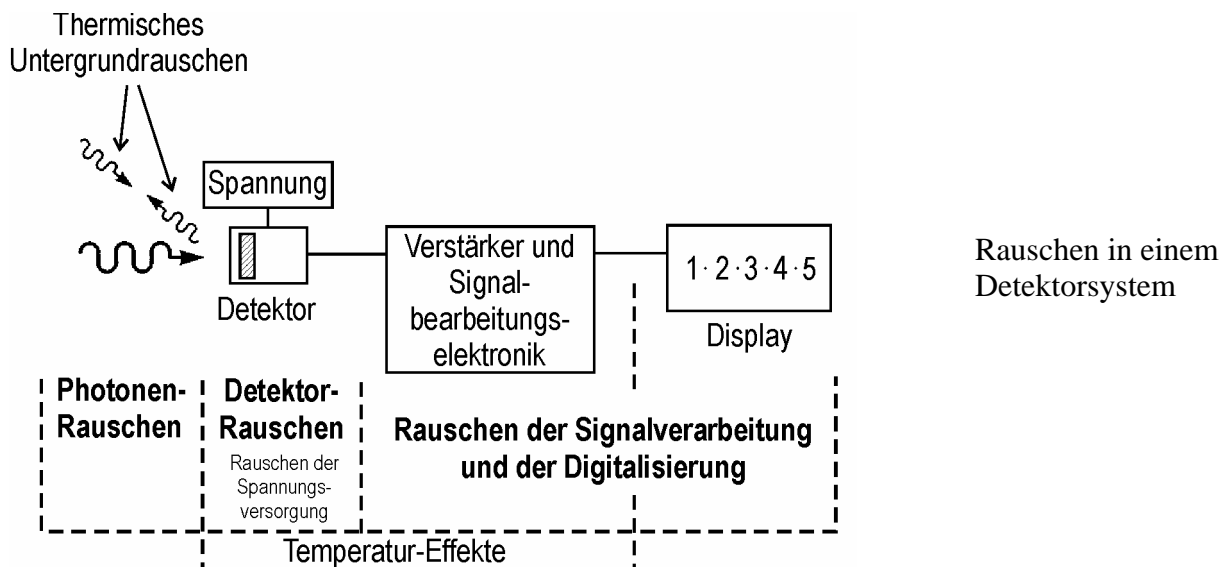
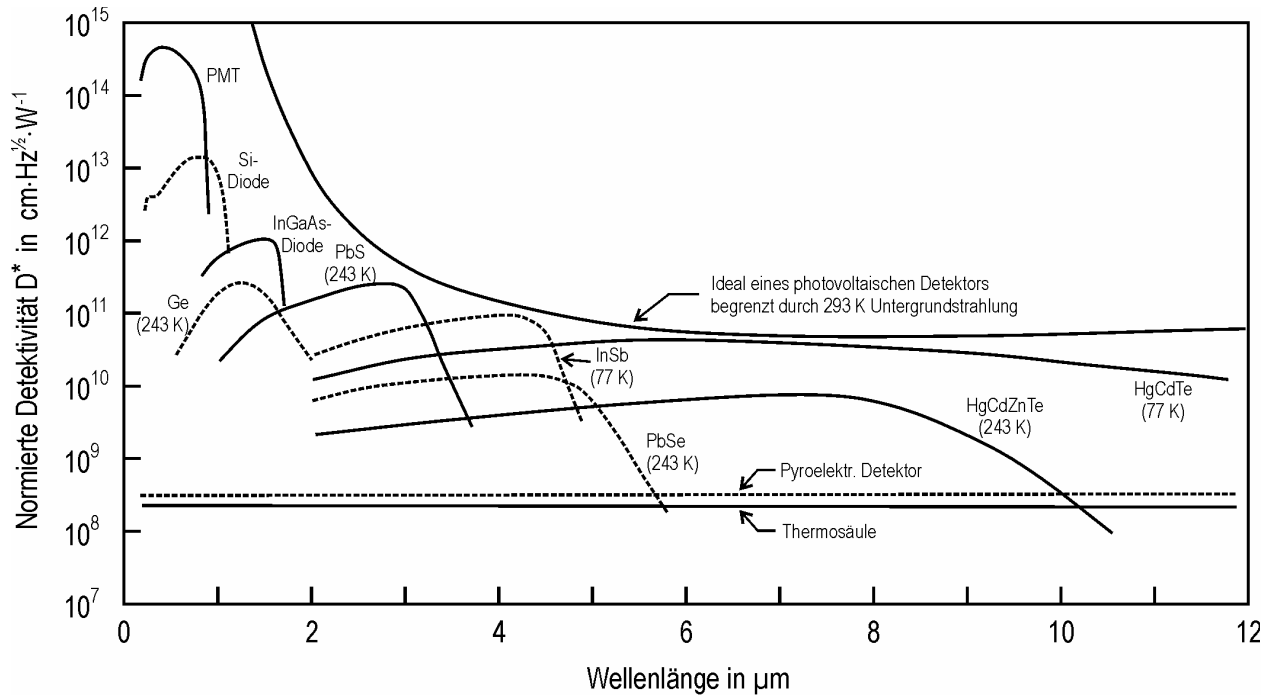


Detektortypen

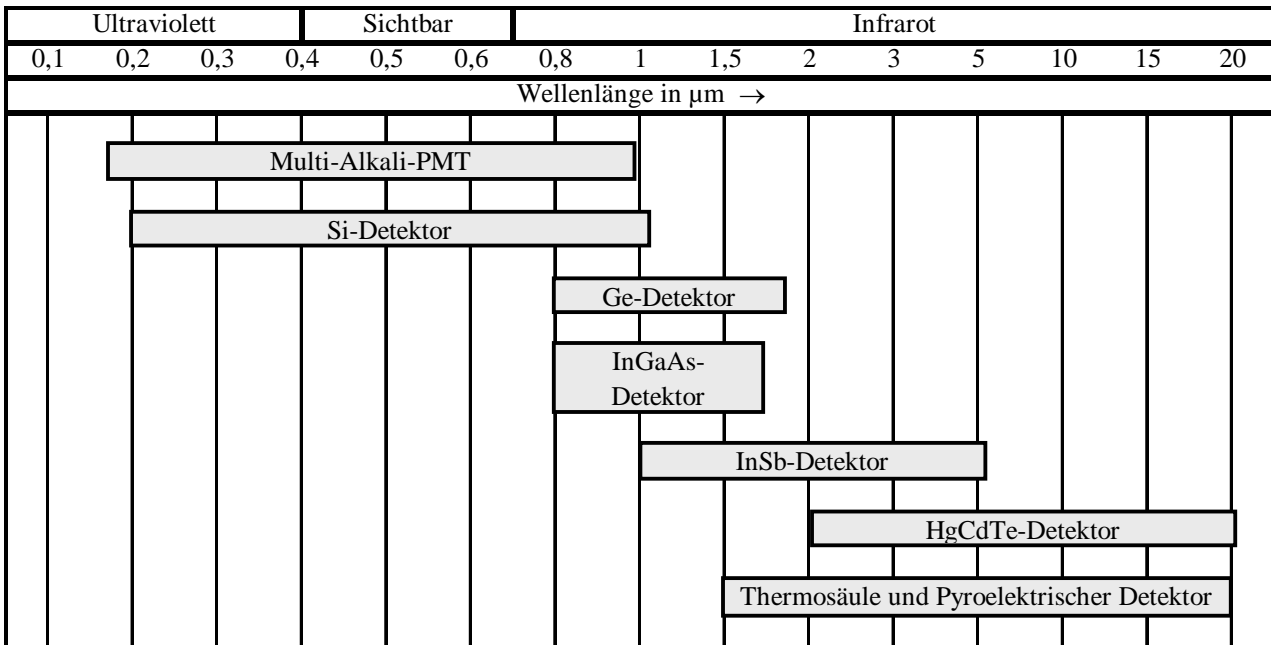
Typ	Physikalischer Effekt	Bauart	D^* in $\text{cm}\cdot\text{Hz}^{1/2}\cdot\text{W}^{-1}$	Ansprechzeit	Wellenlängenbereich in μm	Art des Rauschens
Photonendetektoren (äußerer und innerer Photoeffekt)	Äußerer Photoeffekt	Photomultiplier	$5\cdot 10^{15}$	< 15 ns	0,16 ... 0,7	Impuls
	Photodioden: Halbleiterdioden ohne äußerer Spannung (photovoltaischer Modus) ¹⁾ oder mit äußerer Spannung in Sperrichtung (photonleitender Modus) ²⁾	Si	$3\cdot 10^{13}$	0,5 μs	0,3 ... 1,1	Impuls
		Ge	10^{12}	5 μs	0,8 ... 1,7	Impuls
		InGaAs	10^{12}	40 ns	0,8 ... 1,7	Impuls
		InSb (77 K)	10^{12}	100 ns	0,5 ... 2,5	Impuls
		HgCdZnTe	$5\cdot 10^{10}$	100 ns	2 ... 12	Impuls
	Photoleitungs- detektoren: Halbleiter ohne Grenzschicht mit äußerer Spannung	PbS	$5\cdot 10^{11}$	400 μs	0,7 ... 3,5	Thermisch
		PbSe	10^{10}	3 μs	1 ... 6	Thermisch
		HgCdTe (MCT)	$5\cdot 10^8$	5 μs	2 ... 11	Thermisch
Thermische Detektoren	Thermoelektrischer Effekt	Thermosäule	$3\cdot 10^8$	0,05 ... 1 s	0,7 ... 100	Thermisch
	Pyroelektrischer Effekt	Li-Tantalat	10^8	0,5 μs	2 ... 50	Thermisch
		DTGS	$5\cdot 10^8$	0,5 μs	2 ... 50	Thermisch

- 1) Da das $1/f$ -Rauschen mit der Vorspannung zunimmt, ist im photovoltaischen Modus das Signal-Rausch-Verhältnis und damit die Empfindlichkeit bei Frequenzen bis 1 kHz höher als im photonleitenden Modus.
- 2) Im photonleitenden Modus ist die Kapazität der Grenzschicht höher und damit die Ansprechzeit geringer. Er ist besser für gepulsten Betrieb geeignet.

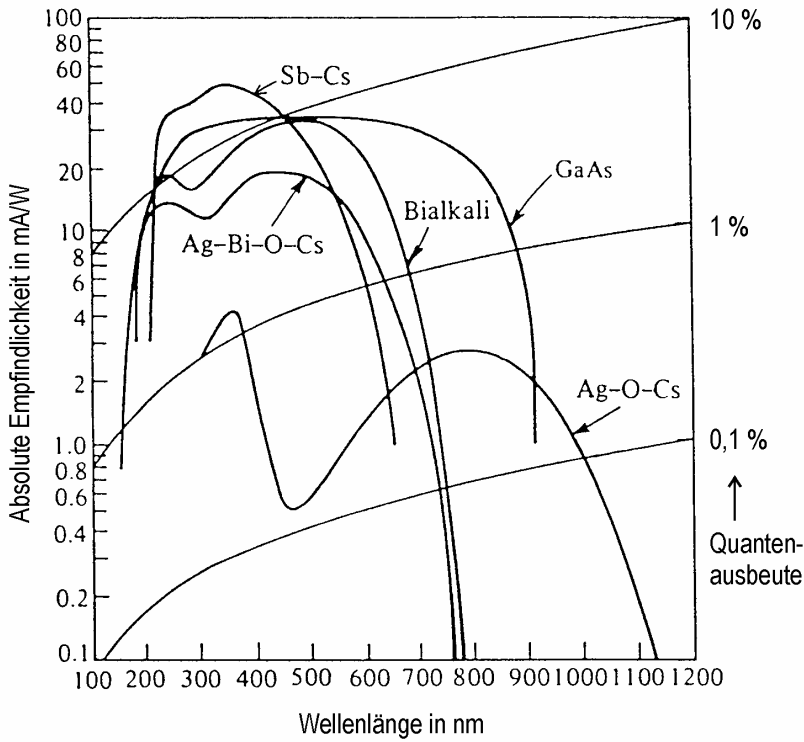




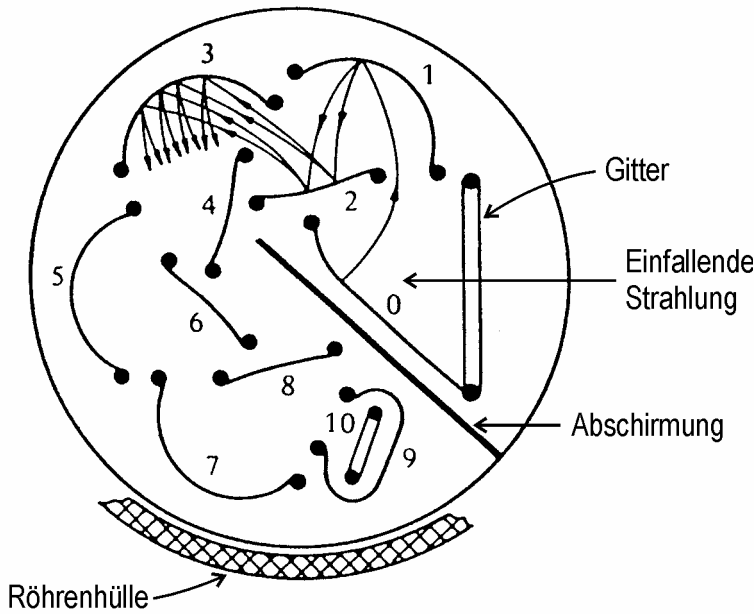
Normierte Detektivität verschiedener Detektoren als Funktion der Wellenlänge.
 Die Detektivität eines idealen Detektors ist durch das Rauschen der thermischen Untergrundstrahlung bei der Umgebungstemperatur begrenzt.



Typischer spektraler Arbeitsbereich verschiedener Detektoren

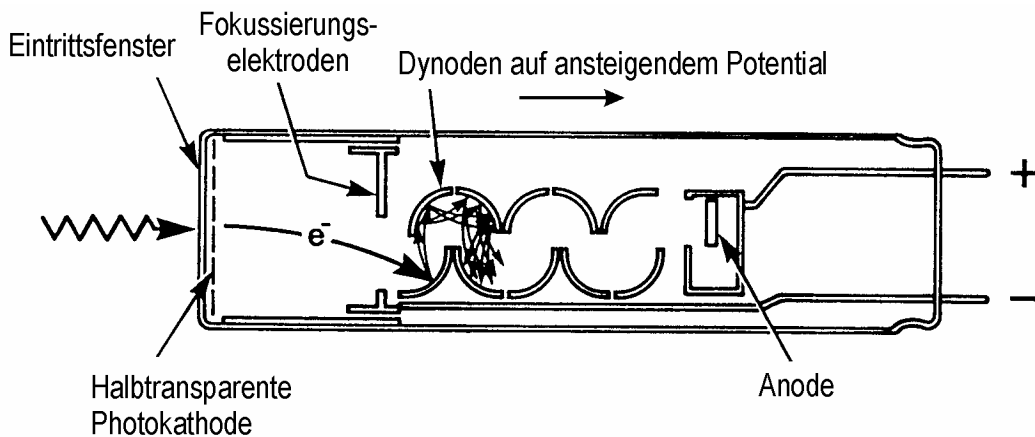


Spektrales Elektronen-Emissionsvermögen verschiedener Photokathodenmaterialien. Bialkali steht für binäre Mischungen aus K, Cs und Sb. Für den UV/ VIS-Bereich werden auch Multialkali-Photokathoden des Typs Na-K-Cs-Sb, für den n-IR-Bereich auch Ga-In-As- und Cs-Te-Kathoden eingesetzt.

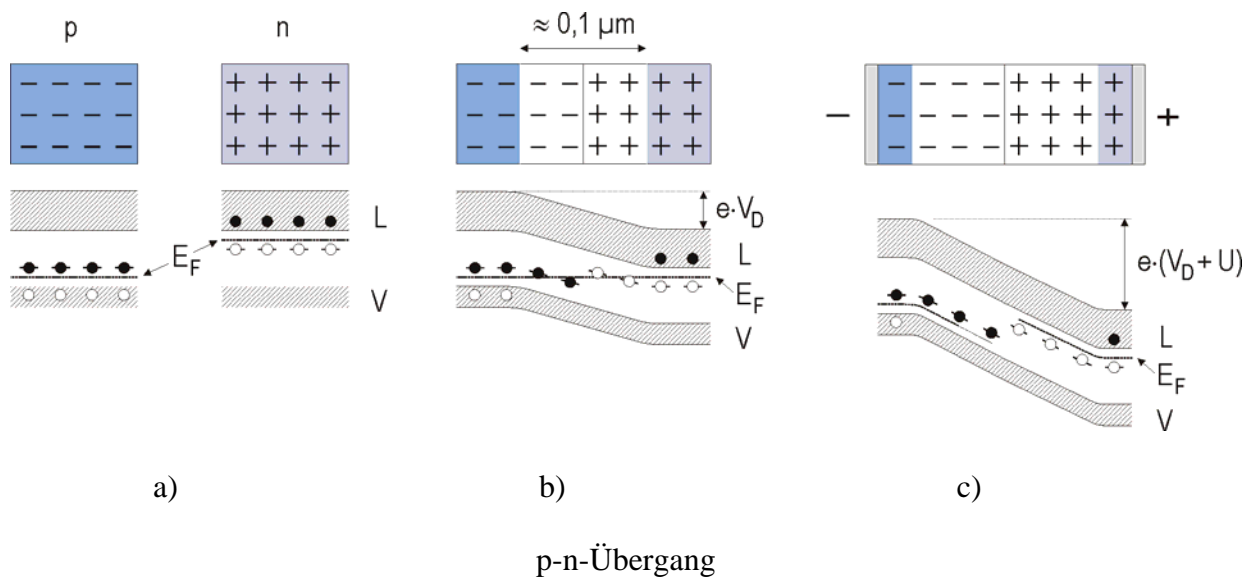


Schema eines „Side-on“-Multipliers

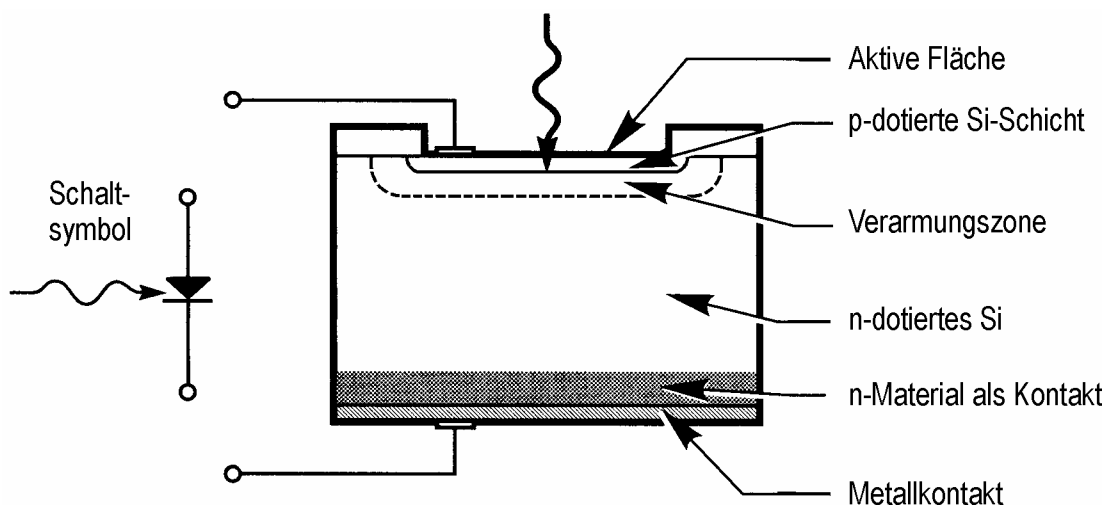
- 0 = Beschichtete Photokathode
- 1 – 9 = Dynoden (Elektronen-Vervielfältigung)
- 10 = Anode



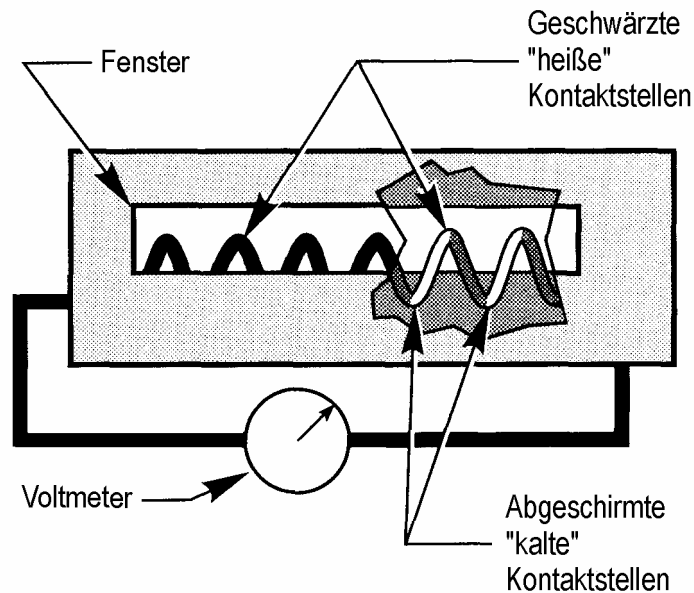
Schema eines „Head-on“-Multipliers



- Separierte p- und n-dotierte Halbleiter
- p- und n-Halbleiter in Kontakt (Diode): In der Diffusionsgrenzschicht entsteht eine Verarmungsschicht. Lichtquanten, die in die Grenzschicht einfallen, können Elektronen-Loch-Paare erzeugen. Ist der äußere Stromkreis geschlossen, dann fließen die Elektronen über den n-Bereich und den äußeren Verbraucher zum p-Bereich und rekombinieren mit den Löchern (photovoltaischer Effekt).
- Wird an die Diode eine Spannung in Sperrrichtung angelegt, verbreitert sich die Verarmungsschicht. Wegen des hohen Widerstandes der Verarmungsschicht, fließt nur ein sehr kleiner Sperrstrom. Ladungsträger, die in der Verarmungsschicht durch Lichtquanten erzeugt werden, fließen sehr schnell über den äußeren Stromkreis ab (Photoleitungseffekt).

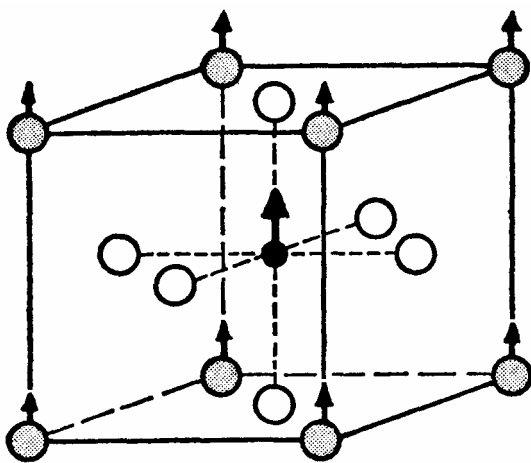


Schema einer Si-Photodiode



Schematische Darstellung eines Thermosäulen-Detektors

Solche Detektoren werden hauptsächlich für ungepulste, langsam veränderliche Strahlung eingesetzt.

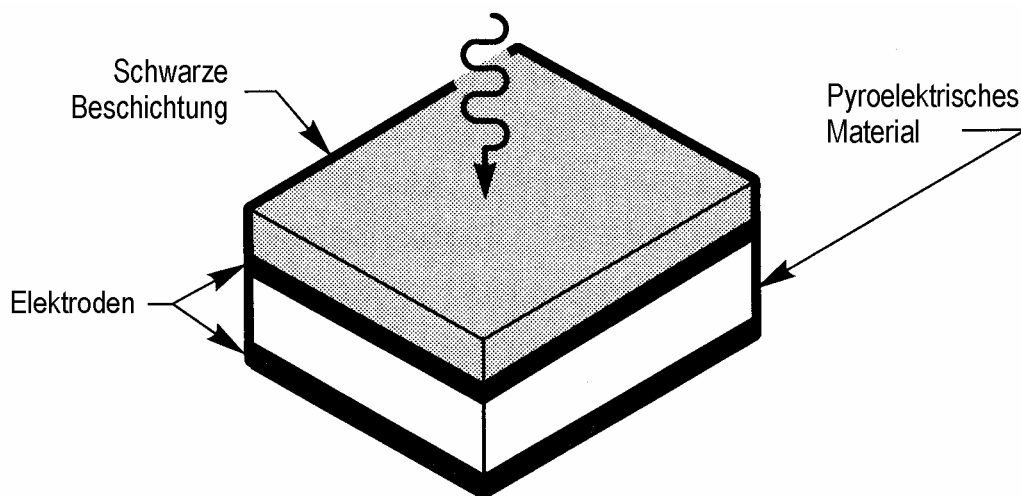


- A^{n+}
- B^{m+}
- O^{2-}

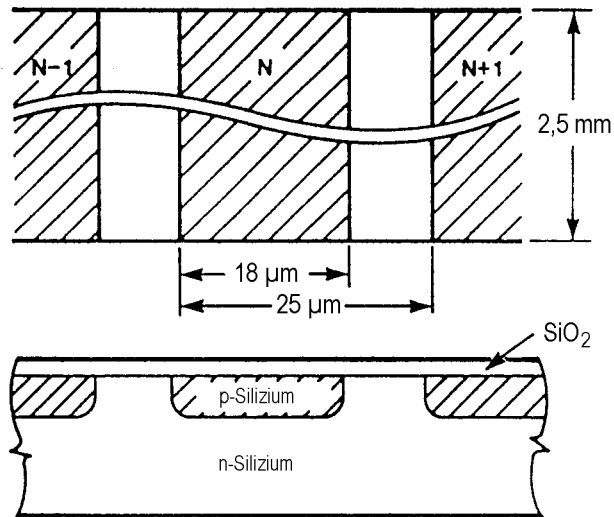
Perowskit-Struktur pyroelektrischer Kristalle der Art ABO_3 ($n + m = 6$). Die Perowskit-Struktur kann kubisch, tetragonal oder trigonal auftreten.

Ion	$n = 1, m = 5$	$n = 2, m = 4$
A^{n+}	Li^+, K^+	$Sr^{2+}, Ba^{2+}, Pb^{2+}$
B^{m+}	Nb^{5+}, Ta^{5+}	Ti^{4+}

Pyroelektrische Kristalle sind ferroelektrisch und weisen damit auch bei Abwesenheit eines äußeren Feldes ein elektrisches Dipolmoment auf. Pyroelektrizität tritt dann auf, wenn dieses Dipolmoment temperaturabhängig ist. Oberhalb der Curie-Temperatur verschwindet die Ferroelektrizität. Die wichtigsten pyroelektrischen Kristalle für IR-Detektoren sind $LiTaO_3$ (Perowskit, $T_C = 620\text{ °C}$) und Triglycinsulfat (TGS: $(NH_2CH_2COOH)_3 \cdot H_2SO_4$, TGS-Struktur, $T_C = 49\text{ °C}$)

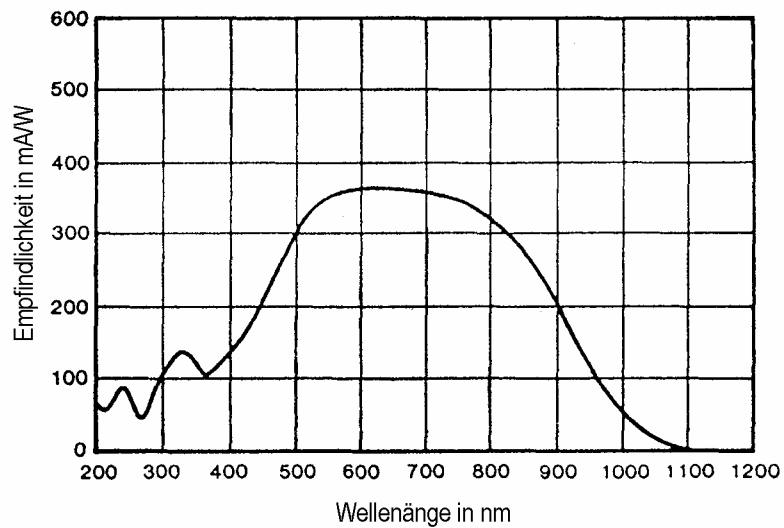


Schema eines pyroelektrischen Detektors

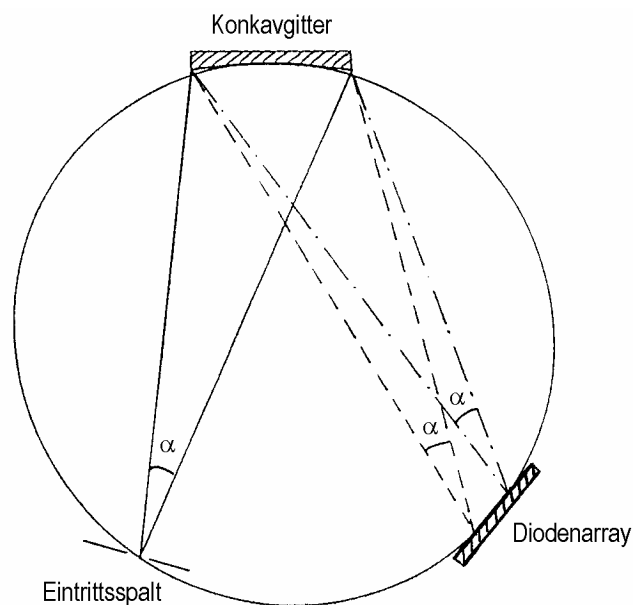


Aufbau eines Photodioden-Arrays

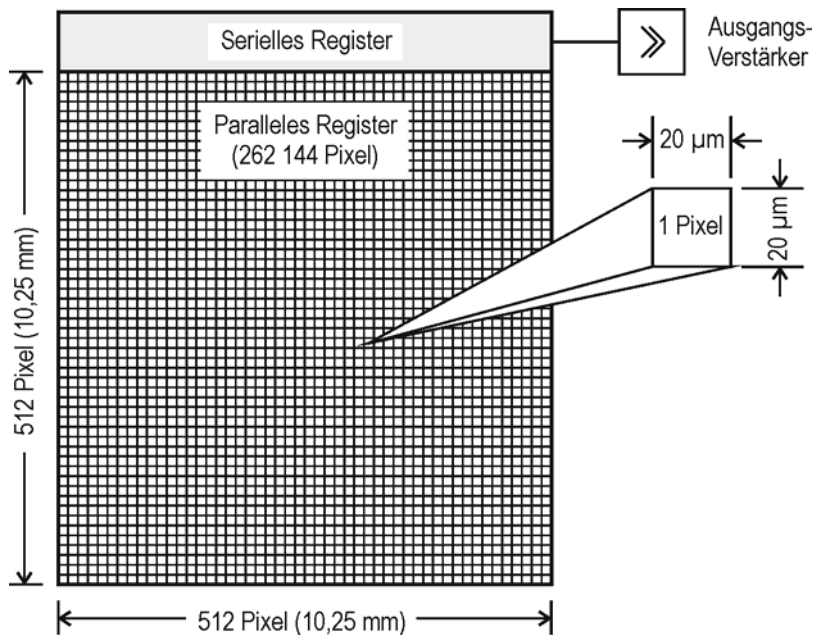
Eine Zeile enthält üblicherweise 1024 Dioden-Elemente mit einer Gesamtlänge von 25,6 mm.



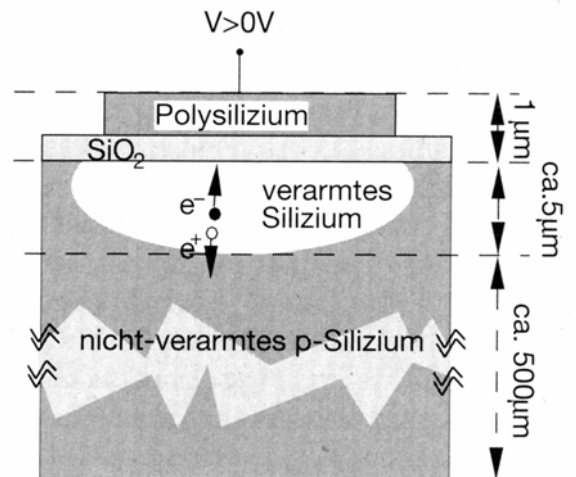
Spektrale Empfindlichkeit eines Photodioden-Arrays



Einsatz eines Photodioden-Arrays als Detektor im Rowland-Kreis

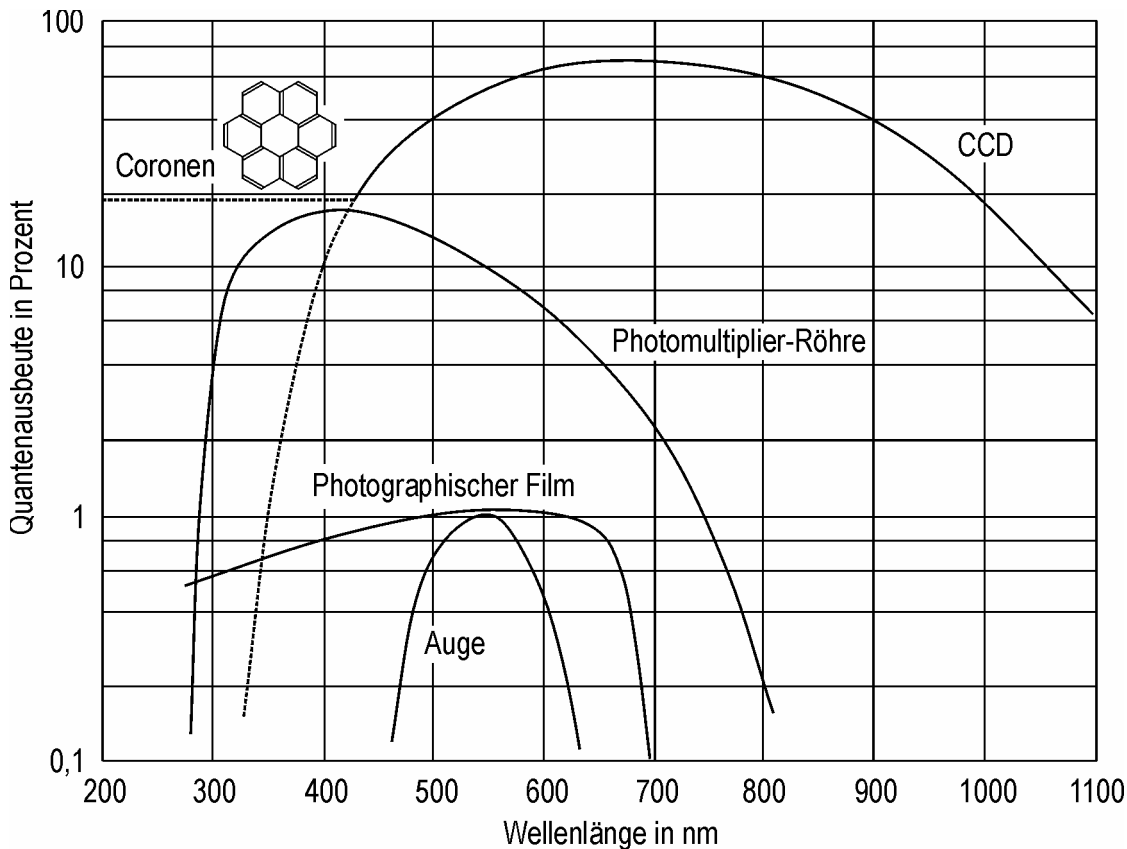


a)

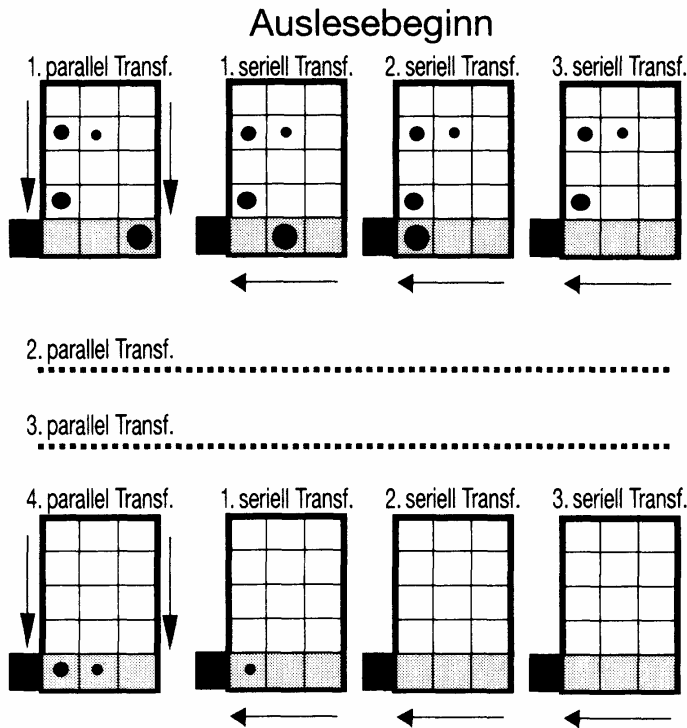
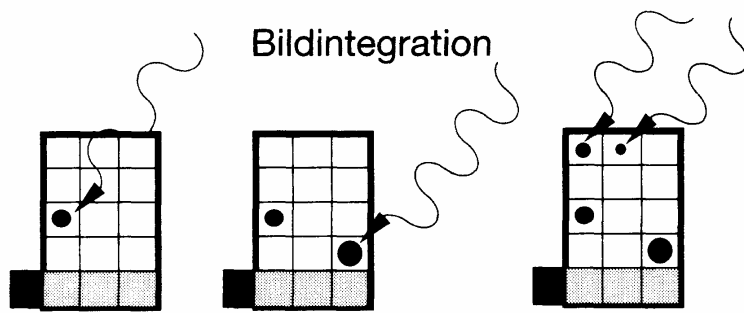


b)

- a) Schematischer Aufbau einer Full-Frame-CCD-Platte
- b) Das zentrale Pixelelement eines CCD ist in der Regel die MOS-Kapazität (Metall-Oxid-Silizium), wobei das Metall durch eine leitende Polysiliziumschicht ersetzt ist. Durch Anlegen eines positiven Potentials am Polysilizium werden die Ladungsträger (Löcher) im p-Silizium verdrängt und es entsteht eine Verarmungszone (sensitiver Bereich). Elektronen-Loch-Paare, die durch Photonen in der Verarmungszone erzeugt werden, werden durch das dort anliegende Feld getrennt und die Elektronen unter dem SiO₂ gespeichert. Photonen, die im Polysilizium oder SiO₂ konvertieren, können nicht nachgewiesen werden (Totschicht). Photonen, die im nicht-verarmten Bereich konvertieren, werden nur dann nachgewiesen, wenn das Elektron zufälligerweise in die Verarmungszone gerät (partiell sensitiver Bereich).
- Aus: Phys.Bl. 54 (1998) Nr. 6, 519 – 523)

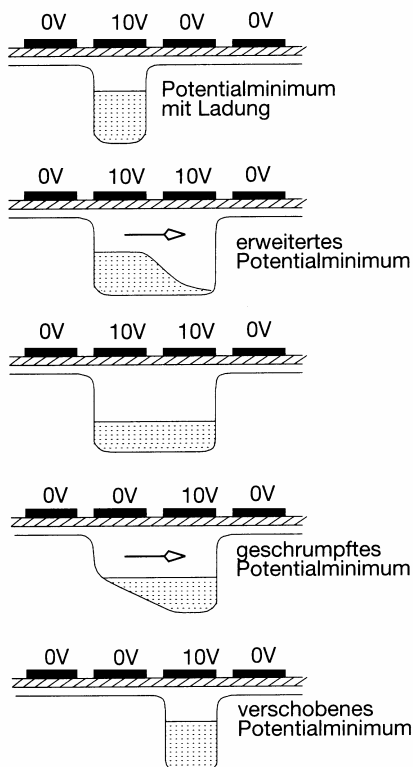


Quantenausbeute verschiedener Detektoren als Funktion der Wellenlänge. Der Abfall der Empfindlichkeit des CCD im UV kann durch Beschichtung mit Coronen vermieden werden: Coronen ist ein organischer Phosphor, der UV- in VIS-Photonen umsetzt



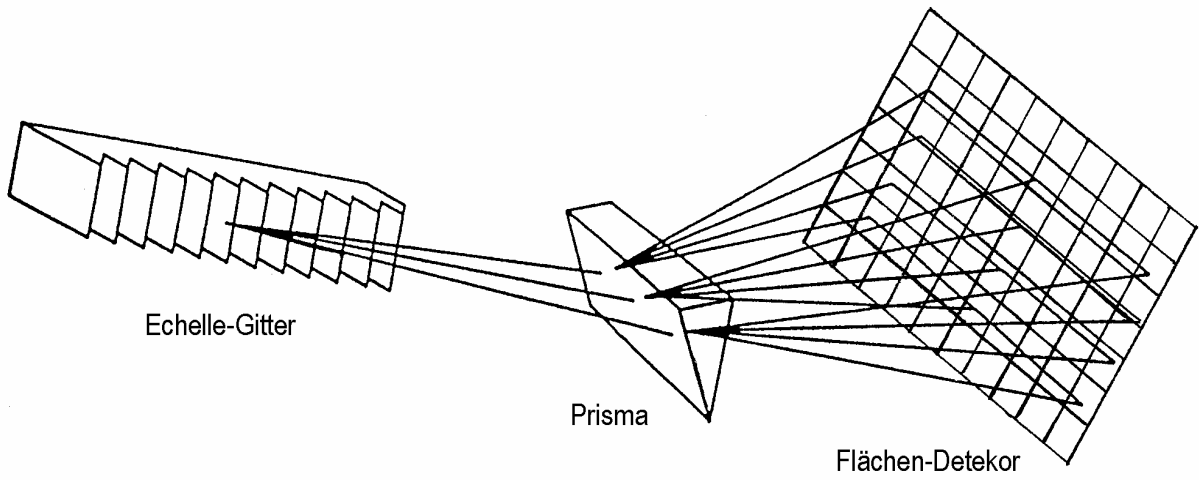
Bildauslesesequenz eines Full-Frame-CCDs mit 3×4 Pixel (FF-CCD).

Nach der Bildintegrationszeit beginnt die Bildauslese, d. h. die Ladungsmengenvermessung der als schwarze Punkte verschiedener Größe dargestellten Ladungspakete in den Pixeln. Die komplette Bildauslese besteht aus vier Schiebezyklen, die jeweils aus einem vertikalen Transfer in den parallelen Schieberegistern (weiß gekennzeichnet) und drei horizontalen Transfers im seriellen Schieberegister (grau gekennzeichnet) bestehen. Das serielle Schieberegister führt die in ihm liegenden Ladungspakete auf den Ausleseknoten (links unten).

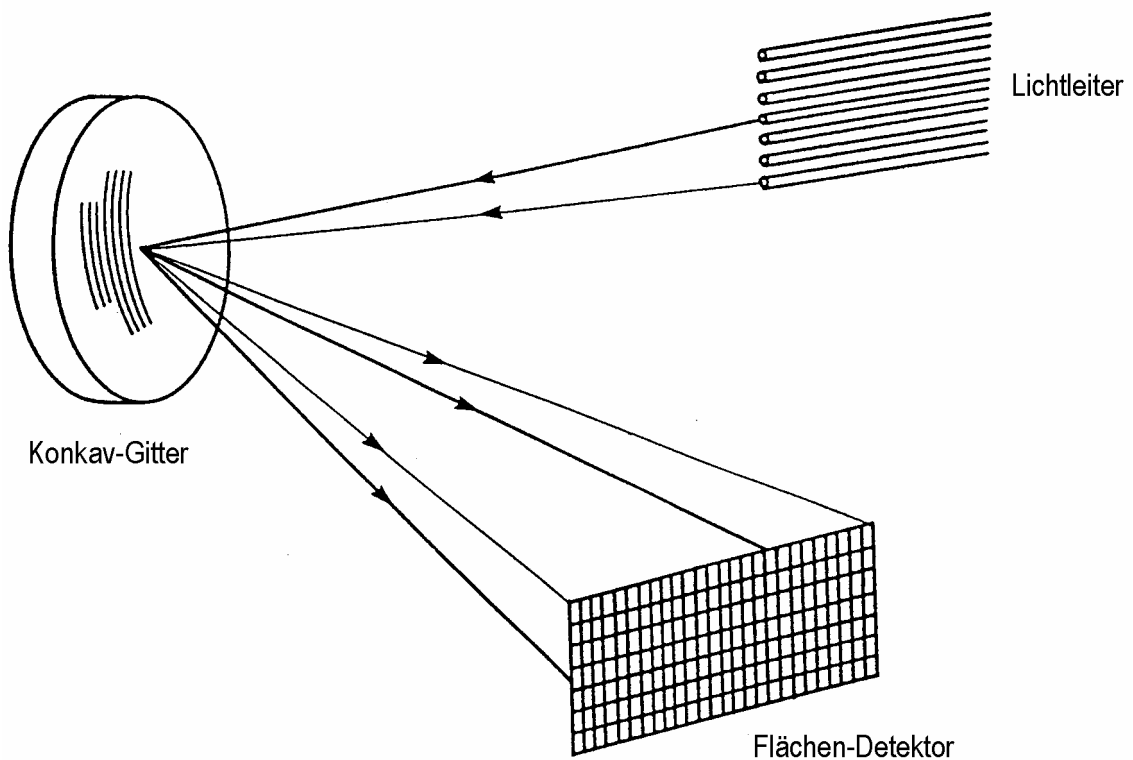


Prinzip eines dreiphasigen CCD-Ladungstransfers.

Durch Variation der Spannungen an den Schieberegistern können darunter gespeicherte Ladungen in eine Richtung geschoben werden. In der hier gezeigten Bildfolge sind drei spannungsmäßig voneinander unabhängige Register notwendig, um ein Pixel zu bilden und den Transfer zu ermöglichen.



Einsatz eines Flächen-Detektors in einem Echelle-Spektrometer.
Die Dispersionsebenen des Gitters und des Prismas stehen senkrecht aufeinander.



Einsatz eines Flächen-Detektors in einem abbildenden Spektrometer