

samengevat.nl

samen gevat }

vwo

Natuurkunde



www.samengevat.nl

samen gevat }

VWO

natuurkunde

ir. A.P.J. Thijssen



omslagfoto: Shutterstock / Kichigin

Over ThiemeMeulenhoff

ThiemeMeulenhoff ontwikkelt zich van educatieve uitgeverij tot een learning design company. We brengen content, leerontwerp en technologie samen. Met onze groeiende expertise, ervaring en leeroplossingen zijn we een partner voor scholen bij het vernieuwen en verbeteren van onderwijs. Zo kunnen we samen beter recht doen aan de verschillen tussen lerenden en scholen en ervoor zorgen dat leren steeds persoonlijker, effectiever en efficiënter wordt.

Samen leren vernieuwen.

www.thiememeulenhoff.nl

ISBN 978 90 06 07877 0

Zesde druk, vijfde oplage, 2019

© ThiemeMeulenhoff, Amersfoort, 2015

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeleenvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16B Auteurswet 1912 j° het Besluit van 23 augustus 1985, Stbl. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan Stichting Publicatie- en Reproductierechten Organisatie (PRO), Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp (www.stichting-pro.nl). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet) dient men zich tot de uitgever te wenden. Voor meer informatie over het gebruik van muziek, film en het maken van kopieën in het onderwijs zie www.auteursrechtenonderwijs.nl.

De uitgever heeft ernaar gestreefd de auteursrechten te regelen volgens de wettelijke bepalingen. Degenen die desondanks menen zekere rechten te kunnen doen gelden, kunnen zich alsnog tot de uitgever wenden.

Deze uitgave is volledig CO₂-neutraal geproduceerd.
Het voor deze uitgave gebruikte papier is voorzien van het FSC®-keurmerk.
Dit betekent dat de bosbouw op een verantwoorde wijze heeft plaatsgevonden.

voorwoord

Beste examenkandidaat,

Voor je ligt de geheel vernieuwde Samengevat natuurkunde vwo, aangepast aan de examen-eisen die gelden voor het CE vanaf 2016.

In dit boek vind je de leerstof en de vaardigheden voor het vwo-examen natuurkunde kort en systematisch weergegeven.

Deze samenvatting stelt je in staat om in korte tijd grote hoeveelheden stof te herhalen en te overzien. Hoofd- en bijzaken worden onderscheiden waardoor je inzicht krijgt in de grote lijnen van de stof en in de samenhang tussen de verschillende onderwerpen.

Met Samengevat bereid je je zelfstandig voor op het examen. Bij verwijzingen (meestal onderaan de rechterpagina's) naar een tabellenboek wordt verwezen naar Binas 6e druk. Achter in het boek (pag. 180) wordt aangegeven waar een vermelde Binas-tabel is te vinden in het tabellenboek ScieceData.

In hoofdstuk 11 is gewerkt met programma Coach-6.

Tijdens het examen mag geen gebruik worden gemaakt van een grafische rekenmachine.

De keuzegroepen Kern- en deeltjesprocessen, Relativiteitstheorie, Biofysica en Geofysica zijn niet opgenomen in dit boek.

Ook het onderdeel Eigenschappen van stoffen en materialen is niet opgenomen in dit boek (dit onderdeel is alleen voor het schoolexamen verplicht, niet voor het centraal schriftelijk examen).

Gecombineerd met de Examenbundel vwo natuurkunde vormt deze Samengevat de beste voorbereiding op je examen. De theorie vind je in Samengevat en je oefent met de opgaven uit Samengevat en uit de Examenbundel!

Samengevat en Examenbundel zijn naast elke methode te gebruiken.

Heb je opmerkingen? Meld het ons via vo@thiememeulenhoff.nl

Amersfoort, juli 2015

opmerking

Hoewel dit boek met de grootst mogelijke zorg is samengesteld, kunnen auteur en uitgever geen aansprakelijkheid aanvaarden voor aanwijzingen naar aanleiding van publicaties van de overheid betreffende specifieke examenonderwerpen, de hulpmiddelen die je tijdens het examen mag gebruiken, duur en datum van je examen, etc.

Het is altijd raadzaam je docent of onze website www.examenbundel.nl te raadplegen voor actuele informatie die voor jouw examen van belang kan zijn.

hoe werk je met dit boek?

In SAMENGEVAT vormen linker- en rechterbladzijde een geheel. De begrippen die links kort worden weergegeven, worden rechts nader toegelicht (door definities of voorbeeldvraagstukken).

LINKERBLADZIJDE

Op de linkerbladzijde staan boomdiagrammen die de onderlinge relaties van begrippen laten zien. De linkerbladzijde dient als een checklist om snel na te gaan of de genoemde onderwerpen bekend zijn.

dit is het hoofdbegrip	→	weerstand R (in Ω)
begrip van 1 ^e orde, informatie		
over weerstand + toelichting	→	■ ohmse weerstanden weerstanden met constante waarde
begrip van 2 ^e orde, informatie	→	■ koolweerstand vaak gebruikt in radio's, tv's etc.
over ohmse weerstanden	→	■ (metalen)draad bij constante temperatuur
<i>cursieve tekst</i> geeft relatie met	→	<i>weerstand in formule</i>
bovenliggend begrip (hier draad) aan		■ $R = \rho \cdot \frac{\ell}{A}$ ρ = soortelijke weerstand (eenheid $\Omega \text{ m}$) ℓ = lengte van de draad in meter A = grootte van doorstroomoppervlak in m^2 ronde draden: $A = \pi \cdot r^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot d^2$
begrippen van 3 ^e orde, informatie		■ weerstand van (koperen) elektriciteits snoer is heel klein
over (metalen)draad		■ temperatuurstijging draad ρ neemt toe, dus de weerstand neemt ook toe
+ toelichting		
ook begrip van 4 ^e orde is mogelijk		■ niet-ohmse weerstanden weerstanden met variabele waarde, o.a.
		■ PTC weerstand met 'Positieve Temperatuur Coëfficiënt'
		■ NTC weerstand met 'Negatieve Temperatuur Coëfficiënt'
		■ LDR 'Light Dependent Resistor' \Rightarrow lichtgevoelige weerstand

RECHTERBLADZIJDE

Op de rechterbladzijde vind je nadere informatie, die je nodig hebt als de begrippen links nog niet bekend zijn of als je er nog onvoldoende mee kunt werken. Deze theorie vervangt in beknopte vorm de theorie die ook in je leerboek voorkomt. Rechts zijn ook veel voorbeeldopgaven te vinden.

hier vind je meer informatie over het begrip 'soortelijke weerstand' van links	→	soortelijke weerstand de weerstand van een draad van 1 m lengte en een doorsnede van 1 m^2 . De eenheid van ρ is dan $\Omega \text{ m}$ (volgt uit $\rho = \frac{R \cdot A}{\ell} \Rightarrow$ eenheid $\rho = \frac{\Omega \cdot \text{m}^2}{\text{m}} = \Omega \text{ m}$). Doorsneden van draden komen vaker voor in de eenheid mm^2 dan in m^2 . De eenheid van ρ is dan $\Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1}$.
zo worden ook andere begrippen nader verklaard		
ter toelichting kun je rechts ook voorbeelden, definities en figuren aantreffen		

inhoud

voorwoord	3
hoe werk je met dit boek?	4
1 trillingen en golven	6
2 straling en gezondheid	26
3 bewegingen	46
4 krachten en bewegingen	52
5 energieomzettingen	60
6 gravitatie	68
7 elektriciteit	78
8 elektrische en magnetische velden	90
9 elektromagnetische straling en materie	108
10 quantumwereld	126
11 ICT-vaardigheden	144
12 algemene vaardigheden	156
register	171
Binas en ScienceData verwijzingen	181

1 Trillingen en golven

trilling

2 kenmerken

- **beweging moet regelmatig terugkerend (periodiek) zijn**
- **er moet een evenwichtsstand zijn** \Rightarrow beweging van aarde om zon is geen trilling, want er is geen evenwichtsstand

relevante grootheden

- **frequentie f** in Hz ofwel s^{-1}
- **trillingstijd T ofwel: periode** in s
 - $T = \frac{1}{f}$ (en $f = \frac{1}{T}$)
- **amplitude A (of r)** is maximale uitwijking (in m)
 - **A (of r) is uitsluitend positief**
- **uitwijking u** in m
 - **u kan positief en negatief zijn** vaak wordt gebruikt: u naar boven of naar rechts positief en u naar beneden of naar links negatief
 - **u varieert van $-A$ tot $+A$** er geldt: $A = r = |u_{\max}|$

registreren van trillingen komt neer op het maken van een u, t -diagram van de trilling

verschillende mogelijkheden o.a.

- **beroete plaat** trek trillende benen van stemvork over een beroete plaat
- **oscilloscoop** toont op scherm een u, t -diagram van de trilling
 - **horizontaal** wordt de tijd uitgezet
 - **tijdbasis** bepaalt het aantal seconden (of ms of μs) per hokje; dit wordt weergegeven als: s/div ($= s/\text{division} = s/\text{hokje}$)
 - **verticaal** wordt de uitwijking van het trillende voorwerp uitgezet; hiertoe moet de trilling worden omgezet in een elektrische trilling (bv. microfoon: zet geluid om in elektrische trilling)
 - **spanning** verticaal is uitgezet: $\text{volt/div} = \text{volt/hokje}$
- **computer** bv. met een meetpaneel en het programma Coach

fase φ (geen eenheid)

- $\varphi = \frac{t}{T}$ formule alleen gebruiken indien wordt gestart op $t = 0$ s
 - **faseverschil tussen twee trillingen A en B** $\Delta\varphi = \left| \frac{t}{T_A} - \frac{t}{T_B} \right|$
 - **faseverschil bij een trilling tussen twee momenten** $\Delta\varphi = \frac{\Delta t}{T}$
 - **gereduceerde fase** $0 \leq \varphi_{\text{red}} < 1$; om van een trillende massa de u te bepalen hoeft slechts φ_{red} bekend te zijn

trilling periodieke beweging om een evenwichtsstand (stand die het voorwerp inneemt nadat het door demping volledig is uitgetrild).

gedempte trilling trilling waarbij het energieverlies niet telkens wordt aangevuld \Rightarrow de amplitude neemt af tot nul. De frequentie blijft tijdens het dempen gelijk.

ongedempte trilling trilling, waarbij geen energieverlies optreedt of waarbij het energieverlies voortdurend wordt aangevuld \Rightarrow de amplitude blijft constant.

trillingstijd (of periode) tijd nodig voor één trilling (= één volledige heen en weer gaande beweging, totdat de beweging zich herhaalt).

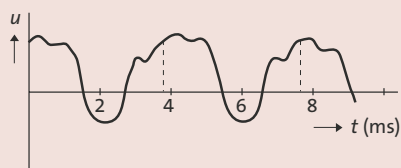
frequentie aantal trillingen, uitgevoerd in één seconde.

Zie het u, t -diagram hiernaast van de stem van iemand die een bepaalde toon zingt.

- Bepaal de trillingstijd en de frequentie.

De beweging herhaalt zich na 3,8 ms \Rightarrow

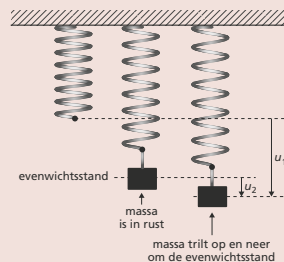
$$T = 3,8 \text{ ms} \Rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{1}{3,8 \times 10^{-3}} = 2,6 \cdot 10^2 \text{ Hz}$$



uitwijking afstand van het zwaartepunt van het trillende voorwerp tot de evenwichtsstand. In de figuur u_2 .

Bij veren is de *uitrekking* u_1 van de veer in het algemeen

ongelijk aan de *uitwijking* u_2 uit de evenwichtsstand (zie fig.).



evenwichtsstand stand die trillend voorwerp inneemt nadat het (door *demping*) is uitgetrild.

oscilloscoop instrument dat het verloop van een elektrische spanning U als functie van de tijd kan weergeven \Rightarrow het instrument kan U, t -diagrammen weergeven.

Een ecg (elektrocardiogram = de weergave van de elektrische activiteit van het hart) is afgebeeld op het scherm van een oscilloscoop (zie fig.).

Voor de tijdbasis (horizontaal) geldt: 200 ms/div;

voor de spanning (verticaal) geldt: 0,50 mV/div.

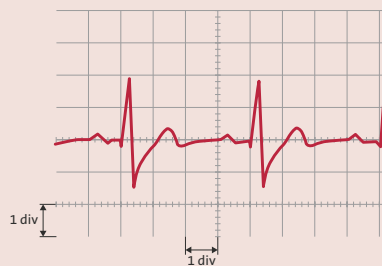
(div. = division = hokje)

- Bepaal de frequentie f en de maximale amplitude r van de afgebeelde spanning.

Eén trilling komt (horizontaal) overeen met 4,1 div. $\Rightarrow T = 4,1 \cdot 200 \text{ ms} = 820 \text{ ms} \Rightarrow$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,82} = 1,2 \text{ Hz}; \text{ de maximale amplitude komt overeen met } 1,9 \text{ div.} \Rightarrow$$

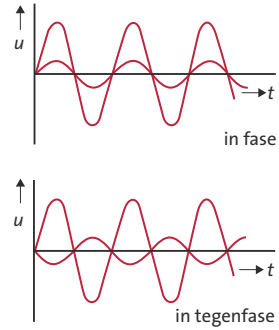
$$r = 1,9 \cdot 0,50 \text{ mV} = 0,95 \text{ mV}$$



fase aantal trillingen dat een voorwerp of deeltje heeft uitgevoerd.

faseverschillen

- **in fase trillen** de massa's trillen 'gelijk op'; (zie bovenste figuur hiernaast)
- **in tegenfase trillen** de massa's trillen 'tegengesteld'; voortdurend in fase (of in tegenfase) trillen komt voor bij golven/trillingen met *dezelfde* trillingstijd T ; af en toe in fase (of in tegenfase) trillen komt voor bij golven/trillingen met *verschillende* trillingstijd T



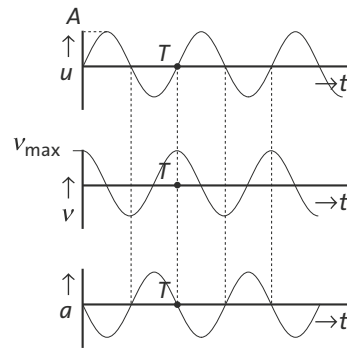
harmonische trilling uitwijking is sinusfunctie van de tijd, zie figuur: u, t -diagram

bij harmonische trilling met op $t = 0$ s passage door de evenwichtsstand omhoog geldt:

- **plaatsfunctie:** $u(t) = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right) = A \cdot \sin(2\pi f \cdot t)$ $u_{\max} = A$ want u is maximaal bij $\sin = 1$

■ diagrammen

- **u, t -diagram: sinusfunctie**
- **v, t -diagram: cosinusfunctie** af te leiden uit u, t -diagram volgens de regel:
 $v =$ steilheid in u, t -diagram
- $v_{\max} = \frac{2\pi A}{T}$
- $v_{\max} =$ maximale steilheid in u, t -diagram
 steilheid is maximaal, wanneer $u = 0$
- **a, t -diagram: negatieve sinusfunctie** af te leiden uit v, t -diagram volgens de regel:
 $a =$ steilheid in v, t -diagram



- **tekenen van u, t -diagrammen** teken o.a. punten op $\frac{1}{12}T$ voor en na een nuldoorgang; voor deze punten geldt namelijk: $|u| = \frac{1}{2}A$

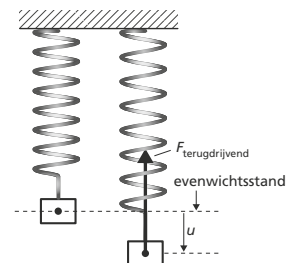
treedt op bij

- **elastische voorwerpen** want hierbij wordt voldaan aan $\vec{F}_{\text{terugdrijvend}} = -C \cdot \vec{u}$; zie hieronder

krachten bij harmonische trillingen

algemene regel bij elke harmonische trilling

- $\vec{F}(t) = -C \cdot \vec{u}(t)$ F en u zijn vectoren; F is steeds tegengesteld aan u
- $\vec{F}(t) =$ terugdrijvende kracht op tijdstip t dit is de kracht die ervoor zorgt dat het trillend voorwerp telkens terugkeert naar de evenwichtsstand; F is meestal een *resulterende* kracht en verandert in loop van de tijd sinusvormig
- $\vec{u}(t) =$ uitwijking uit evenwichtsstand op tijdstip t
- $C =$ krachtconstante = constante verhouding van $\left| \frac{F_{\text{terugdrijvend}}}{u} \right|$



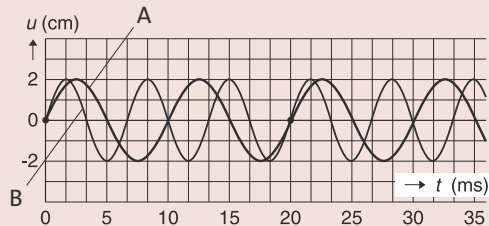
gereduceerde fase fase minus het aantal gehelen.

faseverschil tussen twee trillingen aantal trillingen dat de ene trilling op een bepaald tijdstip méér heeft gemaakt dan de andere trilling.

In de figuur hiernaast staan de u, t -diagrammen van twee trillingen A en B, die allebei begonnen op $t = 0,0$ ms.

- Op welke tijdstippen zijn de trillingen in fase?

Kijk wanneer de trillingen 'gelijk op' trillen. Dat is op $t = 0,0$ ms en $t = 20$ ms. En indien de grafiek zou doorlopen, ook op 40 ms, 60 ms, 80 ms, etc.



- En op welke tijdstippen zijn de trillingen in tegenfase?

Dan zijn de trillingen tegengesteld \Rightarrow dit is op $t = 10$ ms, $t = 30$ ms, 50 ms, etc.

- Hoe groot is het faseverschil tussen A en B op $t = 15$ ms?

A heeft dan $1\frac{1}{2}$ maal getrild en B $2\frac{1}{4}$ maal (af te lezen in de grafiek).

Het faseverschil bedraagt dus $2\frac{1}{4} - 1\frac{1}{2} = \frac{3}{4}$

harmonische trilling 2 gelijkwaardige definities

- Trilling waarbij het u, t -diagram een sinusfunctie van de tijd is.
- Trilling waarvoor geldt: $F_{\text{terugdrijvend}} \sim \text{uitwijking } u \text{ en tegengesteld aan } u$.

gebruik van formule voor $u(t)$

Voor een bepaalde harmonisch trillende massa geldt:

$u(t) = 12 \cdot \sin(8,0 \cdot t)$ cm; t in seconden; $(8,0 \cdot t)$ in radialen.

- Bepaal de amplitude A en de trillingstijd T van deze trilling.

Vergelijk $u(t) = 12 \cdot \sin(8,0 \cdot t)$ met de algemene formule $u(t) = A \cdot \sin(2\pi f t) \Rightarrow$

$$A = 12 \text{ cm en } 8,0 \cdot t = 2\pi \cdot f \cdot t \Rightarrow f = 1,27 \text{ Hz} \Rightarrow T = \frac{1}{f} = 0,79 \text{ s}$$

massa-veersysteem

Een onbelaste veer heeft een lengte van 4,6 cm. Harmen hangt nu een massa ($m = 280$ g) aan de veer. De lengte van de veer wordt hierdoor 7,3 cm.

- Bereken de veerconstante C van deze veer.

De uitrekking $u = 7,3 \text{ cm} - 4,6 \text{ cm} = 2,7 \text{ cm}$. De kracht op de veer is $0,28 \cdot 9,8 = 2,744 \text{ N}$.

$$C \text{ volgt uit: } C = \frac{F}{u} = \frac{2,744 \text{ N}}{0,027 \text{ m}} = 1,0 \cdot 10^2 \text{ Nm}^{-1}$$

- Bereken de trillingstijd van de trilling die ontstaat wanneer men de massa 2,2 cm omlaag trekt en daarna loslaat.

$$\text{Er geldt: } T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{C}} \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{0,28}{1,0 \cdot 10^2}} = 0,33 \text{ s}$$

vervolg

eigentrillingen (eigenfrequenties)

- **systemen met slechts één eigentrilling** treedt o.a. op bij stemvork, massa die trilt aan veer en massa die slingert aan koord
- **systemen met meerdere eigentrillingen** treedt o.a. op bij snaren (snaarinstrumenten), luchtkolommen (blaasinstrumenten), klankkasten
 - **vaak zijn meerdere eigentrillingen tegelijk mogelijk** klankkast van een instrument moet bij voorkeur zeer veel eigentrillingen bezitten: alle tonen moeten even hard klinken (= even goed meeresoneren)

eigentrillingen bij harmonische trillingen

- **algemene formule voor trillingstijd:** $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{C}}$ waarin m = massa van trillende voorwerp (in kg); C = krachtconstante (in N/m) = $\left| \frac{F_{\text{terugdrijvend}}}{u} \right|$; C kan betrekking hebben op slingerende massa aan koord, op trillende dobber in water, etc.
- **trillingstijd van massa-veersysteem:** $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{C}}$ waarin m = massa van trillende voorwerp (in kg); C = veerconstante van veer (in N/m)

numeriek model van harmonische trilling met behulp van programma Coach-6

- **invoeren van $F = -C \cdot u$** in model levert automatisch sinusvormige trillingen; zie verder pag. 145

resonantie*kenmerken*

- **voorwerp gaat meetrillen** er is periodieke energieoverdracht op het juiste moment: resonantie vindt plaats indien de frequentie van de gedwongen trilling gelijk is aan (een van) de eigenfrequentie(s) van het voorwerp
- **amplitude van trilling neemt steeds verder toe** echter, vaak wordt na enige tijd de amplitude van de trilling constant \Rightarrow dan geldt: energietoevoer per trilling = energieverlies per trilling
- **resonantie is soms gewenst, soms ongewenst** gewenst bij bv. muziekinstrumenten; ongewenst bij bv. hinderlijk meetrillen van voorwerpen

lopende golven algemeen

- **er wordt trillingsenergie doorgegeven**
- **hiervoor zijn trillende deeltjes nodig** uitzondering: lichtgolven, want licht kan zich ook in vacuüm voortplanten; trillende deeltjes blijven gemiddeld op hun plaats \Rightarrow de deeltjes lopen niet met de golf mee

voorbeelden

- **watermoleculen** bij watergolven
- **luchtdeeltjes** bij geluidsgolven
- **'snaardeeltjes'** bij golven in snaren

massa-veersysteem vervolg

- Bereken de maximale snelheid, waarmee de massa de evenwichtsstand passeert.

Er geldt: $v_{\max} = \frac{2\pi A}{T} \Rightarrow v_{\max} = \frac{2\pi \cdot 0,022}{0,33} = 0,42 \text{ m/s}$

- Teken, door te kijken naar de krachten die werken, het $F_{\text{terugdrijvend}}-u$ diagram dat bij deze harmonische beweging hoort.

Er geldt steeds: $F_{\text{terugdrijvend}} \sim -u$. Om de grafiek te kunnen tekenen moet slechts één punt van de grafiek worden bepaald. Bv. in laagste stand van massa geldt:

uitwijking uit evenwichtsstand = $-2,2 \text{ cm}$.

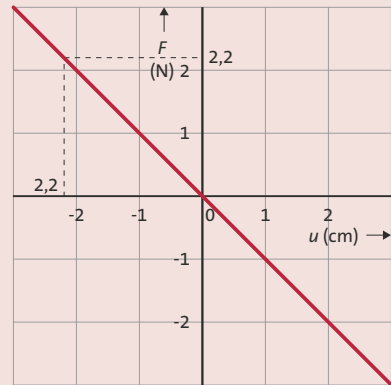
Dan geldt ook: uitrekking veer = $2,7 + 2,2 = 4,9 \text{ cm} \Rightarrow$

$F_{\text{veer}} = C \cdot u = 1,0 \cdot 10^2 \cdot 0,049 = 4,9 \text{ N}$ omhoog gericht.

Tevens geldt: $F_z = m \cdot g = 0,280 \cdot 9,81 = 2,75 \text{ N}$ omlaag

gericht $\Rightarrow F_{\text{res}} = F_{\text{terugdrijvend}} = 4,9 - 2,75 = 2,2 \text{ N}$

(omhoog gericht) \Rightarrow de grafieklijn loopt door de coördinaten $(2,2 \text{ N}; -2,2 \text{ cm})$. Zie diagram.



eigentrilling trilling die een voorwerp zelf uitvoert nadat het uit de evenwichtsstand is gebracht (bv. door het een zetje te geven).

gedwongen trilling trilling die ontstaat wanneer een massa voortdurend gedwongen wordt om een bepaalde trillende beweging uit te voeren.

resonantie verschijnsel dat de amplitude van een trilling steeds groter wordt, omdat de energietoevoer telkens op het juiste moment komt. Dit gebeurt wanneer de frequentie van de gedwongen trilling gelijk is aan de eigenfrequentie van het voorwerp.

- Een schommel, steeds aangeduwd in één van de uiterste standen, is in resonantie.
- Wanneer een microfoon (via een versterker verbonden met een luidspreker) voor de luidspreker wordt gehouden, dan ontstaat er een pieptoon: resonantie.

De cabine van de auto van Ibrahim is geveerd met veren met een totale veerconstante van 110 kN/m . In een straat ligt om de 10 m een verkeersdrempel. De auto rijdt met 54 km/h in deze straat en blijkt dan in resonantie te geraken.

- Bereken de massa van de auto.

Er geldt: $v = 54 \text{ km/h} = 15 \text{ m/s}$. De tijd tussen twee drempels $= \frac{10}{15} = 0,67 \text{ s} \Rightarrow$ de eigentrilling van het chassis op zijn veren heeft een trillingstijd $T = 0,67 \text{ s}$.

Dit invullen in $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{C}}$ ofwel $T^2 = 4\pi^2 \frac{m}{C} \Rightarrow m = \frac{T^2 \cdot C}{4\pi^2} = \frac{0,67^2 \cdot 110 \cdot 10^3}{4\pi^2} = 1,3 \cdot 10^3 \text{ kg}$

lopende golf een zich voortplantende trilling

lopende transversale golven

voorwaarde voor ontstaan

- **deeltjes moeten aan elkaar 'vast' zitten** \Rightarrow het ene deeltje trekt het andere mee omhoog of omlaag; er ontstaan bergen en dalen; uitzondering: lichtgolven, want daar trillen geen deeltjes (zie pag. 16)

treedt op

- langs oppervlakken van vaste stoffen/vloeistoffen
- bij koorden, snaren, veren etc.

merk op

- **golf is gevolg van na elkaar bewegen van moleculen** vergelijk dit met de 'wave' in een voetbalstadion: de toeschouwers gaan alleen omhoog en omlaag; door de volgorde waarop de toeschouwers dit doen (eerst jij, dan de buurman, dan de volgende buurman, etc.) gaat er een golf door het stadion

manier van opwekken

- **laat deeltjes trillen in richting loodrecht op voortplantingsrichting van golf** zie figuur

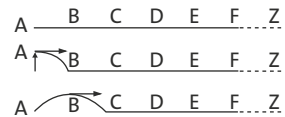
koord AZ:

\uparrow en \downarrow = trillingsrichting van de koorddeeltjes

\rightarrow = voortplantingsrichting van de golf

A start met een gedwongen harmonische trilling;

B wordt even later mee omhoog getrokken; punt C volgt weer punt B, etc.

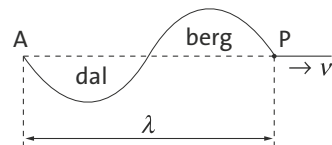


merk op

- **alle punten voeren dezelfde soort beweging uit als A** ze doen dit echter ná elkaar
- **alle punten gaan hier als eerste omhoog** want A gaat als eerste omhoog \Rightarrow er gaat een 'berg' voorop
- **alle punten trillen met dezelfde frequentie f**
- **alle punten trillen met dezelfde amplitude A** indien er geen demping is

voorkomende begrippen

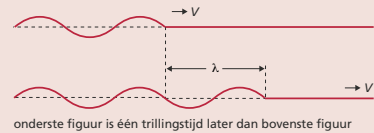
- **frequentie f (in Hz)** dit is de frequentie waarmee de afzonderlijke deeltjes op en neer trillen; frequentie verandert nooit bij overgang van ene medium naar andere medium
- **voortplantingssnelheid van golven v (of c in geval van lichtgolven)** in m/s; dit is een *andere* snelheid dan die waarmee de deeltjes op en neer trillen
- **golflengte λ** in m; indien A één volledige trilling heeft uitgevoerd bevindt zich in het koord één golf $\Rightarrow AP = \lambda$



vervolg

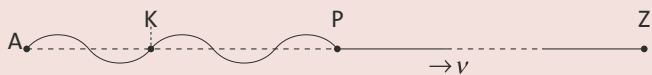
voortplantingssnelheid v snelheid waarmee de golf zich voortplant. Snelheid hangt niet af van frequentie of golflengte. Snelheid hangt wel af van eigenschappen van medium, waar golf doorheen loopt.

golflengte λ afstand die de golf aflegt in T seconden of, anders gezegd (zie fig.): de afstand van 'dal + berg', ofwel de afstand tussen top en *eerstvolgende* top (of tussen dal en *eerstvolgende* dal).



lopende transversale golf golf die een voortplantingsrichting heeft die loodrecht staat op de richting waarin de deeltjes trillen. De 'wave' in een voetbalstadion is transversaal: toeschouwers gaan omhoog en de golf gaat bv. naar rechts. Golven in koorden/snaren zijn transversaal.

Een golf loopt in koord AZ vanuit A naar rechts en is op een bepaald moment gevorderd tot punt P. De afstand AP bedraagt 180 cm. A trilt met een frequentie van 5,0 Hz en een amplitude van 3,0 cm.



- Bereken de golfsnelheid v .

$$AP = 2\frac{1}{2} \lambda = 180 \text{ cm} \Rightarrow \lambda = 0,72 \text{ m} \Rightarrow v = \lambda \cdot f = 0,72 \cdot 5,0 = 3,6 \text{ m/s}$$

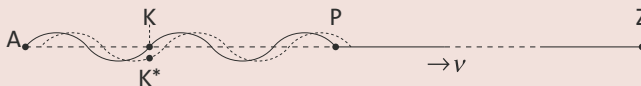
- Bereken de snelheid van deeltje A op moment van tekening.

A passeert op moment van tekening de evenwichtsstand \Rightarrow de snelheid van A is maximaal

$$\Rightarrow v_A = v_{\max} = \frac{2\pi A}{T} = 2\pi A \cdot f = 2\pi \cdot 0,030 \cdot 5,0 = 0,94 \text{ m/s}$$

- Is K op moment van tekening bezig omhoog te gaan of omlaag te gaan?

Teken de stand van het koord een tijd Δt later (zie stippellijn hieronder) \Rightarrow K bevindt zich nu in K^* \Rightarrow K was bezig om omlaag te gaan.



- Hoe lang trilt K reeds op moment van tekening? ($AK = 72 \text{ cm}$)

De golf is juist gearriveerd bij P. Rechts van P zijn geen golven te zien \Rightarrow P heeft dus nog niet getrild. Rechts van A bevindt zich $2\frac{1}{2} \lambda \Rightarrow$ A trilde reeds $2\frac{1}{2}$ maal. Rechts van K bevindt zich $1\frac{1}{2} \lambda \Rightarrow$ K heeft $1\frac{1}{2}$ maal getrild \Rightarrow dit komt overeen met $1\frac{1}{2} \cdot T = 1\frac{1}{2} \cdot 0,20 = 0,30 \text{ s}$

tekenen van u, x -diagram en u, t -diagram

Een koord AZ is zeer lang. Beginpunt A trilt voortdurend met frequentie $f = 5,0 \text{ Hz}$ en amplitude $A = 2,0 \text{ cm}$. Beginpunt A start op $t = 0 \text{ s}$ en gaat als eerste omlaag. De golfsnelheid v is gelijk aan $3,0 \text{ m/s}$.

- Teken de stand van het koord op $t = 1,12 \text{ s}$.

Vooraf moet je eerst een aantal dingen beredeneren:

$$- \lambda = \frac{v}{f} = \frac{3,0}{5,0} = 0,60 \text{ m} = 60 \text{ cm}$$

$$- \text{aantal golven in koord} = \frac{t}{T} = \frac{1,12}{0,20} = 5,6 \quad (T = \frac{1}{f})$$

vervolg

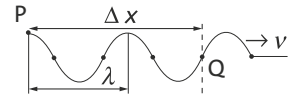
lopende transversale golven vervolg*formules*

- $\lambda = v \cdot T$ ofwel $v = \lambda \cdot f$ algemene regel: λ past zich aan aan v en T immers, v en T (of f) zijn direct te regelen $\Rightarrow \lambda$ past zich aan (λ is gevolg); uitzondering: staande golven bij snaren en luchtkolommen met vaste lengte, dan past f zich aan aan λ en v (zie pag. 18 e.v)

- **faseverschil tussen twee punten P en Q in één koord**

$$\Delta\varphi = \varphi_P - \varphi_Q \text{ geldt algemeen}$$

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta x}{\lambda} \text{ geldt in geval P en Q beide trillen}$$



- **gereduceerde faseverschillen**

als $\Delta\varphi_{\text{red}} = 1 \Rightarrow$ P en Q zijn in fase;

als $\Delta\varphi_{\text{red}} = \frac{1}{2} \Rightarrow$ P en Q zijn in tegenfase;

hier geldt: $\varphi_P > \varphi_Q$, want golf gaat naar rechts,

dus P trilt het langst

$$\Delta\varphi_{PQ} = \frac{\Delta x}{\lambda} = \frac{1\frac{3}{4} \cdot \lambda}{\lambda} = 1\frac{3}{4}$$

$$\Delta\varphi_{\text{red}, PQ} = \frac{3}{4}$$

- **u_p, t -diagram** toont de u van één punt P van het koord op allerlei tijdstippen
- **u, x -diagram ofwel: stand van koord** toont de u van alle deeltjes van het koord op één tijdstip \Rightarrow het is een foto van een koord op één bepaald moment

lopende longitudinale golven deeltjes hoeven niet aan elkaar gekoppeld te zijn; er zijn verdichtingen en verdunningen

manier van opwekken

- **laat deeltjes trillen in dezelfde richting als voortplantingsrichting**

voorbeeld

geef bij A een klap tegen de staaf

A  ijzeren staaf

(zie figuur) naar rechts gericht: er ontstaat in de staaf een longitudinale golf

- **lange spiraalveer AZ**

stand van de veer op $t = 0$ s:

A start met een harmonische

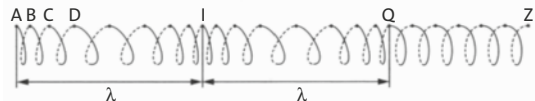
trilling en gaat als eerste naar

rechts \Rightarrow er gaat een verdichting van windingen naar rechts; B gaat even later ook naar rechts; C volgt weer punt B, etc.

A gaat even later naar links \Rightarrow er is een verdunning van windingen te zien; B zal even later ook naar links gaan, etc. ;

stand van de veer op $t = 2T$

(2 golven in de veer): zie fig.

*merk op*

- **elke winding blijft gemiddeld op zijn plaats**

begrippen als bij transversale golven komen ook hier voor o.a.

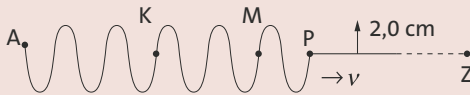
- **frequentie** waarmee een winding op en neer trilt
- **golfsnelheid** snelheid waarmee de golf zich voortplant
- **golf lengte** λ is de afstand van verdichting tot verdichting = AI = IQ (zie figuur);

hier geldt: λ past zich aan aan v en f met $\lambda = \frac{v}{f} = v \cdot T$

vervolg

tekenen van u, x -diagram en u_K, t -diagram vervolg

- kop van de golf bevindt zich op $5,6 \cdot \lambda = 336$ cm van A
- er gaat een dal voorop want A startte omlaag.
- Dus: teken vanaf de kop van de golf (P) 5,6 golven terug naar links:



- Bereken de uitwijking van A op $t = 1,12$ s.

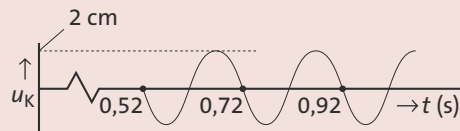
Er geldt: $u_A = -A \cdot \sin(2\pi f t)$ (–, want beginpunt A startte omlaag). Rekenmachine op rad.

$$\Rightarrow u_A = -2,0 \cdot \sin(2\pi \cdot 5,0 \cdot 1,12) \text{ cm} = +1,2 \text{ cm}$$

- Teken het uitwijking-tijd diagram van punt K ($PK = 3 \cdot \lambda$)

$$PK = 3 \cdot \lambda = 3 \cdot 60 = 180 \text{ cm} \Rightarrow AK = 336 - 180 = 156 \text{ cm. K 'start' op } t = \frac{1,56}{3,0} = 0,52 \text{ s.}$$

K gaat als eerste omlaag, want er gaat een dal voorop. K trilt met $T = 0,20$ s en amplitude 2,0 cm \Rightarrow zie figuur.

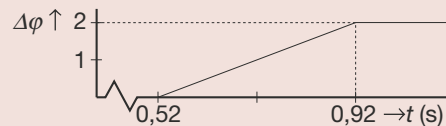
**faseverschil tussen twee punten in één koord**

- Teken een diagram dat het faseverschil tussen K en M weergeeft als functie van de tijd (punt K en M: zie tekening vorige opgave).

$$\text{Voor } t = [0 \text{ s}; 0,52 \text{ s}] \Rightarrow \Delta \varphi = 0$$

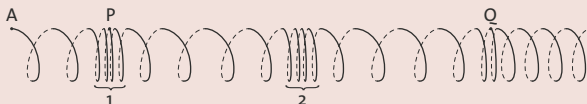
$$\text{Voor } t = [0,52 \text{ s}; 0,52 + 2,0 \cdot T] \Rightarrow \Delta \varphi \text{ neemt toe van } 0 \text{ tot } 2,0 \text{ (want } KM = 2 \cdot \lambda)$$

$$\text{Voor } t > 0,52 + 2,0 \cdot T (= 0,92 \text{ s}) \text{ geldt: } \Delta \varphi \text{ blijft } 2,0 \Rightarrow \text{diagram: zie figuur.}$$



lopende longitudinale golf golf die een voortplantingsrichting heeft langs een lijn, waarlangs ook de deeltjes op en neer trillen. Een veel voorkomende longitudinale golf is een geluidsgolf. Deze golf plant zich overigens niet voort langs een lijn maar breidt zich uit in alle richtingen.

In een veer loopt een longitudinale golf naar rechts; het uiteinde A begon op $t = 0,0$ s harmonisch te trillen. Enige tijd later is de situatie als hieronder getekend: de kop van de golf (een verdichting) is gevorderd tot punt Q.



Gegeven: de afstand van verdichting 1 tot verdichting 2 bedraagt 60 cm; de frequentie waarmee A trilt is 5,0 Hz.

- Bereken de golfsnelheid v .

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow v = 0,60 \cdot 5,0 = 3,0 \text{ m/s}$$

- Is A als eerste naar links of naar rechts gegaan?

Naar rechts, want er loopt een verdichting voorop.

- Hoe lang trilt P op moment van tekening?

Rechts van P bevinden zich precies 2 golflengtes $\lambda \Rightarrow$ de fase van P is 2 \Rightarrow P trilt gedurende $2 T$ seconden = 0,40 s.

elektromagnetische golven zoals lichtgolven en radiogolven; zijn transversale golven

bestaan uit

- **trillende elektrische en magnetische velden** planten zich voort met de lichtsnelheid

lichtgolven ontstaan uit

- **atomen** die naar lager energieniveau springen; zie pag. 110

voorkomende begrippen

- **frequentie f (in Hz)** is frequentie waarmee de velden op en neer trillen

- **frequentie van zichtbaar licht** lichtgolven hebben een frequentie tussen $0,40 \cdot 10^{15}$ Hz en $0,80 \cdot 10^{15}$ Hz (Binas 19A) \Rightarrow frequentie is zeer hoog

- **frequentie blijft constant** geldt ook bij overgang naar een ander medium

- **golflengte λ (in m)** λ past zich aan aan c en f

- **golflengte van zichtbaar licht** lichtgolven hebben in vacuüm/lucht een golflengte tussen ongeveer 380 nm (violet) en 750 nm (rood) (Binas 19A) \Rightarrow golflengte is zeer klein

formules

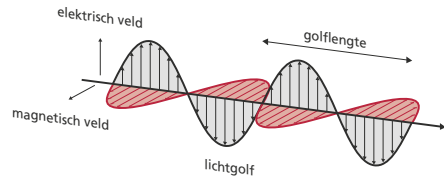
- **$\lambda = c \cdot T$ ofwel $c = \lambda \cdot f$**

- **lichtsnelheid c (in m/s)** bij *lichtsnelheid* gebruik je niet v , maar c

- **in vacuüm** voor alle golflengtes λ geldt: $c = 2,998 \cdot 10^8$ m/s (Binas 7)

- **in medium \neq vacuüm** bv. in glas; de lichtsnelheid c wordt dan kleiner

- **wanneer c afneemt, neemt ook λ af** want $\lambda = c \cdot T$ (en T blijft constant)



elektromagnetisch spectrum frequentie f bepaalt of de elektromagnetische golven zichtbaar zijn (f bepaalt kleur van het licht) en welk effect deze golven hebben op hun omgeving

- **soorten elektromagnetische straling** verschillende soorten straling verschillen in vacuüm alléén in golflengte ofwel in frequentie; alle straling heeft de lichtsnelheid

- **overzicht van soorten straling** zie pag. 26 (en Binas 19B)

merk op

- **schadelijk effect neemt toe met de frequentie** en neemt af met λ , want $\lambda \sim \frac{1}{f}$

geluidsgolven zijn longitudinale golven

bestaan uit

- **verzameling van trillende luchtmoleculen**

- **luchtmoleculen blijven gemiddeld op hun plaats** moleculen trillen slechts om hun evenwichtsstand

- **golf is gevolg van na elkaar bewegen van opeenvolgende moleculen**

ontstaan uit

- **geluidsbronnen** bron brengt luchtmoleculen vlak bij de bron aan het trillen; er ontstaan verdichtingen en verdunningen van moleculen, deze verdichtingen en verdunningen planten zich voort

elektromagnetisch spectrum verzameling van alle soorten elektromagnetische golven, gerangschikt naar frequentie of golflengte (Binas 19B). Zie ook pag. 26.

geluid een geluidsbron brengt lucht (of andere materie) in trilling. Deze trillingen breiden zich uit in de vorm van een geluidsgolf. Geluid is hoorbaar wanneer de frequentie ervan ligt tussen 20 Hz en 20.000 Hz én het geluid voldoende sterk is.

lopende geluidsgolven

Een luidspreker produceert een toon van 400 Hz. Vanaf de luidspreker planten zich verdichtingen en verdunningen van lucht voort (zie figuur pag. 18). Er geldt: $v_{\text{geluid}} = 340 \text{ m/s}$

- Hoe groot is de afstand tussen twee opeenvolgende verdichtingen?

Deze afstand is gelijk aan λ . Er geldt: $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{400} = 0,850 \text{ m}$

- Is het juist dat luchtdeeltje P even later in Q is gearriveerd?

Nee, P trilt heen en weer met zeer kleine amplitude maar blijft gemiddeld op zijn plaats. P geeft de trillingsenergie alleen door.

In een bepaald gebied onweert het. In de buurt van P (800 m boven de grond) slaat een bliksemstraal over tussen twee wolken. Onmiddellijk breidt zich vanuit P een enorme hoeveelheid geluid uit (donder). B zal de donder later horen dan A (zie figuur).

Gegeven: $t_{\text{lucht}} = 20^\circ \text{C}$

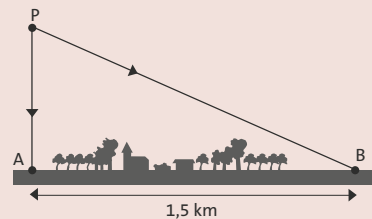
- Hoeveel seconden na A zal B de donder horen?

Bij $t = 20^\circ \text{C}$ geldt: $v_{\text{geluid in lucht}} = 343 \text{ m/s}$ (Binas 15A).

$PA = 800 \text{ m} \Rightarrow PB = \sqrt{1500^2 + 800^2} = 1700 \text{ m} \Rightarrow$

$PB - PA = 900 \text{ m} \Rightarrow$ als het geluid in A arriveert, moet het geluid dat op weg is naar B, nog

900 m afleggen \Rightarrow het tijdsverschil Δt bedraagt: $\Delta t = \frac{\Delta x}{v} = \frac{900}{343} = 2,6 \text{ s}$

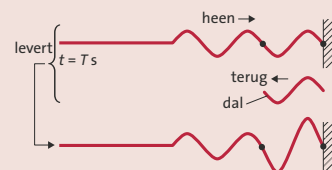


staande golven ontstaan als gevolg van interferentie: het samengaan van heenlopende en teruglopende (vaak: teruggekaatste) golven. Golfberg en golfdal kunnen elkaar verzwakken of zelfs uitdoven (destructieve interferentie); golfberg + golfberg (en ook golfdal + golfdal) versterken elkaar (constructieve interferentie).

Een golf loopt in een koord naar rechts en heeft de muur bereikt. Voorop loopt een golfberg. De muur kaatst de berg terug als een dal. De figuur toont de situatie op $t = 0 \text{ s}$.

- Laat zien dat op tijdstip T (trillingstijd) er in koorddeel PQ sprake is van constructieve interferentie.

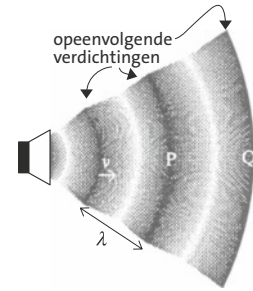
De heenlopende golf schuift 1λ op naar rechts; de teruggekaatste golf heeft een afstand 1λ afgelegd naar links, waarbij er een dal voorop loopt. Optellen van de twee golven op het deel PQ laat zien dat de golven elkaar versterken.



vervolg

geluidsgolven*belangrijke geluidsbronnen*

- **stembanden**
- **luidspreker** conus (trechter) van luidspreker gaat heen en weer en produceert verdichtingen en verdunningen van lucht (zie ook pag. 102)

*belangrijke begrippen*

- **frequentie f** is frequentie waarmee deeltjes (meestal moleculen) op en neer trillen; in Hz
 - **frequentie** bepaalt toonhoogte; hoe hoger de frequentie, hoe hoger de toon; gehoorgrenzen: $20\text{ Hz} < f < 20\text{ kHz}$
 - **amplitude** bepaalt toonsterkte; hoe groter de amplitude, hoe harder de toon
- **geluidssnelheid v** in lucht (20 °C) geldt: $v = 343\text{ m/s}$ (Binas 15A)
 - v_{geluid} hangt af van temperatuur van medium indien $T >$, dan $v_{\text{geluid}} >$
 - v_{geluid} hangt af van soort medium bv. $v_{\text{geluid, ijzer}} > v_{\text{geluid, lucht}}$
 - v_{geluid} hangt niet af van frequentie en/of amplitude
- **golflengte λ** afstand tussen twee opeenvolgende verdichtingen; in m

kenmerken

- één golflengte λ wordt afgelegd in T seconden ($T = \text{trillingstijd}$)
- λ past zich altijd aan aan v en f

formules

- $\lambda = v \cdot T$ ofwel $v = \lambda \cdot f$

staande golven bij snaarinstrumenten snaar is in eigentrilling; luchtkolom van instrument resoneert mee met toon van snaar

snaar in eigentrilling kenmerkt zich door

- **knopen** snaardeeltjes staan hier voortdurend stil
 - treden op*
 - bij vaste uiteinden
 - midden tussen twee buiken
- **buiken** snaardeeltjes trillen hier voortdurend maximaal op en neer
 - treden op*
 - midden tussen twee knopen

- **afstand knoop-buik** $= \frac{1}{4} \lambda$

meest voorkomende situatie

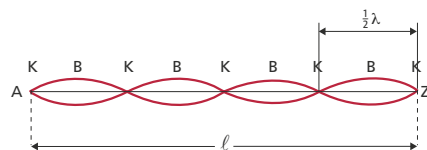
- **aan twee kanten ingeklemde gespannen snaar**

voorwaarde voor ontstaan van staande golven
(twee gelijkwaardige formuleringsen)

- $\ell = n \cdot \frac{1}{2} \lambda$ met $n = 1, 2, 3, \text{ etc}$; in de figuur hierboven geldt: $AZ = \ell = 4 \cdot \frac{1}{2} \lambda$
- **op snaarlengthe ℓ moet geheel aantal maal $\frac{1}{2} \lambda$ passen**

verhouding van frequenties van de tonen

- $f_{\text{grondtoon}} : f_{1\text{e boventoon}} : f_{2\text{e boventoon}} : \dots = 1 : 2 : 3 : \dots$

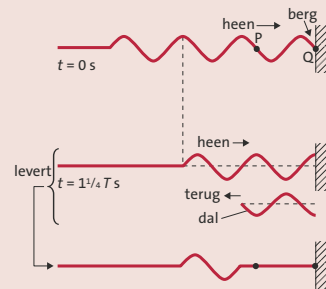


vervolg

staande golven vervolg

- Op welk tijdstip na tijdstip T is er in koorddeel PQ sprake van destructieve interferentie?

Dat is op $t = 1\frac{1}{4}T$. Zie de figuur. In het gedeelte PQ zijn de heengaande en de teruggaande golf in tegenfase: ze doven elkaar uit.

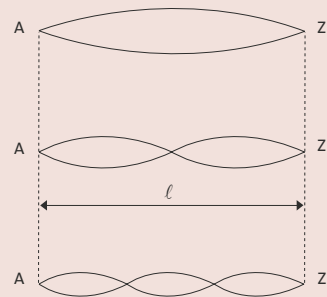
**staande golven bij snaren en snaarinstrumenten**

Wanneer een vioolsnaar wordt aangestreken dan gaat de snaar meerdere eigentrillingen tegelijk uitvoeren \Rightarrow de snaar resoneert tegelijk in meerdere tonen.

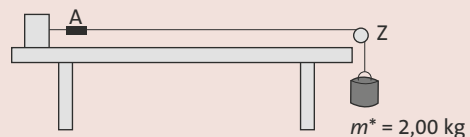
De belangrijkste toon is de **grondtoon** (1^e figuur): op de snaar past dan $\frac{1}{2}\lambda$. Indien lengte ℓ van de snaar $= \frac{1}{2}\lambda$, dan heet de frequentie waarbij dit optreedt de **grondtoon** (f^*).

In 2^e figuur past op ℓ $2 \cdot \frac{1}{2}\lambda$; dit treedt op bij een frequentie $f = 2 \cdot f^*$ en heet **eerste boventoon**.

In 3^e figuur past op ℓ $3 \cdot \frac{1}{2}\lambda$; dit treedt op bij een frequentie $f = 3 \cdot f^*$ en heet **tweede boventoon**, etc.

**staande golven bij snaren en snaarinstrumenten**

Een trilapparaat kan het beginpunt A van een snaar AZ verticaal op en neer laten trillen. Wanneer dit gebeurt plant zich een golf voort door de snaar van A naar Z. Dit gebeurt met een bepaalde golfsnelheid v .



Voor deze golfsnelheid blijkt de volgende formule te gelden: $v = \sqrt{\frac{F_s}{(m/\ell)}}$

waarin F_s = spankracht in de snaar (veroorzaakt door de hangende massa m^*) en $\frac{m}{\ell}$ is de massa van de snaar per meter snaarlengte.

- Laat zien dat deze formule klopt voor wat betreft de eenheden.

Eenheden invullen: $\sqrt{\frac{\text{N}}{(\text{kg/m})}} = \sqrt{\frac{\text{kg} \cdot \text{m/s}^2}{(\text{kg/m})}} = \sqrt{\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = \frac{\text{m}}{\text{s}} \Rightarrow$ dit is de eenheid van snelheid

($\text{N} = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ volgt uit de wet $F = m \cdot a$; zie pag. 56 en ook: zie ook Binas 4, bij 'kracht')

De snaar AZ is 3,00 m lang en heeft een massa van 4,20 gram. Zie ook figuur.

- Bereken de spankracht in de snaar.

$$F_s = F_{z \text{ op } m^*} = m^* \cdot g = 2,00 \cdot 9,81 = 19,6 \text{ N}$$

- Bereken de snelheid van de golven in de snaar.

$$F_s = 19,6 \text{ N en } \frac{m}{\ell} = \frac{4,20 \cdot 10^{-3}}{3,00} = 1,40 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m; formule invullen } \Rightarrow v = 118 \text{ m/s}$$

De snaar wordt zó in trilling gebracht, dat de snaar voornamelijk gaat resoneren in de derde boventoon.

staande golven bij snaarinstrumenten vervolg*andere vaak voorkomende situatie*

- **aan één kant ingeklemde staaf** kant waar staaf is ingeklemd is een knoop; het vrije uiteinde is een buik

voorwaarde voor ontstaan van staande golven (twee gelijkwaardige formuleringen)

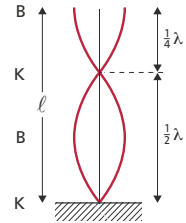
- $\ell = (2n-1) \cdot \frac{1}{4}\lambda$ met $n = 1, 2, 3, \text{ etc}$; dit is ook te schrijven
als $\ell = n \cdot \frac{1}{2}\lambda + \frac{1}{4}\lambda$ met $n = 0, 1, 2, 3, \text{ etc}$; in de figuur
hiernaast geldt: $\ell = \frac{3}{4}\lambda$

- **op staaflengte ℓ moet een geheel aantal $\frac{1}{2}\lambda$ + éénmaal $\frac{1}{4}\lambda$ passen**

verhouding van frequenties van de tonen

- $f_{\text{grondtoon}} : f_{1\text{e boventoon}} : f_{2\text{e boventoon}} : \dots = 1 : 3 : 5 : \dots$

- $v = \lambda \cdot f$ geldt ook bij resonerende snaren v is snelheid van de lopende golven in snaar, die samen de staande golf vormen

**staande golven bij blaasinstrumenten** beschouw blaasinstrument als kolom, waarin lucht kan trillen*resonerende luchtkolom kenmerkt zich door*

- **knopen** luchtdeeltjes staan voortdurend stil

treden op

- **bij vaste uiteinden** want deeltje kan vlak bij wand niet heen en weer trillen: wand blokkeert en maakt één helft van trilling onmogelijk

- **midden tussen twee buiken**

- **buiken** luchtdeeltjes trillen voortdurend maximaal op en neer

treden op

- **vlak bij openingen** plaats van buik valt niet precies samen met plaats van opening, maar ligt meestal iets buiten opening

- **midden tussen twee knopen**

- **afstand knoop-buik** $= \frac{1}{4}\lambda$

2 veel voorkomende situaties

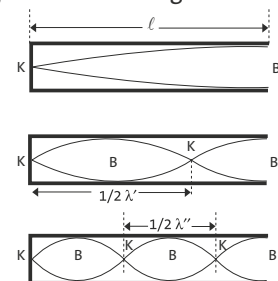
- **buis (lengte ℓ) met één open uiteinde en één dicht uiteinde** bij dicht uiteinde ligt een knoop; buik ligt iets buiten de opening

er zijn allerlei eigentrillingen mogelijk

- $\ell = \frac{1}{4}\lambda$ \Rightarrow grondtoon

- $\ell = \frac{1}{2}\lambda' + \frac{1}{4}\lambda'$ \Rightarrow 1^e boventoon

- $\ell = 2 \cdot \frac{1}{2}\lambda'' + \frac{1}{4}\lambda''$ \Rightarrow 2^e boventoon

enzovoort

B = buik: de lucht trilt heftig

K = knoop: de lucht trilt niet

- **algemeen:** $\ell = (2n-1) \cdot \frac{1}{4}\lambda$ met $n = 1, 2, 3 \dots$

- $f_{\text{grondtoon}} : f_{1\text{e boventoon}} : f_{2\text{e boventoon}} : \dots = 1 : 3 : 5 : \dots$

vervolg

staande golven bij snaren en snaarinstrumenten vervolg

- *Bereken de frequentie van deze boventoon.*

Derde boventoon \Rightarrow op snaarlengte past $4 \cdot \frac{1}{2}\lambda \Rightarrow 2 \cdot \lambda = 3,00 \text{ m} \Rightarrow \lambda = 1,50 \text{ m}$

Voor f geldt dan: $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{118}{1,50} = 78,7 \text{ Hz}$

- *Wat gebeurt er, natuurkundig gezien, bij het stemmen van een gitaarsnaar?*

Je verandert dan de F_s van de snaar. Stel, je maakt F_s groter $\Rightarrow v_{\text{golven}}$ groter, terwijl de snaarlengte constant blijft (dus ook $\lambda_{\text{grondtoon}}$ is constant) $\Rightarrow f$ groter, dus hogere toon.

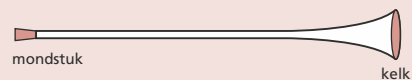
staande golven bij luchtkolommen en blaasinstrumenten

Blaasinstrumenten worden eerst altijd 'ingespeeld' en daarna gestemd. Het instrument moet eerst op temperatuur worden gebracht.

- *Leg uit waarom.*

Na enige tijd blazen stijgt de temperatuur van het instrument en hiermee ook de temperatuur van de lucht in het instrument. Dus neemt de geluidssnelheid toe (Binas 15A) \Rightarrow de frequentie van de grondtoon stijgt. Het instrument kan anders vals klinken.

Een trompet wordt in gedachten gebogen tot een rechte buis en heeft dan een lengte ℓ . Aan de linkerkant zit het mondstuk; aan de rechterkant bevindt zich de kelk van de trompet.



Het is onmogelijk om op een trompet de grondtoon te spelen. De eerste en volgende boventonen zijn wel te spelen en vormen de natuurtonen van de trompet.

Deze natuurtonen hebben, gerekend vanaf de eerste boventoon frequenties die gelijk zijn aan 233 Hz, 349 Hz, 466 Hz, 583 Hz etc.

Bij een luchtkolom als deze zijn er twee mogelijkheden:

- mogelijkheid 1: mondstuk en kelk gedragen zich allebei als een buik B
- mogelijkheid 2: het mondstuk gedraagt zich als een knoop K en de kelk als een buik B
- *Toon met behulp van de gegeven frequenties en de inleidende tekst aan, dat je bij een trompet te maken hebt met de eerste mogelijkheid.*

Bij mogelijkheid 1 past op de lengte ℓ van de trompet $\frac{1}{2}\lambda$ of λ of $1\frac{1}{2}\lambda$ of 2λ etc.

Voor de verhouding van de frequenties van de boventonen geldt dan:

$f_{\text{grondtoon}} : f_{1\text{e boventoon}} : f_{2\text{e boventoon}} : f_{3\text{e boventoon}} : f_{4\text{e boventoon}} \dots = 1 : 2 : 3 : 4 : 5 : \dots$ (bij mogelijkheid 2 zou dat zijn $1 : 3 : 5 : 7$ enz.) dus geldt ook:

$f_{1\text{e boventoon}} : f_{2\text{e boventoon}} : f_{3\text{e boventoon}} : f_{4\text{e boventoon}} \dots = 2 : 3 : 4 : 5$

Dit is de dezelfde verhouding als $233 : 349 : 466 : 583 \Rightarrow$ mogelijkheid 1 is de juiste.

De temperatuur van de lucht in de trompet is ongeveer 30°C . De buik ligt bij de eerste boventoon 4 cm rechts van de kelk.

- *Bereken de lengte van de rechte trompetbuis.*

Bij de eerste boventoon (233 Hz) is de lengte van de resonerende luchtkolom gelijk aan λ .

$v_{\text{geluid } 30^\circ\text{C}}$ ligt tussen 343 m/s en 354 m/s (Binas 15A) $\Rightarrow v \approx 348,5 \text{ m/s} \Rightarrow$

$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{348,5}{233} = 1,50 \text{ m} \Rightarrow \text{lengte trompetbuis} = 150 \text{ cm} - 4 \text{ cm} = 146 \text{ cm}$

staande golven bij blaasinstrumenten vervolg**■ buis (lengte ℓ) met twee open uiteinden** iets buiten de open uiteinden liggen buiken*er zijn allerlei eigentrillingen mogelijk*

$$\blacksquare \ell = \frac{1}{2}\lambda \quad \Rightarrow \text{grondtoon}$$

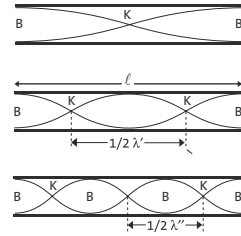
$$\blacksquare \ell = 2 \cdot \frac{1}{2}\lambda' \quad \Rightarrow 1^{\text{e}} \text{ boventoon}$$

$$\blacksquare \ell = 3 \cdot \frac{1}{2}\lambda'' \quad \Rightarrow 2^{\text{e}} \text{ boventoon}$$

enzovoort

$$\blacksquare \text{ algemeen: } \ell = n \cdot \frac{1}{2}\lambda \text{ met } n = 1, 2, 3 \dots$$

$$\blacksquare f_{\text{grondtoon}} : f_{1^{\text{e}} \text{ boventoon}} : f_{2^{\text{e}} \text{ boventoon}} : \dots = 1 : 2 : 3 : \dots$$



B = buik: de lucht trilt heftig

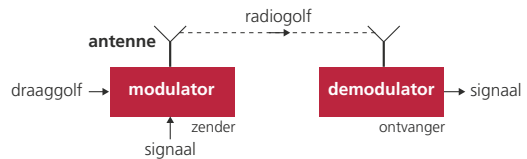
K = knoop: de lucht trilt niet

eigenfrequenties van luchtkolom berekenen via $f = \frac{v}{\lambda}$; v = geluidssnelheid bij heersende temperatuur; λ bepalen door te tellen hoeveel golven in kolom passen; luchtkolommen hebben, evenals snaren, meerdere eigenfrequenties

telecommunicatie met behulp van elektromagnetische golven je maakt gebruik van zendgedeelte, een medium en een ontvangedeelte; toegepast bij radio, tv, mobiele telefoon

■ zendgedeelte wekt radiogolven op en 'verstopt' het bronsignaal (bevat de informatie van beeld/geluid) hierin*bestaat uit***■ opwekker van draaggolf**

draaggolf is elektromagnetische golf; nodig om bronsignaal te transporteren; draaggolf zelf bevat geen informatie; elke zender heeft draaggolf met eigen frequentie \Rightarrow zo is ontvangst mogelijk van vele stations, zonder dat zij elkaar hinderen



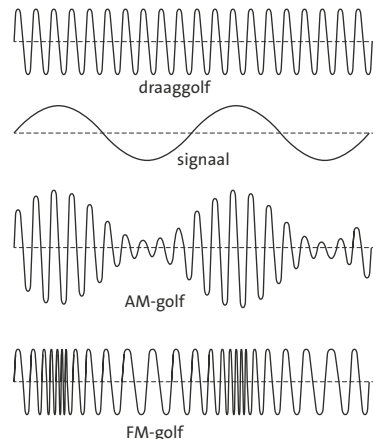
$$\blacksquare \text{ frequentie}_{\text{draaggolf}} \gg \text{frequentie}_{\text{bronsignaal}}$$

■ modulator voegt bronsignaal toe aan draaggolf: draaggolf wordt gemoduleerd*2 mogelijkheden om te moduleren***■ A.M. Amplitude Modulation**

bronsignaal wordt 'verstopt' in de amplitude van de draaggolf; amplitude van draaggolf varieert overeenkomstig het bron-signaal

■ F.M. Frequentie Modulation

bronsignaal wordt 'verstopt' in de frequentie van de draaggolf; frequentie van de draaggolf varieert overeenkomstig het bron-signaal

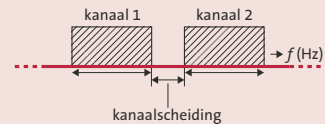


bandbreedte

Een bepaalde stem kan tonen zingen van 98 Hz tot 660 Hz.

- *Hoe groot is de bandbreedte van deze zangstem?*

De bandbreedte is gelijk aan $660 - 98 = 562$ Hz



kanaalscheiding

Een FM-muziekzender zendt een draaggolf uit (een 'kanaal') met een frequentie van 98,800 MHz. De muziek wordt meegezonden door de draaggolf met een bandbreedte van 30 kHz te moduleren.

- *Welke frequenties worden dan gebruikt door de zender?*

Dat zijn de frequenties tussen $(98,800 \text{ MHz} - 15 \text{ kHz})$ en $(98,800 \text{ MHz} + 15 \text{ kHz})$, dus de frequenties tussen 98,785 MHz en 98,815 MHz.

De gemoduleerde 15 kHz heeft, net als een snaar, boventonen, zoals 30 kHz, 45 kHz, 60 kHz etc. Hoge boventonen zijn veel zwakker dan lage boventonen.

Het eerstvolgende kanaal ligt 300 kHz verwijderd van het gegeven kanaal.

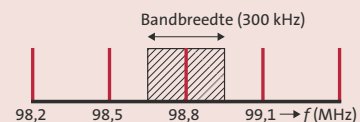
- *Welke boventonen zullen dan zeker niet meer worden meegezonden?*

De boventonen mogen een frequentie hebben van maximaal 150 kHz. Dat is de negende boventoon \Rightarrow hooguit acht boventonen worden meegezonden.

- *Leg uit waarom kanaalscheiding (uplink en downlink)*

nodig is bij een apparaat dat tegelijk zowel zendt als ontvangt.

De radiogolven van de zender (uplink) zullen anders interfereren met de ontvangen golven (downlink); wanneer de frequenties gelijk zijn is het gevolg van de interferentie het sterkst, zelfs uitdoving is dan mogelijk. Dit is ongewenst.



zendgedeelte in mobiele telefoon

De mobiele telefoon van Florentijn zendt uit met een frequentie van 2,0 GHz. De antenne in zijn telefoon is $\frac{1}{4}\lambda$ groot.

- *Bereken de lengte ℓ van deze antenne*

$$\text{Er geldt: } \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3,00 \cdot 10^8}{2,0 \cdot 10^9} = 0,15 \text{ m} \Rightarrow \ell = \frac{1}{4} \cdot 0,15 \text{ m} = 3,8 \text{ cm}$$

Het vermogen P van de zender in de telefoon is 0,25 W. Rondom de antenne wordt een elektrische veldsterkte E (in V/m) opgewekt, die gegeven wordt door de formule

$E = \frac{\sqrt{30 \cdot P \cdot g}}{r}$. Het getal 30 stelt eigenlijk 30Ω voor (het is een soort golfweerstand voor elektromagnetische golven in vacuüm); g is een dimensieloos getal dat iets zegt over de kwaliteit van antennes (voor $\frac{1}{4}\lambda$ antennes geldt: $g = 3,28$); r is afstand tot antenne (in m). Toon aan dat de eenheid van E inderdaad V/m is.

Rechts van het = teken staat: $\frac{\sqrt{\Omega \cdot \text{W} \cdot 1}}{\text{m}}$; $\Omega = \frac{\text{V}}{\text{A}}$ (volgt uit $R = \frac{U}{I}$) en $\text{W} = \text{V} \cdot \text{A}$ (volgt uit

$$P = U \cdot I \Rightarrow \text{dit levert } \frac{\sqrt{\frac{\text{V}}{\text{A}} \cdot \text{V} \cdot \text{A}}}{\text{m}} = \frac{\sqrt{\text{V}^2}}{\text{m}} = \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

vervolg

telecommunicatie met behulp van elektromagnetische golven vervolg

- **zendmast** gemoduleerde draaggolf wordt door antenne uitgezonden: elektromagnetische straling in vorm van radiogolven breidt zich rondom antenne uit
 - **medium** radiogolven breiden zich uit in atmosfeer, maar kunnen dit ook in vacuüm
 - **ontvanggedeelte** omgekeerde proces als in zender vindt hier plaats
 - **demodulator** verwijdert bronsgaaf van draaggolf \Rightarrow bronsgaaf komt weer beschikbaar
- overige kenmerkende begrippen*
- **bandbreedte** de hoeveelheid ruimte aan frequenties, die een signaal in beslag neemt; hoe groter de bandbreedte, des te beter de kwaliteit van beeld/geluid
 - **A.M.** heeft weinig bandbreedte
 - **F.M.** heeft grotere bandbreedte
 - **kanaalscheiding** frequentiebanden van verschillende zenders mogen elkaar niet overlappen; apparaten die zowel ontvangen als zenden doen dit daarom in gescheiden kanalen: downlink respectievelijk uplink

typen bronsignalen

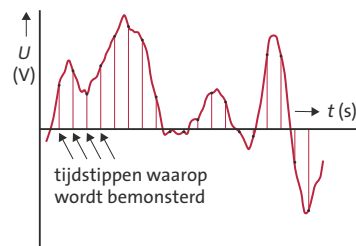
- **analoge (continue) signalen** veranderen continu in de tijd; kunnen binnen grenzen alle waarden aannemen; AM en FM-radio gebruiken analoge bronsignalen
- **digitale (discrete) signalen** bronsgaaf is gecodeerd in reeksen enen en nullen: in binaire codes; een 0 of 1 heet een bit; mobiele telefoon gebruikt digitale bronsignalen

digitale codering gebruikt bij informatieoverdracht en bij dataopslag

- **rechtstreekse codering** bv. letters en cijfers van een toetsenbord: worden direct omgezet in binaire code van nullen en enen
- **codering via AD-omzetter** analoog (continu) signaal, bv. spraak, wordt door omzetter omgezet in getallen die in binaire codes (met nullen en enen) worden weergegeven

kenmerken

- **n-bits AD-omzetter** heeft aan uitgang n bits, die elk 0 of 1 kunnen zijn; naarmate getal n groter is wordt bronsgaaf met grotere nauwkeurigheid omgezet
- **bemonsteringsfrequentie** aantal malen per seconde dat het analoge signaal door omzetter wordt bemonsterd, ofwel wordt omgezet in een binaire code
 - **bepaalt de nauwkeurigheid** waarmee analoog signaal wordt omgezet in binaire code
 - **bepaalt bandbreedte** die nodig is om met binaire code gemoduleerd signaal te versturen



data transfer rate snelheid waarmee data, bestaande uit bits, worden verstuurd; uitgedrukt in megabits per seconde (Mbps) of Gbps (giga) of Tbps(tera); bv. glasvezel: 10 Tbps

zendgedeelte in mobiele telefoon (vervolg)

In Nederland wordt een stralingsnorm gehanteerd die stelt dat je binnenoor 24 uur achtereenvolgende een maximale veldsterkte mag ontvangen van 87 V/m.

Florentijn houdt de telefoon op 2,0 cm van zijn binnenoor.

- Ga na of bij Florentijn deze norm wordt overschreden tijdens het bellen.

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot P \cdot g}}{r} = \frac{\sqrt{30 \cdot 0,25 \cdot 3,28}}{0,020} = 2,5 \cdot 10^2 \text{ V/m} \Rightarrow \text{dat is boven de norm, echter hij zal deze straling waarschijnlijk niet 24 uur achter elkaar ontvangen.}$$

bemonsteren met AD-omzetter

Wanneer $f_{\text{bemonstering}} \geq 2 \cdot f_{\text{max. van bronsignaal}}$, dan is uit de binaire code het bronsignaal goed te reconstrueren. Muziek voor CD's wordt bemonsterd met een frequentie van 44,1 kHz \Rightarrow de hoogste frequentie van het geluidssignaal bedraagt 22,05 kHz.

data transfer rate in relatie tot bandbreedte

Elke communicatielijn (bv. telefoonlijn) bevat 'ruis' (kleine stoorsignalen).

De hoeveelheid ruis hangt o.a. af van de kwaliteit van de lijn en de drukte op de lijn.

Het te transporteren signaal (S) moet normaal gesproken veel sterker zijn dan de ruis (N).

De maximale hoeveelheid bits/s (C), die over zo'n lijn kan worden getransporteerd, wordt gegeven door de zgn. Shannon-formule: $C = BW \cdot \log(1 + S/N) / \log 2$; hierin is BW de beschikbare bandbreedte (Band-Width) en S/N de signaal-ruis verhouding (Signal-Noise-Ratio).

- De formule laat zien dat C zowel toeneemt bij toename van BW als bij toename van S/N . Leg uit waarom dit eigenlijk wel logisch is.

Bij een grote bandbreedte kun je natuurlijk veel bits/s versturen; wanneer de ruis zwak is t.o.v. het signaal heb je minder storende invloeden en kun je ook meer data/s versturen.

Een gewone vaste telefoonlijn gebruikt voor spraak het gebied tussen 300 Hz en 3400 Hz.

De gewenste verhouding S/N is hier $1,0 \cdot 10^4$: 1.

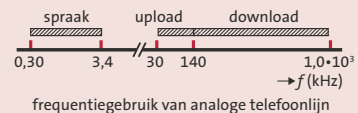
- Wat is het maximale aantal bits per seconde, dat in deze bandbreedte kan worden verstuurd?

De bandbreedte $BW = 3100$ Hz. Er geldt (zie inleiding): $C = BW \cdot \log(1 + S/N) / \log 2$

$$\Rightarrow C = 3100 \cdot \log(1 + 1,0 \cdot 10^4) / \log 2 = 4,1 \cdot 10^4 \text{ bps} = 41 \text{ kbps}$$

Voor computergebruik is dit aantal bps veel te laag.

Daarom gebruikt men ook de ongebruikte bandbreedte van de telefoonlijn. Zie de figuur.



- Hoeveel bits kunnen per seconde nu worden gedownload? (neem voor S/N weer $1,0 \cdot 10^4$)

De bandbreedte $BW = (1,0 \cdot 10^3 - 140)$ kHz; invullen in de formule:

$$C = (1,0 \cdot 10^6 - 140 \cdot 10^3) \cdot \log(1 + 1,0 \cdot 10^4) / \log 2 \text{ geeft: } C = 11 \text{ Mbps.}$$

- Waarom wordt de upload bandbreedte veel kleiner gekozen dan de download bandbreedte?

Bij computergebruik wordt veel meer gedownload dan geüpload; bij grotere bandbreedte gaat het downloaden sneller.

examenbundel >

vwo Nederlands
vwo Engels
vwo Duits
vwo Frans
vwo Economie
vwo Management & organisatie
vwo Maatschappijwetenschappen
vwo Geschiedenis
vwo Aardrijkskunde
vwo Wiskunde A
vwo Wiskunde B
vwo Wiskunde C
vwo Scheikunde
vwo Biologie
vwo Natuurkunde

examenidoom

havo Engels
havo Duits
havo Frans

Tips, tricks en informatie die jou helpen bij het slagen voor je eindexamen vind je op examenbundel.nl! Nog meer kans op slagen? Volg ons ook op social media. #geenexamenstress



examenidoom + examenbundel + samengevat = #geenexamenstress

samengevat }

vwo Economie
vwo Management & organisatie
vwo Geschiedenis
vwo Aardrijkskunde
vwo Wiskunde A
vwo Wiskunde B
vwo Wiskunde C
vwo Scheikunde
vwo Biologie
vwo Natuurkunde
havo/vwo Nederlands 3F/4F
havo/vwo Nederlands Rekenen 3F

