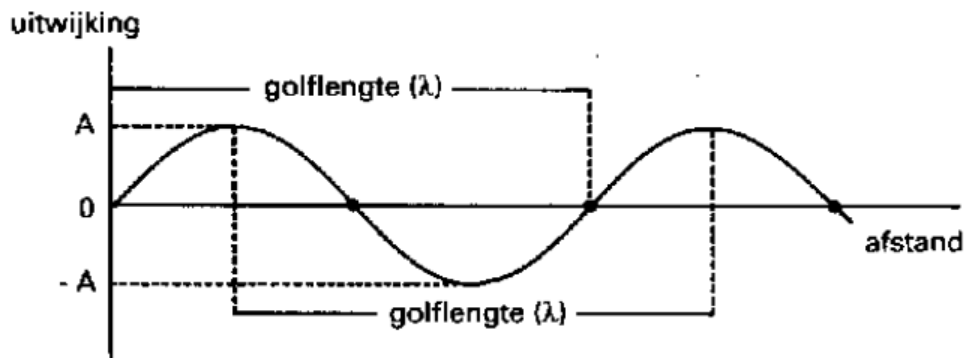


trillingen–golven–licht–geluid

Licht en geluid zijn beide voorbeelden van wat we in de natuurkunde een golfverschijnsel noemen. We spreken ook wel van een golfbeweging, een trilling of van straling.



Golfbeweging

De volgende begrippen zijn van belang:

- De golflengte λ (eenheid nanometer, nm, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). De golflengte is de afstand tussen 2 punten in de golf die op hetzelfde moment dezelfde beweging uitvoeren.
- De amplitude of amplitude (A). De amplitude is de maximale uitwijking van een trillend punt ten opzichte van de ruststand, anders gezegd de hoogte van de top van de golf.
- De trillingstijd T (eenheid seconde, s). De trillingstijd is de tijd waarin een punt van de golf 1 volledige golfbeweging heeft uitgevoerd.
- De frequentie f (eenheid Hertz, Hz). De frequentie geeft het aantal golven aan die een punt in 1 seconde uitvoert. Er geldt $f = 1/T$.

Het menselijk lichaam is in staat om verschillende golfverschijnselen, trillingen of straling waar te nemen. Daarvoor beschikt het lichaam over zintuigen.

Met het oog kunnen we licht waarnemen. De golflengte van zichtbaar licht varieert tussen 400 nm en 700 nm. Met de warmtereceptoren (onder andere in de huid) kunnen we infrarood (IR) straling, ook wel warmtestraling genoemd, waarnemen. De golflengte van IR straling varieert tussen 800 nm en 10.000 nm. IR straling is voor het menselijk oog onzichtbaar.

Met het oor kunnen we geluid waarnemen. Het menselijk oor is gevoelig voor geluidsgolven met een frequentie tussen de 16 Hz en 20 000 Hz. Deze grenzen zijn sterk afhankelijk van leeftijd en komen tijdens het ouder worden dicht bij elkaar te liggen: de ondergrens stijgt iets, de bovengrens kan dalen tot 13.000 Hz.

Er zijn ook vormen van straling die we niet waar kunnen nemen. Het meest bekende voorbeeld daarvan is röntgenstraling. De golflengte van röntgenstraling varieert tussen 3 nm en 0,006 nm.

Er zijn 2 verschillen tussen geluidsgolven enerzijds en licht, IR en röntgenstraling anderzijds:

- Licht, IR en röntgen zijn voorbeelden van zogenoemde elektromagnetische straling. Elektromagnetische straling kan zich voortplanten in vacuüm, in lucht, in water, enzovoort. De snelheid waarmee elektromagnetische golven zich voortplanten is altijd gelijk aan de lichtsnelheid (c). In lucht en in vacuüm geldt $c = 300.000 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, in water geldt $c = 225.000 \text{ km/s}$.
- Geluidsgolven kunnen zich alleen maar voortplanten in een andere stof, een medium, zoals lucht, water, botten, enzovoort. De trillingen worden door de moleculen van het medium doorgegeven. De voortplantingssnelheid van geluidsgolven is veel lager dan de lichtsnelheid. In lucht is de voortplantingssnelheid van geluid 340 m/s , in water circa 1500 m/s en in botten circa 4000 m/s . Geluid is dus geen elektromagnetische straling.

Het verband tussen golflengte, frequentie en voortplantingssnelheid is bij alle golfbewegingen hetzelfde:

De formule luidt: $f \cdot \lambda = v$. Hierin is v de voortplantingssnelheid.

Bij elektromagnetische straling luidt de formule $f \cdot \lambda = c$ (De v is dan vervangen door de lichtsnelheid c).

Als straling op een voorwerp valt, kunnen de volgende dingen gebeuren:

- De straling gaat om het voorwerp heen. We spreken van omspoelen. Dit gebeurt als de golflengte groter is dan het voorwerp.
- De straling gaat dwars door het voorwerp heen. Dit gebeurt als de golflengte veel kleiner is dan de deeltjes waaruit het voorwerp is opgebouwd. We spreken van doordringing.
- De straling dringt door in het voorwerp, maar komt er aan de achterkant niet meer uit. Dit gebeurt als de golflengte ongeveer even groot is als de deeltjes waaruit de stof is opgebouwd of even groot is als de openingen tussen deze deeltjes. Bovendien mag de energie van de straling niet al te hoog zijn. We spreken van absorptie.
- De straling kaatst terug op het oppervlak van het voorwerp, bijvoorbeeld zoals bij een spiegel. Dit gebeurt als de golflengte van de straling groter is dan de deeltjes waaruit het oppervlak van de stof is opgebouwd, groter is dan de openingen tussen deze deeltjes, maar kleiner dan het totale voorwerp. We spreken van reflectie. In beide laatste gevallen is er sprake van schaduwvorming.

De amplitude van straling is belangrijk voor de energie van de golfbeweging. Bij een grote amplitude

bevat de straling veel energie. Straling met een hoge energie heeft een groter doordringend vermogen.

Naast de amplitude blijkt ook de frequentie van de straling invloed te hebben op de energie ervan. Straling met een hogere frequentie heeft in het algemeen een grotere energie en daarmee een groter doordringend vermogen.

Om stoornissen in het waarnemen van licht en geluid te verhelpen, is een grondige kennis vereist van het functioneren van het oog en het oor.

Daarnaast worden licht en geluid veelvuldig toegepast in diagnostische apparatuur.

Toepassing van licht vinden we bij de endoscopen zoals de gastroscop, laparoscop en bronchoscoop.

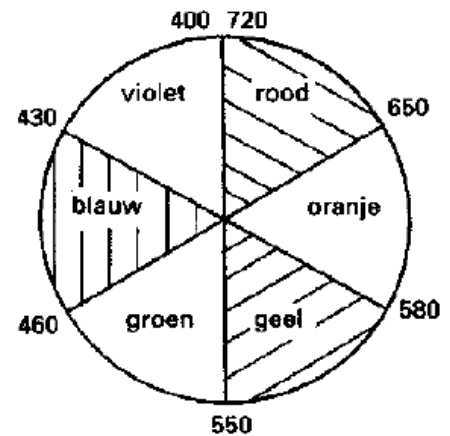
Licht wordt verder nog gebruikt in analytische apparatuur zoals de verschillende fotometers, waaronder de hemoglobinemeter (Hb-meter).

Toepassing van geluid vinden we bij de stethoscoop, in de audiometrie en in de echografie.

ZICHTBAAR LICHT

Zichtbaar licht bestaat uit verschillende kleuren. Je spreekt van het zichtbare deel van het elektromagnetische spectrum. In de kleurenschijf zijn de 3 primaire kleuren gearceerd. De 3 niet gearceerde kleuren zijn de secundaire kleuren. Dit zijn mengkleuren van de primaire kleuren die er naast staan.

Kleuren die tegenover elkaar liggen in de kleurenschijf noem je complementaire kleuren. Als we 2 complementaire kleuren licht op ons oog laten vallen, dan ziet ons oog wit licht. Wit licht is dus een combinatie van paren van complementaire kleuren.



Zonlicht bevat alle golflengtes en wordt dus door ons oog gezien als wit licht.

Als ons oog totaal geen licht waarneemt, spreken we van zwart. Zwart is dus het ontbreken van licht en net als wit geen kleur op zichzelf.

De getallen in de kleurenschijf geven de golflengtes aan in nanometer.

REFLECTIE

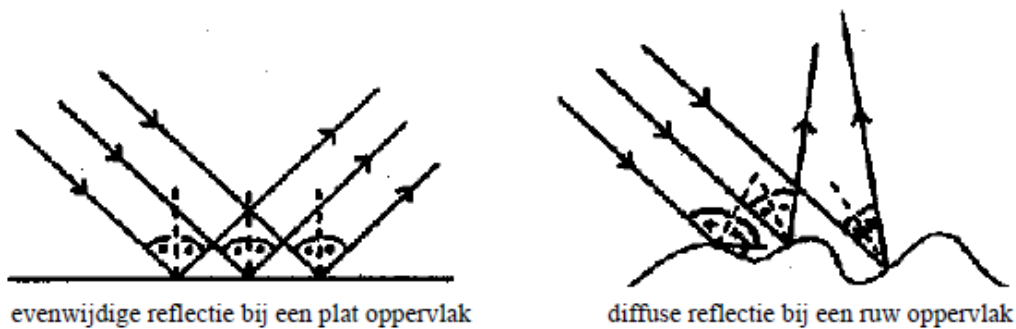
Wij kunnen voorwerpen en de kleur daarvan waarnemen doordat deze voorwerpen het licht dat erop valt terugkaatsen (reflectie). Als wij een voorwerp waarnemen als wit, dan wil dat zeggen dat het voorwerp alle opvallende licht ook reflecteert. Een zwart voorwerp reflecteert helemaal geen opvallend licht, het opvallende licht wordt volledig opgenomen in het voorwerp (absorptie). Een groen voorwerp kaatst alleen maar groen licht terug, alle andere licht, en vooral de complementaire kleur, wordt geabsorbeerd, enzovoort.

Er bestaan ook stoffen die bepaalde kleuren wel doorlaten en andere niet, zogenoemde lichtfilters.

Als je nu met een lichtfilter dat alleen groen licht doorlaat naar een rode aardbei kijkt, ziet het oog de aardbei als zwart. Dit komt omdat groen en rood complementair zijn. De rode aardbei reflecteert rood licht en absorbeert al het groene licht. Het groene lichtfilter laat alleen groen licht door, maar dat zendt de rode aardbei niet uit. Dus er komt door het groene filter geen licht vanuit de aardbei in ons oog, waardoor deze zwart lijkt.

Bij reflectie van licht is de structuur van het oppervlak ook belangrijk. Een glad en plat oppervlak kaatst het licht regelmatig terug. We noemen dit spiegelende werking. Bij een ruw oppervlak kaatst het opvallende licht in allerlei willekeurige richtingen terug. Hier is sprake van verstrooiing.

Bij reflectie geldt altijd een vaste regel, namelijk 'hoek van inval is hoek van terugkaatsing'. De hoek waaronder de lichtstralen op het oppervlak komen, meet je altijd ten opzichte van de normaal. Dit is de lijn die loodrecht op het oppervlak staat. Bij een vlak, plat oppervlak staat die normaal altijd in dezelfde richting, bij een gebogen of ruw oppervlak wijst de normaal in verschillende punten ook allerlei kanten op (zie figuur 3). De normaal is in figuur 3 telkens met een onderbroken lijn weergegeven.



Figuur 3 Reflectie

Lichtstralen die evenwijdig aan elkaar blijven lopen, vormen een parallelle lichtbundel. Laserlicht is een voorbeeld van een parallelle lichtbundel.

Lichtstralen die dwars door elkaar heen en alle kanten uitgaan, vormen strooilicht.

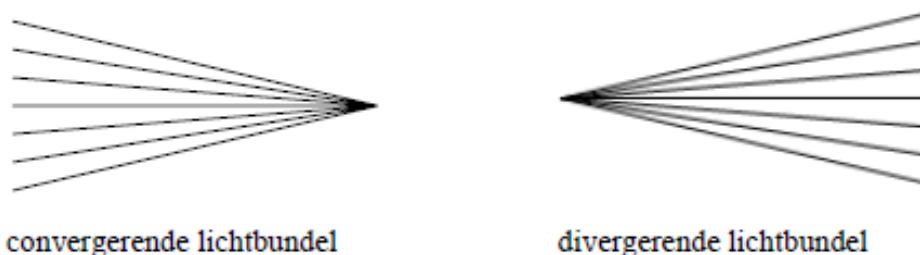
Lichtstralen die op een regelmatige manier steeds verder uit elkaar gaan lopen en waarbij het lijkt alsof ze uit 1 punt komen, vormen een divergente of divergerende lichtbundel.

Lichtstralen die op een regelmatige manier steeds dichter naar elkaar toe bewegen en waarbij ze uiteindelijk in 1 punt samenkomen, vormen een convergente of convergerende lichtbundel.

Divergente en convergente lichtbundels zijn uitgebeeld in figuur 4

evenwijdige reflectie bij een plat oppervlak diffuse reflectie bij een ruw oppervlak

convergerende lichtbundel divergerende lichtbundel

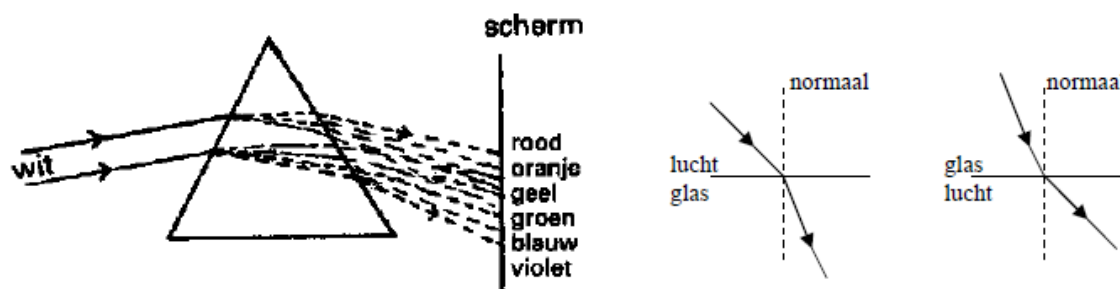


Figuur 4 Convergente en divergente lichtbundel

BREKING

Lichtstralen die op een doorzichtig materiaal vallen, kunnen daar ook doorheen gaan. Bij bijna alle materialen treedt er dan breking van de lichtstraal op. Het beste is dat te zien in een prisma, een driehoekig geslepen stuk glas. Als daar wit licht op valt, zie je achter het prisma alle kleuren van de regenboog. Elke kleur breekt namelijk net iets anders. In een druppel water kun je dit effect ook zien. Dit is in figuur 5 uitgebeeld.

Breking van licht (en van andere elektromagnetische straling) wordt veroorzaakt doordat de voortplantingssnelheid in verschillende materialen anders is. In vacuüm en lucht is de lichtsnelheid $3 \cdot 10^8$ m/s, maar in glas is het bijvoorbeeld $2 \cdot 10^8$ m/s en in water $2,25 \cdot 10^8$ m/s. Als het licht overgaat van een stof waarin de lichtsnelheid hoog is naar een stof met een lagere lichtsnelheid, dan breekt de lichtstraal naar de normaal toe. In het omgekeerde geval breekt de lichtstraal van de normaal af.



Figuur 5 Breking

Bij breking van licht gebruik je het begrip brekingsindex om aan te geven hoe sterk de breking is. Je berekent de brekingsindex door de lichtsnelheid in de stof waar de straal vandaan komt te delen door de lichtsnelheid in de stof waar de straal naar toe gaat. Je geeft de brekingsindex aan met de letter n .

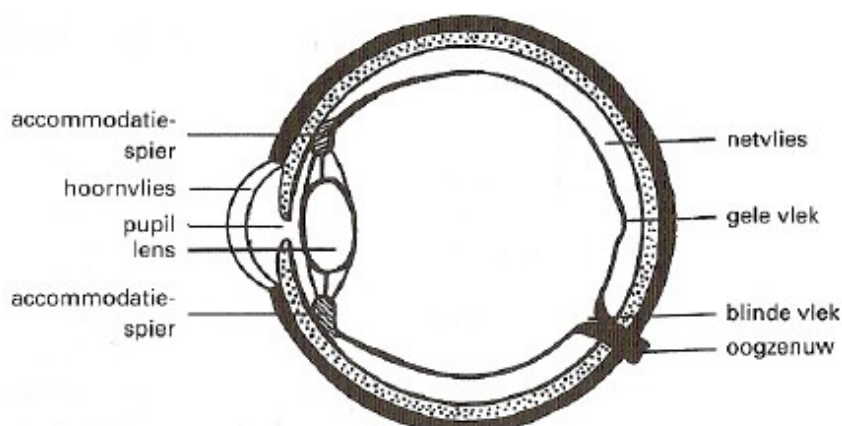
Bij de overgang lucht $\rightarrow$ glas geldt dus: $n = c(\text{lucht}) : c(\text{glas}) = 300.000 \text{ km/s} : 200.000 \text{ km/s} = 1,5$.

Bij de overgang glas $\rightarrow$ lucht geldt dan: $n = c(\text{glas}) : c(\text{lucht}) = 200.000 \text{ km/s} : 300.000 \text{ km/s} = 0,67$.

We concluderen: als n groter is dan 1 dan breekt het licht naar de normaal toe, als n kleiner is dan 1 dan breekt het licht van de normaal af.

HET OOG

BOUW VAN HET OOG EN BEELDVORMING



Figuur 7 Het oog

Voor de beeldvorming door het oog zijn de volgende onderdelen van belang.

- Het hoornvlies is het voorste deel van het harde oogvlies. Het is doorzichtig en sterk gekromd om het invallend licht te convergeren.
- De pupil is een opening in het vaatvlies. De pupil kan groter en kleiner worden gemaakt door een kringspier in de iris. De pupil regelt de hoeveelheid licht die het oog binnenvalt.
- De lens bevindt zich vlak achter de pupil en is via banden verbonden met de zogenoemde accommodatiespier. De lens is een soepel, elastisch en doorzichtig onderdeel van het oog. De lens is altijd bol, zodat de binnenvallende lichtstralen verder convergeren. Als de ringvormige accommodatiespier zich samentrekt, wordt de lens boller doordat de banden slap hangen. In de rusttoestand van de accommodatiespier zijn de banden strak getrokken en is de lens vrijwel plat. De vormverandering van de lens noem je accommodatie (= aanpassing).

- Het netvlies bevat de zintuigcellen voor het waarnemen van de lichtstralen. Het netvlies is niet overal even gevoelig voor licht. De gele vlek, recht achter de lens, bevat zeer veel zintuigcellen en is zeer gevoelig. De blinde vlek, de plaats waar de oogzenuw de oogbol verlaat, bevat geen zintuigcellen en is dus ongevoelig voor licht.

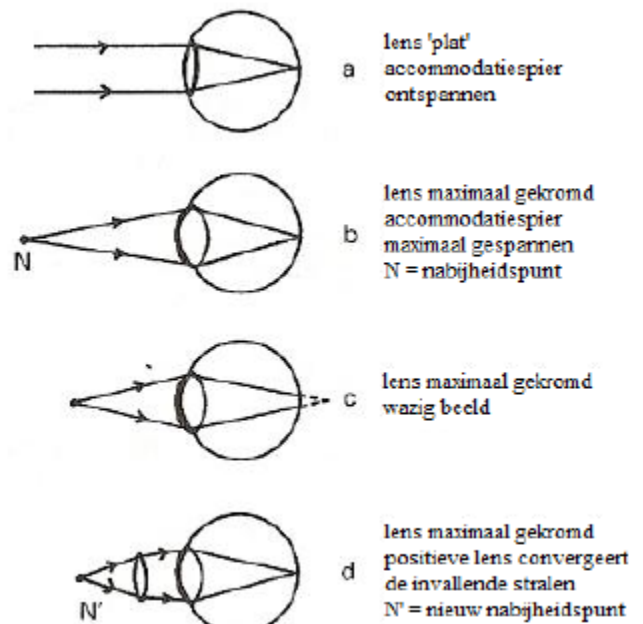
De ruimten tussen hoornvlies en lens en tussen lens en netvlies zijn opgevuld met doorzichtige stoffen die de lichtstralen normaal gesproken ongehinderd doorlaten.

Om een scherp beeld van een voorwerp te krijgen, moeten de lichtstralen die uit één punt van het voorwerp komen, op het netvlies ook weer samenvallen in één beeldpunt. Het oog realiseert dit door de lens op een bepaalde manier te accommoderen. Anders gezegd: de lens wordt zodanig ingesteld dat het voorwerp scherp waargenomen wordt.

Om dichterbij te kijken, moet de lens boller worden, de accommodatiespier trekt dan samen, de banden gaan slap hangen en de lens wordt bol dankzij zijn elasticiteit. Om verder weg te kijken, moet de lens platter worden, de accommodatiespier verslapt, de banden trekken strak waardoor de lens wordt 'uitgerekt'. De bolling van de lens is aan een maximum gebonden. Dit betekent dat er een minimale afstand is tussen het oog en een voorwerp om dit scherp te kunnen zien.

Je spreekt van het nabijheidspunt. Voorwerpen die zich tussen het nabijheidspunt en het oog bevinden, worden niet scherp waargenomen omdat de lichtstralen niet genoeg convergeren.

Het nabijheidspunt is afhankelijk van de leeftijd. Voor kinderen ligt het op ongeveer 10 cm; bij ouderen komt het steeds verder weg te liggen omdat de elasticiteit van de lens afneemt. De maximale bolling wordt dan steeds geringer. Oudere mensen krijgen daarom vaak moeite met lezen. Men is dan presbyop (verziend door ouderdom). Presbyopie is te verhelpen door een positieve lens (een 'plus'-bril) voor het oog te plaatsen om de lens te helpen de invallende lichtstralen te convergeren. Het nabijheidspunt wordt zo kunstmatig dichterbij gehaald. Dit alles is samengevat in figuur 8.



OOGAFWIJKINGEN

De oogafwijkingen waar wij ons hier mee bezighouden, gaan over misvormingen van het beeld op het netvlies.

Dit kan vele oorzaken hebben, zoals afwijkingen in de doorlaatbaarheid voor licht van het hoornvlies of de andere doorzichtige delen van het oog, waardoor het binnenvallende licht verstrooid wordt. De meest voorkomende afwijkingen hebben echter te maken met de bolling van de lens of de lengte van de oogas (= afstand tussen lens en netvlies). Deze moeten op elkaar afgestemd zijn, anders vallen lichtstralen uit 1 punt van een voorwerp niet samen op het netvlies. Het voorwerp wordt dan wazig waargenomen.

Er kunnen zich 2 situaties voordoen:

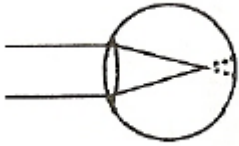
a de lichtstralen komen voor het netvlies al samen (bijziendheid of myopie);

b de lichtstralen komen pas achter het netvlies samen (verziendheid of hypermetropie).

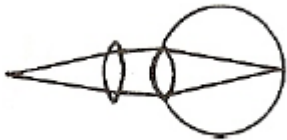
In beide gevallen heeft 1 punt van het voorwerp meer dan 1 beeldpunt op het netvlies. Zie figuur 9.

a Myopie (bijziend)

a Myopie (bijziend)



b Hypermetropie (verziend)



Figuur 9 Oogafwijkingen

De oorzaak van myopie kan zijn een te lange oogas (as-myopie) of een te sterke bolling van de lens (lens-myopie). Het gevolg is in beide gevallen dat de lichtstralen al voor het netvlies samenkomen. Myopie geeft vooral problemen bij het zien op afstand. De lens is bij volledige ontspanning van de accommodatiespier nog te bol. De lichtstralen worden te sterk geconvergeerd.

Correctie van deze oogafwijking is mogelijk door het dragen van een negatieve (holle) lens. De 'min'-lens divergeert de lichtstralen, ter compensatie van de sterkere convergentie door het oog (figuur a).

b Hypermetropie (verziend)

De oorzaak van hypermetropie kan zijn een te korte oogas (as-hypermetropie) of een te geringe bolling van de lens (lens-hypermetropie). In beide gevallen komen de lichtstralen pas achter het netvlies samen. Er ontstaat een virtueel beeld.

Hypermetropie geeft vooral problemen bij dichtbij kijken. De invallende lichtstralen worden niet voldoende geconvergeerd. Correctie van hypermetropie is mogelijk door het dragen van een positieve (bolle) lens. De 'plus'-lens convergeert de lichtstralen al gedeeltelijk, ter aanvulling van de te geringe convergentie door het oog (figuur b).

Bij de correctie van myopie en hypermetropie gebruiken we lenzen. Dit zijn speciaal geslepen stukjes glas of kunststof die het invallende licht op een speciale manier breken. Er bestaan bolle lenzen (positieve of + lenzen) en holle lenzen (negatieve of – lenzen).

De sterkte van een lens drukken we uit in dioptrieën. Het aantal dioptrieën is gelijk aan $1/f$;

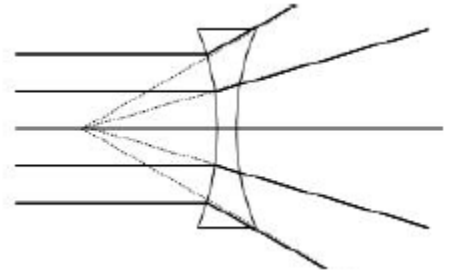
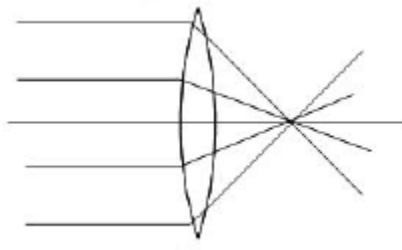
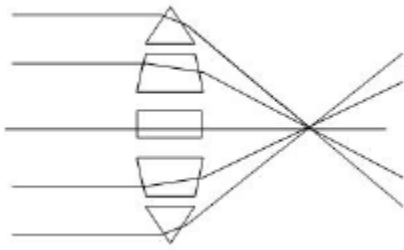
f is de afstand tussen het midden van de lens en het brandpunt, de brandpuntsafstand, uitgedrukt in meter.

Een + of een – voor het aantal dioptrieën geeft aan of je een bolle respectievelijk een holle lens bedoelt.

Voorbeelden

- 1 Een lens met een sterkte van -5 dioptrieën is hol en heeft een brandpuntsafstand f van $0,2 \text{ m} = 20 \text{ cm}$. ($1/0,2 = 5$)
- 2 Een lens met een sterkte van $+2,5$ dioptrieën is bol en heeft een brandpuntsafstand f van $0,4 \text{ m} = 40 \text{ cm}$. ($1/0,4 = 2,5$)

Lenzen zijn feitelijk heel veel prisma's bij elkaar. In figuur 10 is uitgebeeld hoe de breking van lichtstralen door lenzen verloopt.



a breking door prisma's

b convergente breking, bolle lens

c divergente breking, holle lens

In figuur a en b zie je dat een bolle lens lichtstralen convergeert. Lichtstralen die evenwijdig op de lens vallen komen allemaal terecht in het brandpunt achter de lens.

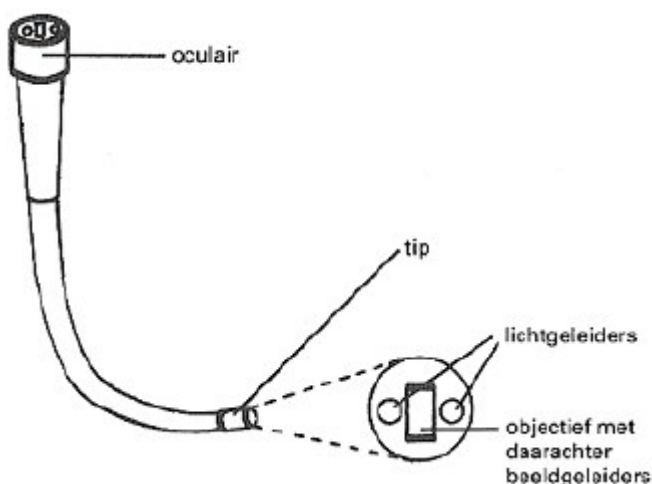
In figuur c is te zien dat een holle lens lichtstralen divergeert. De getrokken stippellijntjes geven de plek aan waar de divergerende bundel vandaan lijkt te komen. Dit punt blijkt het brandpunt van de holle lens te zijn, maar dit is een virtueel punt omdat de lichtstralen hier niet echt vandaan komen, dat lijkt alleen maar zo.

APPARATUUR DIE GEBRUIKMAAKT VAN LICHT

DIAGNOSTISCHE APPARATUUR; ENDOSCOPEN

Endoscopie is een methode om met behulp van starre of flexibele buizen inwendige lichaamsholten (zoals de buikholte of de maag) of holle kanalen (bijvoorbeeld de darm) te onderzoeken. In 1879 werd de eerste starre endoscoop ontwikkeld door Nitze. Pas sinds 1958 zijn er volledig buigzame endoscopen beschikbaar. De moderne endoscopen zijn allemaal gemaakt van glasvezels (glasfiber). Je spreekt van fiber-endoscopen.

De belangrijkste beeldvormende onderdelen van de endoscoop zijn de lichtgeleiders, de beeldgeleiders, het oculair en de tip. De lichtgeleiders brengen licht van buiten in de lichaamsholte. Het licht wordt in de lichaamsholte weerkaatst. Het weerkaatste licht wordt opgevangen door een lens aan het uiteinde van de beeldgeleiders en vanuit de lichaamsholte teruggeleid naar het oculair.



Het oculair is het onderdeel waarin de beeldgeleiders uitkomen en waardoor de teruggekaatste lichtstralen zichtbaar worden gemaakt. Het bevindt zich altijd buiten het lichaam.

De tip is de punt van de endoscoop die in het lichaam gebracht wordt en waarin de lichtgeleiders en de

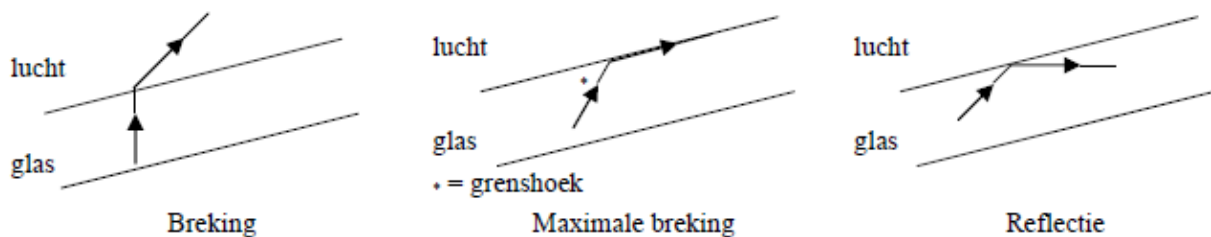
beeldgeleiders uitmonden. Met behulp van een besturingsmechanisme kan de tip over een hoek van 210° gedraaid worden. Zo kan de tip 'rondkijken' in de lichaamsholte.

De beeld- en lichtgeleiders worden samengepakt in een rubber mantel.

Het revolutionaire aan het gebruik van glasvezels is dat de endoscoop in willekeurige bochten gedraaid kan worden zonder dat dit de helderheid en de scherpte van het beeld aantast. Er is geen ingewikkeld systeem van spiegels, prisma's en lenzen meer nodig om het licht te geleiden. Deze opmerkelijke eigenschap van glasfibers is te verklaren uit wat we al weten over breking van licht. Wanneer lichtstralen uit een stof met een lagere lichtsnelheid (grotere optische dichtheid) overgaan naar een stof met een hogere lichtsnelheid (kleinere optische dichtheid), bijvoorbeeld de overgang van glas naar lucht, dan worden de lichtstralen van de normaal af gebroken.

Er doen zich dan 3 mogelijkheden voor .

- 1 Breking: lichtstralen die recht of bijna recht op het grensvlak vallen, worden gebroken van de normaal af en gaan verder in de lucht.
- 2 Maximale breking: lichtstralen die onder een speciale hoek op het grensvlak vallen, worden zo gebroken dat ze evenwijdig aan het grensvlak verder gaan. Deze speciale hoek noem je de grenshoek.
- 3 Reflectie: lichtstralen die onder een kleinere hoek dan de grenshoek op het grensvlak vallen, worden niet gebroken maar gereflecteerd. Deze lichtstralen blijven dus in het glas.



De licht- en de beeldgeleiders in een endoscoop zijn opgebouwd uit een groot aantal uiterst dunne glasvezels.

Elke glasvezel bestaat uit een kern van glas met een hoge optische dichtheid (dus een lagere lichtsnelheid) en daaromheen een mantel met een lagere optische dichtheid (dus een hogere lichtsnelheid). Lichtstralen die in de kern lopen en op het grensvlak met de mantel vallen, zullen in geval van breking van de normaal af buigen.

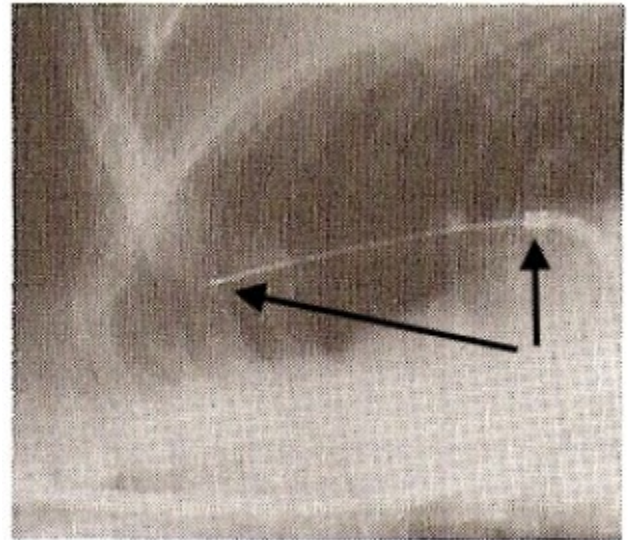
Lichtstralen lopen meestal evenwijdig aan het grensvlak door de glasvezel, zodat de invalshoek bijna altijd kleiner is dan de grenshoek. Er is dus eigenlijk altijd sprake van reflectie en de lichtstraal blijft in de kern.



De grote vlucht die de endoscopie de laatste jaren heeft genomen, is enerzijds toe te schrijven aan de sterk verbeterde apparatuur, waardoor artsen vrijwel in alle holle ruimten in het lichaam kunnen kijken zonder de

noodzaak van operatief ingrijpen of het maken van röntgenfoto's. Een kleine incisie (snee), bijvoorbeeld in de lies of in de buikwand, is vaak voldoende.

Een tweede zeer belangrijke verbetering is de mogelijkheid, naast het diagnosticeren tegelijkertijd enkele therapeutische handelingen te verrichten. De endoscoop is namelijk vaak uitgerust met een biopsiekanaal in de mantel waardoor een biopsietang in het lichaam gebracht kan worden. Met de biopsietang kan je stukjes weefsel of kleine stenen verwijderen en afvoeren door het biopsiekanaal (biopsie betekent: onderzoeken van weefsel dat uit een levend wezen is verwijderd). Via het biopsiekanaal is het echter ook mogelijk om kleine hulpmiddelen in het lichaam aan te brengen,

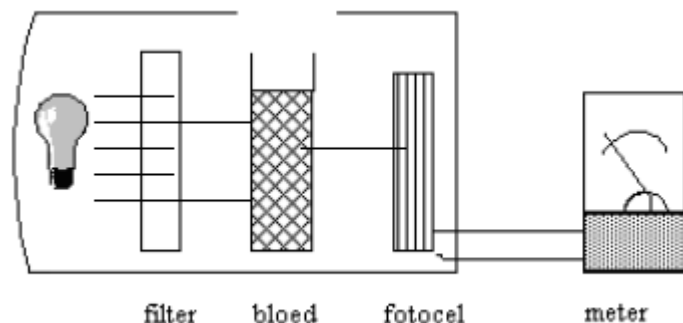


bijvoorbeeld een endoprothese voor drainage van galwegen of pancreas of een nieuwe hartklep. De combinatie van scoop en biopsiekanaal maakt het mogelijk tijdens 1 behandeling te diagnosticeren en kleine ingrepen te verrichten. In figuur 14 is goed te zien hoe de biopsietang uit de scoop komt.

ANALYTISCHE APPARATUUR; FOTOMETERS

De bepaling van het hemoglobinegehalte in het bloed gebeurt met een spectrofotometer, bijvoorbeeld de Spencer Hb meter. Andere typen Hb-meters zijn de filterfotometer en de Sicca-hemo-meter.

In een fotometer laat je licht door een oplossing vallen en je meet hoeveel licht de oplossing absorbeert (extinctie ofwel uitdoving) of doorlaat (transmissie). De hoeveelheid licht die de oplossing absorbeert, is een maat voor de concentratie van de stof die je wilt meten.



De meter geeft aan hoeveel % van het licht dat op de oplossing valt, geabsorbeerd dan wel doorgelaten is.

Voorbeeld

Zuiver water laat invallend licht volledig door. De transmissie is dan 100%, de extinctie 0%.

Een hemoglobine-oplossing (Hb-oplossing) zal vooral groen licht met een golflengte van 540 nm absorberen. Afhankelijk van de concentratie van de Hb-oplossing zal de transmissie dan bijvoorbeeld 37% zijn, terwijl de extinctie dan 63% bedraagt.

Extinctie en transmissie zijn samen 100% als we dezelfde oplossing met licht van dezelfde golflengte doorschijnen.

Voor het verkrijgen van betrouwbare waarden is het belangrijk eerst een zogenaamde ijkcurve te maken. Je meet met een serie oplossingen waarvan je de concentratie kent welke extinctie of welke transmissie de fotometer aangeeft. Wanneer je vervolgens onder dezelfde condities (dezelfde kleur en intensiteit licht waarmee je meet,

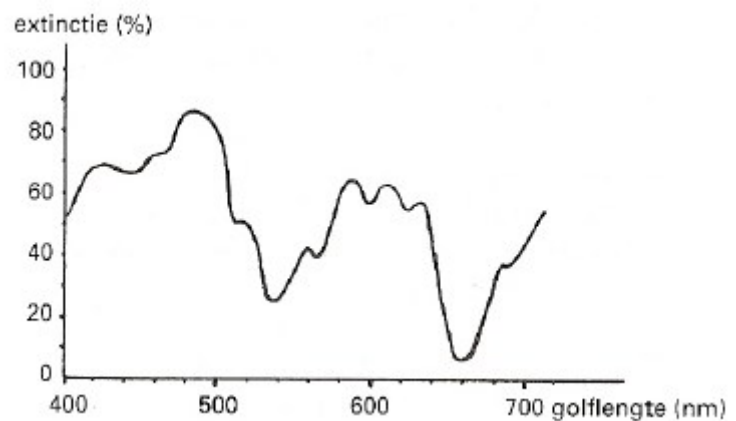
gebruik van dezelfde cuvet, het buisje waarin je de oplossing doet) een onbekende oplossing in de fotometer stopt, kun je de concentratie van deze oplossing bepalen.

Bij de Hb-meters is op de schaalverdeling aangegeven hoeveel gram Hb er per 100 ml bloed aanwezig is (gram%). De ijkcurve is hierin al door de fabrikant verwerkt.

Fotometers voor de bepaling van de concentratie van gekleurde stoffen in oplossing heten ook wel colorimeters (color = kleur).

Met het filter in de fotometer kan de golflengte van het licht dat op de oplossing valt, ingesteld worden. Bij veel meters heeft de fabrikant dit al gedaan, dan meet je met een vaste golflengte. Voor de bepaling van het hemoglobinegehalte met een Hb-meter

gebruik je groen licht met een golflengte van 540 nm, omdat dit licht door hemoglobine het beste wordt geabsorbeerd. Elke stof absorbeert een andere kleur het beste, namelijk de complementaire kleur. Een rode stof absorbeert dus vooral groen licht, een blauwe stof absorbeert vooral oranje licht en een gele stof absorbeert vooral violet licht, enzovoort.



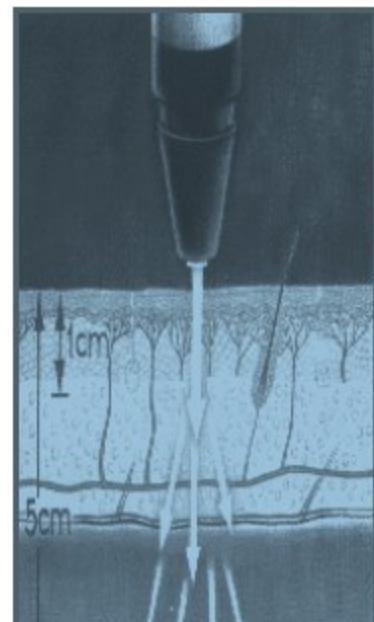
In de figuur is een absorptiespectrum van een stof getekend. Je ziet duidelijk dat de extinctie bij elke golflengte anders is.

CURATIEVE APPARATUUR; LASER

De term 'laser' is een afkorting van Light Amplification and Stimulated Emission of Radiation. Deze afkorting geeft kort aan hoe een laser werkt: een hoeveelheid licht wordt aangemaakt en door er steeds meer energie in te stoppen krijg je uiteindelijk een bijzonder krachtige lichtbundel.

Typische eigenschappen van lasers zijn:

- het licht is monochromatisch, dat wil zeggen: het heeft altijd maar 1 golflengte, 1 kleur;
- het licht komt altijd als een zuiver evenwijdige lichtbundel uit het laserapparaat. Dit heeft als gevolg dat een lichtbundel uit een laser op 200 m afstand nog steeds een even grote doorsnede heeft als wanneer hij de laser verlaat;
- het licht is bijzonder intens, het bevat bijzonder veel energie. Mensen die met lasers werken, moeten altijd een donkere bril op. Je mag ook nooit recht in een laserstraal kijken, omdat dan het netvlies verbrandt.



Een lasermachine bestaat uit een met gas gevulde glazen staaf of buis. Je wekt licht op door een stof (bijvoorbeeld een mengsel van helium en neon, kooldioxide, goud, enzovoort) te beschieten met elektronen, waardoor deze stof licht van een bepaalde kleur gaat uitstralen.

Het licht wordt versterkt door het tussen 2 spiegels heen en weer te laten kaatsen. De smalle, evenwijdige en krachtige laserstraal die de machine produceert heeft 1 kleur of golflengte, die afhankelijk is van de gebruikte stof.

De He-Ne laser verspreidt bijvoorbeeld rood licht, maar in principe zijn er lasers te maken in elke gewenste golflengte, ook in IR en UV.

Enkele van de talloze gebruiksmogelijkheden zijn het vastzetten van losgelaten stukjes van het netvlies, verdamping van wild vlees en tumoren en het stelpen van inwendige bloedingen. Ook kunnen met laser de kleurstofkorrels van een tatoeage worden verdampt. Verder kunnen verkleuringen in de huid verholpen worden met lasers.

De toepassingsmogelijkheden worden door nieuwe ontwikkelingen in de lasertechnologie nog uitgebreider en lasertherapie zou in de toekomst kunnen uitgroeien tot een standaard behandelingswijze.

GELUID

AARD EN VOORTPLANTING VAN GELUID

Geluid ontstaat door het in trilling brengen van voorwerpen, bijvoorbeeld een snaar van een gitaar, de benen van een stemvork, een kristallen glas waar je met een mes tegen tikt, enzovoort.

Het trillende voorwerp brengt de trilling over op de moleculen van de omringende stof, bijvoorbeeld lucht.

De moleculen in lucht geven de trilling door aan het trommelvlies en zo nemen wij het geluid waar.

Geluid heeft dus altijd een andere stof (een medium) nodig om zich voort te planten. In vacuüm is geen geluid.

De voortplantingssnelheid van geluid hangt af van het medium. In de tabel is een aantal waarden voor de voortplantingssnelheid van geluid weergegeven.

stof (medium)	geluidssnelheid (m/s)	stof (medium)	geluidssnelheid (m/s)
aluminium	5100	zeewater	1510
ijzer	5100	water	1480
glas	4200	kwik	1450
botweefsel	4000	ethanol	1200
koper	3700		
steen	3600		
hout (eiken)	3500	waterdamp	490
hout (wilgen)	1800	stikstof	345
kurk	500	lucht	340
rubber	50	zuurstof	320

Het contact tussen de deeltjes in het medium is bepalend voor de snelheid waarmee een geluidsgolf zich in die stof voortplant. Zitten de deeltjes dicht tegen elkaar aan, dan wordt de beweging sneller doorgegeven dan wanneer de deeltjes ver uit elkaar zitten. Ook de bewegingsvrijheid van de deeltjes speelt een belangrijke rol.

TOONHOOGTE

Bij geluid geef je eigenlijk altijd de frequentie op als maat voor het soort geluid. Bij elektromagnetische straling gebruik je meestal de golflengte. De definities voor de begrippen golflengte (λ), amplitude (A), trillingstijd (T) en frequentie (f) zijn bij geluidsgolven hetzelfde als bij elektromagnetische golven. Het verband tussen de voortplantingssnelheid, de frequentie en de golflengte is ook identiek, namelijk $v = f \cdot \lambda$. De frequentie van het geluid bepaalt de toonhoogte. Hoge tonen hebben een hoge frequentie, lage tonen een lage frequentie. Hoge frequentie wil zeggen dat er per seconde heel veel trillingen gemaakt worden. Ons oor kan geluid waarnemen met frequenties tussen 16 Hz en 20.000 Hz. Dit zijn de gehoorgrenzen. Geluidsgolven met een lagere frequentie, bijvoorbeeld 2 Hz, noemen we infrageluid. Vaak kun je deze zeer lage tonen wel voelen, doordat delen van je lichaam mee gaan trillen met deze lage frequentie. Geluidsgolven met een hele hoge frequentie, bijvoorbeeld 25.000 Hz, noemen we ultrageluid ofwel ultrasonoor of ultrasoon geluid. Sommige dieren (honden, dolfinen, vleermuizen) kunnen dit geluid wel horen.

GELUIDSSTERKTE

De sterkte of intensiteit van geluid (de amplitude) druk je uit in de eenheid decibel (dB). In tabel 2 zijn de verschillende geluidssterktes en bijbehorende dB waarden beschreven.

Elke stap van 10 betekent dat het geluid 10x sterker wordt. Dus het geluid van een personenauto die 120 km/uur rijdt is 100x zo sterk als het geluid van een geanimeerd gesprek.

geluidsterkte in dB	beschrijving soort geluid
0	absolute stilte
10	vallend blad
20	ritselen van bladeren bij een zacht windje
30	fluistergesprek
40	zacht gesprek op 1 meter afstand
50	verkeersgeluiden op een rustige weg niet in de spits, werkgeluiden in een kantoorruimte
60	geanimeerd gesprek
70	drukke winkelstraat, warenhuis
80	personenauto bij 120 km/uur, brommer bij 30 km/uur
90	orkest, zware vrachtwagen
100	drukkerij, metaalbedrijf
110	houtcirkelzaag, drillboor
120	auto met kapotte uitlaat
130	startend straalvliegtuig op 50 meter afstand
140	startend straalvliegtuig op 25 meter afstand

ECHO

Geluid kan net als licht geabsorbeerd en gereflecteerd worden. Geluid kan ook door voorwerpen of stoffen heen gaan (doordringen) of om voorwerpen heen gaan (omspoelen). Absorptie en reflectie zijn het meest interessant qua toepassingsmogelijkheden.

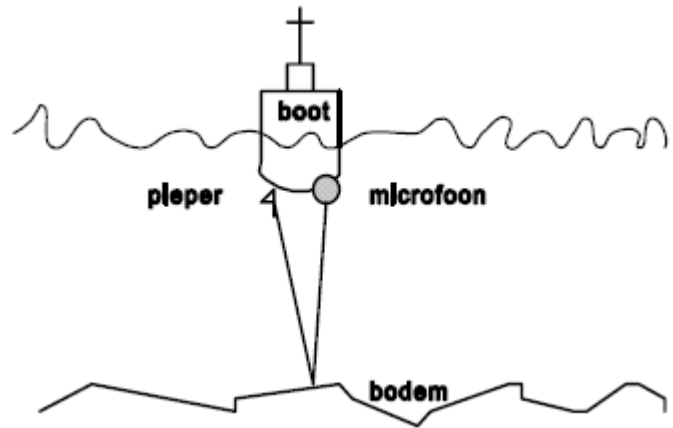
Wollige stoffen zoals gordijnen en vloerbedekking absorberen geluid heel sterk. Deze stoffen hebben dus een geluiddempende werking.

Reflectie of terugkaatsing van geluid noemen we echo. Er zit altijd enige tijd tussen het uitzenden van het geluid en het terughoren van de echo. De voortplantingssnelheid van geluid is immers niet zo heel erg groot.

Vleermuizen en dolfijnen gebruiken de tijd tussen het uitzenden en terughoren van een geluidssignaal om zich te oriënteren. De sonar van een boot gebruikt dit tijdverschil om te meten hoe diep het water is.

De pieper zendt een toon uit, de microfoon vangt de echo 1 seconde later op. Het water is dan 740 meter diep, want in water legt geluid in 1 seconde 1480 meter af en dat is 2x de afstand van de boot tot de bodem.

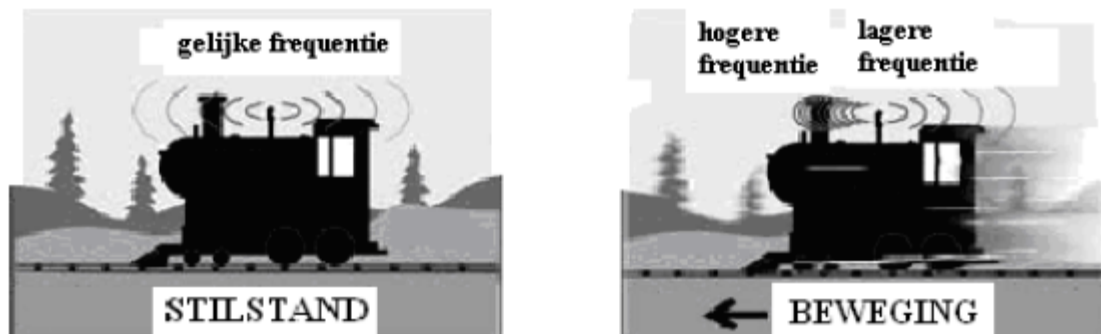
Echografie is gebaseerd op dit principe.



DOPPLEREFFECT

Als een trein met een fluit langs je rijdt, dan hoor je op het moment van passeren dat de toonhoogte verandert.

Op zich is dat vreemd, want de fluit van de trein zal niet net op het moment dat hij jou passeert een andere toon gaan uitzenden. Toch hoor je de toonhoogte veranderen. Dit noem je het dopplereffect. Zie figuur 19.



De toon die de trein uitzendt, heeft een gelijke frequentie in alle richtingen. De afstand tussen de geluidsgolven is in alle richtingen ook hetzelfde. Maar als de trein gaat rijden, komen de golven aan de voorkant dichterbij elkaar te liggen en aan de achterkant juist verder uit elkaar.

Iemand die zich voor de trein bevindt, wordt per seconde getroffen door meer geluidsgolven, met andere woorden met een hogere frequentie. Deze persoon hoort dus een hogere toon.

Iemand die achter de trein staat, wordt per seconde getroffen door minder geluidsgolven, dus in een lagere frequentie. Deze persoon hoort een lagere toon.

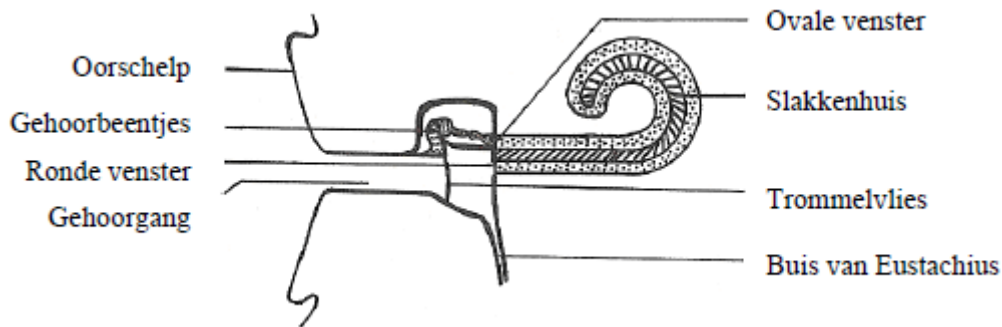
Hoe groter de snelheid van de trein, hoe meer de golven aan de voorkant ingedrukt en aan de achterkant uit elkaar getrokken worden, dus hoe groter het verschil in toonhoogte.

Andersom geldt dus ook dat het verschil in toonhoogte een maat is voor de snelheid van de trein.

Een apparaatje wat werkt met het dopplereffect is de zogenoemde 'dopptone'. Het wordt gebruikt om bijvoorbeeld te luisteren naar de hartslag van ongeboren kinderen of naar de snelheid waarmee bloed door de aderen stroomt.

HET OOR

Het oor kan geluid waarnemen doordat de trillingen van de lucht overgebracht worden op het trommelvlies. De trillende lucht zorgt voor een wisselende druk op het trommelvlies. Via de 3 gehoorbeentjes worden deze variaties in de druk versterkt doorgegeven aan het ovale venster. Dit is een vlies dat ongeveer 15x kleiner is dan het trommelvlies. Vanwege dit verschil in oppervlak en door versterking in de 3 gehoorbeentjes neemt het ovale venster ongeveer een 20x zo sterke drukvariatie waar als het trommelvlies.



Achter het ovale venster bevindt zich een vloeistof in het zogenoemde slakkenhuis. Deze vloeistof gaat trillen en geeft de drukvariaties door aan de gehoorzintuigen (trilharen in het slakkenhuis). Op deze manier kunnen we geluid waarnemen met een frequentie tussen de 16 Hz en 20.000 Hz. Bij het ouder worden verliest het trommelvlies een deel van zijn elasticiteit. Vooral hoogfrequente trillingen worden dan minder goed waargenomen. De bovengrens kan dan dalen tot 13.000 Hz.

TOEPASSINGEN VAN GELUID IN DE ARTSENPRAKTIJK

DE STETHOSCOOP

Een stethoscoop is een diagnostisch hulpmiddel waarvan de werking berust op resonantie. Onder resonantie verstaan we het verschijnsel dat voorwerpen mee gaan trillen onder invloed van een trilling in de omgeving van dat voorwerp. Voorbeelden hiervan zijn het mee rammelen van onderdelen van een auto bij bepaalde snelheden,

een piano die geluid geeft als je een harde klap op het hout geeft, een gong die zachtjes gaat galmen als je een harde gil slaakt, enzovoort.

Een stethoscoop bestaat uit een metalen plaatje waaraan met lucht gevulde slangen zijn gekoppeld. Door het plaatje tegen de borstkas (stethos = borst) te houden, gaat het meetrillen (resoneren) met de geluiden en de bewegingen die het hart en de longen maken. De trillingen van het plaatje worden overgebracht op de lucht in de slangen. Via de slangen worden de trillingen naar het oor geleid en uiteindelijk aan het trommelvlies doorgegeven. Door een juiste interpretatie van deze trillingen kan de arts de toestand van het hart en de longen beoordelen.

ECHOGRAFIE

Onder echo verstaan we het verschijnsel dat uitgezonden geluid na enige tijd terugkeert bij de bron. Dit is alleen maar mogelijk als de geluidsgolven door een obstakel gereflecteerd worden. Net als bij elektromagnetische straling treedt reflectie op als het obstakel groot is ten opzichte van de golflengte van

het geluid. Geluid met een hoge frequentie (kleine golflengte) wordt door vrijwel alle voorwerpen waar het op valt gereflecteerd. Geluid met een lage frequentie (grote golflengte) omspoelt voorwerpen en wordt minder gereflecteerd (zie hiervoor).

Vleermuizen, walvissen en dolfijnen maken gebruik van ultrageluid (hoge frequentie, kleine golflengte) om obstakels of prooidieren waar te nemen. Uit de tijd die verstrijkt tussen het uitzenden van het signaal en het waarnemen van de echo kan worden afgeleid op welke afstand het obstakel zich bevindt.

Een echo is zwakker dan het uitgezonden geluid. Dit wordt veroorzaakt door absorptie en verstrooiing van een deel van het geluid door het voorwerp waartegen de reflectie optreedt.

Echografie is een diagnostische techniek die gebaseerd is op het waarnemen van de echo van ultrasone geluidsgolven. Je gebruikt geluidsgolven van 2 tot 10 MHz (megahertz = 1 miljoen hertz).

Het ultrageluid wordt opgewekt in een zender, die je in de nabijheid van het te onderzoeken lichaamsdeel op de huid houdt. De huid blijft dus intact. De zender zendt een korte geluidspuls uit. De weefsels die zich in de geluidsbundel bevinden zullen elk op hun eigen wijze een echo veroorzaken:

- weefsels die weinig geluid absorberen geven een sterke echo; weefsels die veel geluid absorberen een zwakke (de dichtheid van de weefsels is erg bepalend);
- echo's die snel terugkeren zijn van weefsels die zich relatief dicht bij de zender bevinden, echo's die lang op zich laten wachten zijn afkomstig van verder afgelegen structuren.

Je vangt echo's op in een ontvanger. Door te letten op de sterkte van de echo en de tijd die verstrijkt voordat de echo waargenomen wordt, krijg je informatie over de structuur van het onderzochte lichaamsdeel. Door koppeling van de echograaf met een computer is het mogelijk de echo's om te zetten in een visueel beeld. Je spreekt dan van echoscopie (scopie = zien). Op deze manier kan je afwijkingen in een orgaan snel constateren. Door snel achter elkaar meer dan 1 scan (een cyclus van een geluidspuls en het opvangen van de echo) uit te voeren, is het mogelijk bewegingen in het lichaam waar te nemen.

Voorbeelden zijn het vaststellen van het hartritme of het meten van de stromingssnelheid van het bloed. De metingen worden preciezer als ook het verschil in frequentie tussen puls en echo gemeten wordt (het dopplereffect).

Een veel gebruikte toepassing van echoscopie is het volgen van de follikelgroei en het constateren van een eisprong. Ook de ontwikkeling van een embryo in de baarmoeder kan door echoscopie op een relatief eenvoudige manier gevolgd worden. Tot nog toe is geen schadelijke invloed van ultrageluid op de onderzochte weefsels of embryo's vastgesteld. Voor de patiënt is echografie een weinig belastende diagnostische techniek. De diagnose kan immers gesteld worden zonder het lichaam te beschadigen.



AUDIOMETRIE

In de audiometrie meet je de grootte van het gehoorverlies bij een slechthorende. Een slechthorende zal een geluid met een bepaalde sterkte niet waarnemen, terwijl een normaal horend mens dit geluid wel hoort. Nu is de grootte van het gehoorverlies ook **frequentie afhankelijk**. Ook 'gezonde' mensen horen niet alle frequenties even goed; je oren werken het beste bij een toon van ongeveer 4000 Hz.

Er wordt dus gekeken naar welke sterkte van geluid (aantal dB) mensen bij een bepaalde toonhoogte (aantal Hz) nog kunnen waarnemen.

De onderste lijn geeft de gehoorgrens aan. Je ziet duidelijk dat de gehoorgrens of gehoordrempel bij elke frequentie anders is. De bovenste lijn geeft de pijngrens aan. Ook deze is afhankelijk van de frequentie. De afstand tussen de gehoorgrens en de pijngrens noem je de oorspan.

De gehoorgrens van een toon van 1000 Hz is precies 0 dB, maar voor een toon van 4000 Hz ligt de gehoorgrens bij -7 dB en voor een toon van 100 Hz bij 20 dB.

Hoe is het nu mogelijk dat je geluiden van minder dan 0 dB soms toch kunt horen? En dat je geluiden van meer dan 0 dB soms niet hoort?

Veel experimenten die uitgevoerd worden om de gevoeligheid van het oor te meten, gebeuren met een toon van 1000 Hz. De proefpersoon krijgt dan een koptelefoon op die aangesloten is op een toongenerator. Met de volumeknop van deze toongenerator wordt het kleinste geluidsvolume dat de proefpersoon nog kan horen, gezocht.

Deze minimale geluidsvolume bij een toon van 1000 Hz is gekozen bij het Echobeeld van een embryo internationale nulniveau voor de geluidssterkte, ofwel 0 dB. Ook de andere geluidsniveaus zijn vastgesteld met een toon van 1000 Hz.

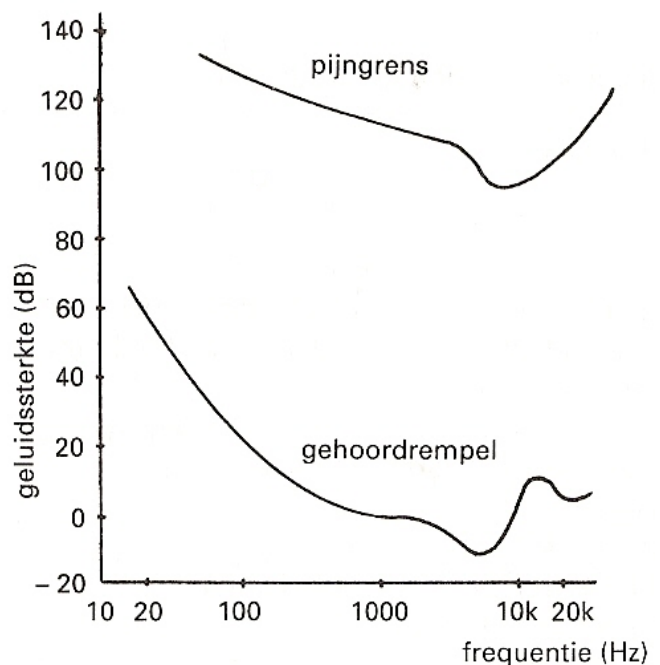
De schaalverdeling bij de volumeknop geldt dus eigenlijk alleen maar voor tonen van 1000 Hz. Toch gebruik je deze zelfde schaalverdeling ook voor tonen die hoger of lager zijn (dus bij andere frequenties). Daardoor is het mogelijk dat de gehoorgrens voor bepaalde frequenties onder 0 dB ligt en voor andere boven 0 dB. De gehoorgrens ligt dus bij elke frequentie op een eigen geluidsniveau. Hetzelfde geldt voor de pijngrens. In de figuur zijn de gehoorgrens en pijngrens voor zuivere tonen uitgezet.

Een zuivere toon heeft 1 frequentie.

Voorbeeld:

De centrale c op een muziekinstrument heeft een frequentie van 256 Hz, de c een octaaf hoger 512 Hz en de c een octaaf lager 128 Hz.

De meeste geluiden die ons oor waarneemt, zijn echter samengesteld uit tonen met verschillende frequenties. Zo brengt de menselijke stem geluid voort met frequenties tussen de 250 Hz en 8 kHz. Bij de uitspraak van een woord als 'dalen' worden zeer veel tonen en zeer veel frequenties gebruikt.



Ook de tonen van een muziekinstrument zijn eigenlijk samengestelde tonen. Sla je bijvoorbeeld de centrale c op een piano aan, dan komen daarin golven voor met frequentie 256 Hz, maar ook de zogenoemde boven- of ondertonen met frequenties 64 Hz, 128 Hz, 512 Hz, 1024 Hz enz. (ook allemaal c's).

Een patiënt die bepaalde tonen niet meer hoort, kan best in staat zijn een gesprek te volgen. Deze patiënt mist misschien een aantal frequenties bij de uitspraak van bepaalde woorden, maar begrijpt met de frequenties die hij of zij wel hoort, toch wat er gezegd wordt.

Er zijn 2 soorten audiometrie, te weten *toonaudiometrie* en *spraakaudiometrie*.

Het verschil zit vooral in het feit dat toonaudiometrie werkt met zuivere (piep)tonen (enkelvoudige frequenties) en dat spraakaudiometrie werkt met gesproken woorden (meervoudige frequenties).

TOONAUDIOMETRIE

In de toonaudiometrie bepaal je met behulp van zuivere tonen de gehoordrempel van de patiënt. De tonen worden voortgebracht door een toongenerator die ingebouwd is in een audiometer.

Hierbij dien je rekening te houden met het feit dat geluidsgolven op 2 manieren waargenomen kunnen worden, namelijk via luchtgeleiding en via beengeleiding.

Onder luchtgeleiding versta je het waarnemen van geluidstrillingen via de gehoorgang, het trommelvlies, de gehoorbeentjes, het ovale venster en de trilharen in het slakkenhuis.

Onder beengeleiding versta je het waarnemen van geluidstrillingen die via de schedel overgebracht worden op het slakkenhuis en de trilharen daarin. De schedel wordt namelijk door geluidsgolven in trilling gebracht (resonantie). Geluidswaarneming via beengeleiding is onafhankelijk van het trommelvlies en de gehoorbeentjes.

Een audiometer dient uitgerust te zijn met een koptelefoon om de luchtgeleiding te meten en met een beengeleidingstelefoon. De beengeleidingstelefoon wordt achter de oorschelp op de schedel geplaatst. Met een schakelaar op de audiometer kan je omschakelen van luchtgeleiding naar beengeleiding.

De meetprocedure is in beide gevallen als volgt:

Meet als eerste het beste oor. Het andere oor wordt dan meestal gemaskeerd (krijgt een zacht geruis aangeboden uit een koptelefoon). Begin met een toon van 1000 Hz op de laagste geluidssterkte. Verhoog vervolgens de sterkte tot de patiënt de toon goed hoort. Draai dan de sterkte in stappen van 10 dB terug tot de patiënt aarzelt of hij/ zij de toon nog hoort. Ga dan met stappen van 5 dB omhoog of naar beneden. Herhaal deze procedure met tonen van 500 Hz, 250 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz en 8000 Hz in deze volgorde. Noteer telkens het minimale geluidsniveau dat nog door de patiënt wordt waargenomen.

De waargenomen geluidsdrempels worden weergegeven in een grafiek. Je noemt dit een drempelaudiogram.

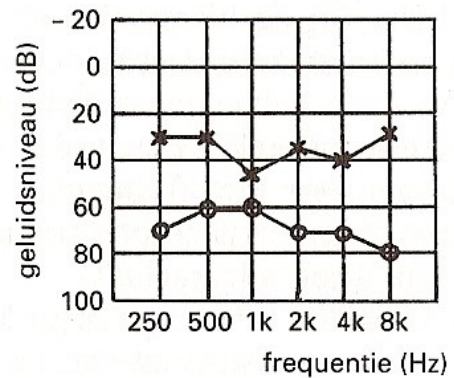
Een volledig drempelaudiogram bevat 4 gehoordrempels:

- een luchtgeleidingsdrempel voor het linker- en rechteroor;
- een beengeleidingsdrempel voor het linker- en rechteroor.

In figuur is een drempelaudiogram met 2 gehoordrempels getekend.

De gebruikte symbolen zijn internationaal afgesproken en betekenen het volgende:

linkeroor	luchtgeleiding	x
	beengeleiding	]
rechteroor	luchtgeleiding	o
	beengeleiding	[



In dit audiogram wordt het gehoorverlies uitgezet als functie van de frequentie. Hierbij ga je er van uit dat de gehoordrempel van een normaal horend mens in het volledige frequentiebereik 0 dB is. Je kiest voor de frequenties van 250 Hz tot 8000 Hz omdat dit het zogenoemde spraakgebied is.

SPRAAKAUDIOMETRIE

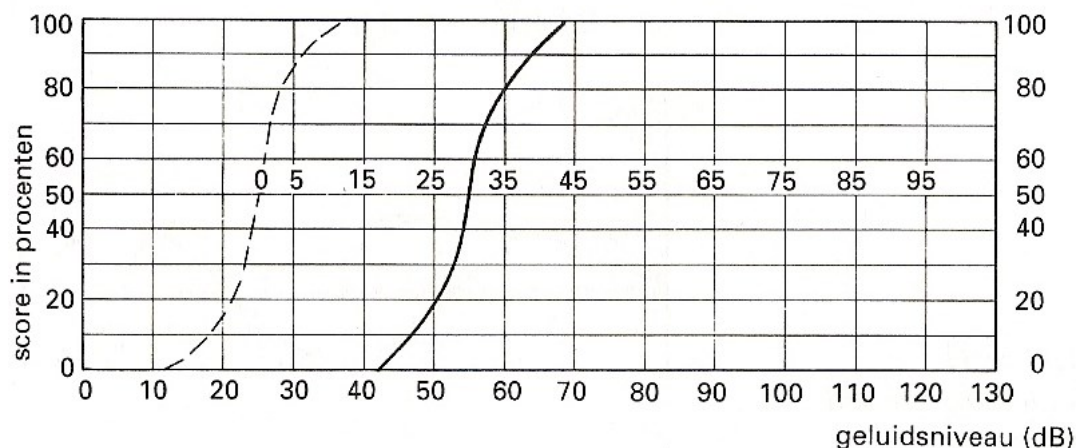
In de spraakaudiometrie maak je gebruik van gesproken woorden, die speciaal geselecteerd zijn voor dit doel. Deze woorden staan op zogenoemde PB-lijsten (PB betekent 'phonetical balanced' ofwel 'fonetisch gebalanceerd'). Een voorbeeld van zo'n PB-lijst is: drijven, bot, baden, lekker, woog, pa, hele, zakken, mag, rand, gezien, ster, deken, net, feiten, lamme, hit, gave, sier, wist.

De woorden staan op een bandrecorder of worden via een microfoon ingesproken. In het laatste geval moet je ervoor zorgen dat de patiënt de mond van de spreker niet kan zien. Bandrecorder of microfoon zijn aangesloten op een audiometer. De patiënt krijgt de woorden via een koptelefoon aangeboden. Met de audiometer kan je het geluidsniveau bepalen, het oor instellen dat getest wordt en het andere oor eventueel maskeren.

Je noteert bij een aantal geluidsniveaus het percentage woorden dat de patiënt foutloos kan herhalen. Kon de patiënt van de voorgaande lijst bijvoorbeeld 2 woorden niet herhalen, dan is het percentage foutloos herhaalde woorden 90% (ga dit na).

Het blijkt dat normaal horende mensen een score van 50% halen bij een geluidsniveau van 25 dB. Dit geluidsniveau noem je de spraakverstaandrempel.

Je begint de meting bij een geluidsniveau waarbij de patiënt de woorden goed verstaat en foutloos terug kan zeggen. Vervolgens daal je telkens 10 dB, totdat de patiënt nog 50% van de woorden foutloos kan herhalen. Dit geluidsniveau is de spraakverstaanvaardigheidsdrempel van de patiënt.



De gestippelde lijn in figuur geeft de score aan van een normaal horend persoon, de getrokken lijn van een slechthorende. Je ziet dat de stippellijn door het punt 25 dB, 50% gaat. Het geluidsniveau heeft 2 schaalverdelingen. De schaalverdeling bij de onderste horizontale lijn komt overeen met het werkelijke geluidsniveau. De tweede schaalverdeling van de dB's staat halverwege het audiogram. Deze is 25 dB verschoven ten opzichte van de eerste schaalverdeling. Het voordeel hiervan is, dat het gehoorverlies van een slechthorende direct afleesbaar is. In de grafiek lezen we af dat de slechthorende een score van 50% haalt bij een geluidsniveau van 55 dB (onderste schaalverdeling). De spraakverstaanbaarheidsdrempel van de patiënt is dus 55 dB. Het gehoorverlies bedraagt dan $55 \text{ dB} - 25 \text{ dB} = 30 \text{ dB}$. Dit is op de tweede schaalverdeling halverwege de grafiek direct af te lezen.

1000 Hz (dubbele van toon a) en van toon c = 250 Hz (de helft van toon a).