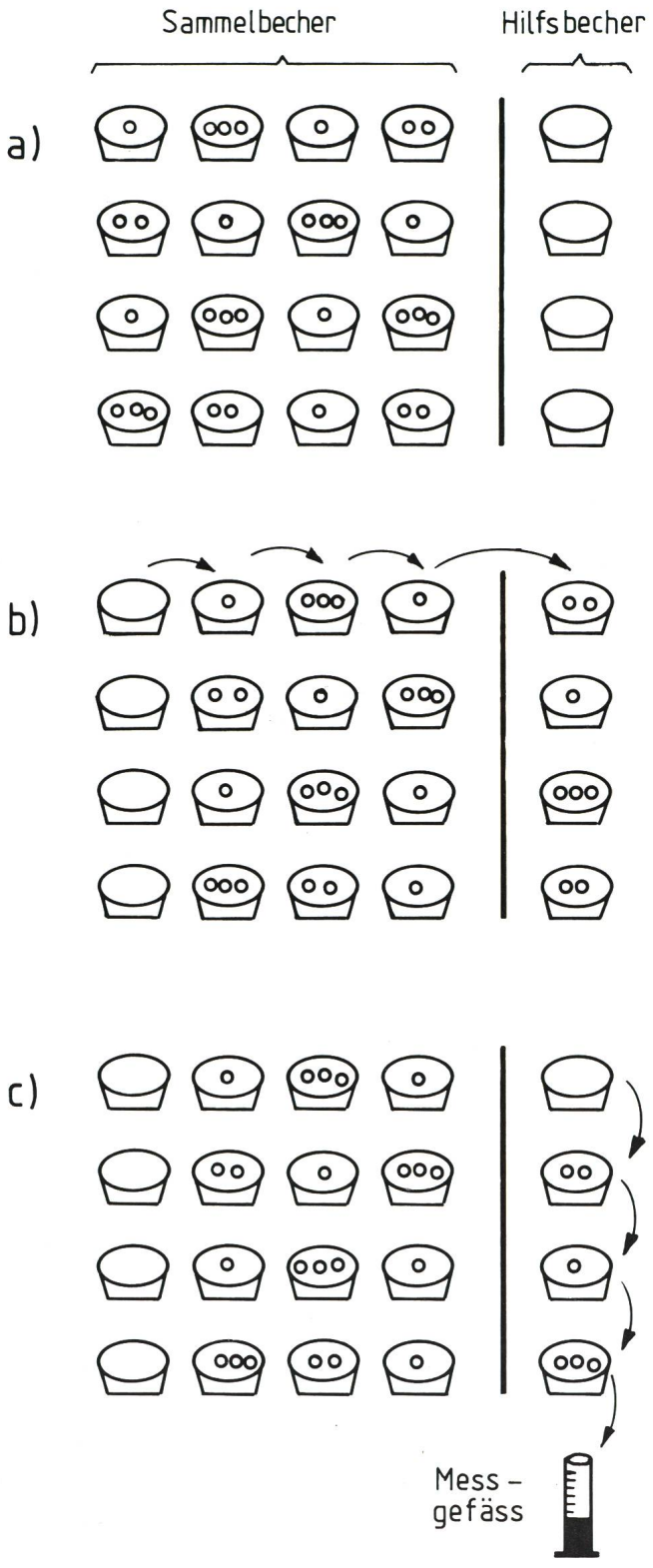
Einen Ausweg versprachen die Fernsehkameras, die im Prinzip ähnlich wie die Photomultiplier arbeiten. Doch auch diese Technik konnte nicht befriedigen.

Funktionsprinzip der CCDs

Um 1970 wurden die CCDs entwickelt, die sich nun in der Astronomie immer mehr durchzusetzen scheinen. Auch im Amateurbereich sind erste Produkte anzutreffen. Im folgenden möchte ich das Prinzip der CCDs etwas genauer erklären.

Zunächst zur Bezeichnung CCD: CCD ist eine Abkürzung und steht für Charge Coupled Device, also etwa "Ladungsgekoppeltes Gerät". Auf was dieser Ausdruck hinweist, wird im folgenden klarer umrissen.

Die CCDs sollen nun in einem Modell erklärt werden. Wir nehmen einmal an, wir wollen den Niederschlag (Regen) auf einem Feld messen. In diesem Modell stellen die Regentropfen die Photonen dar, die ein CCD messen soll. Auf unserem Feld stellen wir in einem Raster Becher auf. Zu Beginn der Messung müssen alle Becher leer sein. Dann warten wir, bis in den Bechern eine messbare Menge Regen gefallen ist. Das Bild ist nun in den Bechern "*gespeichert*". Es geht jetzt darum, die Menge in jedem Becher zu messen. Da die CCDs meist mehrere hunderttausend Pixel haben, in unserem Modell hätten wir für jeden Pixel einen Becher aufgestellt, kann nicht an jeden Becher eine Messonde gelegt werden. Also muss ein Weg gefunden werden, wie ein Becher nach dem anderen gemessen werden kann. Dazu brauchen wir nur eine Reihe von Hilfsbechern, die wir auf der einen Seite von unserem Feld aufstellen (wie in Abb. 1 gezeigt). Zu Beginn des Messprozesses sind diese Becher leer. Nun werden die ersten Sammelbecher in die Hilfsbecher gegossen (b). In einem weiteren Schritt wird der erste Hilfsbecher in einen



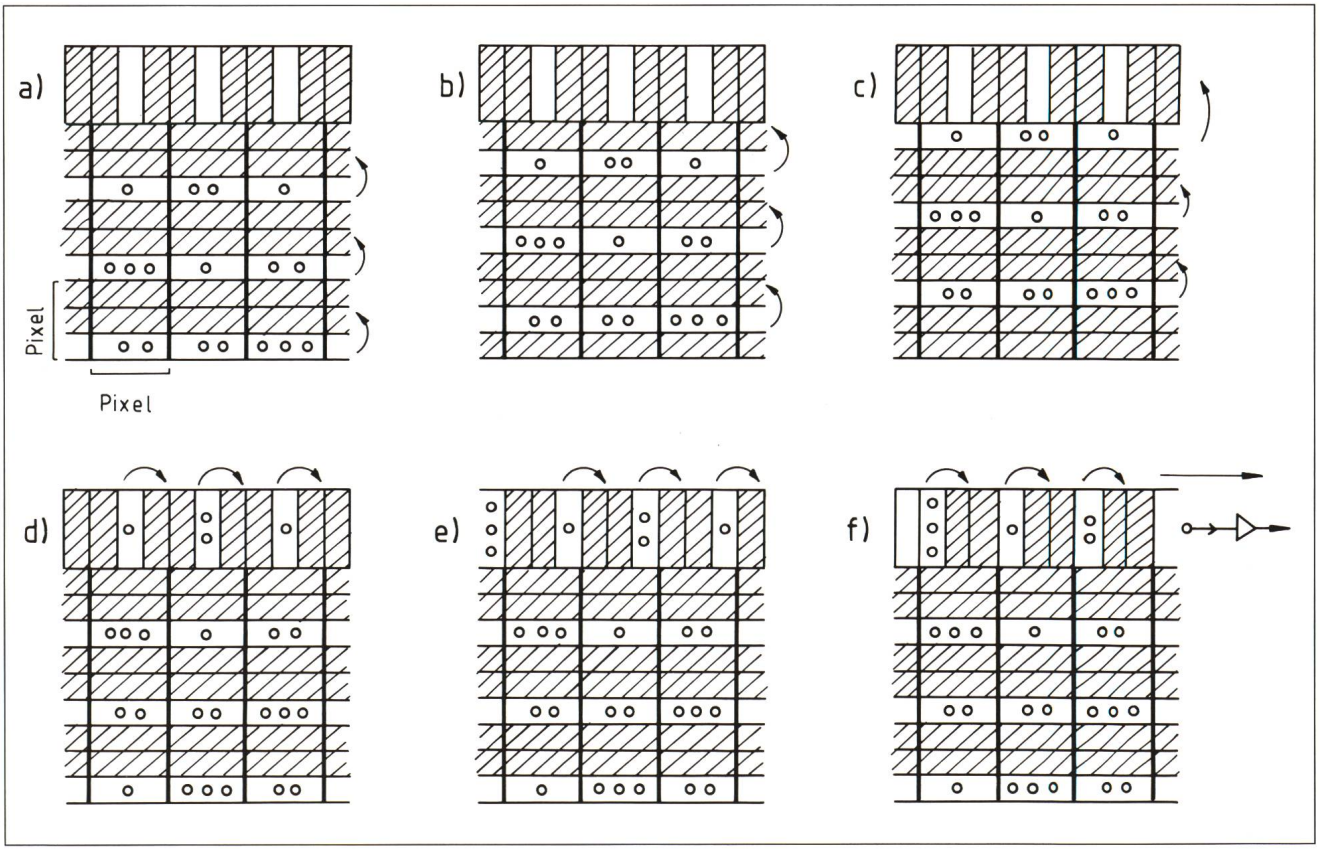
Messzylinder gegossen, und der Inhalt der anderen Becher wandert auch wiederum einen Becher weiter gegen den Rand zum messzylinder (c). Die Messung des Inhaltes des eben gemessenen Regenwassers wird aufgeschrieben, und der Schritt (c) wird wiederholt, bis die gesamte Reihe gemessen ist. Danach wird wie in (b) wieder eine Zeile ausgelesen und mit (c) gemessen. So wird fortgefahren, bis alle Sammelbecher gemessen sind. Nun ist unser Feld wieder für die nächste Messung bereit.

Ganz ähnlich funktioniert ein CCD Chip, der ein Bild messen soll. Dazu sei auf Abb. 2 hingewiesen. Das Bild zeigt einen schematischen Ausschnitt von 3x3 Pixel. In (a) sei soeben ein Bild belichtet worden. Die Bildinformation ist in Form von elektrischen Ladungen gespeichert, hier als Punkte dargestellt. Die Ladungen (Elektronen) werden in jedem Pixel gesammelt. Die "*Erzeugung*" der Elektronen beruht wie beim Photomultiplier auf dem Photoeffekt. Jedes eintreffende Photon kann ein Elektron aus der Kristallstruktur des photoelektrischen Materials (meist Silizium) herausschlagen. Da die Elektronen negativ geladen sind, lagern sie sich um positiv geladene Regionen ab, stossen aber von negativ geladenen ab. Dieser Effekt wird ausgenutzt, um die Elektronen zu bewegen. Die hellen Regionen in Abb. 2 haben ein höheres Potential als die schraffierten. Um die Elektronen nun vom einem Feld ins andere zu bringen, wird in einem zyklischen Vorgang das Potential der einzelnen Regionen gewechselt. An sonsten ist alles wie in unserem Bechermodell. Der Output sind bei einem CCD Elektronen, die natürlich noch verstärkt werden müssen. Das Outputsignal ist aber wie beim Photomultiplier linear, was dem CCD auch eine sehr hohe Genauigkeit gibt, verbunden mit dem Vorteil, dass eine ganze Region vom Himmel aufgenommen werden kann.

Vergleich von CCDs mit anderen Bildaufnehmern

Um einen Bildaufnehmer für astronomische Arbeiten benutzen zu können, muss er sechs Anforderungen möglichst gut erfüllen. Erstens muss die Quanteneffizienz möglichst hoch sein, das heisst, dass er möglichst empfindlich sein soll. Zweitens muss das Signal zu Rausch-Verhältnis so gut wie möglich sein. Drittens muss die Dynamik recht hoch sein, so dass im gleichen Bild sehr helle Objekte nicht überbelichtet sind, aber trotzdem lichtschwache Objekte noch aufgenommen werden können. Ausserdem muss viertens die Empfindlichkeit über einen weiten Farbbereich des Spektrums gewährleistet sein. Fünftens sollte die photometrische Genauigkeit den Anforderungen entsprechen und sechstens muss die geometrische Stabilität über lange Zeit gewährleistet sein.

Ein idealer Bildaufnehmer würde also etwa folgende Eigenschaften haben: Er hat 100% Quanteneffizienz, also registriert auch noch ein einzelnes Photon. Ausserdem könnte man mit dem Idealdetektor unendlich lange belichten, ohne dass sich ein Hintergrundrauschen bemerkbar machen würde. In dem so gewonnenen Bild könnte man neben sehr hellen Objekten wie Galaxien auch noch extrem lichtschwache Quellen wie Quasare sehen, ohne dass das Bild der Galaxie total "*ausgebrannt*" wäre. Selbstverständlich wäre



unser Bildaufnehmer für alle Farben gleich empfindlich und könnte Helligkeiten mit absoluter Genauigkeit messen und die Position der Strahlungsquelle genau festhalten.

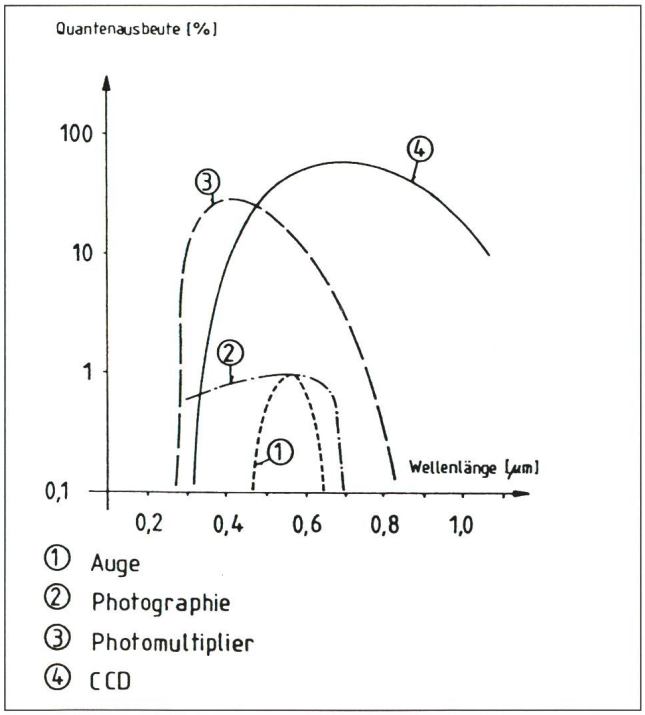
Es ist klar, dass ein solches Gerät nicht existiert. Auch ein CCD kann diesen Ansprüchen nicht genügen. Es soll nun als erstes die Quantenausbeute der verschiedenen Methoden verglichen werden. Das Wesentliche ist in Abb. 3 zu sehen. Das Auge und die photographischen Schichten liegen etwas über 1%, der CCD hingegen reicht bis über 70% hinaus, die Photomultiplier liegen irgendwo dazwischen.

Mit der spektralen Empfindlichkeit sieht es ganz ähnlich aus: auch hier überragt der CCD alle anderen Methoden.

Das Signal zu Rausch-Verhältnis steht beim Auge nicht zur Diskussion, da wir keine langen Belichtungszeiten erzwingen können. Hingegen kennt jeder Photograph dieses Problem, das sich auf dem Film in Form von Körnigkeit bemerkbar macht. In elektronischen Geräten können durch thermische Effekte auch Elektronen aus dem photoelektrischem Material gelöst werden. Diese werden dann als Photonen fehlinterpretiert. Um diese Fehler zu vermeiden muss die Elektronik gekühlt werden, meist bis unter 100 Grad C. Das Rauschen der heutigen CCDs liegt unter dem Äquivalent von etwa 100 Photonen, was weit unter dem der photographischen Schichten liegt.

Die Dynamik, definiert als das Verhältnis zwischen der maximal erkennbaren zur minimal erkennbaren Intensität, liegt bei den CCDs bei 5000 oder höher. So kann man zwischen 5000 Helligkeitsstufen eindeutig unterscheiden. Die Photographie und die Fernsehkameras erreichen im Normalfall nicht einmal eine Dynamik von 100. Auch hier wieder ein riesiger Vorteil der CCDs.

Um Helligkeiten zu messen, ist das Auge ein sehr ungenaues Instrument, wie sicher schon jeder feststellen konnte. Eine beliebte Methode jedoch ist es, auf Photos den Durchmesser der Sterne zu messen und diesen als ein nicht lineares (!) Mass für die Helligkeit aufzufassen. Beim CCD hingegen kann man die Intensität direkt und vor allem als lineares Mass für die Helligkeit heranziehen.



Will man die Bewegung der Sterne oder die Ausdehnung z.B. des Krebsnebels über die Jahre messen, so sind Aufnahmen mit vielen Jahren zeitlichen Abstandes nötig. Um aber genau zu arbeiten ist es erforderlich, dass sich die Aufnahmen nicht verformen. Bei Photos auf Glas ist diese Anforderung recht gut erfüllt, bei normalem Filmmaterial aber nicht. Nimmt man jedoch ein digitales Bild eines CCDs, so ist dies immer genau, weil es an keinen Träger gebunden ist. Es ist nur nötig, mit der Bildinformation auch die genaue Grösse eines einzelnen Pixels zu speichern, dann ist das Bild für alle Interessenten auf der ganzen Welt "*im Original*" vorhanden, da es auch auf Datenträgern verschickt werden kann, ohne dass es sich verziehen könnte.

So wie es bis jetzt scheinen könnte, haben die CCDs gar keinen Nachteil. Leider haben sie aber einen sehr schwer ins Gewicht fallenden: ihre Grösse. Es ist bis heute noch nicht möglich, einen CCD in der Grösse einer 6x6 Filmplatte zu bauen, geschweige denn in der Grösse der Filmplatten in den Schmidtkameras vom La Silla oder Mt Palomar, um nur zwei Beispiele zu nennen. Die heutigen Chips haben eine Grösse von etwa 20x20 mm, mit einer Auflösung vom etwa 1000x1000 Pixel. Dagegen bringt man mit der photographischen Emulsion TP2415 eine Auflösung von etwa 300 Linien/mm, d.h. etwa ein Äquivalent von 12 000 x 12 000 Pixel auf der Fläche von 20x20 mm an den Tag! In dieser Hinsicht ist die Elektronik der Photographie also noch weit unterlegen.

Und im Amateurbereich?

Auch für den interessierten Amateur gibt es einige interessante Angebote auf dem Markt. Eine wichtige Voraussetzung ist jedoch, dass man schon über einen geeigneten Rechner verfügt, der die CCD – Kamera steuern kann. Denn mit einer herkömmlichen CCD – Videokamera lassen sich ganz sicher noch keine befriedigenden Bilder erstellen, da auch bei CCDs eine länger als gewöhnliche Belichtungszeit – hier auch Integrationszeit genannt – erforderlich wird. Hat man aber einen Computer, so kann man mit der CCD – Kamera jedoch auch noch viel mehr machen, als "*nur*" Bilder des Himmels aufnehmen: man kann die CCD-Kamera als photoelektrisches Leitrohr schalten und so die altbewährte photographische Kamera exakt den Sternen nachführen lassen, während man selber in der warmen Stube sitzt und nur noch warten muss, bis die Belichtungszeit abgelaufen ist...

FRANK MÖHLE
Casa La Val
7029 Peist (GR)

Das kleine Observatorium in Ausserbinn im Oberwallis, von der Universität Utrecht (Niederlande) errichtet, wird auf Ende 1994 ausser Betrieb gesetzt. Das Gebäude (ohne Instrumente) könnte von einer Amateurgruppe übernommen werden. Für weitere Auskünfte wenden Sie sich bitte an:

DR. J.R.W. HEINTZE
Rijksuniversiteit te Utrecht Sterrekundig instituut
Princetonplein 5, NL-3508 TA UTRECHT (Holland)