

ITWissen

Das große Online-Lexikon
für Informationstechnologie

Glossar

Sensoren

- **ALS, ambient light sensor**
- **AMR, anisotropic magneto-resistive**
- **Anwesenheitssensor**
- **Dehnungsmessstreifen**
- **Feldplatte**
- **Fotodiode**
- **Fototransistor**
- **Fotowiderstand**
- **Funksensor**
- **GMI, giant magnetic-inductance**
- **GMR, giant magneto-resistive**
- **Gyrosensor**
- **Hall-Effekt**
- **Heißleiter**
- **Hysterese**
- **Kaltleiter**
- **Kapazitiver Sensor**
- **Lorentzkraft**
- **Magnetfeldsensor**
- **Peltierelement**
- **Photoeffekt**
- **Piezo-Effekt**
- **PLCD, permanentmagnetic linear contactless displacement**
- **PMD, photonic mixer device**
- **Pt100-Sensor**
- **RTD, resistance temperature detector**
- **Seebeck-Effekt**
- **Sensor**
- **Sensorfusion**
- **Thermistor**
- **Thermoelement**
- **TMR, tunneling magneto-resistive**
- **Ultraschall-Sensor**
- **Wirkungsgrad**
- **XMR, X-magneto-resistive**

ALS, ambient light sensor

Unter dem Aspekt der Energieeinsparung und des Energiemanagements wurden diverse technische Verfahren entwickelt mit denen einzelne Computer-Komponenten in einen energiesparenden Modus geschaltet oder ganz abgeschaltet werden. ACPI ist ein solches Konzept für das Power Management in Personal Computern. Es hat neben diversen Sparmodi auch eine Funktion mit der die Helligkeit von Displays an das Umgebungslicht angepasst wird. Das Konzept arbeitet mit einem Ambient Light Sensor (ALS), was nichts anderes ist als ein helligkeitssensitiver Sensor, ein *Fotowiderstand* oder eine *Fotodiode*.

Displays gehören zu den Komponenten, die am meisten Energie verbrauchen. Deswegen passt das ALS-Konzept die eingestellte Helligkeit und Farbtemperatur von Displays an die Umgebungshelligkeit an. Ist das Display einer größeren Beleuchtungsstärke ausgesetzt, muss die Display-Helligkeit größer sein, in dunkleren Räumen hingegen kann die Helligkeit reduziert

werden, will man den gleichen Helligkeitseindruck haben. Das in ACPI benutzte ALS-Konzept berücksichtigt nicht nur die Helligkeit sondern auch die Farbtemperatur und hat eine Referenzkurve auf der verschiedene Umgebungsbeleuchtungen in Referenzpunkten eingestellt werden können: Tageslicht, Bürobeleuchtung, Konferenzraum-Beleuchtung.



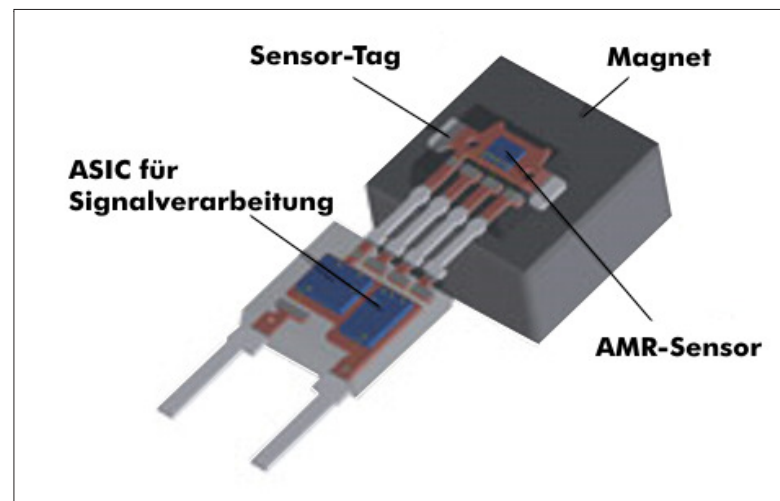
HP-Notebook mit Ambient Light Sensor (ALS)

AMR, anisotropic magneto-resistive

AMR-Sensor

Es gibt verschiedene Verfahren mit denen der Widerstandswert von leitenden Materialien unter Einfluss eines Magnetfelds beeinflusst werden kann. Diese Effekte, die unter dem Oberbegriff *X-Magneto-Resistive* (XMR) zusammengefasst sind, werden in *Magnetfeldsensoren* umgesetzt.

Anisotropic Magneto-Resistive (AMR) nutzt den Effekt, dass sich der Widerstandswert von magnetisch hochpermeablen Metalllegierungen durch die Richtung des Magnetfeldes ändert. Diese Legierungen wie Permalloy oder Mu-Metall haben eine Materialstruktur bei der der elektrische Widerstand richtungsgebunden, also anisotrop ist. Wird die mäanderförmig angeordnete Legierung mit einem Magnetfeld durchsetzt, ändert sich dessen Widerstandswert abhängig vom Winkel zwischen der Magnetisierung und dem Richtungsvektor des Widerstands. Wird das Material in der magnetischen Sättigung betrieben, ist die



AMR-Sensor, Grafik: my-ftm.com

Widerstandsänderung allein abhängig von der Ausrichtung der Materialstruktur in Relation zum Magnetisierungswinkel. Der Widerstandswert ändert sich mit dem Quadrat der Magnetfeldstärke. Der AMR-Effekt funktioniert auch bei hohen Frequenzen bis in den Gigahertz-Bereich. Ein auf dem AMR-Effekt basierender Magnetfeldsensor eignet sich somit ideal für die Messung von Winkeländerungen. Neben dem AMR-Effekt gibt es andere magneto-resistive Effekte, die in Festplatten eingesetzt werden.

Anwesenheitssensor *occupancy sensor*

Die Konzepte der Gebäudeautomatisierung berücksichtigen für die Alarmauslösung und die Automatisierung Bewegungs- und Anwesenheitssensoren. Nicht zuletzt leisten sie einen wesentlichen Beitrag zur Energieeinsparung.

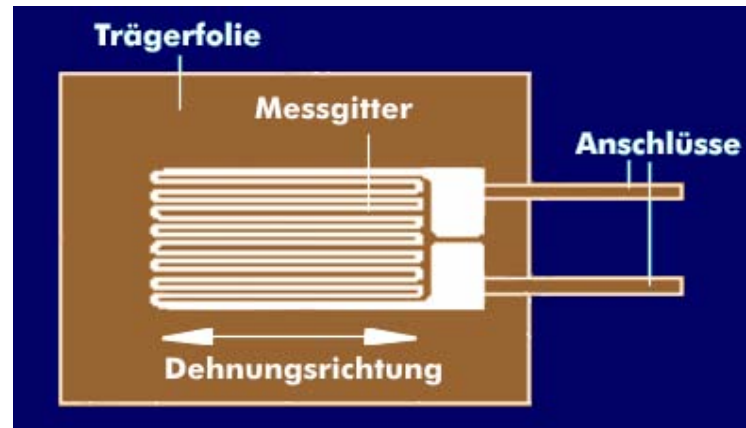
Der Anwesenheitssensor stellt fest, ob sich jemand in einem Raum oder im Umkreis eines Objektes befindet. Ein solcher *Sensor* muss sich bewegende und sich nicht bewegende Personen erkennen können. Entsprechend sind auch die technischen Ansätze: Infrarot und Ultraschall.

Während die Infrarot-Sensoren anhand der Infrarotstrahlung feststellen, ob sich eine Person in einem Raum aufhält, arbeiten die Ultraschall-Sensoren nach einem Vergleichsverfahren. Sie vergleichen das aktuelle mit dem charakteristischen Raumecho. Neben der klassischen Messgröße, die aussagt, ob sich jemand im Raum befindet, wird bei diesem Ansatz eine integrale Größe für die Bewegungsaktivität berechnet.

Bei den Infrarotsystemen gibt es Entwicklungen, die mit Sensor-Arrays arbeiten und feststellen können, ob eine Person sitzt, steht oder liegt. Bei dieser Technik werden störende Einflüsse von den Heizkörpern ebenso eliminiert, wie der Tag-Nacht-Einfluss. Entsprechende Systeme arbeiten mit Bilddatenerfassung und benutzen die gewonnenen Daten zur Steuerung von Beleuchtung und Heizung.

Dehnungsmessstreifen, DMS *strain gauge*

Ein Dehnungsmessstreifen (DMS) ist ein *Sensor*, dessen Widerstandswert sich mit der Ausdehnung ändert. Die Widerstandsänderung ist auf die minimale Veränderung der Leitungsstruktur im Falle der Dehnung zurückzuführen. Wird der Leiter in Längsrichtung gedehnt, wird die Leiterstruktur dünner und länger, was zu einem höheren Widerstand führt. Diese minimale Widerstandsänderung ist es, die als Messwert dient. Um die Empfindlichkeit von Dehnungsmessstreifen zu erhöhen sind sie mäanderförmig aufgebaut, wodurch der Leiter



Aufbau eines Dehnungsmessstreifens



Dehnungsmessstreifen, Foto: telemotorix.de

insgesamt länger wird.

Dehnungsmessstreifen werden in Drucksensoren eingesetzt, sie sind aus Metall oder Halbmateriale, vorwiegend aus Silizium und Germanium, und haben einen relativ geringen Widerstand von einigen hundert Ohm, typische 100 Ohm bis 350 Ohm. Die Widerstandsänderung liegt bei etwa 0,1 bis 0,3 Ohm.

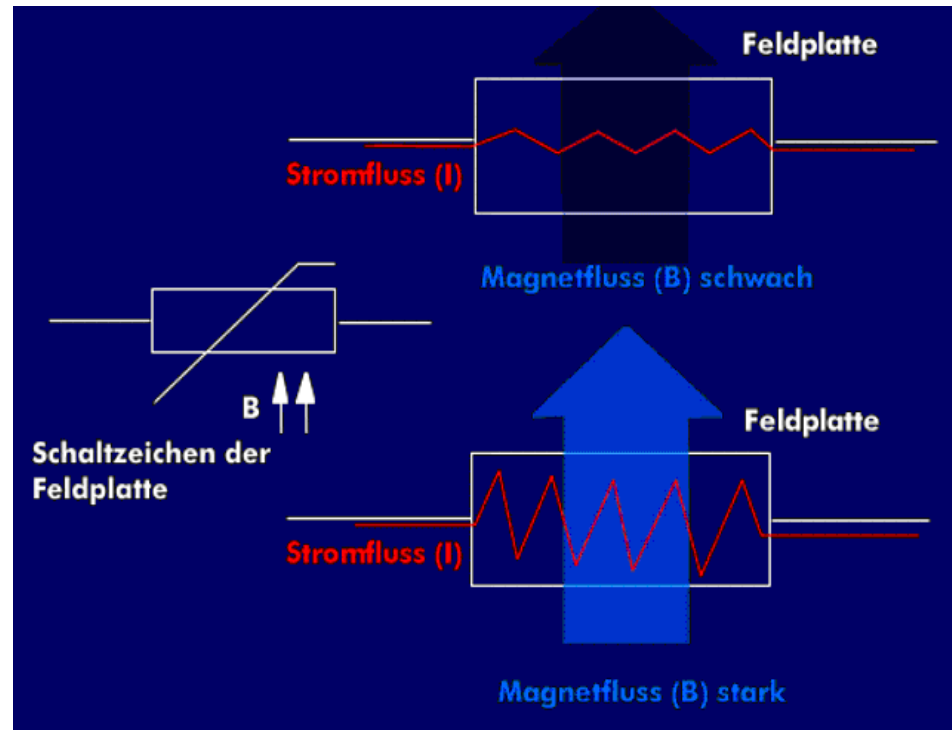
Die Halbleiter-Dehnungsmessstreifen haben gegenüber den metallischen eine vielfach höhere Empfindlichkeit, allerdings auch eine schlechtere Temperaturstabilität. Sie werden auf die zu überwachenden Teile geklebt und verändern mit der Ausdehnung ihren Widerstand. Zur Erfassung der relativ geringen Widerstandsänderungen werden

sie in Brückenschaltung wie der Wheatstone-Brücke geschaltet und die Spannungsdifferenzen in nachgeschalteten Differenzverstärkern verstärkt. Dehnungsmessstreifen können bei langsamen Vorgängen bis in den kHz-Bereich eingesetzt werden.

Ein Magnetic Dependent Resistor (MDR) ist ein magnetisch-sensitives Bauteil dessen Widerstandswert vom magnetischen Fluss abhängt, der ihn durchdringt. Der Effekt heißt Gauß-Effekt und tritt dann auf, wenn ein stromführender Leiter senkrecht in ein Magnetfeld

Feldplatte

MDR, magnetic dependent resistor



Funktion und Schaltzeichen der Feldplatte (MDR)

Indiumantimonid (InSb) mit Nickelantimonid (NiSb) sind solche Materialien, die als Halbleiter einen ausgeprägten Gauß-Effekt aufweisen. In der Indium-Schicht befindet sich als leitendes Material Nickelantimonid, das den Strom unter Einfluss eines magnetischen Feldes ablenkt und dadurch den Weg durch das Halbleitermaterial verlängert. Steigt die magnetische Flussdichte (B), erhöht sich somit der Widerstandswert.

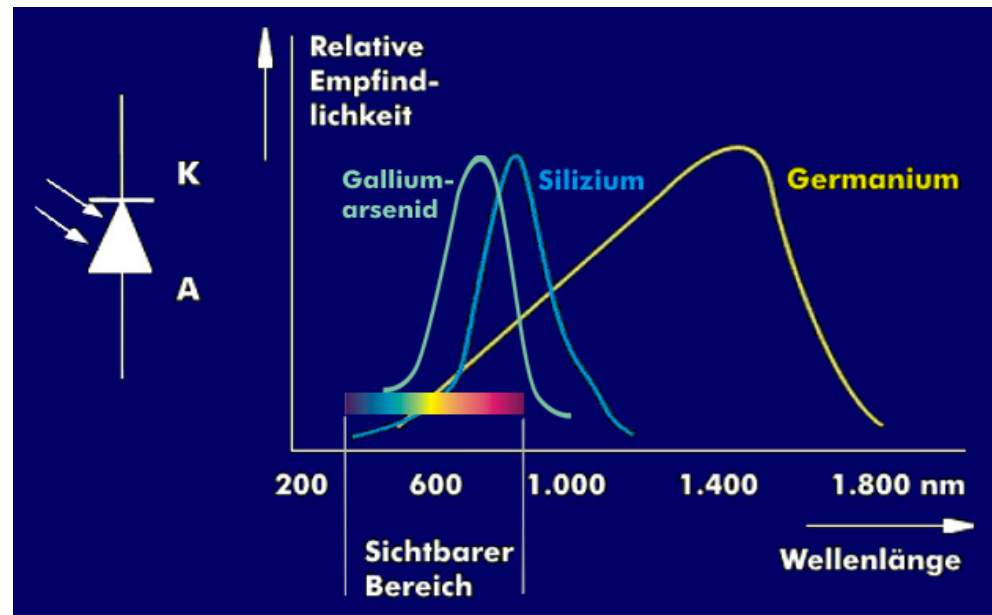
Feldplatten können Widerstandswerte von wenigen Ohm bis hin zu einigen Kilo-Ohm haben.

eindringt. Dabei versucht das magnetische Feld die Ladungsträger von ihrer Bahn durch den Leiter abzulenken. Der Strompfad durch den Leiter verengt sich, was zur Folge hat, dass sich der leitende Querschnitt verringert und sich der elektrische Widerstand erhöht. Der Gauß-Effekt tritt bei allen Materialien in unterschiedlicher Stärke auf. Daher kommen in MDRs, als Feldplatte bekannt, solche Materialien zum Einsatz, in denen der Gauß-Effekt besonders ausgeprägt ist.

Fotodiode *photo diode*

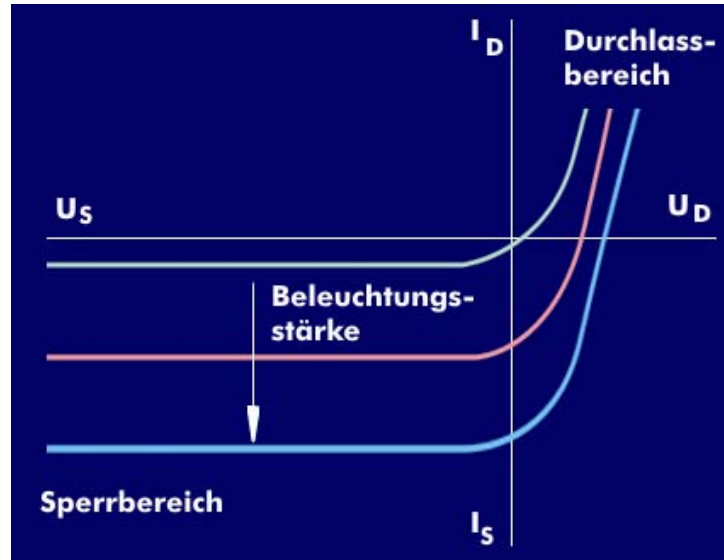
Fotodioden sind *Sensoren* die Licht in elektrische Energie umwandeln. Es handelt sich um Bauelemente der Optoelektronik, die als Germanium- oder Siliziumdioden in Sperrrichtung betrieben werden und auf dem *Photoeffekt* basieren. Zwischen den beiden dotierten Halbleiterschichten (P und N) befindet sich ein undotierter Bereich.

Aus diesem werden bei Lichteinfall durch den lichtelektrischen Effekt freie Elektronen aus der atomaren Struktur herausgerissen, deren Anzahl von der Lichtintensität abhängt. Der Sperrstrom ist abhängig von der Beleuchtungsstärke (I_x): Je höher die Beleuchtungsstärke, desto höher der Sperrstrom. Der Sperrstrom ist weitestgehend unabhängig von der angelegten Sperrspannung. Bei der Fotodiode unterscheidet man zwischen dem Sperrbetrieb, bei dem der



Kennlinien von Fotodioden aus Silizium und Germanium

Sperrstrom proportional der Spannung abfällt am Arbeitswiderstand proportional der Beleuchtungsstärke ist, und dem Elementarbetrieb, der sich durch eine hohe Temperaturunabhängigkeit auszeichnet. Im Gegensatz zum *Fotowiderstand* haben Fotodioden eine wesentlich geringere Trägheit und können Signale im Nano- und Mikrosekunden-Bereich schalten. Die



Kennlinienfeld von Fotodioden mit Kennlinie für die Beleuchtungsstärke (I_x)

Schaltgeschwindigkeit hängt von der Sperrspannung ab, je höher diese ist, desto kürzer werden die Schaltzeiten. Das hängt damit zusammen, dass bei Erhöhung der Sperrspannung die Kapazität der Sperrschicht geringer wird.

Die spektrale Empfindlichkeit von Fotodioden hängt vom verwendeten Halbleitermaterial ab. Bei Selen (Se) liegt die höchste spektrale Empfindlichkeit bei 500 nm bis 600 nm, bei Galliumarsenid (GaAs) bei 700 nm bis 800 nm, bei Silizium (Si) zwischen 800 nm bis 900 nm und bei Germanium bei etwa 1.400 nm, also bei Infrarot. Daher werden diese

Bauelemente speziell in der Infrarottechnik eingesetzt.

Beispiele für Fotodioden sind die kostengünstigen PIN-Dioden und die empfindlichere APD-Dioden. Fotodioden finden ihren Einsatz in Lichtschranken, Fernbedienungen und in der Lichtmessung, sie werden in optischen Übertragungssystemen und in Solarzellen eingesetzt.

Fototransistor *photo transistor*

Der Fototransistor basiert ebenso wie die *Fotodiode* auf dem *Photoeffekt*. Dieser Effekt bewirkt, dass sich die Eigenschaften einer Halbleiterstrecke bei Lichteinfall durch das Aufprallen von Photonen ändern. Es handelt sich dabei um die Kollektor-Basis-Strecke, die als Fotodiode fungiert und den Basisstrom für den Fototransistor erzeugt. Dieser wird von der Stromverstärkung des Transistors verstärkt.



Fototransistor und -Schaltzeichen, Foto: Kingbright

Der Fototransistor hat dadurch gegenüber der Fotodiode eine wesentlich höhere Empfindlichkeit. Allerdings ist die Trägheit höher als die der Fotodiode, wodurch der Fototransistor nur bei Anwendungen mit niedriger Pulsfrequenz eingesetzt werden kann. Die Anstiegszeiten des Fototransistors liegen je nach Lastwiderstand

zwischen 1 μs und 100 μs .

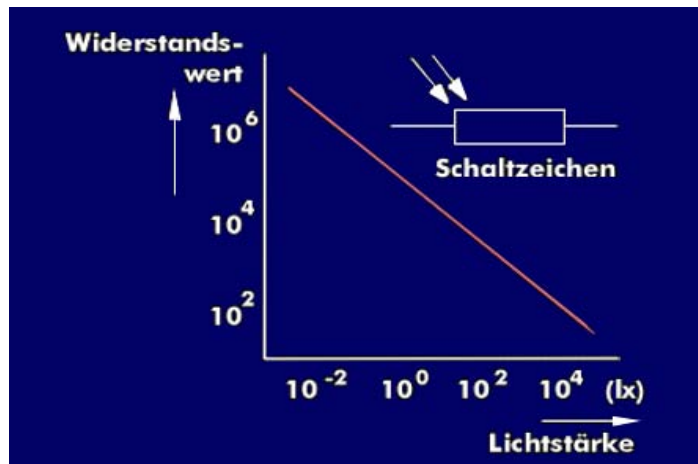
Die spektrale Empfindlichkeit ist vergleichbar der der Fotodiode, d.h. dass Fototransistoren aus Germanium ihr Maximum bei etwa 1.500 nm haben, solche aus Silizium bei etwa 800 nm. Beide Wellenlängen liegen im Infrarotbereich und damit oberhalb der sichtbaren Wellenlängen. Die Empfindlichkeitskurve ist abhängig davon aus welchem Material das Transistorgehäuse besteht. Ein transparentes Gehäuse hat eine breitere Empfindlichkeitskurve als ein schwarzes Epoxy-Gehäuse. Die maximale Empfindlichkeit liegt bei Infrarot im Wellenlängenbereich bei ca. 850 nm.

Fotowiderstand

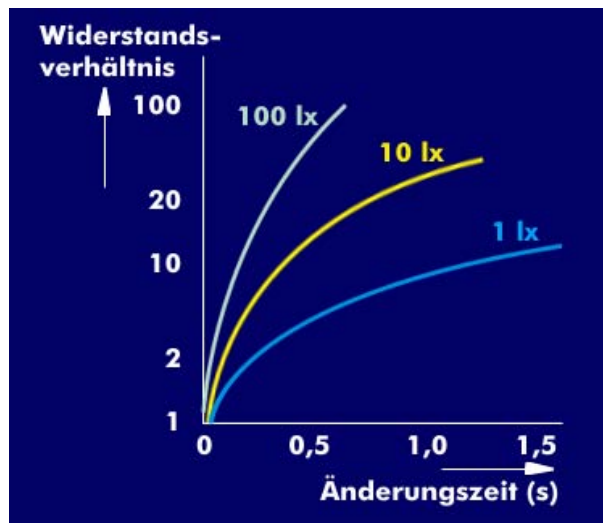
LDR, light dependent resistor

Fotowiderstände (LDR) sind Halbleiterbauelemente der Optoelektronik, deren Widerstand sich bei Lichteinfall ändert. Als Halbleitermaterial werden u.a. im sichtbaren Lichtbereich Cadmiumsulfid (CdS) und Selen benutzt, das als dünne Schicht mäanderförmig zwischen die kammförmigen Leiterbahnen gelegt wird. Bei Lichteinfall erhöht das Cadmiumsulfid durch verstärkte Loch-Elektronen-Bildung den elektrischen Strom.

Da es sich bei Fotowiderständen um Widerstände handelt, können sie in beiden Richtungen betrieben werden und steuern über den Lichteinfall den Stromfluss durch Veränderung des Widerstandswertes. Steigt der Lichteinfall, sinkt der Widerstandswert. Der Dynamikbereich



Widerstands-Licht-Kennlinie eines Fotowiderstands



Widerstandsänderung eines Fotowiderstands in Abhängigkeit von der Beleuchtung

des Widerstandswertes kann durchaus zwei bis drei Zehnerpotenzen umfassen, also beispielsweise zwischen einigen Ohm und Mega-Ohm liegen.

Die Lichtempfindlichkeit entspricht bei den Standard-Fotowiderständen dem Bereich der sichtbaren Wellenlängen, das Maximum liegt bei etwa 600 nm, also im gelborangen Bereich. Es gibt aber auch spezielle Ausführungen die ihre höchste Empfindlichkeit bei Infrarot haben. Darüber hinaus haben diese Bauelemente eine

nicht zu vernachlässigende Trägheit.

Bei einem LDR sind zwei Kupferkämme auf einer isolierten Unterlage angebracht. Dazwischen liegt eine dünne Cadmiumsulfid-Schicht (CdS) in Form eines gewundenen Bandes. Cadmiumsulfid ist ein Halbleitermaterial, bei dem die elektrische Leitfähigkeit von der einfallenden Lichtmenge abhängt. Je mehr Licht auf die CdS fällt, desto größer ist die Paarbildung (Rekombination zwischen Löchern und Elektronen), desto größer ist auch der elektrische Strom.

Fotowiderstände können in Abhängigkeit von dem Material einen Dunkelwiderstand zwischen 1 Mega-

Ohm und 100 Mega-Ohm haben, der bei Beleuchtung mit 1.000 Lux (lx) auf unter 100 Ohm bis 1 Kilo-Ohm fallen kann. Die Veränderungsgeschwindigkeiten liegen im Millisekunden-Bereich, pro Sekunde kann sich der Widerstandswert um einige hundert Kilo-Ohm verändern. Fotowiderstände werden u. a. in Dämmerungsschaltern eingesetzt.

Weitere Halbleitermaterialien für Fotowiderstände sind z. B. Cadmiumselenid (CdSe), Bleisulfid (PbS), Bleiselenid (PbSe), Cadmiumtellurid (CdTe), Zinkoxid (ZnO), Selen (Se), Indiumantimonid (InSb), Indiumarsenid (InAs), Germanium (Ge) oder Silizium (Si).

Funksensor

radio sensor

Funksensoren sind drahtlos arbeitende *Sensoren*, die mit einem Funkmodem ausgestattet sind. Bei Funksensoren, die in der Regel mit eigener Stromversorgung arbeiten, ist der Stromverbrauch im Ruhemodus ein wichtiger Parameter, der einen unmittelbaren Einfluss auf die Batterielevensdauer hat. Durch entsprechende Energiespartechniken können Funksensoren mit ZigBee mehrere Jahre mit einer Batterie arbeiten.

Neben den batteriebetriebenen Funksensoren gibt es noch die batterielosen. Diese Sensoren basieren auf Energy Harvesting und beziehen ihre Energie durch den Tastendruck.

Für die Übertragung stehen die lizenzfreien ISM-Bänder zwischen 315 MHz und 434 MHz, 868 MHz und 870 MHz (SRD), 902 MHz und 926 MHz und 2,400 GHz und 2,4835 GHz zur Verfügung. Die Frequenzbänder bis 434 MHz und zwischen 868 MHz und 870 MHz werden vorwiegend in Europa benutzt und eignen sich für mittlere Übertragungsdistanzen in Gebäuden. Das 2,4-GHz-Band kann mit geringer Leistung über kurze Distanzen von einigen Metern benutzt werden.

GMI, giant magnetic-inductance

Neben den diversen magnetisch-resistiven Effekten, die in *Magnetfeldsensoren* eingesetzt werden, gibt es mit dem Giant Magnetic-Inductance (GMI) auch einen magnetisch-induktiven

Effekt.

Der GMI-Effekt tritt bei Drähten auf, deren Oberfläche mit einem magnetischen Material beschichtet ist, dessen Magnetisierungsrichtung ringförmig um den Draht verläuft. Wird ein solcher Draht mit einem in Längsrichtung verlaufenden Magnetfeld belegt, ändert sich der magnetische Fluss in der Beschichtung und führt bei hohen Frequenzen durch die Beeinflussung des Skineffekts zu einer Änderung der Induktivität.

GMR, giant magneto- resistive

GMR-Effekt

Der GMR-Effekt ist ein magnetoresistiver Effekt, bei dem sich der Widerstandswert eines metallischen Dünnschichtsystems in Abhängigkeit von der magnetischen Feldstärke ändert. Im Unterschied zu anderen magnetoresistiven Verfahren wird beim Giant Magneto-Resistance-Effekt (GMR) der Elektronen-Spin-Effekt in einem ultradünnen Schichtsystem ausgenutzt, der die Leitungsmechanismen verändert. Das Dünnschichtsystem besteht aus verschiedenen dünnen Schichten aus weichmagnetischem, unmagnetischem, metallischem und hartmagnetischem Material. Die Ausrichtung zwischen der weich- und hartmagnetischen Schicht ist entscheidend für den Widerstandswert, der sich mit der Winkeländerung des magnetischen Feldes ändert. Die Widerstandsänderung ist dann am größten, wenn die magnetischen Schichten in entgegengesetzter Richtung magnetisiert sind.

Der GMR-Effekt wird in feldstärkegesteuerten *GMR-Sensoren* genutzt, die in der Automation und Automotive-Technik eingesetzt werden. In Festplatten nutzt man den GMR-Effekt zur Erhöhung der Speicherdichte. Da die GMR-Schichten unter magnetischem Einfluss eine hohe Widerstandsänderung aufweisen, kann in den Schreib-/Leseköpfen ein vergleichsweise starkes Lesesignal erzeugt werden. Bedingt durch die höhere Empfindlichkeit des GRM-Sensors gegenüber anderen Schreib-/Leseköpfen kann die Speicherdichte um etwa 20 % gegenüber klassischen Festplatten auf ca. 100 GB/qinch erhöht werden. Dies nutzt man vor allem beim

Perpendicular-Recording.

Neben dem beschriebenen GMR-Effekt gibt es weitere magnetoresistive Effekte, die alle unter dem Oberbegriff *X-Magneto-Resistive* (XMR) zusammengefasst sind.

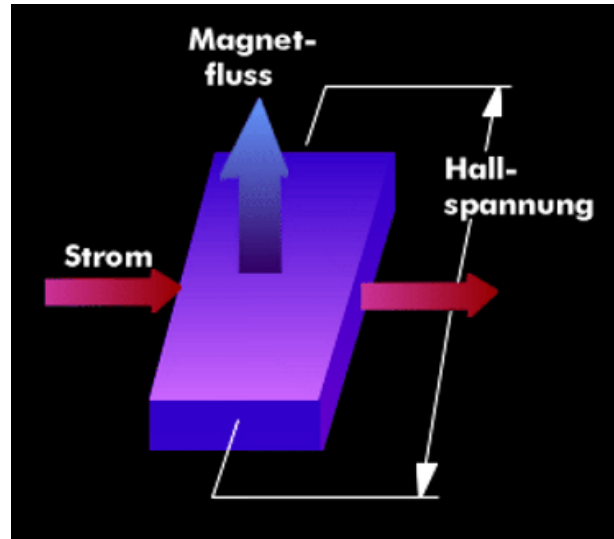
Gyrosensor *gyro sensor*

Ein Gyrosensor ist ein Beschleunigungs- oder Lagesensor, der auf kleinste Beschleunigungen, Drehbewegungen oder Lageänderungen reagiert. Das Prinzip des Gyrosensors basiert auf der Massenträgheit und wird u.a. in Fliehkraftreglern eingesetzt. Die von einem Gyrosensor erfassten Drehbewegungen werden in einer Spannungsänderung bezogen auf den Drehgeschwindigkeit angegeben: Millivolt pro Grad Drehbewegung pro Sekunde (V/Grad/s). Ein anderes Gyro-Verfahren wird in Navigationsgeräten in Autos verwendet. Es arbeitet nach dem *Piezo-Effekt*. Dabei werden zwei Piezo-Elemente durch Anlegen einer Spannung in Schwingungen versetzt. Bei Richtungsänderungen wirkt eine Kraft auf die Schenkel der Piezo-Elemente, wodurch sich diese verbiegen und eine Spannung generieren.

In der modernen Computertechnik werden Gyrosensoren in Digitalkameras, Smartphones und Tablet-PCs zur Lagestimmung eingesetzt, aber auch in Computerspielen, der Robotertechnik und in der Automotive-Technik um Fahrtrichtungsänderungen an das Navigationssystem zu übertragen. Sobald der Lagesensor eine neue Ausrichtung des Smartphones erkennt, schaltet er das Darstellformat von einem Quer- auf ein Hochformat oder umgekehrt. Dem Betrachter wird dadurch ohne sein Zutun die optimale Ausrichtung der Darstellung angeboten. Bekannte Beispiele in denen Gyrometer eingesetzt werden sind Apple's iPhone und verschiedene Tablet-PCs wie der iPad oder WebTab.

Um dem Spieltrieb auf diesen Geräten gerecht zu werden, gibt es einige Balance-Spiele, die auf dem Gyrosensor basieren.

Hall-Effekt Hall effect



Generierung der Hallspannung durch Magnetfluss und Stromfluss

Der Hall-Effekt ist ein nach dem amerikanischen Physiker Edwin Herbert Hall (1855 bis 1938) benannt und zeigt den magnetischen Einfluss auf stromführende Leitungen.

Das Phänomen des Hall-Effekts basiert auf der *Lorentzkraft*. Es tritt dann auf, wenn sich Ladungsträger bewegen und wenn senkrecht zur Bewegungsrichtung ein Magnetfeld anliegt. In diesem Fall wirkt auf die Ladungsträger eine Kraft, deren Richtung orthogonal sowohl zum Magnetfeld als auch zur Bewegungsrichtung der Ladungsträger ist. Durch die Lorentzkraft findet im Hall-Element eine Ladungsverschiebung statt. Daraus ergibt sich ein elektrisches Feld, welches auf die

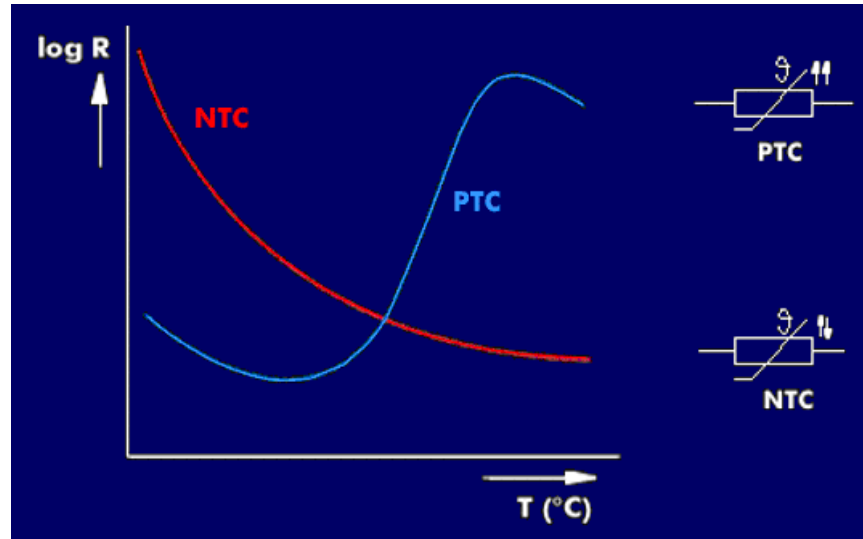
Ladungsträger eine Kraft ausübt, die der Lorentzkraft entgegenwirkt. Zwischen diesen beiden Kräften stellt sich ein Gleichgewicht ein.

Bringt man an den Längsseiten des Hall-Elementes Kontakte an, dann liegt an ihnen die Hallspannung. Die Höhe der Hallspannung ist proportional zur Lorentzkraft und ein Maß für die Dichte des magnetischen Flusses.

Der Hall-Effekt wird u.a. in *Sensoren* eingesetzt, so in Strommess-Sensoren, bei denen das Hall-Element so nahe wie möglich an das Magnetfeld gelegt wird, und in kontaktlosen Bewegungssensoren wie dem IMC-Hall-Sensor. Außerdem werden Hall-Elemente zur Untersuchung von Halbleitermaterialien benutzt.

Heißeleiter

NTC, negative
temperature coefficient



Kennlinien von NTC- und PTC-Thermistoren

Galliumarsenid (GaAs). Es handelt sich um hochempfindliche Bauelemente, die auf kleinste Temperaturschwankungen reagieren, kurze Reaktionszeiten haben und als thermischer Schutz zur Begrenzung des Einschaltstromstoßes in Motoren, Netzteilen und anderen elektrischen und elektronischen Schaltungen eingebaut werden.

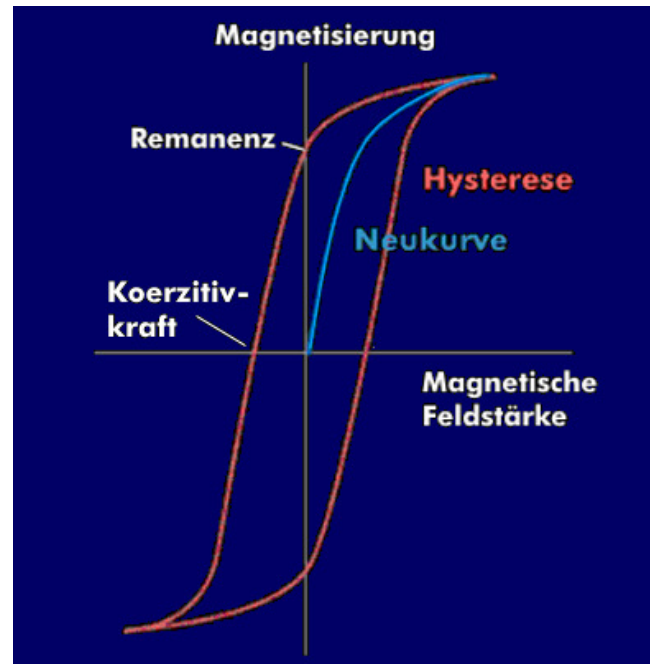
Die Widerstandswerte für NTC-Thermistoren liegen zwischen 1 Ohm und 1 Mega-Ohm, sie sind ausgelegt für Temperaturen zwischen - 50 °C und + 300 °C und haben Temperaturkoeffizienten von bis zu 5 %/°C.

Negative Temperature Coefficient (NTC) sind *Thermistoren* mit negativem Temperaturkoeffizient. Im kalten Zustand haben sie einen relativ hohen Widerstand, der sich bei Erwärmung durch Stromfluss nichtlinear verringert. Bei hohen Temperaturen ist der Widerstandswert sehr gering. NTC-Thermistoren sind Halbleiterbauelemente, sie bestehen vorwiegend aus Silizium (Si), Germanium (Ge) und

Hysterese

hysteresis

Ganz allgemein ist Hysterese ein Verharrungszustand, dessen Wirkung auch nach dem Wegfall der Energiezufuhr andauert. Hysteresen treten in vielen technischen Disziplinen auf, so im Magnetismus, in der Steuer- und Regelungstechnik, in elektronischen Schaltungen, bei



Hysteresekurve mit Neukurve eines ferromagnetischen Materials

Logiken, *Sensoren* oder dem Verharrungsvermögen von Flüssigkristallen.

Unter magnetischer Hysterese versteht man die magnetischen Eigenschaften eines ferromagnetischen Materials. Dabei werden die Elementarmagnete durch das Anlegen eines Magnetfelds ausgerichtet. Der Magnetisierungszustand von magnetischen Werkstoffen ist abhängig von der Stärke des angelegten Magnetfeldes. Diese Abhängigkeit ist nichtlinear und erreicht bei einer bestimmten magnetischen Feldstärke die Sättigung. Man spricht von der Magnetisierungskurve oder der Hysteresekurve, die den Zusammenhang zwischen Flussdichte und Feldstärke darstellt. Die erste Ausrichtung der Magneteilchen unterscheidet sich

von den weiteren dadurch, dass die ausgerichteten Magneteilchen einen Restmagnetismus, die so genannte Remanenz, behalten. Deshalb spricht man bei der Erstmagnetisierung von der Neukurve. Die Remanenz kann erst durch ein Gegenfeld von der Größe der Koerzitivkraft kompensiert werden.

Die Polarität des Magnetfeldes bestimmt die Ausrichtung der Magneteilchen. Eine Polaritätsumkehr hat eine Drehung der Magneteilchen um 180 Grad zur Folge. Das Phänomen der Hysterese wurde 1890 von Sir James Alfred Ewing erkannt.

Kaltleiter

*PTC, positive
temperature coefficient*

Kaltleiter sind wie *Heißeleiter* wärmeempfindliche, nichtlineare Widerstände mit positivem Temperaturkoeffizienten, was bedeutet, dass sich ihr Widerstandswert mit steigender Temperatur erhöht. PTCs (Positive Temperature Coefficient) werden auch als Kaltleiter bezeichnet, weil sie bei niedrigen Temperaturen den Strom besser leiten. PTC-*Thermistoren* gibt es in Widerstandswerten von 1 Ohm bis zu 100 Kilo-Ohm. Die Temperaturbereiche liegen zwischen -65 °C und + 200 °C und der Temperaturkoeffizient liegt bei bis zu 1 %/°C. Sie werden zur Temperaturkompensation in Netzteilen, Geräten und von elektronischen Bauelementen eingesetzt.

Kapazitiver Sensor

capacitive sensor

Kapazitive *Sensoren* basieren auf der Umwandlung ihrer Kapazität in eine andere physikalische Größe oder der daraus abgeleiteten Zeitkonstanten und Frequenzänderungen.



Kapazitiv arbeitender Hochleistungs-Sensor für Fingerabdrücke, Foto: Siemens

Ein einfaches Prinzip basiert auf der Änderung des Dielektrikums. Der Aufbau solcher Dielektrika-Sensoren ist denkbar einfach. Er besteht aus zwei Leiterbahnen, die nebeneinander auf einer Leiterplatte aufgebracht sind und eine Kapazität bilden. Das Medium zwischen den zwei Leiterbahnen hat eine Dielektrizitätskonstante, die nahe „1“ liegt. Taucht in das elektrische Feld des Kondensators ein anderes Material ein, dann verändert sich dessen Kapazität.

In der Praxis werden Dielektrika-Sensoren als

Füllstandsensoren in der Automotive-Technik, in berührungslosen Schaltern oder Einklemmschutz für elektrische Fensterheber eingesetzt. Kombiniert mit einem Sigma-Delta-Wandler detektiert der Sigma-Delta-Wandler statt einer Spannung eine unbekannte Kapazität. Das Verfahren nennt sich Capacity to Digital Converter (CDC).

Lorentzkraft

Jede elektrische Ladung „Q“, die in einem magnetischen Feld mit der magnetischen Flussdichte mit der Geschwindigkeit (v) bewegt wird, erfährt eine quergerichtete Kraft. Diese Kraft ist die Lorentzkraft. Die Lorentzkraft (F) ist das Produkt aus der magnetischen Flussdichte (B), der Geschwindigkeit (v) und der Ladung (Q): $F = B \times v \times Q$.

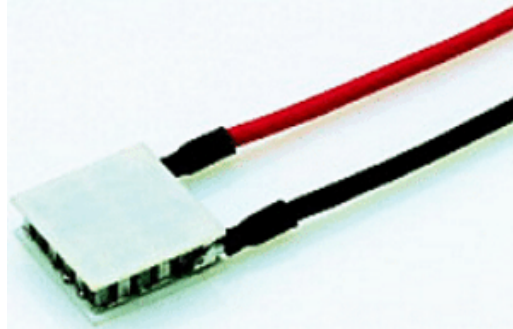
Magnetfeldsensor *magnetic field sensor*

Magnetfeldsensoren werden von Magnetfeldern aktiviert. Es sind magnetoresistive *Sensoren*, die den magnetischen Fluss oder die -feldstärke in eine elektrische Größe umsetzen. Da es sich bei diesen Sensoren um berührungslose, zuverlässige und verschleißfreie Sensoren handelt, die relativ preiswert hergestellt werden können, werden sie häufig für die Erfassung anderer physikalischer Größen eingesetzt: für Druck, Füllstand, Drehzahl, Strom, Drehbewegung, Richtungsänderungen u.a.

Zu den Magnetfeld-abhängigen Sensoren gehören u.a. die Hall-Sensoren und die *Feldplatten*, die allerdings bestimmte Einschränkungen im Temperaturbereich aufweisen und in der Herstellung relativ aufwändig sind. Daneben gibt es die Gruppe der magnetisch-resistiven Effekte, die unter der Bezeichnung *X-Magneto-Resistive* zusammengefasst sind: Anisotropic Magneto-Resistive (*AMR*), Giant Magneto-Resistive (*GMR*), Tunneling Magneto-Resistive (*TMR*), Colossale Magneto-Resistive (*CMR*) und *Extraordinary Magneto-Resistive* (*EMR*). Mit dem *Giant Magnetic-Inductance* (*GMI*) wird auch ein magnetisch induzierter Effekt ausgenutzt.

Peltierelement

Peltier element



Peltierelement für die Kühlung von CPUs, Foto: Conrad Electronic

Das Peltierelement ist ein Bauelement der Thermoelektrik, das Wärme von einer Elektrode zur anderen transportiert. Die beiden unterschiedlichen Halbleiter-Elektroden sind über Kupferdrähte miteinander verbunden. Der so genannte Peltier-Effekt, bei dem die eine Elektrode kalt und die andere heiß wird, entsteht bei Anlegen einer Spannung an die Elektroden, wobei die dotierten Halbleiter ihr Energieniveau ändern. Die kalte Elektrode, die Coldplate, nimmt dabei Wärme auf die zur heißen Elektrode, der Hotplate, transportiert und dort abgeführt wird. Die zur Hotplate transportierte Wärme kann durch Kühlkörper und Lüfter abgeführt werden.

Peltierelemente, die als eine Art Wärmepumpe fungieren, werden u.a. in der Computertechnik zur Kühlung von Bauelementen wie CPUs eingesetzt. Sie haben je nach Größe eine Stromaufnahme von mehreren Ampere und arbeiten mit Temperaturdifferenzen von ca. 60°C, und werden auch als Icecaps bezeichnet.

Zur Steuerung des Peltierelements werden *Thermistoren* eingesetzt, über die die Steuerspannungen für die Peltierelemente erzeugt werden.

Der Peltier-Effekt kann umgekehrt werden und aus Temperaturunterschieden Spannung erzeugen. Dieser Effekt wird in Thermogeneratoren genutzt.

Photoeffekt

photo effect

Der Photoeffekt ist ein physikalisches Phänomen, das erstmals 1839 von dem französischen Physiker A. E. Becquerel nachgewiesen wurde. Später wurde dieses Phänomen von den deutschen Physikern Heinrich Hertz und Wilhelm Hallwachs bestätigt. Daher spricht man auch vom Hallwachs-Effekt.

Der Photoeffekt ist ein lichtelektrischer Effekt bei dem aus metallischen Oberflächen Elektronen herausgelöst werden, und zwar bei Bestrahlen der Oberfläche mit Licht. Wird eine Oberfläche mit Licht bestrahlt, dann treffen Photonen auf sie und reißen Elektronen aus ihrem Verbund.

Arbeitete Hallwachs noch mit Zinkplatten, so wurde bei späteren Versuchen mit dem Halbleitermaterial Selen (Se) gearbeitet und noch später wurden Germanium (Ge) und Silizium (Si) benutzt. Mit dieser Technik konnten erstmals Fotozellen, später *Fotodioden* und *Fototransistoren* hergestellt werden.

Piezo-Effekt

piezoelectric effect

Bei bestimmten Kristallen, beispielsweise bei Turmalinen, Quarzen und Seignettesalzen bilden sich bei Druckbelastung auf der Oberfläche elektrische Ladungen. Dieses Phänomen wird mit dem griechischen Wort für Druck bezeichnet: Piezo.

Der Piezo-Effekt besagt, dass bei Deformation eines Quarzkristalls Ladungen erzeugt werden. Solche Deformationen können durch mechanische Beanspruchungen verursacht werden, durch Druck, Zug oder Torsion. Er wurde Ende des 19. Jahrhunderts von den Gebrütern Jacques und Pierre Curie entdeckt.

Der Effekt kann auch als inverser Piezo-Effekt umgekehrt werden, indem man durch Anlegen einer Spannung an einen Kristall diesen verbiegt. Die für den Piezo-Effekt benutzten Kristalle werden gezüchtet und in Richtung einer bestimmten Kristallstruktur geschnitten. Den normalen und den inversen Piezo-Effekt macht man sich u.a. in *Sensoren*, Mikrofonen, Piezo-Druckern, LWL-Schaltern, *Oberflächenwellenfiltern* und in der Konsumelektronik wie Feuerzeugen, als Schallgeber in Armbanduhren, Weckern oder Computern und in Tonabnehmern von Schallplattenspielern zunutze.

PLCD, permanentmagnetic linear contactless displacement

Permanentmagnetic Linear Contactless Displacement (PLCD) ist eine Technik, die in feldstärkegesteuerten *Sensoren* eingesetzt wird, ähnlich Anisotropic Magneto-Resistive (*AMR*) und Giant Magneto-Resistive (*GMR*).

Wie die anderen Techniken arbeitet auch die PLCD-Technik sättigungsinduziert. Ein PLCD-Element besteht aus einem weichmagnetischen Material, das in seiner Länge von einer Primärspule umgeben ist. Angesteuert wird das PLCD-Element durch einen Permanentmagneten, der das weichmagnetische Material an der Stelle in die Sättigung führt, an der der Permanentmagnet sich dem Material nähert. Die Position, an der die Sättigung erfolgt, wird durch Spulen an den Querseiten erfasst.

Da PLCD-Elemente im Sättigungsbereich betrieben werden, sind sie relativ unempfindlich gegen Feldstärkeschwankungen, Temperatureinflüsse auf das Magnetmaterial und gegenüber der Abstandsänderung des Permanentmagneten.

PMD, photonic mixer device

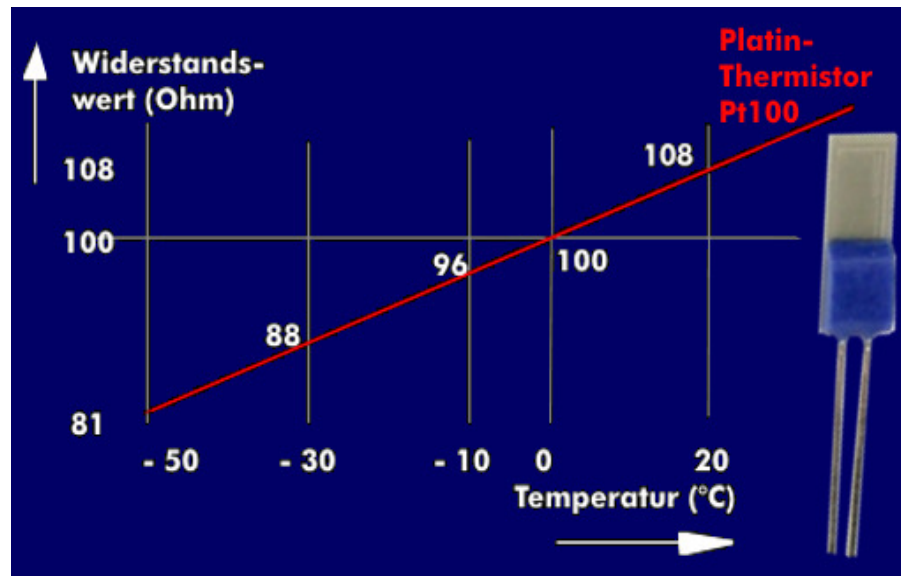
PMD-Sensor

Bekanntere optische Bildsensoren arbeiten ein- oder zweidimensional. Beispiele hierfür sind die verschiedenen O/E-Wandler, CCD-Sensor und CMOS-Sensor. In der Robotertechnik, der Mess- und Automatisierungstechnik und nicht zuletzt in der Automotive-Technik ist aber auch ein steigender Bedarf an dreidimensionalen Lichtsensoren. Der *PMD-Sensor* (Photonic Mixer Device) ist ein solcher Sensor, der neben den Helligkeitsinformationen auch die Entfernung von Objekten erfasst.

Wie beim Radar bestimmt ein PMD-Sensor über die Reflektion eines ausgesendeten Signals an einem Objekt, dessen Entfernung. Das vom PMD-Sender abgestrahlte, intensitätsmodulierte Licht oder Infrarotlicht beleuchtet dabei die zu vermessende Szene. Das zurückgestreute und um die Laufzeit verzögerte Lichtsignal trifft auf den PMD-Sensor. Das

empfangene Lichtsignal wird in einer PMD-Matrix als Ladungsbild entfernungsselektiv dargestellt.

Pt100-Sensor



Widerstandskennlinie und Pt100-Thermistor in Dünnschichttechnik

zwischen -200 °C und 850 °C eingesetzt. Pt100 gibt es in zwei Toleranzklassen: die Toleranzklasse „A“ mit einer höheren Genauigkeit und Reproduzierbarkeit als die Toleranzklasse „B“.

Die extrem lineare Widerstandsänderung ist in verschiedenen Standards festgelegt.

RTD, resistance temperature detector

Resistance Temperature Detektoren (RTD) sind *Thermistoren*, die aus einem Platindraht oder einer in Dünnschichttechnik auf ein Oxydplättchen aufgedampfte Platinschicht bestehen und

Der Pt100-Sensor ist ein *RTD-Element*, das als Widerstand einen Platindraht als Temperaturwandler benutzt und dessen Widerstandswert bei 0 °C 100 Ohm beträgt. Der Nomenklatur entsprechend heißen die weiteren Platin-Elemente mit 200 Ohm Widerstand Pt200, mit 500 Ohm Pt500 und mit 1 Kilo-Ohm Pt1000. Der Pt100 zeichnet sich durch eine hohe Linearität aus, es hat eine Empfindlichkeit von ca. 0.4 %/K und wird im Temperaturbereich

den positiven Temperaturkoeffizienten von Metallen, der sich bei steigender Temperatur durch einen höheren Widerstand bemerkbar macht, ausnutzen. Je höher die Temperatur, desto höher wird der elektrische Widerstand.

Die meisten RTD-Elemente verwenden Platin (*PRT*), das sich durch einen besonders hohe Linearität des Widerstandswertes auszeichnet. Die Messgenauigkeit dieser Temperaturfühler ist durchaus besser als $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Damit diese Elemente Ansprechzeiten von Bruchteilen einer Sekunde aufweisen, sind die Platin-Elemente extrem klein und haben eine geringe Wärmekapazität. Bei Messfühlern sind die RTD-Elemente in verkapselten Tastköpfen untergebracht. Neben Platin kommen als weitere Metalle Kupfer, Nickel und Eisen-Nickel- und andere Legierungen zum Einsatz.

Um Messfehler durch Anschlussdrähte zu minimieren, werden spezielle Schaltungen mit drei oder vier Anschlussdrähten in Brückenkonfiguration benutzt.

Material	Temperaturbereich (°C)	Bemerkungen
Platin	-260 bis 1.000	angewendet < 550 °C
Kupfer	-200 bis 260	
Nickel	-200 bis 430	keine gute Linearität
Balco 70 % Ni, 30 % Fe	-100 bis 230	keine gute Linearität, hoher Widerstand
Tungsten	-100 bis 1.200	

Temperaturbereiche verschiedener RTD-Materialien

Der Temperaturbereich für RTD-Elemente liegt zwischen -260°C und $+1.000^\circ\text{C}$. RTD-Thermofühler sind kommerziell für Widerstandsbereiche zwischen 10 Ohm und 25 Kilo-Ohm verfügbar. Allgemein gebräuchlich sind RTD-Elemente mit 100 Ohm, 200 Ohm und 1 Kilo-Ohm aus dehnungsfreiem Platin.

Generell kann festgestellt werden, dass, je höher der Widerstand ist, desto geringer ist der Einfluss der Anschlussdrähte und der Schaltkreise.

Seebeck-Effekt

Der Seebeck-Effekt ist ein thermoelektrischer Effekt. Er ist benannt nach dessen Erfinder Thomas Johann Seebeck, der den Effekt 1821 entdeckte. Der Seebeck-Effekt besagt, dass zwei Kontaktstellen aus verschiedenen Metallen oder Halbleitern dann eine Spannung generieren, wenn sie an unterschiedliche Temperaturen liegen. Mit diesem Effekt der Thermoelektrik hatte Seebeck die Thermospannung entdeckt und gleichzeitig das erste Thermoelement. Der Effekt basiert darauf, dass ein Wärmestrom vom wärmeren zur kälteren Kontaktstelle fließt. Die Ladungsträger für den Wärmetransport verteilen sich längs der Leiter. Durch die innere Feldstärke baut sich eine nachweisbare Thermospannung auf.

Die Thermospannung ist abhängig von der Kombination der verwendeten Materialien und der Temperaturdifferenz. Die Metallkombinationen rufen Thermospannungen von einigen wenigen Milli-Volt (mV) bis zu 10 mV bei Temperaturunterschieden von 100 °C hervor. Die Thermospannungen für die verschiedenen Kombinationen sind in DIN EN 60584 festgelegt und betragen beispielsweise bei der Kombination Nickel-Chrom (NiCr) und Kupfer-Nickel (CuNi) etwa 10 mV/100 °C. Mit verbesserten Materialien wie der Kombination von Blei-Tellurid und Bismut-Tellurid werden die Wirkungsgrade verbessert.

Der Seebeck-Effekt wird in *Thermoelementen* und Thermogeneratoren für die Energiegewinnung, dem Energy Harvesting, benutzt.

Sensor

Ein Sensor oder Messwertaufnehmer ist eine optisch-/mechanisch-/chemisch-elektronische Komponente, die eine gemessene physikalische Größe oder einen chemischen Effekt in ein analoges elektrisches Signal umwandelt.

Sensoren

Resistive Sensoren
Elektrische Widerstandsänderung Beispiele: Potentiometrische Sensoren Dehnungsmessstreifen
Induktive Sensoren
Änderung der Induktion Beispiele: Schwingungsaufnehmer Induktivaufnehmer
Wirbelstrom-Sensoren
Änderung des Wirbelstroms Beispiele: Induktive Initiatoren Wirbelstrom-Initiatoren
Magnetfeld-Sensoren
Änderung des Magnetfeldes Beispiele: Hall-Generatoren Feldplatte
Kapazitive Sensoren
Kapazitätsänderung Beispiele: Drucksensor Kap. Näherungsschalter
Optoelektrische Sensoren
Opto-elektrische Umsetzung Beispiele: Fototransistor Fotodiode
Temperatur-Sensoren
Kontaktthermometrie Beispiele: Widerstandsthermometer Thermoelement

Physikalische Größen können Druck, Gewicht, Beschleunigung, Lichtstärke, Temperatur, Strahlung, Schall, magnetischer Fluss, Drehzahl und viele andere physikalische Größen sein. Der Sensor erfasst diese physikalischen Größen und wandelt sie mit induktiven, kapazitiven, piezoelektrischen, magnetischen, feldstärkegesteuerten, radioaktiven, ladungstechnischen oder photoelektrischen Wandlern in eine elektrische Spannung, die vom Sensor in eine feste Relation zur Eingangsgröße gesetzt wird. Ein Sensor skaliert also die Signale, damit sie für die weitere Verarbeitung interpretierbar werden.

Sensoren unterteilt man in mechanische und nicht-mechanische Sensoren. Zu der ersten Gruppe gehören solche für Position, Annäherung, Kraft und Druck; und zu den nicht-mechanischen gehören Sensoren für Temperatur und Licht, *Magnetfeldsensoren*, *kapazitive Sensoren* und chemische Sensoren. Die Positionsmessung kann wiederum über *Dehnungsmessstreifen*, kapazitive Abstandsmessung, induktive Längenmessung oder über



Induktive Ganzmetallsensoren von Contrinex

Widerstandspotentiometer erfolgen. Annäherungsmessungen können sich auf Personen und Sicherheitseinrichtungen beziehen und über Radarbewegungsmelder, Infrarotmelder, Ultraschallmelder oder Kamera-Differenzbilder ausgeführt werden. Und bei den Temperatursensoren reicht die Palette vom *Kaltleiter* über *Heißleiter*

und *RTD-Elemente* bis hin zu *Thermoelementen*.

In optischen Netzen, in CD-, DVD- und BD-Laufwerken, in Scannern, Digitalkameras und Camcordern erfolgt die optisch-elektrische Wandlung mit lichtempfindlichen Sensoren und *Bildsensoren*. Dazu gehören *Fotodioden*, APD-Dioden, PIN-Dioden, *Fototransistoren*, aber auch CMOS-Sensoren und CCD-Sensoren. Sensoren werden in Studios, in der Prozesssteuerung, in Sicherheitseinrichtungen und Fernwirkssystemen, in optischen Netzen, CD-Playern, Kraftfahrzeugen, Flugzeugen, Produktionsanlagen und in vielen anderen technischen, medizinischen und naturwissenschaftlichen Einrichtungen eingesetzt. Man unterscheidet zwischen drahtgebundenen Sensoren und *Funksensoren*, mit eigener Energieversorgung. Darüber hinaus können Sensoren mit eigener Intelligenz ausgestattet sein, beispielsweise mit einem Mikroprozessor oder mit Mikrosystemen. In diesem Zusammenhang wird die Bezeichnung Smart Sensor verwendet.

Sensorfusion ist die intelligente Kombination von den Messwerten von verschiedenen *Sensoren*. Aus diesen kombinierten Informationen unterschiedlicher oder gleichartiger

Sensoren, die häufig untereinander abhängig sind, lassen sich Zusammenhänge und Parameter für die Anwendungsteuerung ableiten. Außerdem kann bei dem Einsatz mehrerer gleichartiger Sensoren die Genauigkeit der Sensorinformation verbessert werden. Das aus der Sensorfusion gewonnene Resultat ist im Ergebnis besser, als wenn die Messwerte einzelner Sensoren interpretiert würden. Daraus folgt, dass die interpretierten Ergebnisse genauer sind, die Abhängigkeit der physikalischen Größen zueinander dargestellt wird und ihre Darstellform mehrdimensional sein kann.

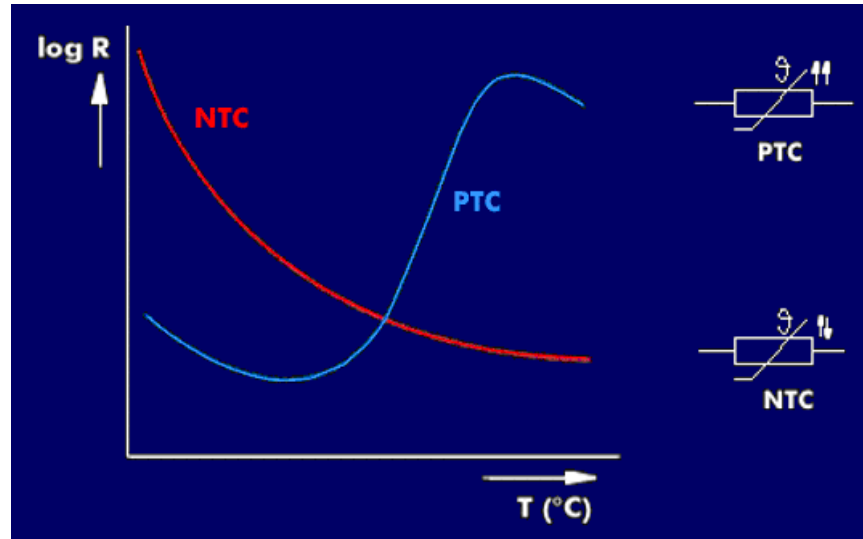
Es gibt verschiedene mathematische Verfahren für die Interpretation und Auswertung der Sensorfusionssignale. Dazu gehören beispielsweise die Korrelation der unterschiedlichen physikalischen Messwerte oder deren Gewichtung oder die Transformation der Messwerte zum Zwecke der Analyse.

In einer Sensorfusion können beispielsweise der Druck und die Temperatur zusammengeführt werden oder die Temperatur und die Feuchtigkeit oder die Entfernung, Beschleunigung und Geschwindigkeit und viele andere physikalische Größen.

Thermistor

Die Bezeichnung Thermistor ist eine Wortschöpfung aus Thermal Resistor, also wärmeempfindlicher Widerstand. Es handelt sich um einen Widerstand mit positiver oder negativer Temperaturcharakteristik, dessen Temperaturcharakteristik eine starke Nichtlinearität aufweist. Entsprechende Bauteile sind *Thermoelemente* und werden als Temperatursensoren eingesetzt, allerdings mit linearisierten Nichtlinearitäten.

Thermistoren basieren auf dem *Seebeck-Effekt*. Der besagt, dass die Anzahl an freien Elektronen in einem Metall vom Metall selbst und dessen Temperatur abhängig ist. Werden zwei unterschiedliche Metalle miteinander verbunden, dann entsteht an der Kontaktstelle eine Potentialdifferenz. Die Höhe der Potentialdifferenz ist die Thermospannung. Sie ist abhängig



Kennlinien von NTC- und PTC-Thermistoren

erhöht er sich mit steigender Temperatur. Zu dieser Gruppe gehören auch die *RTD-Elemente*. Der Heißleiter hat einen relativ hohen Widerstand bei niedrigen Temperaturen und einen sehr geringen Widerstand bei hohen Temperaturen. Sie werden als thermischer Schutz zur Begrenzung des Einschaltstromstoßes in Motoren, Netzteilen und anderen elektrischen und elektronischen Schaltungen eingebaut.

Die Kaltleiter haben wie die meisten Metalle einen positiven Temperaturkoeffizient; das bedeutet, dass sich der Widerstandswert mit steigender Temperatur erhöht.

Thermoelemente (TE) sind im Gegensatz zu den passiven *Thermistoren Sensoren*, die bei Temperaturänderungen Spannung erzeugen.

Sie basieren auf dem so genannten *Seebeck-Effekt* und dem *Peltier-Effekt*, die besagen, dass

von der Anzahl an freien Elektronen und damit von den Metallen und der Temperatur. Da sich der Widerstandswert von Thermistoren mit steigender Temperatur erhöhen aber ebenso verringern kann, unterscheidet man zwischen *Heißleitern* und *Kaltleitern*. NTC steht für Negativ Temperature Coefficient und PTC für Positiv Temperature Coefficient. Erstere verringern ihren Widerstand mit steigender Temperatur, bei Letzteren

Thermoelement
TE, thermal element

Thermoelement	Kurz-bez.	Temperaturbereich (°C)	Thermospannung bei 500 °C
Kupfer-Konstantan	Cu-CuNi	- 270 bis + 400	16,2 mV
Eisen- Kostantan	Fe-CuNi	0 bis + 750	27,4 mV
Nickel/Chrom-Nickel/Alu	NiCr-NiAl	- 270 bis + 1.370	20,6 mV
Nickel/Chrom-Konstantan	NiCr-CuNi	0 bis 800	37 mV

Temperatur- und Spannungsbereiche für verschiedene Thermoelemente

an der Kontaktstelle zwischen zwei verschiedenen, sich berührenden Metallen, eine Kontaktspannung entsteht. Diese Kontaktspannung wird durch die Ladungsverschiebung zwischen den beiden Metallen hervorgerufen,

sie ist direkt abhängig ist von der Temperatur an der Kontaktstelle, und heißt Thermospannung. Der Seebeck-Effekt und der Peltier-Effekt treten gemeinsam auf, können aber getrennt genutzt werden.

Die Ladungsverschiebung ist durch die elektromotorische Kraft (EMK) in den metallischen Leitern bedingt. Die EMK ist materialabhängig und entsteht sobald in einem metallischen Leiter ein Temperaturgefälle vorhanden ist. Bei zwei verschiedenen Materialien entsteht somit eine temperaturabhängige Potentialdifferenz. Am Beispiel von Zinn und Nickel würde eine Thermospannung von $4,9 \times 10^{-6} \text{ V/K}$ entstehen, und damit bei Raumtemperatur von 20 °C eine Thermospannung 1,44 mV.

Thermoelemente erzeugen an der Verbindungsstelle der beiden Metalle thermoelektrische Spannungen, die nur einige Mikrovolt klein und temperaturabhängig sind. Die Temperaturabhängigkeit liegt lediglich bei einigen Mikrovolt pro Grad Celsius. Da jedes Metall und demzufolge jede Kombination zweier Metalle eine andere Spannung erzeugt, gibt es eine

von DIN standardisierte thermoelektrische Spannungsreihe über die die Thermospaltung ermittelt werden kann.

Thermoelemente können im Temperaturbereich zwischen -200 °C und 1.800 °C eingesetzt werden.

TMR, tunneling magneto-resistive

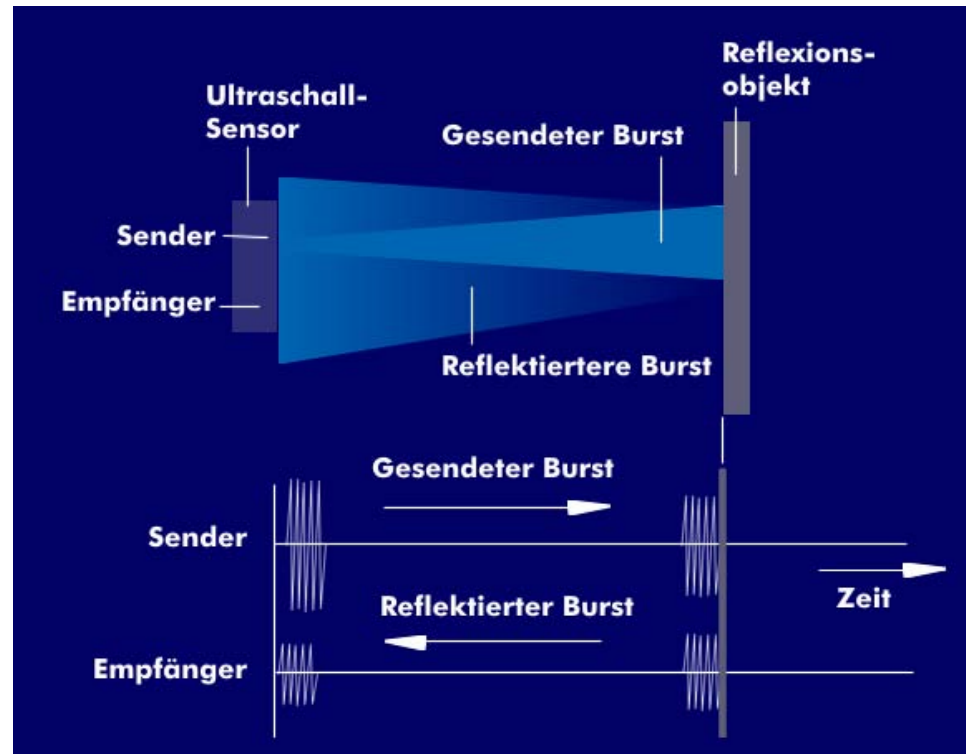
Beim TMR-Mechanismus (Tunneling Magneto-Resistive), einem Verfahren das in *Magnetfeldsensoren* eingesetzt wird, geht es um einen Tunnel-Effekt, der auf der Quantenphysik basiert. Die Gesetze der klassischen Physik sind in diesem Fall nicht mehr anwendbar.

Der TMR-Effekt ist damit zu erklären, dass bei extrem dünnen Strukturen, die in der Größenordnung von Molekülen angesiedelt sind, auch dünnste Isolatoren, die zwischen zwei leitenden Schichten befinden, Elektronen durchlassen. Beim Tunneling Magneto-Resistance befindet sich ein hochdünner Isolator zwischen zwei ferromagnetischen Schichten und ändert mit der Ausrichtung des Magnetfeldes seinen Widerstandswert.

Der Vorteil dieser Technik gegenüber den anderen magneto-resistiven Verfahren, dem Anisotropic Magneto-Resistive (*AMR*) und dem Giant Magneto-Resistive (*GMR*), liegen in der extrem kleinen Bauweise von *TMR-Sensoren*, die Kantenlängen im Mikrometerbereich haben.

Ultraschall-Sensor

Ultraschall-Sensoren basieren auf dem Echoprinzip. Sie senden in kurzen, regelmäßigen Zeitabständen Ultraschall-Bursts aus, die an Gegenständen, von Personen und Flüssigkeiten reflektiert werden. Der reflektierte Schallimpuls wird von dem *Sensor* empfangen und ausgewertet. Der Echo-Schallimpuls wird mit vorherigen Schallimpulsen verglichen und aus den Änderungen im Impulsverhalten werden Rückschlüsse auf Veränderungen in überwachten Räumen und Materialien abgeleitet.



Prinzip des Ultraschall-Sensors

Ultraschallimpuls breitet sich im Raum oder im Material aus und wird an Wänden, von Personen oder an Materialveränderungen reflektiert und gelangt als reflektierter Schallburst zurück zum Ultraschall-Sensor, wo der als Echo empfangen wird. Aus der Laufzeit zwischen dem ausgestrahlten Burst und dem Echo-Impuls kann die Entfernung, aus der Amplitude und der Phase des Echos können Rückschlüsse auf die Reflexion abgeleitet werden.

Der Ultraschall im Burst kann Frequenzen oberhalb von 15 kHz haben, bis hin zum Hyperschall bei über 1 GHz. Die Schallintensität und der Schalldruck sind ebenfalls stark abhängig von der

Dem Verfahren nach strahlen Ultraschall-Sensoren in regelmäßigen Abständen einen kurzen Burst mit Ultraschallschwingungen aus. Da die Schallgeschwindigkeit sehr stark vom Material abhängt, sind die Burstdauer, die Burstwiederholrate und die Ultraschallfrequenz abhängig von der Anwendung. Die Ultraschallbursts können wenige Millisekunden dauern und in Abständen von wenigen Millisekunden ausgestrahlt werden. Der ausgesendete

Anwendung. Zu diesen gehören die Raumüberwachung mit Anwesenheitssensoren, Füllstandsmessungen, Echolote, Materialprüfung, Oberflächenbeschaffenheit, uvm.

Wirkungsgrad *effectivness*

Der Wirkungsgrad ist ein Parameter für die Effektivität der Umwandlung einer Energieform in eine andere. Es handelt sich um einen dimensionslosen Wert, der mit dem griechischen Buchstaben „Eta“ gekennzeichnet ist. Mathematisch ist der Wirkungsgrad das Verhältnis von abgegebener Leistung zur aufgenommenen Leistung, in Prozent.

Der Begriff Wirkungsgrad wird in allen technischen Disziplinen angewendet und zwar immer dann, wenn eine Energieform in eine andere umgewandelt wird. So beispielsweise bei der Umwandlung von Bewegung in Wärme oder von Licht in elektrische Leistung, von Wechselstrom in Gleichstrom in Netzteilen, von Strom in Schalldruck beim Lautsprecher oder von Schalldruck in elektrischen Strom beim Mikrofon. Alle *Sensoren* und Aktoren sind mit einem Wirkungsgrad behaftet.

XMR, X-magneto- resistive

Es gibt verschiedene Verfahren mit denen der Widerstandswert von leitenden Materialien unter Einfluss eines Magnetfelds beeinflusst werden kann. Diese Effekte, die als magnetoresistive Effekte bezeichnet werden, und die daraus entwickelten Verfahren, sind unter dem Oberbegriff X-magneto-resistive (XMR) zusammengefasst und werden in *Magnetfeldsensoren* eingesetzt.

Der *Hall-Effekt* ist einer der bekannteren magnetoresistiven Effekte, der in vielen *Sensoren* umgesetzt ist.

Aus einigen weiteren Effekten wurden bereits Produkte entwickelt, davon zeugt der *GMR-Sensor*, der in Festplatten eingesetzt wird und mit dem die Speicherdichte um über 20 % erhöht wird. Weitere Effekte sind das Anisotropic Magneto-Resistive (*AMR*), Colossale

Magneto-Resistive (*CMR*), Tunneling Magneto-Resistive (*TMR*) und das *Extraordinary Magneto-Resistive* (*EMR*).

Herausgeber

Klaus Lipinski
Datacom-Buchverlag GmbH
84378 Dietersburg

ISBN: 978-3-89238-208-9

Sensoren

E-Book, Copyright 2010

Trotz sorgfältiger Recherche wird für die angegebenen Informationen keine Haftung übernommen.



Dieses Werk ist unter einem Creative Commons Namensnennung-Keine kommerzielle Nutzung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenzvertrag lizenziert.

Erlaubt ist die nichtkommerzielle Verbreitung und Vervielfältigung ohne das Werk zu verändern und unter Nennung des Herausgebers. Sie dürfen dieses E-Book auf Ihrer Website einbinden, wenn ein Backlink auf www.itwissen.info gesetzt ist.

Layout & Gestaltung: Sebastian Schreiber
Titel: © Viktor Kuryan - Fotolia.com

Produktion: www.media-schmid.de
Weitere Informationen unter www.itwissen.info