

# Infrarotsensoren

Raimund Girwidz, Sascha Ziegelbauer



Abb. 1 Lampe mit Bewegungsmelder

Wo wird heute noch mit Flüssigkeitsthermometern gemessen (außer im Physikunterricht)? Wie messen Infrarotthermometer und wie sind sie einzusetzen? Wie funktionieren PIR-Bewegungsmelder, die sich heute in der Beleuchtungstechnik und zur Raumüberwachung als ein Standard etabliert haben und wie arbeiten Infrarotdetektoren in Sanitäreinrichtungen?

Auch wenn die Infrarotstrahlung nicht ausführlich behandelt werden kann, sollte ein moderner Physikunterricht solche Fragen beantworten können. Die physikalischen Grundlagen zur Infrarot-Sensorik lassen sich hierfür in einer kurzen Informationssequenz recht gut elementarisieren und zu einer Verständniseinheit zusammenfassen (siehe hierzu den Informationskasten). Dann bieten sich eindrucksvolle Anwendungsmöglichkeiten in der Wärmelehre.

Infrarotsensoren lassen sich in zwei Gruppen einteilen:

- Sensoren, die auf die Infrarotstrahlung fremder Strahlungsquellen reagieren. Pyroelektrische Sensoren und die Thermosäule sind dafür Beispiele.
- Sensoren, die mit eigens ausgesandten Signalen arbeiten. Hierzu gehören unter anderem Durchlichtschranken, Reflexlichtschranken, Reflexlichttaster und Streulichtsensoren.

## Der Passive Infrarotbewegungsmelder (PIR)

Schüler kennen den PIR-Bewegungsmelder als automatischen Lichtschalter in Tiefgaragen oder Hauseingängen. PIR (Passiv Infrarot) drückt aus, dass der Detektor keine eigene Strahlung aussendet und auf die Strahlung externer Quellen reagiert. Für Schülerexperimente sind Kombigeräte mit Lampen direkt einsetzbar, vor allem portable Geräte, die mit Batterien oder Akkumulatoren arbeiten.

### Versuche mit einer Rettungsfolie

Für diesen Versuch benötigt man eine Rettungsfolie (Gold-Silber-Folie aus einem Erste-Hilfe-Koffer). Die Folie muss ein Schüler mit der goldenen Seite nach außen so vor sich halten, dass sie den ganzen Körper abdeckt. Damit kann der Schüler an dem PIR-Bewegungsmelder vorbeigehen, ohne detektiert zu werden. Die Rettungsdecke emittiert die gleiche Infrarotstrahlung wie die Umgebung und macht den Schüler für den Detektor "unsichtbar". Zu beachten sind allerdings mögliche Änderungen durch Abschirmung oder Reflexion anderer IR-Strahlungsquellen, wie

Lampen, Sonnenstrahlung oder weitere Personen. (Die silberne Schicht wirkt als Reflektor für die Wärmestrahlung des Körpers. Wird die Rettungsdecke direkt auf den Körper aufgebracht, erwärmt sich die Folie geringfügig. Dann ist es u. U. besser, die Silberschicht nach außen anzuordnen. Sie reflektiert dann die "IR-Welt" der Umgebung.)

### Versuche mit langsamen Bewegungen (und geringen Temperaturänderungen)

PIR-Bewegungsmelder sind so eingestellt, dass Temperaturänderungen, z.B. durch vorbeiziehende Wolken, nicht zur Auslösung führen. (Siehe hierzu auch die Erklärungen zum Dualsensor im Infokasten.) Die pyroelektrischen Sensoren setzen grundsätzlich eine ausreichend große Änderung der Bestrahlungsstärke voraus. Deshalb werden auch sehr langsame Bewegungen nicht registriert. Ein Schüler kann sich ganz langsam an einem Bewegungsmelder vorbeibewegen, ohne ihn auszulösen. Dabei sind größere Abstände vom Sensor vorteilhaft.

### Versuche zur Aufteilung des Erfassungsbereichs in Sektoren

Die Optik des PIR-Bewegungsmelders teilt den umgebenden Raum in Sektoren auf (siehe Abb. 2). Dazu ist eine vorgeschaltete Plastiklinse aus verschiedenen Teillinsen zusammengesetzt (Abb. 3). Die Bewegung von Personen führt zu wechselnden Strahlungsverhältnissen in benachbarten Sektoren und über die Optik zu einer geänderten Bestrahlung am Sensor.

Dies lässt sich testen. Für Bewegungen in radialer Richtung ist der Sensor wesentlich unempfindlicher als für tangentielle Bewegungen. Bei den Versuchen ist darauf zu achten, dass man sich dem PIR-Bewegungsmelder nicht zu sehr nähert. Aufgrund des Öffnungswinkels der Sensoren werden sonst unweigerlich weitere Sektoren abgedeckt.

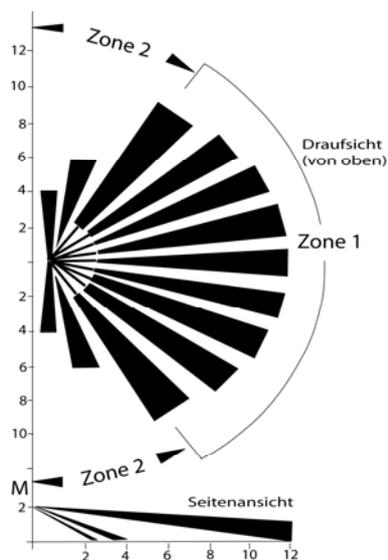


Abb. 2: Sektorenaufteilung eines PIR-Bewegungsmelders in der Drauf- und Seitenansicht



Abb. 3: Die Fresnellinsen unterteilen den Erfassungsbereich in einzelne Sektoren.

## Das Infrarot-Thermometer

Bei einfachen Strahlungsthermometern wird die IR-Strahlung mithilfe von Reflexionsflächen und / oder IR-Linsen auf eine Thermosäule geleitet. Die Erwärmung führt zu einer Thermospannung, die gemessen werden kann. Geeignete Geräte für die Schulpraxis gibt es für unter 100 € im Elektronik-Fachhandel. Experimente zu Thermoelementen und zur Thermosäule sind bei [3] beschrieben. Nachfolgend werden einige Versuche vorgestellt, die besondere Vorteile von Strahlungsthermometern nutzen. Zudem zeigen sie, wie die Funktionalität der Geräte geprüft und untersucht werden kann.

Strahlungsthermometer messen Oberflächentemperaturen berührungs- und rückwirkungsfrei. Speziell dann, wenn sich Oberflächentemperatur und Temperatur im Innern von Körpern unterscheiden, sind die schnellen und praktisch rückwirkungsfreien Messungen vorteilhaft. So bieten sich auch für den Unterricht einfach durchführbare und gleichzeitig interessante Messungen von Oberflächentemperaturen an. Sie sind mit Berührungs- und Kontaktthermometern nicht vergleichbar zu realisieren.

### Versuche zur physiologischen Wärmeregulierung

Besonders reizvoll sind Temperaturmessungen an peripheren Körperteilen (vgl. Abb. 4). Sportliche Aktivitäten haben einen Einfluss auf den Wärmehaushalt des Körpers. So können beispielsweise vor und nach zügigem Treppenlauf unterschiedliche Temperaturen an Finger, Hand, Stirn und Wange gemessen werden.



Abb. 4: Strahlungsthermometer

Auch Genussmittel haben Einfluss auf die Oberflächentemperatur der Extremitäten. Besonders deutlich ist die Temperaturabnahme in den Fingern beim Rauchen oder die Temperaturzunahme nach Alkoholgenuss (im Unterricht allenfalls ein Lehrerversuch). Untersucht werden kann auch die Auswirkung von Kaffee oder koffeinhaltigen Energiedrinks.

Die Temperatur der Peripherie sinkt auch durch ein kaltes Wasserbad messbar ab. Anschließend kann gemessen werden, wie schnell die Ausgangstemperatur wieder erreicht wird.

### Versuche zum Schwitzen, zu feuchter Haut und Kleidung

Die Oberflächentemperatur einer trockenen und feuchten Schultafel wird gemessen und verglichen. Analog hierzu verhält sich die Hauttemperatur beim Schwitzen oder wenn sie angefeuchtet wird. Besonders interessanten Diskussionsstoff liefert eine Messreihe zu Oberflächentempere-

ren von unbedeckter Haut, trockener und feuchter Bekleidung (die direkt am Körper anliegt) ohne und mit Luftbewegung.

### **Versuche in praxisnahen Anwendungsbereichen**

Strahlungsthermometer lassen sich für schnelle Temperaturmessungen nutzen. So kann man die Temperatur von Speisen, Heizkörpern, Fensterscheiben, Wandflächen, Elektrogeräten und auch Computerbauteilen in Sekundenschnelle messen. (Messungen an geöffneten Elektrogeräten darf unter den nötigen Sicherheitsvorkehrungen selbstverständlich nur die Lehrkraft als Demonstrationsversuch durchführen.) Auch die Polizei führt Kontrollmessungen an den Bremscheiben von LKWs mit Strahlungsthermometern durch, um die Funktionstüchtigkeit der Anlage zu prüfen. Messungen an Motorhauben von Fahrzeugen identifizieren schnell Fahrzeuge, die erst vor kurzer Zeit abgestellt wurden. Nicht zuletzt lassen sich auch Wassertemperaturen (Wasseroberfläche) schnell und "trocken" messen. Hier sind auch Vergleichsmessungen mit anderen Geräten gut möglich.

### **Versuche zum Emissionsgrad**

Genau genommen ist der Emissionsgrad der Messobjekte zu berücksichtigen (siehe Kasten zu Strahlungsthermometer / Pyrometer). Hier bietet sich eine gute Gelegenheit, grundsätzliche Probleme und Grenzen beim Messen exemplarisch anzusprechen.

Unterschiedliche Materialien besitzen verschiedene Emissionsgrade. Einfache Strahlungsthermometer sind meist auf einen Emissionsgrad von 0,90 oder 0,95 voreingestellt. Das Strahlungsthermometer ist damit nicht für alle Materialien gleich gut eingestellt. Dies kann gezeigt werden, indem man die Temperatur eines Porzellantellers und eines polierten Messingblechs misst, die aus einem heißen Wasserbad entnommen wurden. Die gemessene Temperatur des Tellers ist dabei um einiges höher, als der Messwert für das Messingblech. Dies resultiert aus den unterschiedlichen Emissionsgraden (poliertes Messing  $\varepsilon = 0,05$  und glasiertes Porzellan  $\varepsilon = 0,95$  bei Zimmertemperatur).

Die Schüler können nun überlegen, wie sich dieser Messfehler beheben lässt. Mithilfe eines aufgeklebten Tesastreifens kann das Problem weitestgehend behoben werden. Der Tesastreifen hat einen Emissionsgrad von ca. 0,90. Wird er auf Messingblech und Teller geklebt, sind die gemessenen Werte gleich. (Anspruchsvollere Geräte lassen sich auf verschiedene Emissionsgrade einstellen.)

### **Versuche mit einer Rettungsfolie**

Die Notfalldecken aus den Erste-Hilfe-Koffern sind auf einer Seite mit einer Gold-, auf der anderen mit einer Silberschicht überzogen. Im Winter soll das Auskühlen des Körpers dadurch verringert werden, dass man den Körper mit der Silberseite nach innen einwickelt. Die Silberseite reflektiert einen wesentlichen Anteil der Strahlung, die vom menschlichen Körper ausgeht. Im Sommer wird hingegen die Folie mit der goldenen Seite nach innen verwendet. Die Silberfolie schirmt dann den Körper teilweise vor der äußeren Strahlung ab. Zudem hat die Goldschicht einen guten Absorptionsgrad und führt dadurch Energie vom Körper ab.

Mit dem Strahlungsthermometer lässt sich dieser Effekt nachweisen. Folgender Versuch wird jeweils an der silbrigen und goldenen Seite durchgeführt: Das Strahlungsthermometer wird auf die die Folie gerichtet (siehe Abb. 5). Beobachtet wird die Anzeige, wenn eine Person dicht an die Folie herantritt. Aufgrund der reflektierten Wärmestrahlung steigt die Anzeige wesentlich stärker an, wenn die silbrige Seite verwendet wird.



Abb. 5: Messung der reflektierten Strahlung an der silbernen Seite

### **Einführung des Gerätes auch ohne technische Details**

Allgemein erfordert der Stand der Technik immer häufiger, Geräte als Funktionseinheiten zu sehen. Mit ihrem inneren Aufbau kann man sich nicht immer im Detail befassen. Computer und Autos sind nur zwei Beispiele hierzu.

Auch ohne genaue Kenntnis ihres Aufbaus muss man prüfen können, ob ein Gerät den eigenen Anforderungen entspricht. Ein Test bei Referenztemperaturen (Messung der Temperatur von Eiswasser und siedendem Wasser) ist möglich und schnell durchgeführt. Wurden bereits andere Thermometer eingeführt, sind Vergleichsmessungen bei anderen Temperaturen eine weitere Prüfung. So gesehen kann die Einführung des Strahlungsthermometer durchaus einen exemplarischen Charakter erhalten.

## Der Rauchmelder



Abb. 6: Rauchmelder

Die gesamte Versuchsreihe kann von Schülern, je nach Anzahl der Geräte, in Gruppen oder Partnerarbeit durchgeführt werden. Selbstständiges und aktives naturwissenschaftliches Arbeiten stehen im Vordergrund der folgenden Versuchsreihe.

### ***Schritt 1: Kennen lernen des Rauchmelders***

Die Schüler lösen den Alarm aus, indem sie den Rauch einer Kerze oder eines Räucherstäbchens in den Rauchmelder blasen.

### ***Schritt 2: Aufbau der Sensoreinheit analysieren***

Rauchmelder und Sensoreinheit werden geöffnet. Die Schüler erstellen eine Skizze des Aufbaus. Wichtige Elemente sind die Anordnung von Sender und Empfänger, die Raucheinlassschlitze und die Plastikabschirmung zwischen Sender und Empfänger.

### ***Schritt 3: Der Sensor reagiert auch auf sichtbares Licht***

Nach dem Anschließen der Batterie ertönt der Alarm bei geöffnetem Gerät auch ohne Rauch. Die Schüler können daraus folgern, dass der Empfänger auch auf sichtbares Licht reagiert. Dies gibt Anlass, die spezielle Konstruktion der Raucheinlassschlitze zu diskutieren.

### ***Schritt 3b: Ergänzung - Aktivität der Sendediode***

Das Signal der Sendediode kann mit einem Infrarotdetektor (siehe [7]) am Speicheroszilloskop aufgezeichnet werden.

### ***Schritt 4: Analogieversuch mit Streulicht***

In folgendem Analogieversuch lernen die Schüler die Funktionsweise des Streulichtsensoren kennen. In Analogie zur Sensoreinheit des Rauchmelders wird der Versuch nach Abb. 7 durchgeführt. Eine Taschenlampe (ohne Reflektor) wird hinter einer Blende eingeschaltet. Daraufhin schüttelt ein Schüler einen Tafellappen mit Kreidestaub über der Blende aus (vgl. Abb. 7). Der Kreidestaub streut das Licht und wird so erkennbar.

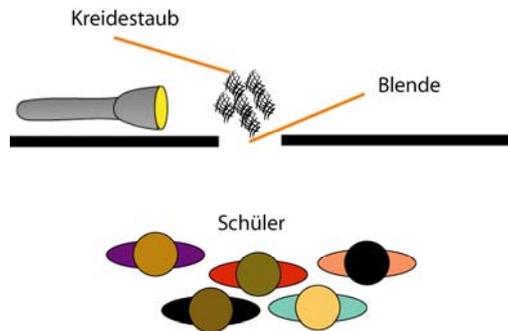


Abb. 7: Analogieversuch mit Streulicht

Bezug zum Rauchmelder:

Je mehr Aerosole in den Erfassungsbereich eintreten, desto mehr Licht wird in das Auge des Empfängers (Schüler) gestreut. Die Taschenlampe entspricht der IR-Sendediode, das Auge der Empfängerdiode im Rauchmelder.

#### **Schritt 5: Ergänzungsversuch mit dem Rauchmelder**

In diesem Versuch können die Schüler feststellen, dass auch Infrarotlicht an einem Medium gestreut bzw. reflektiert wird. Ein Papierstreifen wird in die Sensoreinheit gesteckt (siehe Abb. 8). Nach dem Zusammenbau gibt der Rauchmelder Daueralarm.

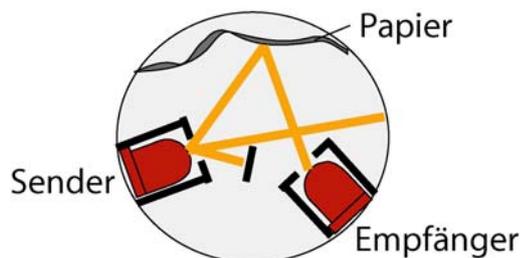


Abb. 8: Papier in der Sensoreinheit des Rauchmelders

## **Steuerung für Händetrockner, automatische Seifenspender und Wasserhähne**

Der hier gezeigte Seifenspender (siehe Abb. 9) arbeitet, wie viele Handtrockner auch, mit einem Infrarot-Streulichtsensor. Der Empfänger enthält einen Tageslichtfilter, um die unbeabsichtigte Aktivierung durch sichtbares Licht zu verhindern. Die Infrarotdiode sendet ein Signal in Intervallen von etwa 0,5 s aus.

Der Seifenspender löst erst dann aus, wenn sich ein Objekt nahe genug an der Sensoreinheit befindet (ca. 10 cm). Bei einem größeren Abstand wird die Intensität des reflektierten Lichts zu gering. Der Seifenspender kann so über einem Waschbecken angebracht sein, ohne dass es zur Auslösung kommt.



Abb. 9: Seifenspender.

### **Versuche**

Der Seifenspender wird mit Wasser gefüllt. Dann lassen sich kostengünstig verschiedene Tests zur Abstandsabhängigkeit, zur Empfindlichkeit bei verschiedenen Materialien (auch Glas) und zum Zeitverhalten durchführen.

#### **Analogieversuch zur Abstandsempfindlichkeit des Seifenspenders**

Die Schüler können in einem Analogieversuch die Intensitätsabnahme bei Abstandsvergrößerung selbst erleben. Ein aufgestellter Sichtschirm wird mit einer Taschenlampe bestrahlt. Bei kurzen Entfernungen ist dies gut zu erkennen. Das Signal wird aber bei größeren Entfernungen immer schwächer.

Beim Seifenspender können die Schüler den sensiblen Abstand im Experiment leicht herausfinden.

#### **Untersuchung zum gepulsten Signal des Seifenspenders**

Das Infrarot-Signal kann mithilfe eines Infrarot-Detektors (siehe [7]), am Speicheroszilloskop betrachtet werden.

## Literatur

- [1] Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3-18.
- [2] Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (2001). *Physikdidaktik*. Berlin: Springer.
- [3] Müller, W. & Nguyen van Bien (2004). Die Physik des Infrarot-Ohrthermometers. *Praxis der Naturwissenschaften, PhiS*, 53(8), 2-6.
- [4] Niebuhr & Lindner, 2001. *Physikalische Meßtechnik mit Sensoren*. Oldenbourg-Verlag.
- [5] Hering, E., Martin, R. & Stohrer, M. (2002). *Physik für Ingenieure*. Berlin: Springer-Verlag. S. 214.
- [6] Kuchling, H. (2004). *Taschenbuch der Physik*. München: Carl Hanser Verlag. S. 648f.
- [7] Berge, O. E. (1998). Versuche mit einem einfachen Infrarot-Detektor. *Unterricht Physik*, 9(47), 25-28.

## Bezugsquellen

### ***Strahlungsthermometer:***

IR-Thermometer Miniflash II; bei Conrad für 23,70€  
 Voltcraft Infrarot Thermometer; bei Conrad 79,95€

***Rettungsfolie*** (Gold-Silber-Folie). In Apotheken für ca. 4 € erhältlich.

### ***PIR-Bewegungsmelder:***

Bewegungsmelder mit Lampe (für Batteriebetrieb); im Elektronikfachhandel für ca. 8 €

### ***Rauchmelder:***

Fotoelektrischer Rauchalarm; ca. 5 € im Elektronikfachhandel und in Baumärkten

### ***Seifenspender:***

Seifenspender; bei [www.elv.de](http://www.elv.de) 29,95€

*Dank: Die Unterrichtsvorschläge werden in den Projekten "Physik im Kontext" ([www.physik-im-kontext.de](http://www.physik-im-kontext.de)) und im Projekt "LINK" ([www.l-i-n-k.de](http://www.l-i-n-k.de), gefördert von der Robert-Bosch-Stiftung) getestet und weiterentwickelt.*

### Kurze Einführung zur Wärmestrahlung

Vorge stellt wird eine minimale methodische Sequenz mit drei Schritten. Jeder versucht, eine grundlegende physikalische Aussage zu elementarisieren, an Alltagserfahrungen oder direkte physiologischen Wahrnehmungen anzuknüpfen und eine Verständniseinheit aufzubauen.

#### 1. Alle Körper strahlen

Körper mit einer Temperatur über 0 K strahlen elektromagnetische Wellen ab. Je höher die Temperatur, desto intensiver ist die Strahlung. Bei Temperaturen ab ca. 1000 K wird die Strahlung sogar sichtbar. Mit zunehmender Temperatur ändert sich die Farbe von rot zu weiß (Strahlung der Sonne, ca. 6000 K). Der Blauanteil steigt.

*Anknüpfen an Alltagserfahrungen:*

Schüler kennen glühende Cerankochfelder und Grillkohlen.



Abb. 11: Leuchtendes Cerankochfeld



Abb. 12: Fühlen der Wärmestrahlung einer Heizplatte

Nicht jeder Körper strahlt im sichtbaren Bereich. Die Wärmestrahlung kann man aber fühlen, beispielsweise in der näheren Umgebung einer Heizplatte (siehe Abb 12).

#### 2. Mit der Strahlung ist ein Transport von Energie verbunden.

Wärmestrahlungsquellen geben Energie in Form elektromagnetischer Strahlung ab. Trifft die Strahlung auf einen Körper, wird diese zum Teil absorbiert und in innere Energie umgewandelt.

*Verankerung an Alltagserfahrungen:*

Während eines Sonnenbades kann man sozusagen „Energie tanken“.



Abb. 13: „Energie tanken“ im Sonnenlicht

#### 3. Energie wird vom Sensor aufgenommen und löst ein Signal aus.

Verschiedene physikalische Effekte wandeln die Strahlung in elektrische Energie um. So ist es möglich, Temperaturen berührungslos zu messen und Bewegungen zu erfassen. Aus ihrem Alltag kennen Schüler Ohrthermometer und Bewegungsmelder. (Hier kommen Thermosäule und Pyroelektrika zum Einsatz.)

## Infobox zum pyroelektrischen Effekt

### Spontane Polarisation

In dielektrischen Werkstoffen kann aus drei Gründen eine spontane elektrische Polarisation auftreten:

- Verschiebung der Elektronenwolken gegenüber den Atomrümpfen (Elektronenpolarisation)
- Versatz von Ionen (Ionenpolarisation)
- Orientierung permanenter elektrischer Dipole

Die Polarisation wird von Kompensationsladungen an der Oberfläche und in ihrer näheren Umgebung nach außen hin abgeschirmt. Aus diesem Grund sind im stationären Zustand keine Spannungen messbar.

### Der pyroelektrische Effekt

Die Polarisation ist temperaturabhängig. Bei Polarisationsänderungen treten Oberflächenladungen auf, die nicht sofort durch freie Ladungsträger kompensiert werden. Die Folge ist eine elektrische Spannung (pyroelektrischer Effekt). Sie ist nur solange messbar, bis Kompensationsladungen das elektrische Feld nach außen hin wieder neutralisieren. So können nur Temperaturänderungen oder wechselnde Strahlungsverhältnisse erfasst werden.

Wichtige Vertreter pyroelektrischer Kristalle sind Turmalin, Triglycinsulfat (TGS) und dotiertes Triglycinsulfat (DTGS).

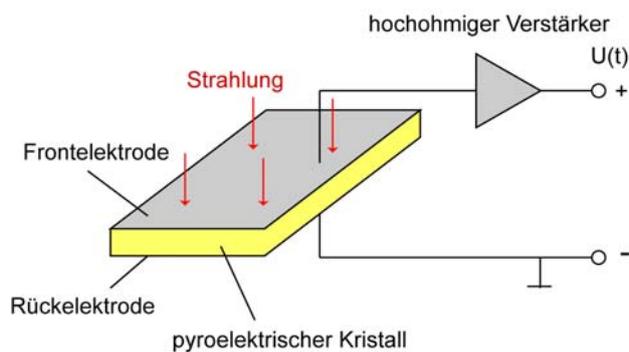


Abb. 14: Aufbau eines pyroelektrischen Sensors

### Aufbau als Dualsensor

Hierbei werden in einem Sensor zwei antiparallel geschaltete pyroelektrische Kristalle verwendet. Bei einer Änderung der Außentemperatur oder Strahlung, z. B. durch eine vorbeiziehende Wolke, kompensieren sich die Signale, weil beide Sensoren entgegengesetzte Signale ausgeben. Vorbeilaufende Personen führen dagegen zu aufeinander folgenden Änderungen an den Sensoren und damit zu einem Signal (siehe Abb. 15).

Dualsensor

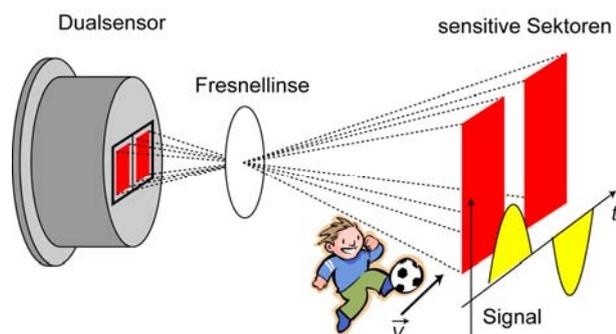
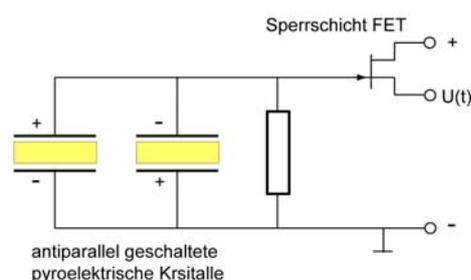


Abb. 15: Links: Schaltbild eines pyroelektrischen Dualsensors. Rechts: Sektorenaufteilung eines Dualsensors.

### Informationskasten: Strahlungsthermometer / Pyrometer

Strahlungsthermometer / Pyrometer erfassen berührungslos die Oberflächentemperatur von Objekten. Grundlage dafür ist die temperaturabhängige spektrale Verteilung der Strahlung von Körpern. Sie wird beschrieben durch das Plancksche Strahlungsgesetz. Eine Orientierung, wo das Maximum der Strahlungsdichte liegt, gibt das Wienschen Verschiebungsgesetz. Danach hat beispielsweise eine Person mit einer Oberflächentemperatur von 30 °C ein Strahlungsmaximum

bei

$$\lambda_{\max} = \frac{2900}{T} \mu\text{m} = 9,57 \mu\text{m}$$

Für glühende Körper gehen die Emissionen bis in den sichtbaren Wellenlängenbereich. Hier kommen Si- und Ge-Fotodioden zum Einsatz. Um Lebewesen mit Strahlungen im Bereich von 10 μm zu detektieren, verwendet man vor allem pyroelektrische Sensoren, Thermosäulen oder Bolometer. Diese sog. "thermischen Detektoren" erwärmen sich aufgrund auftreffender Strahlungsenergie und nutzen temperaturabhängige Effekte. Ihre Nachweisempfindlichkeit ist nahezu unabhängig von der Wellenlänge und sie können als "schwarze Empfänger" aufgefasst werden.

Infrarotsensoren können in Quanten- und thermische Detektoren eingeteilt werden. Quantendetektoren nutzen die Energielücke in Halbleitermaterialien. Solche photoelektrischen Detektoren sind wellenlängenselektiv und haben sehr kurze Reaktionszeiten (einige μs). Im Vergleich dazu haben die thermischen IR-Detektoren relativ lange Einstellzeiten (von 0,1 s bis 1 s).

Die Strahlung wird über eine Optik gebündelt, die für den Infrarotbereich ausgelegt ist. Linsen aus Glas oder Quarz eignen sich nur für Wellenlängen vom sichtbaren Bereich bis zu ca. 3 μm. Calciumfluorid wird bis ca. 10 μm verwendet, Germanium und Silizium zwischen 2 und 20 μm und ein Mischkristall aus TlI<sub>3</sub> und TlBr<sub>3</sub> (KRS-5) von 1 bis 40 μm. [4]

#### *Emissionsgrad berücksichtigen*

Das Plancksche Strahlungsgesetz gilt nur für den idealen schwarzen Strahler. Die Abweichung eines realen Temperaturstrahlers vom schwarzen Körper wird durch den Emissionsgrad beschrieben. Dieser gibt das Verhältnis der abgestrahlten Leistung eines beliebigen Körpers zur abgestrahlten Leistung eines Schwarzen Strahlers gleicher Temperatur an. Der Emissionsgrad ist materialabhängig. Außerdem kann er sich für bestimmte Materialien mit der Wellenlänge, der Temperatur oder anderen physikalischen Größen ändern.

Nichtmetalle haben meist einen Emissionsgrad um 0,90. Bei Metallen liegt er aber deutlich niedriger (siehe z. B. [5], [6]). Dies ist bei Temperaturmessungen zu berücksichtigen.

Die einfachste Methode ist die Messfläche mit einem Lack oder Grafik-Spray zu besprühen oder mit einer Folie zu bekleben, deren Emissionsgrad bekannt ist. (Siehe auch VDI-Richtlinie 3511, Blatt 4.)