

Juni 2020– Nr. 2

Lautsprecher

MITTEILUNGSBLATT DES ANGESTELLTENVERBANDES DER RADIO/TV- UND MULTIMEDIABRANCHE



Künstliche Intelligenz

Adresse: ART, Rossbergstrasse 35, CH-6410 Goldau, www.artmultimedia.ch

Redaktion: Istvan Kenessey, Erikastrasse 5, CH-8632 Tann, Tel / 055 240 58 41,
istvan.kenessey@artmultimedia.ch

Copyright: Kopien der fachtechnischen Beiträge mit Quellenangabe für Unterrichtszwecke und persönliche Dokumentation erlaubt. Kommerzielle Auswertung verboten. Nachdruck nur mit Genehmigung der Autoren.

Inhaltsverzeichnis

Aktuell

Coronavirus 2020

Grosse Persönlichkeit.....

Lebensgeschichte von Nikolaus Kopernikus 1473-1543

Aus der Welt der Technik

Was ist Rauschen ?

Piezokristalle und kristallelektrische Effekte.....

Photometrie.....

Coronavirus 2020

Woher kommt dieses Virus ?

Wie kam das Coronavirus von der Fledermaus auf die Menschen ? Der Tiermarkt in Wuhan war es wohl doch nicht ! Ein Virus-Forschungslabor nebenan könnte offenbar eine Schlüsselrolle spielen. Chianas Regierung unterbindet dazu jede Recherche und verhängte eine Wissenschaftszensur.

Was ist die Coronavirus – Erkrankung ?

Die Coronavirus-Erkrankung , auch COVID – 19 genannt , eine sehr gefährliche Infektionskrankheit , die von einem neu entdeckten Coronavirus ausgelöst wird.

Was an dieser Krankheit so gefährlich ist , dass das Virus kaum bekannt ist und kein wirksames Medikament existiert.

Wie verbreitet sich dieses Virus ?

Das Virus COVID – 19 ausgelöst , wird vorwiegend durch Niessen , Husten oder durch eine bereits infizierte Person. Deshalb ist die Distanz von 1,5 - 2m so wichtig und selbstverständlich häufiges Händewaschen zur Vermeidung dieser Infektionskrankheit unerlässlich.

Künftige Aussichten....

Diese Pandemie hat das gewohnte Leben komplett durcheinander geschüttelt. Es wird vielfach von Normalisierung gesprochen , was aber eine Illusion ist : es wird nie mehr wieder so sein, wie vor der Pandemie !

Einen schweren Start werden unsere künftigen Lernenden haben , die in eine neue Arbeitswelt eintauchen müssen , die Flexibilität und eine noch zu wenig praktizierte Ausbildungsmethode (home office) werden sie

erleben. Die Digitalisierung und home office werden in Zukunft eine Selbstverständlichkeit werden.

Zukunft bedeutet weiterhin : Lernen , Lernen und ständige Weiterbildung.

Zusammenfassend:

Nach heutigen Erkenntnissen der Medizin werden wir in Zukunft mit dem Virus Covid -19 leben müssen. Die Bekämpfung dieser Krankheit wird durch Impfung erfolgen , da die Ausrottung des Virus ist nicht möglich..!

Nikolaus Kopernikus

.....Naturwissenschaftler und Revolutionär

.....
Das kopernikanische Weltbild löste im 16. Jahrhundert die alte Vorstellung ab , dass sich die Erde im Zentrum unseres Planeten – systems befindet.



Wikipedia

1473 - 1543

.....
Nicolaus Kopernikus (hiess eigentlich N. Koppernigk) , wurde als Sohn eines wohlhabenden Kaufmanns am **19. Februar 1473** in Thorn (heute :Torun/ Polen) geboren. Sein Vater stammte aus **Krakau**. Er starb früh , als Kopernikus erst zehn Jahre alt war. So kam er in die Obhut seines Onkels Lucas Watzenrode.

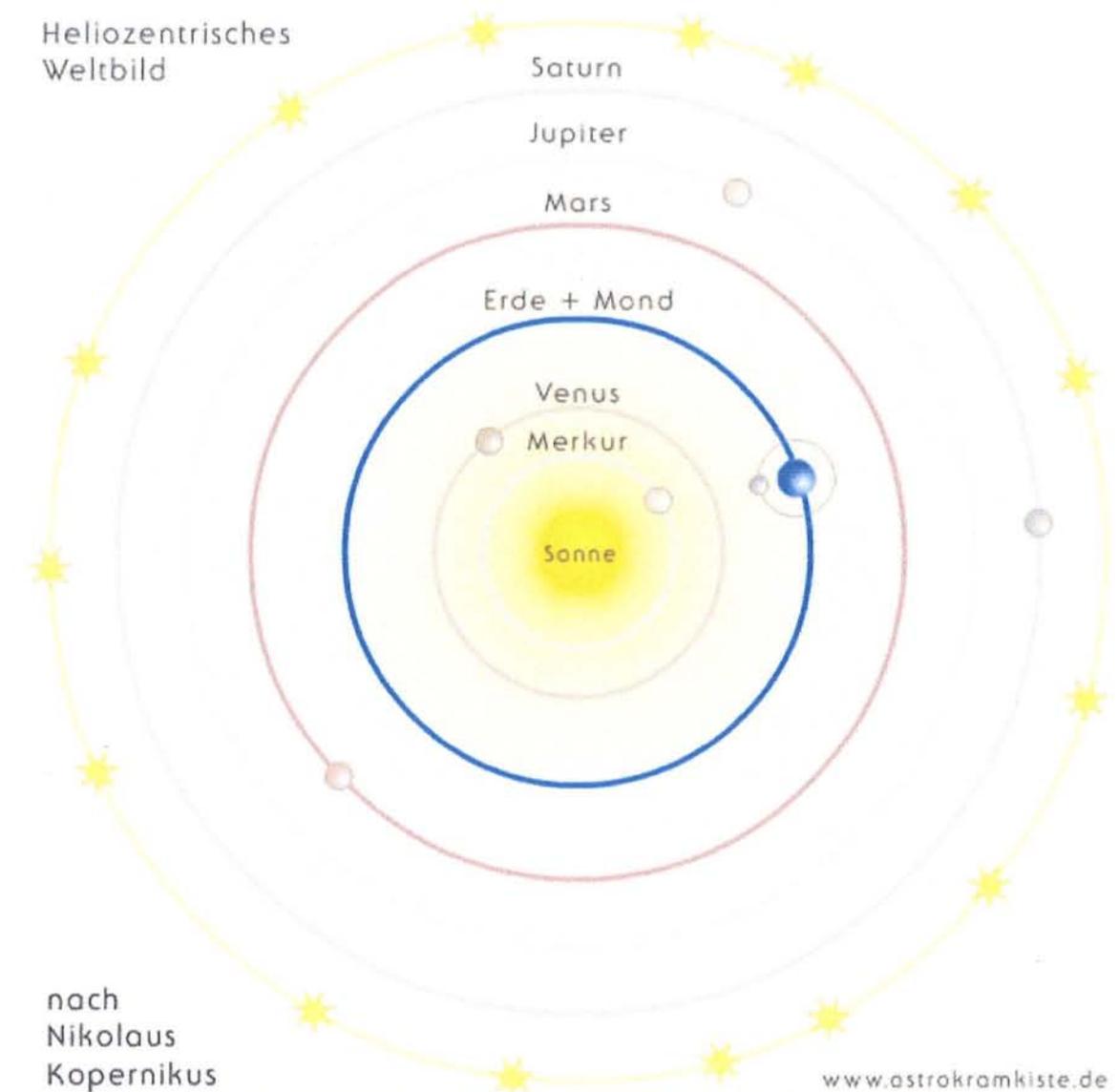
Mit **18** Jahren ging Kopernikus an die Universität Krakau , wo er vier Jahre lang Mathematik und Astronomie studierte.

Mit **24** Jahren verliess er Polen und begann wieder zu studieren. Diesmal in Bologna , wo er sich mit Kirchenrecht und Medizin befasste. Doch sein Interesse galt für Geographie und Astronomie.

Kopernikus wohnte zu dieser Zeit im Haus des Mathematikers Domenico Maria de Novara und es ist nicht verwunderlich , dass er von ihm stark in der Astronomie beeinflusst wurde.

Nämlich , de Navara beschäftigte sich mit den im 2.Jahrhundert verfassten Schriften des Astronomen Ptolemäus und setzte sich sehr kritisch mit diesen auseinander.Bei ihm erlernte er die praktische Himmels-Beobachtung , die er ja nur aus der Theorie kannte.

Er zweifelte daraufhin an der bisherigen Theorie der Bewegung der Himmelskörper um die Erde.



Mit **27** Jahren hielt Kopernikus in Rom Vorlesungen über Astronomie. Im darauffolgendem Jahr wurde er zum Medizinstudium in Padua zugelassen.

An der Universität Ferrara konnte er die Doktorwürde in Kirchenrecht (**1503**) entgegen nehmen und liess sich daraufhin in Heidelberg nieder , wo er sechs Jahre lang als Arzt wirkte.

Die Bischofskarriere , die sein Onkel für seinen Neffen vorgesehen hatte,interessierte ihn überhaupt nicht. Er widmete sich immer mehr dem Studium der Himmelskörper.

Um sich dem mächtigen Einfluss seines Onkels zu entziehen , zog er mit **37**Jahren nach Frauenburg , wo er seinen Pflichten als Domherr nachging. Dort arbeitete er in einer eigenen Sternwarte und konnte seine astronomischen Beobachtungen weiterführen.



Frauenburg/Polen

Zwischen **1507** und **1515** verfasste er erstmals in einer kleinen Schrift : die Grundsätze seines Weltbildes .

Schon damals formulierte er ganz klar seine Neuerungen :

Die Erde ist nicht im Mittelpunkt der Welt , sondern nur das Zentrum der Mondbahn.

Alle Bahnkreise umgeben die Sonne, also liegt der Mittelpunkt der Welt in Sonnennähe.

Die Bewegung des Fixsternhimmels wird durch die Drehung der Erde um sich selbst hervorgerufen.

Die Bewegung der Sonne am Himmel ist keine Eigenbewegung, sondern wird durch den Lauf der Erde um die Sonne und durch die Erdrotation hervorgerufen.

Die Schleifen der Planeten am Himmel sind nur scheinbare Bewegungen, die dadurch entstehen, weil sich auch die Erde bewegt und sich dabei unser Blickpunkt verändert.

In dieser Zeit schrieb er auch sein Hauptwerk „**De Revolutionibus Orbium Coelestium**“, mit dem er sich über **30 Jahre** seines Lebens befasste. Es war um **1530** fertig, wurde aber erst kurz vor seinem Tod in Nürnberg veröffentlicht.

Kopernikus starb, ohne zu wissen, welcher unschätzbare Dienst er der Menschheit erwiesen hatte, am **24. Mai 1543** in Frauenburg und wurde dort im Dom beigesetzt.

Seine Kernthese, dass die Sonne, und nicht die Erde das Zentrum des Universums sind, wurde lange Zeit sowohl von anderen Wissenschaftlern als auch von der Kirche heftig angegriffen. Erst die grossen Physiker und Astronomen des 17. Jh. (Kepler, Galilei, Newton) bestätigten sie. So wurde Kopernikus erst 150 Jahre später rehabilitiert.

<https://astrokrankiste.de>

<https://www.yaclass.at>

<https://www.br.de>

<https://wikipedia.com>

Was ist Rauschen ?

Einleitung

Unter Rauschen versteht die Physik allgemein eine Störgrösse mit breitem unspezifischem Frequenzspektrum. Es kann daher als eine Überlagerung vieler harmonischer Schwingungen oder Wellen mit unterschiedlicher Amplitude und Frequenz bzw. Wellenlänge interpretiert werden.

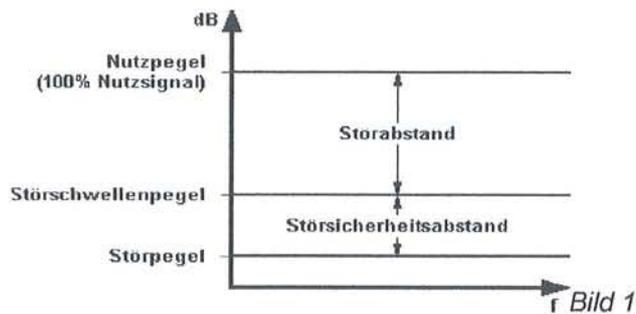
Rauschen wurde erstmals 1918 von W. Schottky als physikalisches Phänomen entdeckt, und als messbare Stromschwankungen, beschrieben.

Verstärkt man diese Schwankungen, wird sie hörbar, so erhält man ein Geräusch, welches als Rauschen bezeichnet wird. Heutzutage ist die Definition ein wenig allgemeiner :

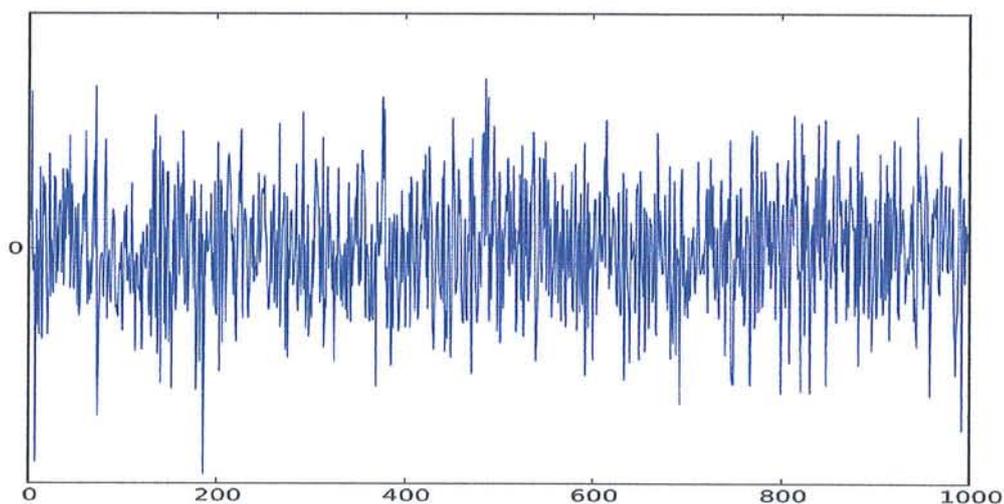
Rauschen ist ein zeitlich veränderliches, leistungsbegrenztes Signal, dessen Eigenschaften mathematisch durch einen Zufallsprozess beschrieben werden kann. Die unterschiedlichen Rauscharten werden häufig nach ihrer Leistungsdichte beurteilt oder klassifiziert. Diese entspricht der Änderung der Leistung pro Bandbreite. Vereinfacht bedeutet dies eine Abhängigkeit von der Frequenz.

Bei der Übertragung von HF-Signalen ist das Rauschen die grösste Störquelle. Die Rauschquellen treten dabei im gesamten Übertragungssystem, also im Sender, im Empfänger sowie auf dem Übertragungsweg auf.

Man unterscheidet dabei zwischen der durch äussere und innere Rauschquellen erzeugten Rauschleistung. Die Qualität der Signale wird in der Nachrichtentechnik mit dem s.g. Signal-Rausch-Verhältnis (Störabstand) angegeben. (Siehe Bild 1)



Rauscharten in der Elektrotechnik



.Abb. : weisses Rauschen

Weisses Rauschen

Weisses Rauschen ist ein Rauschen mit einem konstanten Leistungsdichte – Spektrum in einem bestimmten Frequenzbereich. Es wird als ein stark höhenbetontes Geräusch empfunden. Weisses, in der Bandbreite beschränktes Rauschen wird in den Ingenieur – und Naturwissenschaften häufig verwendet.

Beachte.....!

Akustisch wird dieses Signal subjektiv allerdings so wahrgenommen, als ob die Amplitude mit der Frequenz ansteige, da im menschlichen Ohr die Empfindlichkeit mit zunehmender Frequenz logarithmisch ansteigt. Das weisse Rauschen ist ein Grenzfall des farbigen Rauschens, bei dem der Frequenzbereich den gesamten Hörbereich umfasst.

Rosa Rauschen (auch als $1/f$ -Rauschen bezeichnet)

Das Rosa Rauschen hat eine spektrale Leistungsdichte , die mit der Frequenz abnimmt , weshalb es aufgrund der oben genannten Eigenschaften des Gehörs , als Rauschen mit gleicher Amplitude wahrgenommen wird , auch wenn die Frequenz ansteigt.

Rosa Rauschen und Weisses Rauschen werden unter anderem in der Tontechnik als Referenzsignale verwendet ,um bei Aufnahmengeräten oder Lautsprecheranlagen eine möglichst naturtreue Wiedergabe zu erreichen.

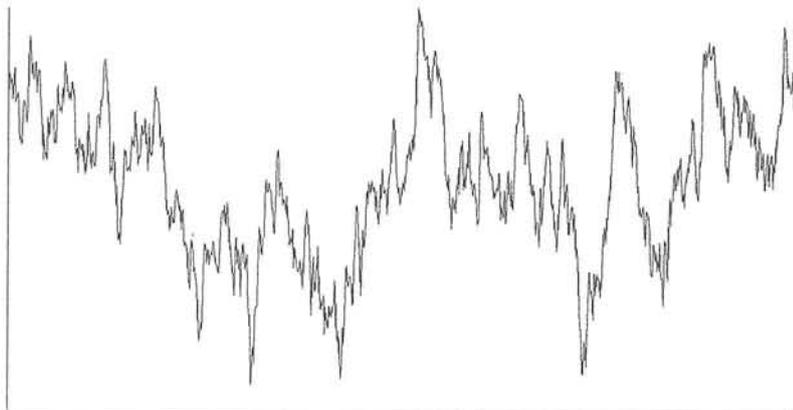


Bild (wikipedia)

.....z.B..... $1/f$ - Rauschsignal

Thermisches Rauschen

Thermisches Rauschen auch Johnson-Rauschen genannt , tritt aufgrund der Brownschen Bewegung der Ladungsträger , oder allgemein der Moleküle auf.Es nimmt mit steigender Temperatur zu und ist beim absoluten Nullpunkt (bei $- 273,1^{\circ}\text{C}$) nicht vorhanden.

Bereits ohne Stromfluss , kann man z.B.an einem Widerstand eine Rauschspannung messen.

Wie berechnet man eine Rauschspannung U_r ?

Die Rauschspannung U_r ist kein bestimmter Wert , sondern wird von einer anzugebenden Messbandbreite bestimmt ; Rauschwerte ohne dazugehörige Bandbreite sagen nichts aus . Bei konstanter Temperatur T und festem Widerstandswert R ändert sich die am Widerstand messbare Rauschspannung proportional zur Wurzel aus der Messbandbreite $B = \Delta f$:

$$U_r = \sqrt{4k_B T R \cdot B}$$

kBoltzmann-Konstante **1,3806505**

TTemperatur in Kelvin.....**273,1°C** (entspricht Null Kelvin)

RWiderstand in Ω

BBandbreite in Hz ($B = f^2 - f^1$)

Schrotrauschen

Schrotrauschen tritt immer dann auf , wenn ein elektrischer Strom eine Potentialschwelle überwinden muss. Das Schrotrauschen rührt daher , dass sich der Gesamtstromfluss aus der Bewegung einzelner Ladungsträger (Elektronen oder Löcher) zusammensetzt , und jeder Ladungsträger für sich diese Barriere überquert. Dieser Vorgang geschieht nicht gleichmässig , sondern ist ein stochastischer (nicht vorhersagbarer) Prozess.

Die Grösse des Schrotrauschens hängt also von der Grösse des fließenden Stromes ab und zeigt keine direkte Temperaturabhängigkeit. Dadurch ist sie vom Rauschen im thermischen Gleichgewicht , dem Johnson-Nyquist-Rauschen , zu unterscheiden.

Typisch für das Auftreten von Schrotrauschen sind z.B. Sperrströme von Dioden und Transistoren oder Ströme von Photodioden.

1/f-Rauschen

Als 1/f-Rauschen bezeichnet man ein Signal mit einer spektralen Leistungsdichte, die pro Oktave um 3dB abnimmt. Aufgrund der Tatsache, dass die spektrale Leistungsdichte sich reziprok zur Frequenz f , d.h. proportional $1/f$, verhält, bezeichnet man dieses Rauschen als 1/f-Rauschen.

Da es in so vielen natürlichen Phänomenen zu beobachten ist, ist 1/f-Rauschen ein klassisches Beispiel für die Universalität von Skalen – Gesetzen in der Natur.

Es ist von dem Funkelrauschen zu unterscheiden, dessen spektrale Leistungsdichte mit etwa 6dB pro Oktave abfällt.

In der Elektroakustik werden uneinheitlich sowohl 1/f als auch Funkelrauschen als **rosa Rauschen** bezeichnet.

Funkelrauschen

Funkelrauschen ist eine Form des elektronischen Rauschens, das erstmalig von J.B. Johnson 1925 experimentell und von W. Schottky 1926 durch theoretische Analyse von Messresultaten beschrieben wurde.

Der Effekt wurde damals bei der Emission von Elektronen aus Glühkathoden beobachtet und durch "Funkeln" an der Oberfläche der Kathode erklärt. (Elektronenröhre!)

Quellen :

<http://www.wikipedia.de>

Hameg Instruments (Fachartikel)

Referat D.Reinsch /Rauschen

Rauscharten

Rauschklasse	Rauschart	Ursache	Eigenschaft / Merkmal
Weißes Rauschen	Thermisches Rauschen (Johnson-noise)	willkürliche Ladungsträgerbewegungen aufgrund der Erwärmung des Bauteils	- Rauschintensität nimmt mit der Temperatur zu
	Schrotrauschen (Schotty-Rauschen)	in Halbleitern: entsteht wenn Ladungs- träger eine Sperrschicht passieren bei Operationsverstärkern: aufgrund des Eingangsruhestroms	- Intensität nimmt mit Anzahl der Sperrschichten zu
Rosa Rauschen	1/f - Rauschen (Funkelrauschen)	Oberflächeneigenschaften von Halbleitern; genauer: fluktuierende Um- ladungen von Oberflächenzuständen	- starkes Rauschspektrum im Nieder- frequenzbereich - fällt mit 1/f zur höheren Frequenz ab
	Popcornrauschen (Burst-Rauschen)	metallische Verunreinigungen in Halbleitern	- erscheint im Spektrum in Form eines diracförmigen Gleichanteils bei der Frequenz $f = 0$
Weitere Rauscharten	50-Hz-Rauschen	Einfluss der Wechselstromspannung	- 50-Hz Peak ohne harmonische Struktur
	Breitbandrauschen	nicht abgeschirmte Wechselstromer- zeuger; militärisch eingesetzte Störer	- Leistungserhöhung des Spektrums in einem begrenzten Frequenzbereich
	Quantisierungsrauschen	Fehler zwischen dem analogen Eingangssignal und dem quantisierten digitalen Ausgangssignal	- nimmt mit zunehmender Auflösung des A/D-Wandlers ab
	Frequenzausblendungen	technisch bedingt	- ganze Frequenzbänder werden in ihrer Amplitude unterdrückt

Rauschklasse	Rauschart	Ursache	Eigenschaft / Merkmal
Weißes Rauschen	Thermisches Rauschen (Johnson-noise)	willkürliche Ladungsträgerbewegungen aufgrund der Erwärmung des Bauteils	- Rauschintensität nimmt mit der Temperatur zu
	Schrottrauschen (Schotty-Rauschen)	in Halbleitern: entsteht wenn Ladungs- träger eine Sperrschicht passieren bei Operationsverstärkern: aufgrund des Eingangsruhestroms	- Intensität nimmt mit Anzahl der Sperrschichten zu
Rosa Rauschen	1/f - Rauschen (Funkelrauschen)	Oberflächeneigenschaften von Halbleitern; genauer: fluktuierende Um- ladungen von Oberflächenzuständen	- starkes Rauschspektrum im Nieder- frequenzbereich - fällt mit 1/f zur höheren Frequenz ab
	Popcornrauschen (Burst-Rauschen)	metallische Verunreinigungen in Halbleitern	- erscheint im Spektrum in Form eines diracförmigen Gleichanteils bei der Frequenz $f = 0$
Weitere Rauscharten	50-Hz-Rauschen	Einfluss der Wechselstromspannung	- 50-Hz Peak ohne harmonische Struktur
	Breitbandrauschen	nicht abgeschirmte Wechselstromer- zeuger; militärisch eingesetzte Störer	- Leistungserhöhung des Spektrums in einem begrenzten Frequenzbereich
	Quantisierungsrauschen	Fehler zwischen dem analogen Eingangssignal und dem quantisierten digitalen Ausgangssignal	- nimmt mit zunehmender Auflösung des A/D-Wandlers ab
	Frequenzabblendungen	technisch bedingt	- ganze Frequenzbänder werden in ihrer Amplitude unterdrückt

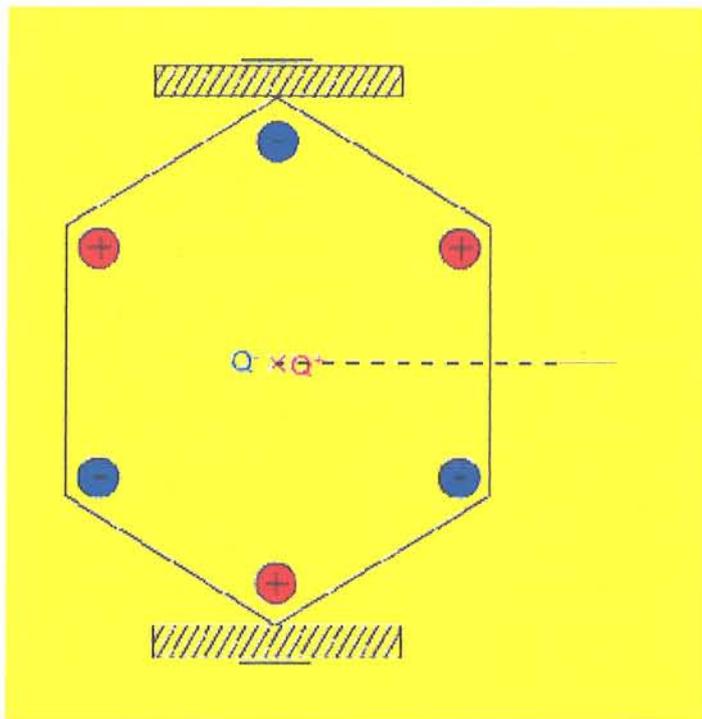
Piezokristalle und kristallelektrische Effekte.

Grundlagen der Piezoelektrizität

Die **Piezoelektrizität**, auch als **Piezoeffekt** bezeichnet, beschreibt die Änderung der elektrischen Polarisierung und somit das Auftreten einer elektrischen Spannung an Festkörpern, wenn sie elastisch verformt werden (direkter Piezoeffekt).

Umgekehrt verformen sich Materialien beim Anlegen einer elektrischen Spannung (inverser Piezoeffekt).

.....Kraft



Direkter Piezoeffekt

.....Kraft

Direkter Piezoeffekt : Durch mechanischen Druck verlagert sich der positive $Q+$ und negative Ladungsschwerpunkte $Q-$. Dadurch entsteht ein Dipol, eine elektrische Spannung am Element.

Der direkte Piezoeffekt wurde im Jahre 1880 von den Brüdern Curie entdeckt.

Bei verschiedenen Versuchen mit Turmalinkristallen fanden sie heraus, dass bei mechanischer Verformung der Kristalle auf der

Kristalloberfläche elektrische Ladungen entstehen , deren Menge sich proportional zur Beanspruchung verhält.

Heute werden für Piezoelemente meist PZT-Keramiken wie Blei-Zirkonat-Titanat benutzt.

Die ersten Anwendungen waren piezoelektrische Ultraschallwandler und bald darauf Schwingquarze für Frequenzstabilisierung.

Funktionsprinzip

Durch die gerichtete Verformung eines piezoelektrischen Materials bilden sich mikroskopische Dipole innerhalb der Elementarzellen . (Verschiebung der Ladungsschwerpunkte) .Die Aufsummierung über das verbundene elektrische Feld in allen Elementarzellen des Kristalls führt zu einer makroskopisch messbaren elektrischen Spannung.

Gerichtete Verformung bedeutet , dass der angelegte Druck nicht von allen Seiten auf die Probe wirkt , sondern (beispielsweise)

nur von gegenüber Seiten aus. Umgekehrt kann durch Anlegen einer elektrischen Spannung eine Verformung des Kristalls oder des Piezokeramik-Bauteils erreicht werden.

Im Wesentlichen unterscheidet man drei Effekte :

- Längs-Effekt : Die Kraft erzeugt eine Polarisierung in Krafrichtung und die elektrische Spannung kann in der gleichen Richtung gemessen werden.*
- Quer-Effekt : Die Polarisierung ist transversal zur Kraft , so dass die Spannung quer zur Krafrichtung entsteht.*
- Scher-Effekt : Die Spannung entsteht diagonal zu den Ebenen der Scherung.*

Alle drei Effekte lassen sich auch umkehren ,d.h.,durch Einwirkung einer Spannung kann durch Volumenänderung eine Kraft erzeugt werden.

Wie jeder andere Festkörper können auch piezoelektrische Körper mechanische Schwingungen ausführen.

Bei Piezoelektrika können diese Schwingungen elektrisch angeregt werden und bewirken ihrerseits wieder eine elektrische Spannung. Die Frequenz der Schwingung ist nur von der Schallgeschwindigkeit und den Abmessungen des piezoelektrischen Körpers abhängig.

Bauteile, wie Schwingquarze sind gut für den Einsatz in präzisen Oszillatoren geeignet, beispielsweise für Quarzuhren.

Eigenschaften des Quarzkristalls

Das bekannteste Material mit Piezoeigenschaften ist der Quarz. Das Basismaterial eines Schwingquarzes ist Quarz, die kristalline Form des Siliziumdioxids (SiO_2), das als Bergkristall vorkommt. Quarzkristalle treten in einem trigonalen Kristallsystem in zwei Arten auf, als Rechts- oder als Linksquarz.

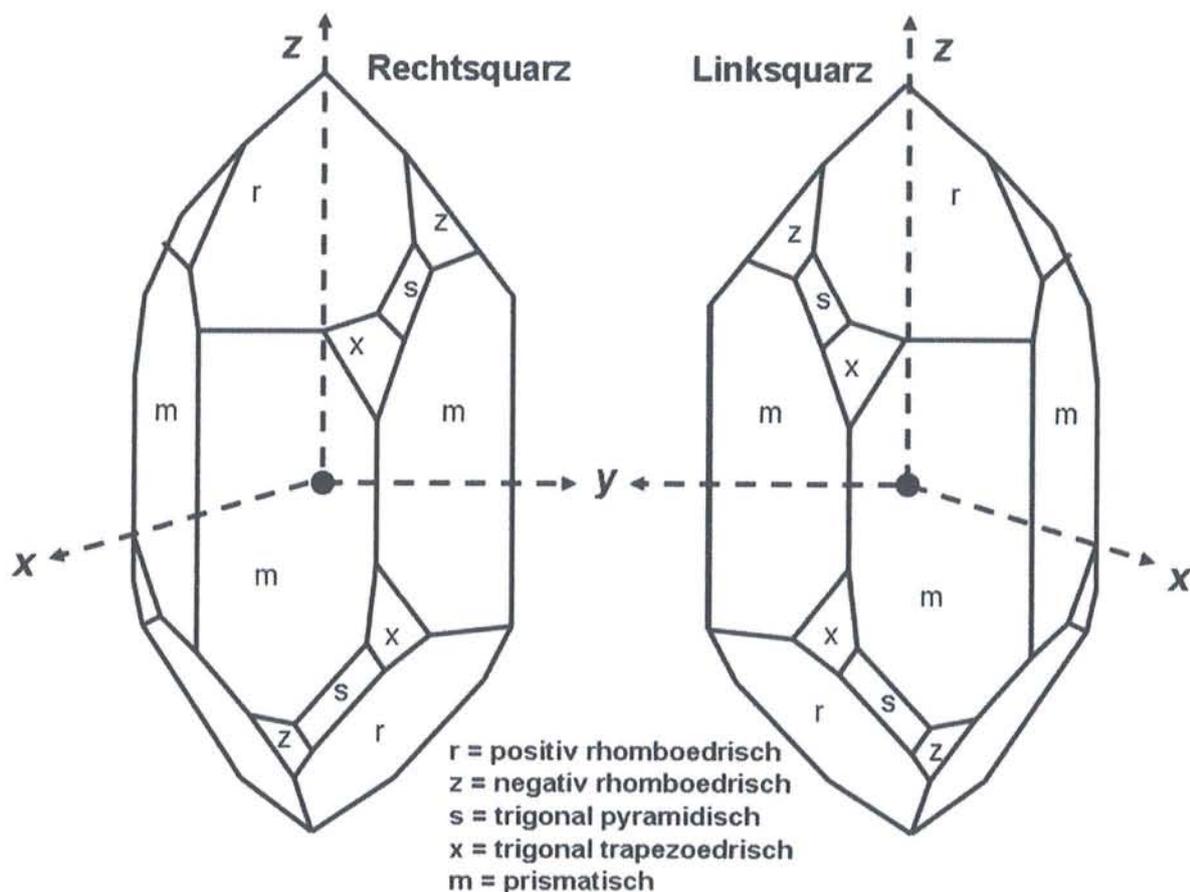


Bild (wikipedia.org)

Wenn aus dem Kristall eine Scheibe oder ein quaderförmiges Plättchen herausgeschnitten wird , entsteht ein Schwingquarz. Wird diese Scheibe mechanisch deformiert , so werden elektrische Ladungen auf der Oberfläche erzeugt.

Dieser piezoelektrische Effekt , die Piezoelektrizität ,ist auch umkehrbar , d.h.wird ein elektrisches Feld an dieses Material gelegt , so verformt es sich (inverser Piezoeffekt).

Sobald das elektrische Feld nicht mehr anliegt , nimmt das Material seine ursprüngliche Form wieder an , wobei eine elektrische Spannung erzeugt wird.

Die einmal durch Anlegen eine Spannung hervorgerufene mechanische Verformung am piezoelektrischen Kristall eines Schwingquarzes erzeugt nach dem Ausschalten der Spannung ein elektrisches Signal.

Mittels einer Rückkopplungsschaltung kann dieses Signal für die Erzeugung einer mechanischen Resonanzschwingung des Materials genutzt werden, wobei wegen der sehr guten physikalischen Parameter des Siliziumoxids ,z.B. geringe Dämpfung des kristallinen Materials , ausserordentlich gute mechanische und dynamische Stabilität und die geringe Temperaturabhängigkeit ,ein sehr stabiles Taktsignal mit genauer Frequenz und definierter Amplitude entsteht.

Durch die Wahl der Quarzschnitte und die jeweils erregte mechanische Schwingungsform ergeben sich darüber hinaus für bestimmte Frequenzbereiche typische elektrische Werte der Schwingquarze.

Merken wir uns....!

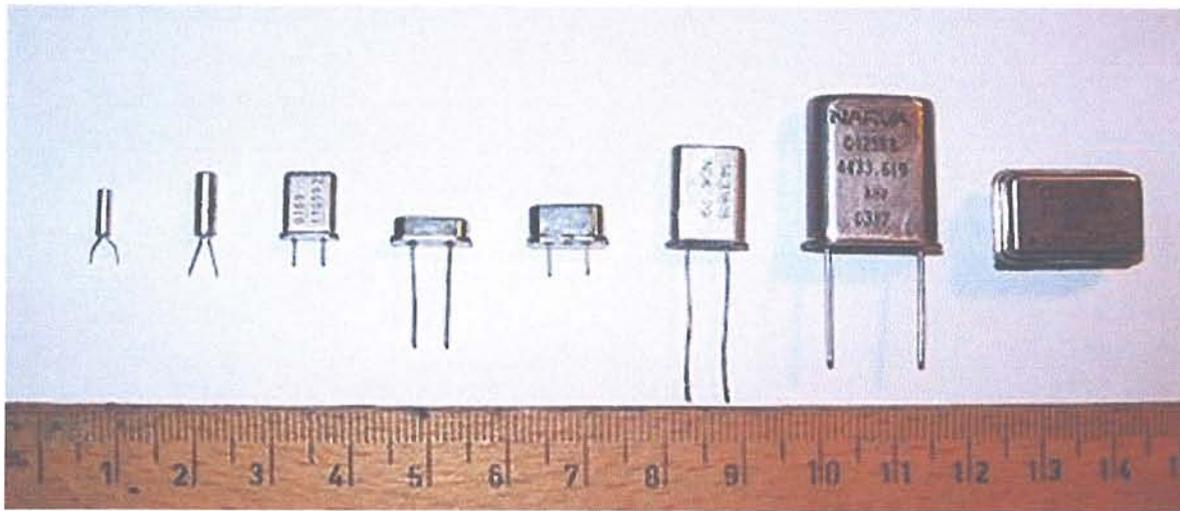
Der wichtigste piezoelektrische Kristall ist der Quarz mit trigonaler Kristall-Struktur.

Lithiumniobat hat gegenüber Quarz höhere piezoelektrische Konstanten und wird für piezoelektrische Filter und SAW-Bauelemente(surface acoustic wave) eingesetzt.



(wikipedia)

Schwingquarze in verschiedenen Formen.



(wikipedia)

Der Schwingquarz führt im elektrischen Feld Deformationsschwingen aus , wenn die Frequenz des Wechselfeldes mit der Eigenfrequenz des Quarzplättchens übereinstimmt.

Ein Quarz kann in Serien-oder Parallelresonanz betrieben werden. Die beiden Eigenfrequenzen liegen sehr eng beieinander. Die Resonanz-Frequenz lässt sich geringfügig auch durch äussere Beschaltung beeinflussen. Häufig wird dazu ein Trimmer mit wenigen pF in Serie-oder parallel zum Quarz geschaltet , um Herstellungstoleranzen auszugleichen („ziehen des Quarzes“).

Die Eigenfrequenzen des Quarzes sind in geringem Masse von der Temperatur abhängig.

Quellen:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Schwingquarz#Eigenschaften>

<http://www.piceramic.de>

<http://www.chemieunterricht.de>

Photometrie

Was ist Photometrie ?

Die Photometrie ist ursprünglich ein Teilgebiet der Physik bzw. der Chemie , Astronomie und der Fotografie , inzwischen aber einer regulären Ingenieurwissenschaft entwickelt. Sie wird beispielsweise in der Photovoltaik oder auch bei der Herstellung von Anzeigen für industrielle Messtechnik usw. eingesetzt .

Grundlagen

Farbwahrnehmung des Menschen

Die menschliche Farbempfindung beruht auf speziellen Sinneszellen , die sich auf der Netzhaut des Auges befinden. Insgesamt hat ein Mensch rund 100Mio s.g. **Zäpfchen** , die für das Farb-Sehen verantwortlich sind , und ca . 7Mio s.g. **Stäbchen** , die auf eine Hell-Dunkel-Wahrnehmung ausgerichtet sind.

Bei den Zäpfchen gibt es drei verschiedene Typen , die ihre maximale Empfindlichkeit im roten , grünen , blauen Farbbereich haben. Jede derartige Sinneszelle hat ihre maximale Empfindlichkeit bei einer bestimmten Wellenlänge , bei grösseren oder kleineren Wellenlängen nimmt die Empfindlichkeit stetig ab (Bild 1 und 2).

Das menschliche Auge nimmt Wellenlängen zwischen 380....780nm wahr. Die höchste Empfindlichkeit ist beim grüngelben Licht mit der Wellenlänge von rund **550nm** messbar(Bild 3).

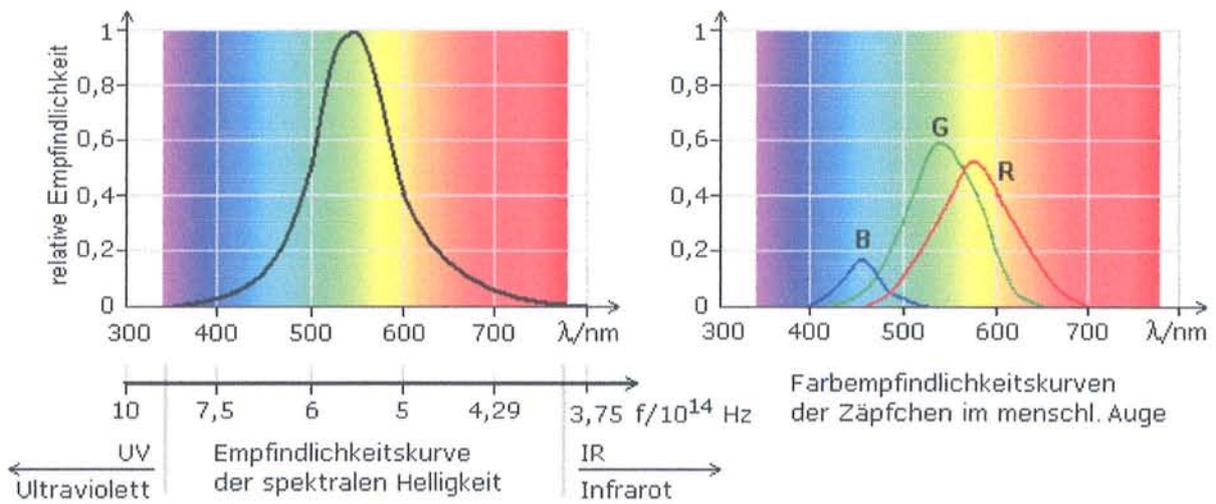


Bild 1.....Bild 2.....

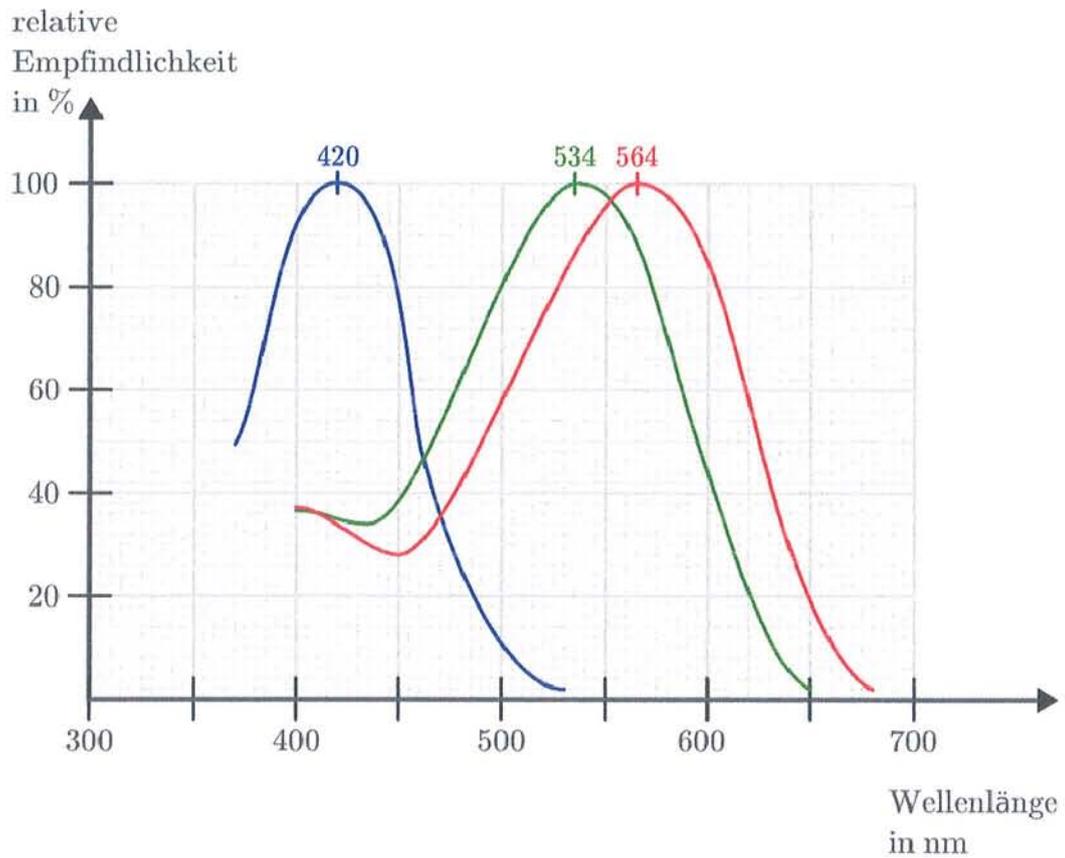


Bild 3.....

.....

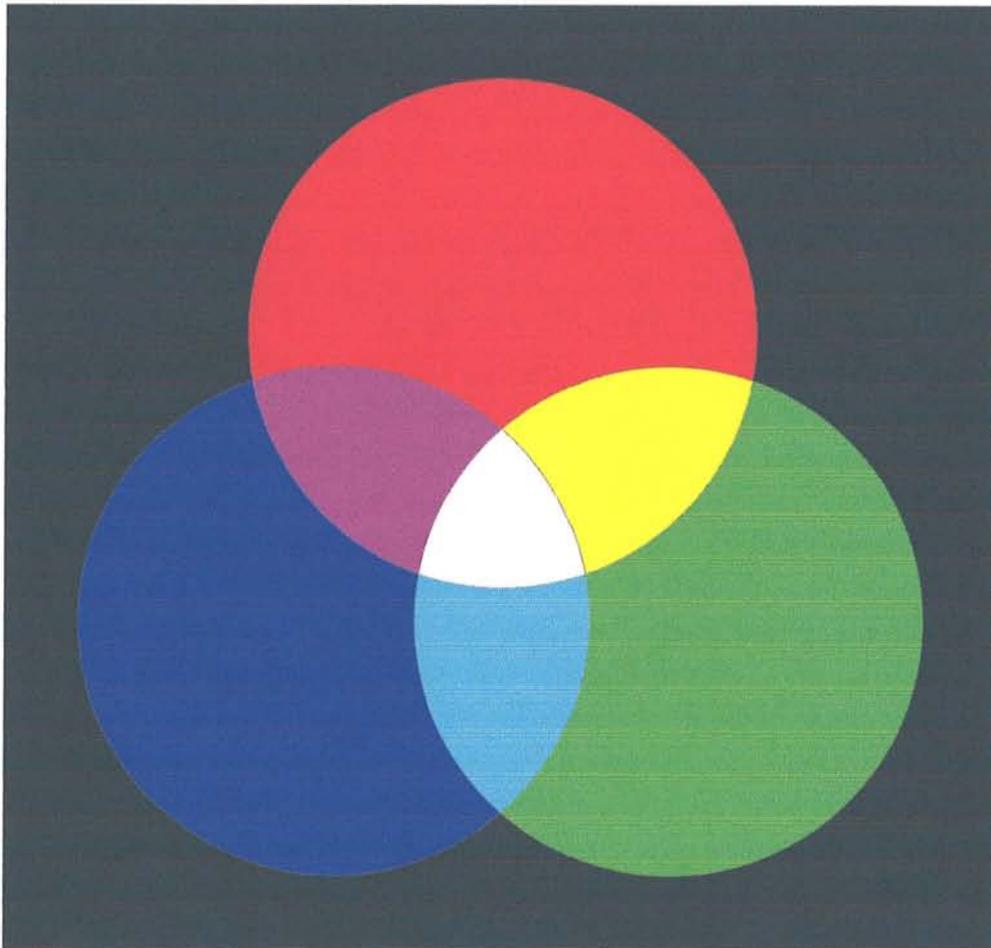
Additive Farbmischung

Die Überlagerung von drei Primärfarben mit unterschiedlichen Anteilen erzeugt beliebige Farbdarstellungen. Jeder Farbwert, auch Farbvalenz genannt, kann durch drei Farbmazzahlen (X, Y, Z) beschrieben werden, die sich selbst nicht durch Mischung ergeben. Sie entsprechen einem Ortsvektor im Farbenraum.

.....

Die drei Primärfarben sind **Rot**, **Grün** und **Blau**.

.....



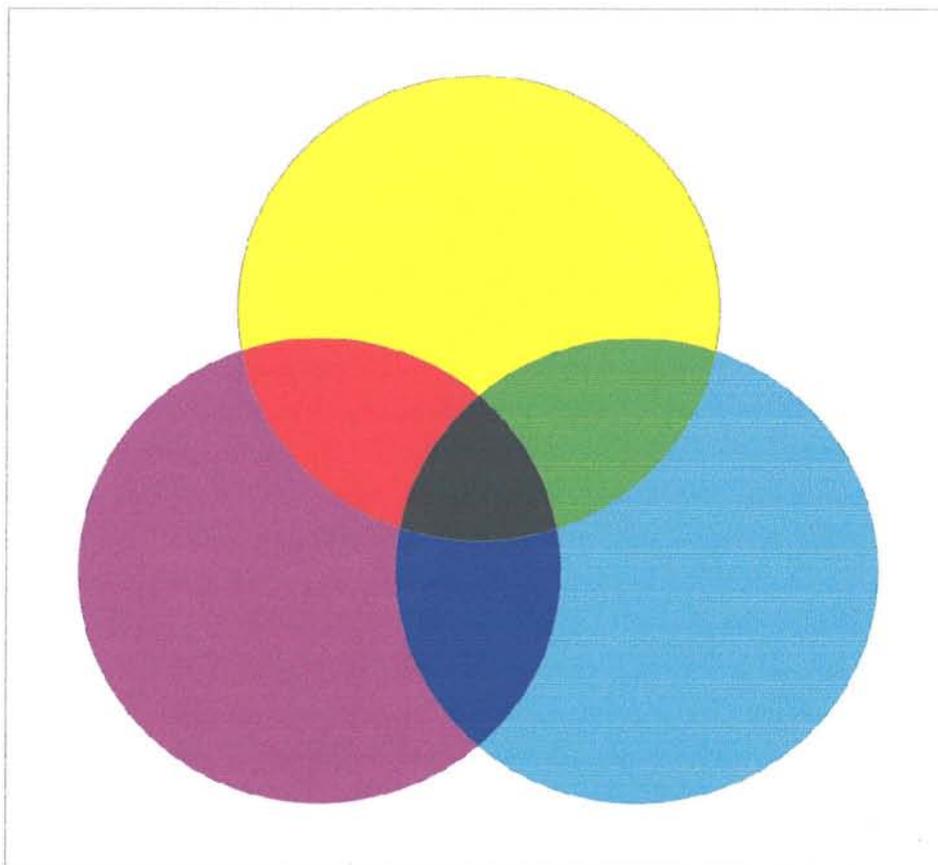
.....Farbmischung additiv.....

Beleuchtet man mit gleichem Intensitäten eine Fläche, die selbst keine Farbe absorbiert, so erscheint darauf die Mischfarbe grau bis weiss.

Das menschliche Auge nimmt die additive Farbmischung auch dann wahr , wenn viele verschiedene Farbpunkte unterhalb der Auflösungsgrenze des Auges beieinanderliegen. Treffen mehrere Farbvalenzen in rascher oder periodischer Folge auf die gleiche Netzhautstelle im Auge , so wird ebenfalls nur die additive Mischfarbe wahrgenommen.

Anwendung findet die additive Farbmischung unter anderem bei der Bild-Darstellung in der Farbfernsehbildröhre (CRT) , in Farbplasmabild – Schirmen , in allen LCD-RFT Farbanzeigeeinheiten und Grossdisplays , die mit LED-oder OLED-Matrixanzeigen arbeiten.

Subtraktive Farbmischung



Neben der additiven Farbmischung kennt man vom Malen mit Wasser - Farben auch die subtraktive Farbmischung.

Wird ein Farbanteil des weissen Lichts von einem Material absorbiert , so wird die Mischung der restlichen Farbanteile (Komplementfarbe) reflektiert und vom Auge wahrgenommen.

Die Grundfarben dieser subtraktiven Farbmischung sind Rot , Gelb und Blau. Bei einer Mischung aus Gelb und Rot entsteht Orange , bei einer Mischung von Gelb und Blau entsteht Grün , und bei einer Mischung aus Rot und Blau entsteht Violett.

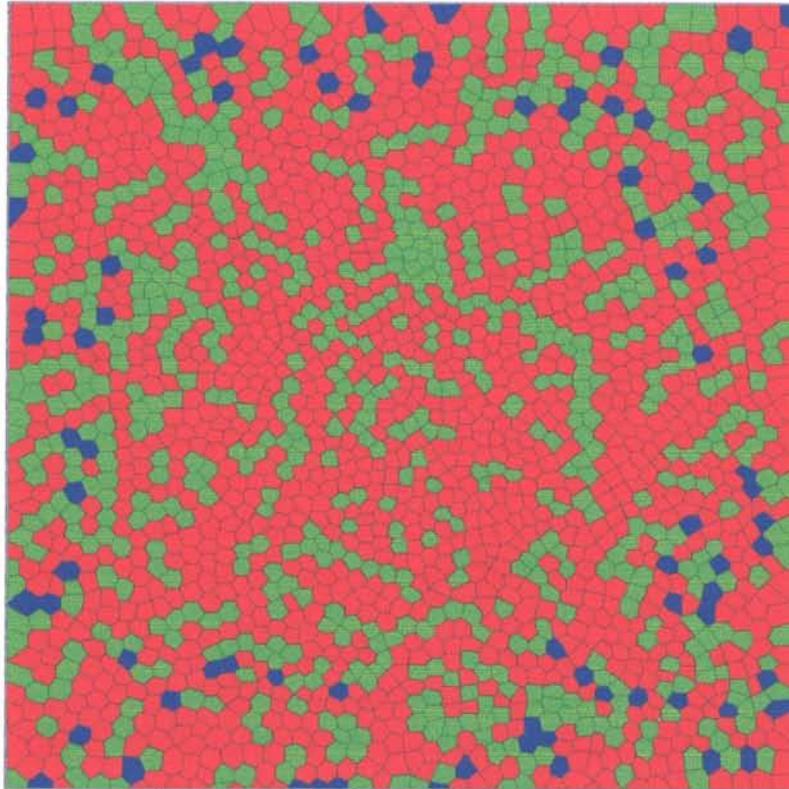
Mischt man alle Grundfarben , so ergibt sich bei einer vollen Deckkraft die Farbe **Schwarz**.

Subtraktive Farbmischung tritt ebenso auf , wenn weisses Licht durch ein transparentes , aber gefärbtes optisches Medium geht z.B.(eine Sonnenbrille).

Tag -und Nachtsehen

Die Zäpfchen für die rote , grüne und blaue Farbwahrnehmung sind nicht gleichmässig auf der Netzhaut verteilt. Während sich im zentralen Bereich der Netzhaut überwiegend Zäpfchen für rotes und grünes Licht befinden , gibt es im äusseren Bereich der Netzhaut mehr blaue Zäpfchen. Bei hoher Helligkeit ist die Pupille als Blende eher geschlossen (klein) , so dass das einfallende Licht vorwiegend im zentralen Bereich der Netzhaut auftritt.

Bei dem so genannten „Tagsehen“ hat das menschliche Auge die grösste Empfindlichkeit bei einer Wellenlänge von **555nm** , also im grünen Farbbereich.



.....Netzhaut (Zäpfchen).....

Bei zunehmender Dunkelheit vergrössert sich die Pupille , so dass mehr Licht ins Auge gelangen kann. Dabei trifft ein grösserer Lichtanteil auf die äusseren Bereiche der Netzhaut. In diesem Fall tragen die am empfindlichsten auf Licht reagierenden Zäpfchen für blaues Licht stärker zur gesamten Lichtempfindlichkeit des Auges bei. Die höchste Empfindlichkeit verschiebt sich bei dem so genannten „Nachsehen“ zu einer Wellenlänge von 507nm.

Lichtechnische Definition

Für quantitative Aussagen wird ein dem elektrischen Strom vergleichbarer Lichtstrom definiert. Er erhält den griechischen Buchstaben Phi Φ mit der Einheit Lumen (lm). Der Lichtstrom ist die von einer Lichtquelle radial abgestrahlte Lichtleistung.

Definiert ist die Strahlungsleistung von **1Watt** für Licht mit der Wellenlänge λ **555nm**. Sie ist gleich dem vom menschlichen empfundenen Lichtstrom von **683 lm** (Lumen).

Der Umrechnungsfaktor ist der Lichtgleichwert **K**. Die Verknüpfung der Strahlungsleistung **P** als objektive Messgrösse mit der physiologischen Empfindung ist durch die folgende Beziehung gegeben.

$$\text{Lichtstrom } \Phi_v = P K S_v$$

K = 683lm/Watt.....Lichtgleichwert

P.....Strahlungsleistung

S_v.....relative Empfindlichkeit

Eine kurze Zusammenfassung zeigt die in der Photometrie und Optoelektronik verwendeten Begriffe und ihre Zusammenhänge.

Ohne besondere Vorkehrungen strahlt das Licht von der Lichtquelle radialsymmetrisch aus. Die Lichtstärke wird mit zunehmendem Abstand zur Quelle geringer.

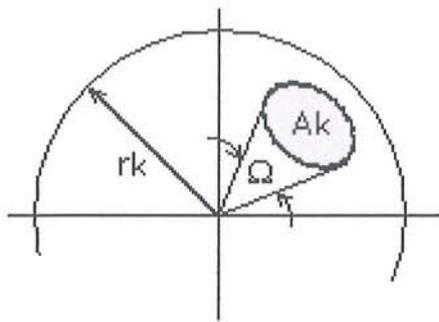
Zur mathematischen Beschreibung wurde ein Raumwinkel Ω mit der Einheit Steradian **sr** eingeführt.

Der Definition entsprechend ist der Raumwinkel unbenannt, erhält aber die Pseudobenennung Steradian.

Sein Wert ist 1, wenn bei einem Kugelradius $r = 1\text{m}$ und die Kugelausschnittfläche $A_k = 1\text{m}^2$ beträgt.

Die Lichtstärke **I** mit der Einheit Candela, **cd** ist der auf den Raumwinkel **bezogene senkrecht** auftreffende Lichtstrom.

Die Beleuchtungsstärke **E** in der Einheit Lux **lx** errechnet sich aus dem Lichtstrom, der senkrecht auf eine beleuchtete Fläche fällt.



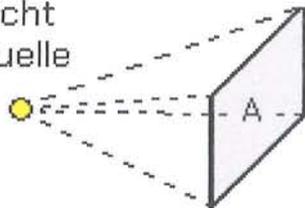
Raumwinkel

$$\Omega = \frac{A_k}{r_k^2} \text{ in sr}$$

Lichtstärke

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \text{ in cd} = \frac{\text{lm}}{\text{sr}}$$

Licht
quelle



Beleuchtungsstärke

$$E = \frac{\Phi}{A} \text{ in lx} = \frac{\text{lm}}{\text{m}^2}$$

Handelt es sich nicht um punktförmige Lichtquellen, sondern um eine beleuchtete Fläche, so wird noch die Leuchtdichte, oder bei beleuchteten Körpern die Flächenhelligkeit, definiert.

Die Leuchtdichte L ist das Verhältnis der Lichtstärke senkrecht zur betrachteten Fläche.

Die Einheit ist cd / m^2 oder

nach alter Benennung das **Stilb** mit

..... $\text{sb} = \text{cd} / \text{cm}^2$

.....

Lichtelektrische Verknüpfung

Trifft eine Strahlung auf ein geeignetes Absorptionsmaterial, so kann eine Änderung des elektrischen Stroms gemessen werden. Bei Lichtstrahlung spricht man vom Photostrom. Wie aus der folgenden Verknüpfung ersichtlich, ist der Photostrom bei einer bestimmten Wellenlänge λ von der Quantenausbeute η , der Strahlungsleistung Φ und einer dem Absorptionsmaterial eigenen inneren Verstärkung G abhängig.

Das Plancksche Wirkungsquantum h zeigt, dass die Anregung der Elektronen durch s.g. Energiepakete nur gequantelt erfolgt.

.....

(Zur Vervollständigung der mathematischen Zusammenhänge !)

.....

$$i_{ph} = e \cdot \eta(\lambda) \cdot G \cdot \frac{\Phi(\lambda)}{h\nu} \quad \text{Fotostrom} \quad \text{mit } c = \nu \cdot \lambda \quad \text{und } 0 < G < 10^7$$

$$\text{Quantenausbeute} = \frac{\text{erzeugte Ladungsträger rate}}{\text{eingestrahelte Photonen rate}} \quad \text{es gilt } \eta(\lambda) \leq 1$$

$$s(\lambda) = \frac{i_{ph}}{\Phi} = \frac{e}{h\nu} \cdot \eta(\lambda) \cdot G \cdot \lambda \quad \text{Strahlungsempfindlichkeit}$$

$$E_0 \geq h\nu_{gr} = \frac{hc}{\lambda_{gr}} \quad \text{Mindestphotonenenergie}$$

.....

Die Beziehung der Strahlungsempfindlichkeit gilt für alle Quantenteil-Detektoren. Zur Erzeugung der für den Stromfluss erforderlichen freien

Ladungsträger oder Ladungsträgerpaare ist eine Mindestenergie notwendig. Bei Halbleiterdetektoren muss die Photonen-Energie mindestens gleich der Energiebarriere zwischen Valenz –und Leitungsband sein.

Energiereicheres Licht erzeugt im Allgemeinen keinen höheren Photostrom , daher haben die Empfindlichkeitskurven nur ein Maximum.

Dieses liegt bei der unteren Grenzwellenlänge , die bei Kenntnis der Energie der Bandlücke , (das ist die verbotene Zone) , errechnet werden kann.

.....

Halbleiterdetektoren werden aber auch sehr erfolgreich zur Messung hoch energetischer Strahlung eingesetzt. Mit ihnen lassen sich die in der Kernphysik auftretenden α -, β - und γ -Strahlungen messtechnisch auswerten. Die Strahlungsenergie von Röntgenstrahlung ist so hoch , dass eine Wechselwirkung mit Elektronen der inneren K- und L-Schalen erfolgt.

Bei Halbleitern und Isolatoren werden die Elektronen dabei ins Leitungsband überführt. Bei Metallen gelangen die angeregten inneren Elektronen in das teilweise besetzte Valenzband. Da Metalle keine Energielücke zwischen dem Valenz- und Leitungsband haben , verändert sich bei Bestrahlung proportional die Leitfähigkeit.

Für gebundene Elektronen wird der innere Photoeffekt durch Photonen ausgelöst , deren Energie der jeweiligen Bandlücke der Materie entspricht. Photonen mit geringerer oder höherer Energie liefern keinen Beitrag zum Photostrom.

Der lichtelektrische Effekt kann aber auch an Metallen beobachtet werden. Der messbare Photostrom ist weniger von der Intensität , dagegen aber sehr stark von der Frequenz und somit von der Energie der Photonen abhängig.

Die Erklärung gab der Physiker Albert Einstein in seiner Hypothese zu Lichtquanten.

Der Comptoneffekt

Das Licht als Teilchen betrachtet hat die Energie $E = h \nu / c$.

Ein bestimmter Ausbruch A ist notwendig, um ein Elektron aus dem Bindungsverband freizusetzen. Ist die Energie des Photons grösser als die Austrittsarbeit A eines Elektrons, dann kann das Lichtteilchen ein Elektron mit der **kinetischen Energie** $E_{k\text{ in}} = h \nu - A$ herausschlagen.

Die Photonen geben beim Stoss einen Teil ihrer Energie und ihres Impulses ab, werden langwelliger und ändern ihre Strahlungsrichtung.

Dieses Phänomen wird als Comptoneffekt bezeichnet und beschreibt die relativistische Streuung von Photonen an freien Elektronen.

Quellen

<https://de.wikipedia.org/wiki/Photometrie>

<https://www.grund-wissen.de>

<http://elektroniktutor.de>