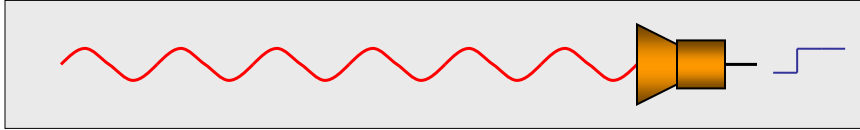


## Technische Optik 12

1 von 23

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
-----------------	---------------	----------	----------------	----------------



Die Aufgabe der **Messung von Licht** können wir nach verschiedenen Richtungen hin entwickeln:

1. Sensoren,
2. Lichttechnik und
3. Farbmeterik.

Während man im ersten Punkt nach den **Geräten** fragt, die für den Nachweis von Licht in Frage kommen, behandeln wir im zweiten die Bewertung von zusammengesetztem Licht verschiedener Leistung bei verschiedenen Wellenlängen als **Helligkeit** durch das menschliche Auge. Der dritte Punkt behandelt die quantitative Erfassung von **Farben**.

## Technische Optik 12

2 von 23

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
-----------------	---------------	----------	----------------	----------------

Es werden zwei verschiedene Typen von Sensoren eingesetzt:

1. Thermische Sensoren:

Im Detektor findet als Folge der Absorption von Licht eine Erwärmung statt, die zu einem elektrischen Signal führt.

2. Quantensensoren:

Die Absorption einzelner Lichtteilchen (= Photonen) führt zur Freisetzung beweglicher Elektronen.

## Technische Optik 12

3 von 23

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
-----------------	---------------	----------	----------------	----------------

Unter den thermischen Sensoren sind zwei Arten weit verbreitet:

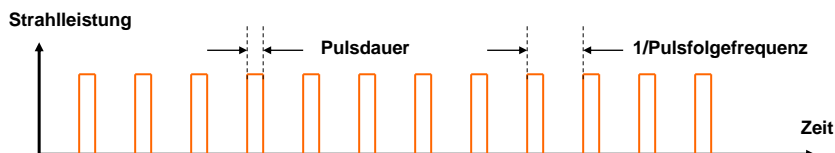
Pyroelektrische Sensoren	Thermosäule
Ein Kunststoff (z. B. Poly-Vinyliden-Fluorid PVDF) oder ein keramischer Werkstoff ( $\text{LiTaO}_3$ ) bildet nach geeigneter Vorbehandlung eine <b>Oberflächenladung</b> , wenn sich seine Temperatur ändert.	Die Absorption von Strahlung geschieht an einer thermisch isoliert montierten Platte. Deren Temperaturänderung wird über eine <b>Thermospannung</b> gemessen.
<b>Anwendung:</b> Das Signal (Oberflächenladung) entsteht nur bei <b>Änderung</b> der Einstrahlung. Einsatz als Näherungssensor im Innen- oder Außenbereich von Gebäuden oder zur Messung der Pulsenergie von gepulster Laserstrahlung.	<b>Anwendung:</b> Das Signal (= Thermospannung) ist proportional zur einfallenden Leistung; es ist nicht von der Wellenlänge abhängig. Daher können andere Sensoren kalibriert werden; sie werden zur Messung der Leistung von IR-Laserstrahlung ( $\text{CO}_2$ -Laser) benutzt.

## Technische Optik 12

4 von 23

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
-----------------	---------------	----------	----------------	----------------



**Pyroelektrische Detektoren** werden als Messgeräte für die **Energie** pro Puls bei gepulsten Laser verwendet. Sie liefern ein Spannungssignal (z. B. 1 V) pro absorbierte Energiemenge (z. B. 1 J). Dabei ist es gleichgültig, welche Wellenlänge und welche Pulsdauer vorliegen. Die Pulsfolgefrequenz muss je nach Gerät unter 1 - 10 Hz liegen, um dauerhafte Erwärmung des Sensors zu verhindern. Somit sind diese Detektoren ideal für güte-geschaltete Laser ("Q-switched") geeignet. Die haben nämlich konstante Pulsdauern (ca. 1 - 100 ns), und zur Charakterisierung des Strahls ist die Pulsenergie gut geeignet.

Excimerlaser können Wellenlängen von 193 nm, 248 nm, 308 nm oder 351 nm abgeben, je nach verwendetem Betriebsgas. Eine geschwärzte Fläche erfährt eine Temperaturänderung, die nur von der Energie (nicht aber von der Wellenlänge) abhängig ist. Diese Sensoren müssen also in Bezug auf die Wellenlängen nicht mehr kalibriert werden.

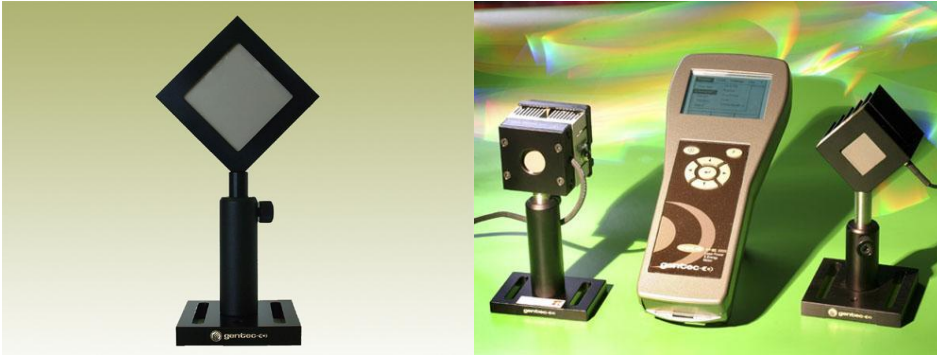
## Technische Optik 12

5 von 23

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
-----------------	---------------	----------	----------------	----------------

Eine von vielen Laserherstellern empfohlene Modellreihe kommt von der Firma Gentec.



In Deutschland werden diese Geräte vertrieben durch die Firma „Laser Components“ (Olching bei München).

## Technische Optik 12

6 von 23

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

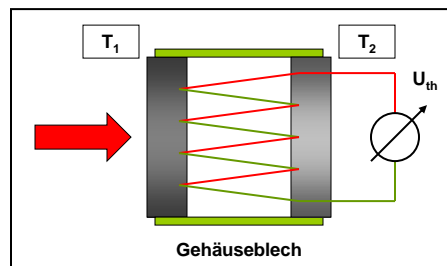
1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
-----------------	---------------	----------	----------------	----------------

### Aufbau einer Thermosäule:

Dieser Detektor wird zur Messung der Leistung von Laserstrahlung eingesetzt.

Eine Scheibe, die an dünnen Metallblechen aufgehängt ist, wird durch die einfallende Strahlung auf die Temperatur  $T_1$  erwärmt. Ein Wärmestrom entlang der dünnen Metallbleche leitet einen Wärmestrom ab. Der Unterschied in der Temperatur zwischen  $T_1$  und  $T_2$  (Gehäuse) ist proportional zur eingestrahnten mittleren Leistung. Die Thermospannung  $U_{th}$  wird als Sensorsignal registriert.

In die durch die Strahlung auf die Temperatur  $T_1$  erwärmte Platte kann man auch einen elektrischen Widerstand einbauen. Wenn der durch eine bestimmte elektrische Leistung  $P$  erwärmt wird, entsteht eine Thermospannung  $U_{th}$ . Wenn die gleich der Spannung ist, die durch Strahlung entsteht, ist die Strahlungsleistung bestimmt.



## Technische Optik 12

7 von 23

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
-----------------	---------------	----------	----------------	----------------

Das Foto zeigt eine Thermosäule (englisch: "thermopile") der Firma Gentec.

Die Spezifikationen versprechen:

- „schnelle“ Ansprechzeit (0,6 s),
- für Leistungen von 1 mW bis > 1 kW,
- hohe Zerstörschwellen (100 kW / cm<sup>2</sup>).

Bei kleiner Sensor-Fläche wird man einen größeren Laserstrahl (Durchmesser 5 cm) optisch verkleinern, wodurch die Leistungsdichte (= Leistung pro Fläche) steigt.



## Technische Optik 12

8 von 23

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
-----------------	---------------	----------	----------------	----------------

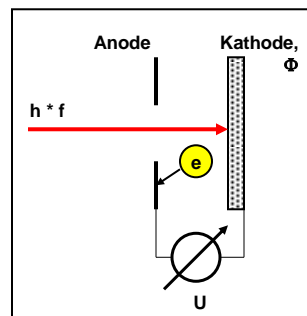
Das einfachste Gerät unter den Quantendetektoren ist eine Vakuum-Photodiode.

Eine Kathode und eine Anode sind im Vakuum eines Glasgefäßes aufgebaut. Beim äußeren Photoeffekt führt die Absorption eines Stroms von Lichtteilchen zur Freisetzung von Elektronen aus einer elektrisch leitfähigen Oberfläche.

Wenn am Messgerät die Spannung  $U$  gemessen wird, bis zu der sich die Anode (ringförmig, damit das Licht zur Kathode dringen kann) auflädt, stellt man fest, dass ihr Wert nicht von der Lichtleistung, sondern von der Frequenz  $f$  der Strahlung abhängig ist:

$$e * U = h * f - \Phi$$

Hier ist  $e$  die Elementarladung,  $h$  die Plancksche Konstante und  $\Phi$  die Austrittsarbeit des Kathodenmaterials. Weil er diese einfache aber sehr wichtige Gleichung entdeckt hatte, erhielt Albert Einstein für das Jahr 1921 den Physik-Nobelpreis.



(Die Stromstärke  $I$  ist proportional zur Lichtleistung.)

## Technische Optik 12

9 von 23

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen 2 Lichtwellen 3 Linsen 4 Lichtmessung 5 Lichttechnik

**Beispiel:**

Das Licht einer Lampe mit kontinuierlichem Spektrum wird nacheinander durch fünf Interferenzfilter, die um eine Zentralwellenlänge  $\lambda$  nur einen sehr schmalen Bereich durchlassen, auf die Kathode einer Vakuum-Photodiode gelenkt. Die ringförmige Anode lädt sich dabei jeweils auf eine Spannung  $U_{\text{Grenz}}$  auf.

Die Wellenlängen  $\lambda$  können mit der Gleichung  $c = f \cdot \lambda$  in Frequenzen  $f$  umgerechnet werden. Dadurch entsteht eine neue Tabelle. ( $c = 3 \cdot 10^8$  m/s)

Die Werte von  $U_{\text{Grenz}}$  in dieser Tabelle zeigen den durch die von Einstein angegebene Gleichung vorhergesagten Trend:

Filter Nr.	$\lambda$ / nm	$f$ / $10^{14}$ Hz	$U(\text{Grenz})$ / V
1	550,3	5,452	0,353
2	527,2	5,690	0,467
3	431,2	6,958	0,863
4	405,0	7,407	1,110
5	376,0	7,978	1,340

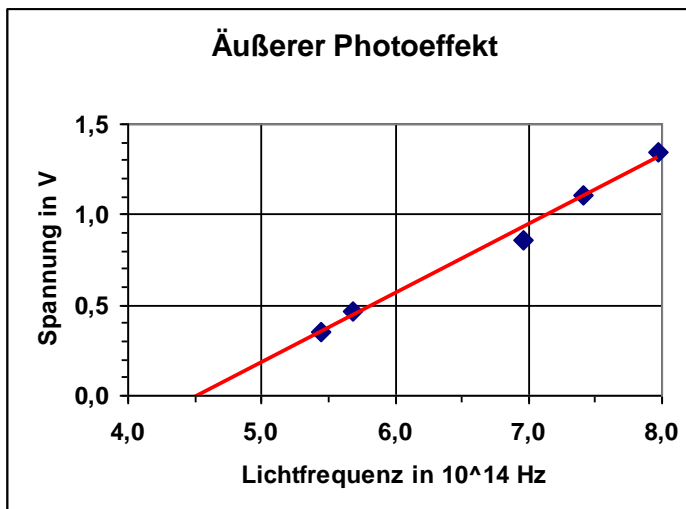
- 1.) Sie liegen auf einer Geraden mit der Steigung, die durch die Plancksche Konstante  $h$  gegeben ist.
- 2.) Sie besitzen einen Schwellwert (Schnittpunkt mit der horizontalen Achse).

## Technische Optik 12

10 von 23

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen 2 Lichtwellen 3 Linsen 4 Lichtmessung 5 Lichttechnik



Der Schwellwert liegt hier bei  $4,5 \cdot 10^{14}$  Hz, und die Steigung bei  $0,38 \text{ V} / (10^{14} \text{ Hz})$ .

Wenn wir die zweite dieser beiden Zahlen mit der Elementarladung  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$  multiplizieren, bekommen wir:

$$h = 6,1 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Die Austrittsarbeit beträgt:

$$\Phi = 2,7 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Photonen mit Energien kleiner als  $2,7 \cdot 10^{-19} \text{ J}$  lösen aus dieser Kathode keine Elektronen aus.

## Technische Optik 12

11 von 23

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
-----------------	---------------	----------	----------------	----------------

Beispiel:

Wie groß ist der Photostrom  $I$ , wenn wir annehmen, dass für jedes absorbierte Photon der Energie  $h \cdot f$  im Mittel 0,1 Elektronen ( $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$ ) ausgelöst werden und die Leistung der einfallenden Strahlung 2 mW beträgt? Der Literaturwert der Planckschen Konstanten beträgt  $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ .

Wir wollen annehmen, die Strahlung komme aus einem He-Ne-Laser, wie Sie ihn im Labor vorfinden; die Wellenlänge beträgt 633 nm.

Ein Photon hat die Energie:

$$W = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

$$= 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{633 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 3,14 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Im Strahl der Leistung 2 mW =  $2 \cdot 10^{-3} \text{ J/s}$  sind pro Sekunde sehr viele dieser kleinen Energie-Pakete vorhanden:

$$n = \frac{2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{s}}}{3,14 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 6,37 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$$

## Technische Optik 12

12 von 23

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
-----------------	---------------	----------	----------------	----------------

Wenn die Quantenausbeute 0,1 beträgt, ist die Anzahl der freigesetzten Elektronen  $n_e$  0,1 mal so groß:

$$n_e = 6,37 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

Jedes Elektron trägt die Elementarladung. Deshalb fließt eine Stromstärke:

$$I = 6,37 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As} = 0,102 \text{ mA}$$

Eine Vakuum-Photodiode hat sowohl Vorteile als auch Nachteile.

Vorteile:

gute Zeitauflösung;  
Linearität des Photostroms  
der Lichtleistung.

Nachteile:

geringe Empfindlichkeit;  
starke Veränderung des Photostroms mit  
der Wellenlänge;  
für längere Wellenlängen unempfindlich.

Durch Einfügen eines weiteren Vorgangs in das Gerät wird der Nachteil der geringen Empfindlichkeit beseitigt.

## Technische Optik 12

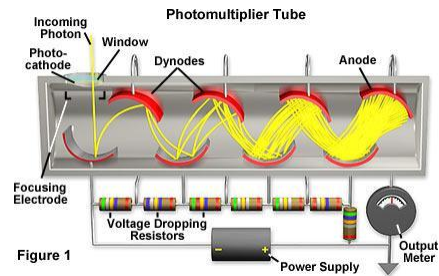
13 von 23

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
-----------------	---------------	----------	----------------	----------------

1.) Die durch den **äußeren Photoeffekt** ausgelösten Elektronen werden in einer Vakuum-Röhre durch eine elektrische Spannung (ca. 100 - 200 V pro Dynode) beschleunigt.

2.) Wenn sie mit genügend hoher Energie auf eine Metalloberfläche treffen, findet **Sekundärelektronen-Emission** statt. Die Verstärkung liegt je nach Typ und nach der Höhe der angelegten Spannung zwischen  $10^3$  und  $10^6$ .



Innerhalb des Photomultipliers finden also zwei für diesen Sensor wichtige Vorgänge statt:

Äußerer Photoeffekt und

Sekundärelektronen-Emission.

Photomultiplier gibt es je nach Anwendung in vielen verschiedenen Formen und Größen.



## Technische Optik 12

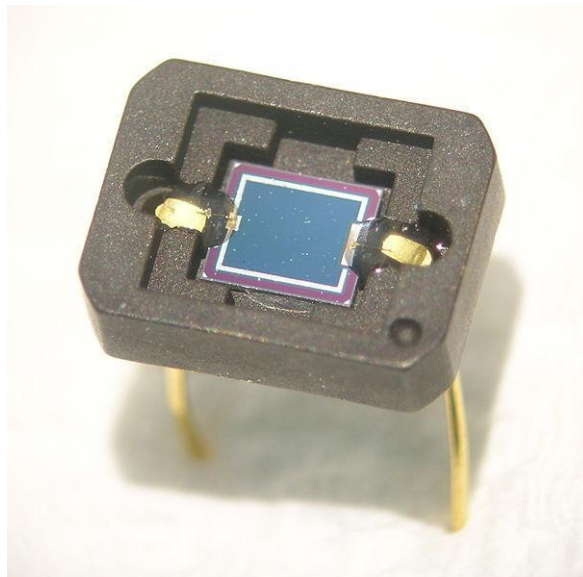
14 von 23

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
-----------------	---------------	----------	----------------	----------------

Klein, robust, schnelles Ansprechvermögen, sehr gute Linearität des Sensorsignals zur einfallenden Lichtleistung, preiswert: Das sind Eigenschaften des am häufigsten eingesetzten Sensors zur Lichtmessung, der Silizium-Photodiode.

Das Bauteil hat zwei Anschlüsse. Der rechteckige Bereich im Bild ist die Sensorfläche; dort auftreffendes Licht führt zur Freisetzung von beweglichen Ladungsträgern. Weil das **innerhalb** des Siliziums (p-oder n-dotiert oder ohne Dotierung, d. h. „intrinsisch“) erfolgt, spricht man vom **inneren Photoeffekt**.



## Technische Optik 12

15 von 23

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
-----------------	---------------	----------	----------------	----------------

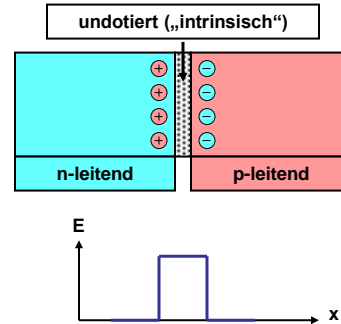
Beim inneren Photoeffekt löst die Absorption von Lichtteilchen bewegliche Ladungsträger innerhalb des halbleitenden Materials aus. In der Grenzschicht zwischen einem n- und einem p-leitenden Bereich ist ein elektrisches Feld vorhanden; wenn die Freisetzung von Elektronen hier geschieht, fließt eine Stromstärke. Wodurch entsteht das Feld?

Im n-leitenden Bereich sind negativ geladene Elektronen für den Stromtransport effektiver, im p-leitenden Bereich positiv geladene Löcher.

Durch die Wärmebewegung (Diffusion) fließen so lange negative Ladungsträger nach rechts in den p-leitenden Bereich und positive Ladungsträger nach links in den n-leitenden Bereich, bis im nun aufgebauten elektrische Feld gleich viele Ladungsträger hin und her diffundieren.

An der Grenzschicht ist ein elektrisches Feld  $E$  (wie in einem Plattenkondensator) entstanden.

Wenn in der undotierten „intrinsisch“ Grenzschicht durch den inneren Photoeffekt bewegliche Elektronen erzeugt werden, fließen sie in den n-leitenden Bereich ab. Es fließt also eine Stromstärke, ohne dass eine Spannung anliegt!



## Technische Optik 12

16 von 23

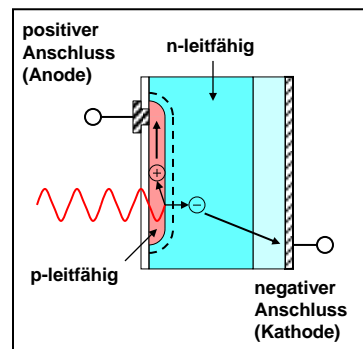
Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
-----------------	---------------	----------	----------------	----------------

Eine praktisch anwendbare Photodiode bekommt man durch einen pn-Übergang parallel zur Oberfläche des Bauteils. Die p-leitende Schicht wird noch mit einer dünnen, isolierenden Quarzschicht (Silizium-Dioxid  $\text{SiO}_2$  = Quarz) bedeckt.

**Funktion:** Die isolierende Schicht wird vom Licht durchstrahlt und die Photonen in der p-leitenden Schicht absorbiert. Dort werden durch den inneren photoelektrischen Effekt bewegliche Leitungselektronen freigesetzt, die vom elektrischen Feld durch die Grenzschicht in den n-leitenden Bereich getrieben werden.

Wegen der Trennung von positiven und negativen Ladungsträgern und ihrer Wanderung im p-leitenden oder im n-leitenden Bereich zu den außen angebrachten Kontakten ist dort eine Stromstärke  $I$  zu messen, die proportional zur Zahl der absorbierten Lichtteilchen ist. *Das Sensor-Signal ist also die Stromstärke  $I$ .*





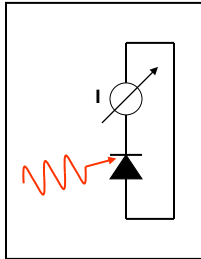
## Technische Optik 12

17 von 23

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
-----------------	---------------	----------	----------------	----------------

Hersteller bieten Photodioden in einer großen Anzahl verschiedener Varianten an:



1.) Silizium-Photodioden: Spektraler Bereich von UV-C (190 nm) bis nahes IR (1100 nm).

2.) Silizium-PIN-Photodioden: Spektraler Bereich von UV (320 nm) bis nahes IR (1100 nm); Hochfrequenz-Anwendungen bis über 1 GHz.

3.) Silizium-Avalanche-Photodioden: Spektraler Bereich von UV-C (200 nm) bis nahes IR (1000 nm). Betriebsspannung einige 100 V; wegen interner Nachverstärkung für Anwendungen der Messung sehr schwacher Lichtquellen gut geeignet.

4.) InGaAs-Photodioden: Spektraler Bereich im IR (0,9 – 2,6  $\mu\text{m}$ ). Für Messungen im IR-Bereich müssen die Halbleiter eine kleine Bandlücke haben. Daher kann bei Raumtemperatur bereits eine Anregung von Elektronen aus dem Valenzband erfolgen; es ist ratsam, die Detektoren auf Temperaturen von ca. -50 °C zu kühlen (z. B. mit einem Peltier-Element).

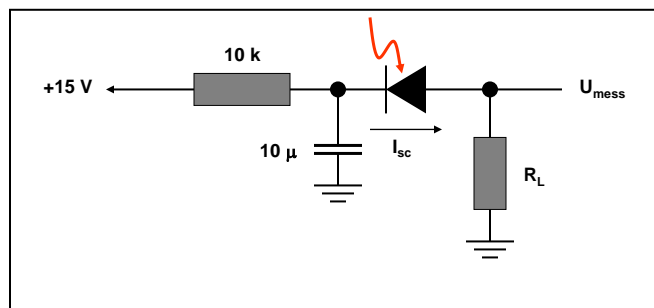
## Technische Optik 12

18 von 23

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
-----------------	---------------	----------	----------------	----------------

Um den Sensorstrom in eine Spannung zu wandeln, kann man einen in Reihe geschalteten Last-Widerstand  $R_L$  verwenden.



**Beispiel:** Wenn  $R_L$  10 k Ohm beträgt, dann wird aus einem Photostrom von 1  $\mu\text{A}$  eine Spannung von 10 mV. Diese Spannung lässt sich weiter verstärken.

Die Zeitauflösung ist von der Grenzsicht-Kapazität  $C$  der Photodiode abhängig:  $\tau = R_L \cdot C$ . Der Widerstand  $R_L$  sollte also nicht unbedacht vergrößert werden, wenn eine gute Zeitauflösung verlangt ist.

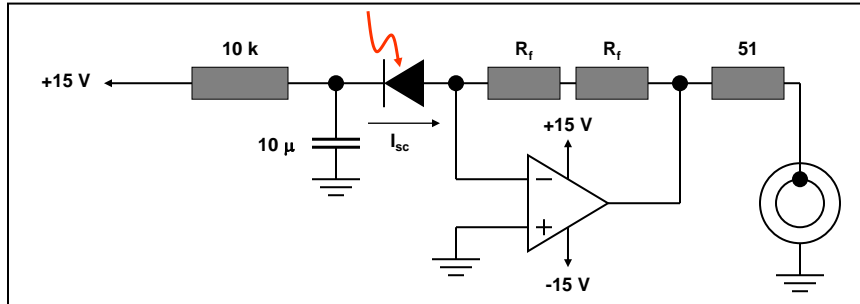
## Technische Optik 12

19 von 23

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
-----------------	---------------	----------	----------------	----------------

Es werden eigentlich immer geeignete elektronische Verstärkerschaltungen benötigt. Meist beruhen sie auf einem Operationsverstärker.



Die Schaltung zeigt eine schnelle Fotodiode (z. B. PIN-Si-Fotodiode), die in Sperrrichtung vorgespannt ist. Der Rückkopplungswiderstand  $R_f$  besteht aus zwei in Reihe geschalteten Widerständen, um die Streukapazität  $C_s$  zu verringern. Der 51 Ohm-Widerstand schließt den Ausgang an die Impedanz des Koaxialkabels an.

## Technische Optik 12

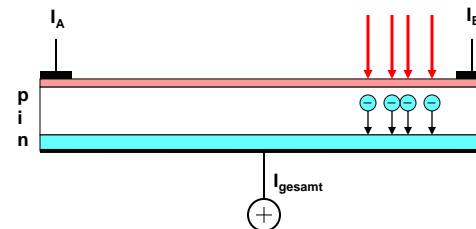
20 von 23

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
-----------------	---------------	----------	----------------	----------------

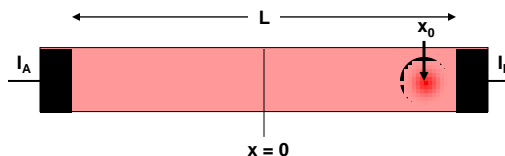
**Ortsauflösung:** Wenn man den Punkt des Auftreffens von Licht messen möchte, kann man ein PSD ("position sensitive device") benutzen.

Dabei handelt es sich um eine PIN-Photodiode mit drei elektrischen Anschlüssen. Die p-leitende Schicht hat einen konstanten Flächenwiderstand. Durch Lichtabsorption werden in der intrinsischen Schicht Elektronen in das Leitungsband befördert. Sie fließen in den n-leitenden Bereich ab und bilden so zwei Sensorsignale (Stromstärken  $I_A$  und  $I_B$ ).



Aus diesen beiden kann man den Schwerpunkt  $x_0$  der Beleuchtung berechnen:

$$I_A = \frac{L - x_0}{L} * I_{\text{gesamt}} \quad I_B = \frac{L + x_0}{L} * I_{\text{gesamt}}$$



## Technische Optik 12

21 von 23

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
-----------------	---------------	----------	----------------	----------------

Ein PSD hat drei Anschlüsse. Die Auswertung von  $I_A$  oder  $I_B$  kann die Position  $x_0$  liefern, wenn  $I_{\text{gesamt}}$  bekannt ist. Besser ist es jedoch, die Differenz beider Ströme zu verwenden:

$$I_{\text{Diff}} = I_B - I_A = I_{\text{gesamt}} * \frac{2x_0}{L}$$

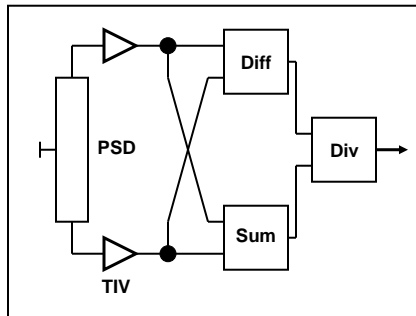
Natürlich ist  $I_{\text{gesamt}} = I_B + I_A$ , und das kann benutzt werden, um  $x_0$  zu berechnen:

$$x_0 = \frac{L}{2} * \frac{I_B - I_A}{I_B + I_A}$$

Diese Gleichung enthält nicht mehr  $I_{\text{gesamt}}$  und ist somit weniger stör anfällig.

Eine weitere Verbesserung lässt sich durch Modulation der Lichtquelle und Detektion des Differenz-Signals zwischen „Licht an“ und „Licht aus“ erreichen.

TIV sind Transimpedanz-Verstärker; sie wandeln den Photostrom in eine proportionale Spannung.



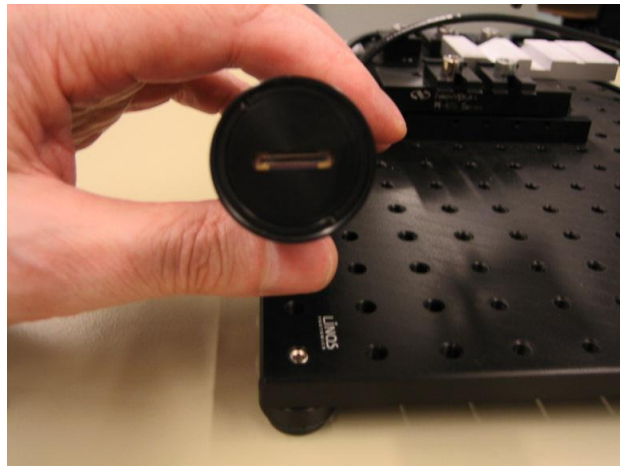
## Technische Optik 12

22 von 23

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
-----------------	---------------	----------	----------------	----------------

Eine große Bandbreite von “position sensitive devices” PSD (unterschiedliche Längen) ist erhältlich (s. [www.Hamamatsu.de](http://www.Hamamatsu.de)).



## Technische Optik 12

23 von 23

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel



1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
-----------------	---------------	----------	----------------	----------------

Das Verfahren der Auflösung entlang einer linearen Koordinate kann man auf zwei senkrecht zueinander liegende Koordinaten erweitern. Dazu werden auch an den n-leitenden Bereich zwei lineare Metallstreifen zur Signalabnahme angefügt.



In diesem Fall wird die x-Koordinate des auffallenden Lichtflecks aus den beiden Stromstärken  $I_{xA}$  und  $I_{xB}$  berechnet; die y-Koordinate bekommt man aus  $I_{yA}$  und  $I_{yB}$ .

Diesen Typ Photodiode mit einer zweidimensionalen Ortsauflösung nennt man duo-lateral.

