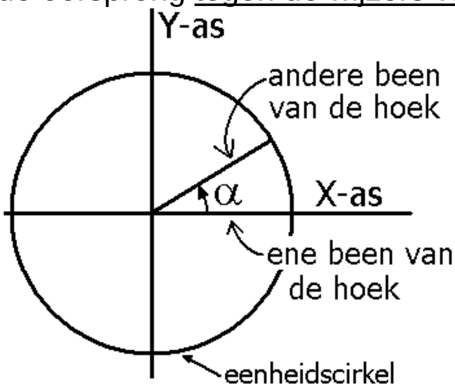
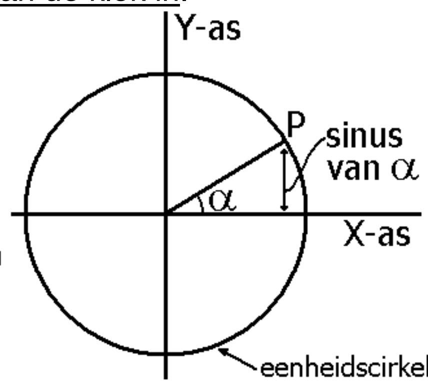
Trillingen en geluid wiskundig

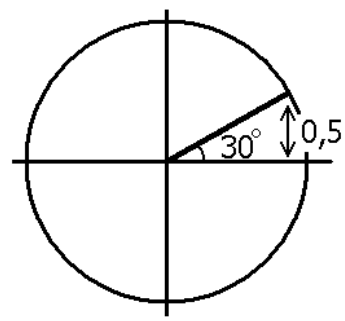
§ 1 De sinus van een hoek

Sinus van een hoek

In elk van de onderstaande figuren is de eenheidscirkel getekend. De eenheidscirkel heeft per definitie straal 1 (één). Het middelpunt valt samen met de oorsprong (= snijpunt van de X-as en Y-as). De linker figuur laat zien hoe een hoek in de eenheidscirkel getekend wordt. De hoek, aangeduid met α, heeft twee benen. Het ene been wordt gevormd door de rechter helft van de X-as. Het andere been wordt getekend als een rechte lijn die vanuit de oorsprong naar de cirkel loopt. We nemen de X-as altijd als uitgangspunt voor een hoek. Het tweede been volgt uit een draaiing om de oorsprong <u>tegen de wijzers van de klok in</u>.



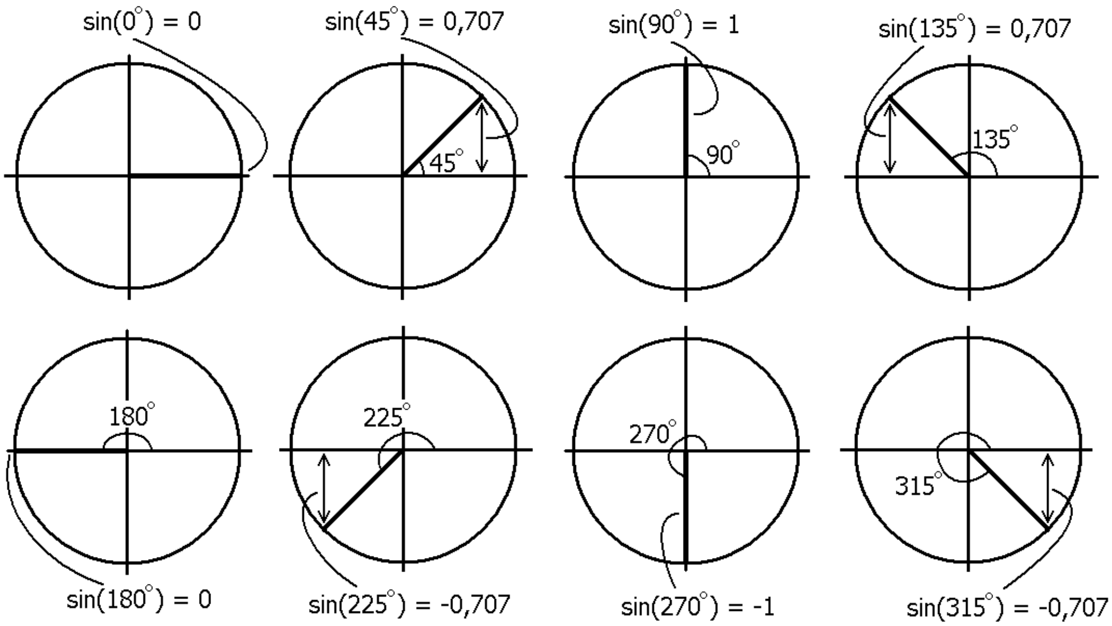




In de middelste figuur is hoek α nogmaals in de eenheidscirkel getekend. Het tweede been van α snijdt de cirkel in punt P. <u>Onder de sinus van hoek α verstaan we de afstand van punt P tot de X-as.</u> Bij elke hoek hoort dus een waarde van de sinus. Omdat de straal van de cirkel 1 is, kan de sinus van een hoek nooit groter dan 1 zijn. De waarde 1 wordt bereikt bij een hoek van 90^o. Bekijk bijvoorbeeld de rechter figuur. Bij een hoek van 30^o hoort een sinus van 0,5. We schrijven dit kort op als $\sin(30^o) = 0,5$.

Hoeken die groter dan 90^o zijn

In de voorgaande figuren waren alleen maar scherpe hoeken afgebeeld. Dat wil zeggen dat de hoeken kleiner dan 90^o zijn. Echter, hoeken kunnen ook groter dan 90^o zijn. Zie de onderstaande figuren waarbij de hoek stapsgewijs met 45^o toeneemt. Bij hoeken groter dan 180^o komt punt P onder de X-as terecht. In dat geval is de sinus negatief. De sinus van een hoek kan echter nooit kleiner dan -1 zijn. De waarde -1 wordt bereikt bij een hoek van 270^o.

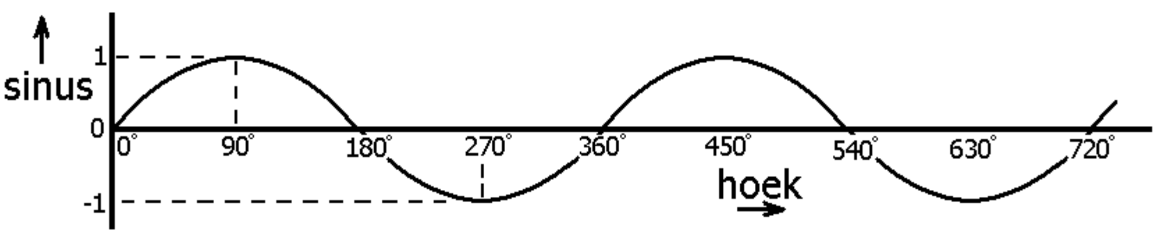


Hoeken kunnen ook groter dan 360^o zijn. Het tweede been is dan meer dan één keer rond de oorsprong gedraaid. Het tweede been neemt dan dezelfde plaats in als bij een veel kleinere hoek (360^o kleiner). Dan geldt: sin(α) = sin(α+360º).

Diagram van de sinus

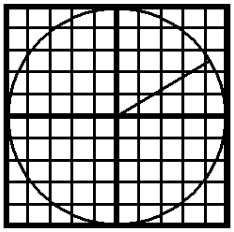
In de onderstaande figuur is het diagram afgebeeld waarin de sinus als functie van zijn hoek is uitgezet. Het diagram heeft de volgende eigenschappen.

- De sinus is 0 als de hoek 0º of 180º of 360º enzovoort is.
- De sinus is maximaal (namelijk +1) bij 90^o en minimaal (namelijk -1) bij 270^o.
- Het diagram herhaalt zich voorbij 360^o.

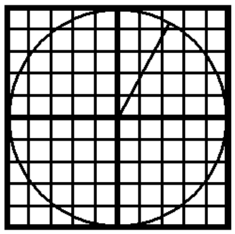


Opgaven § 1

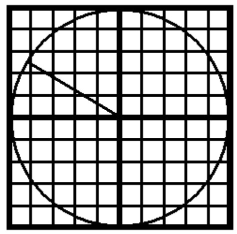
<u>Opgave 1</u>
In elk van de onderstaande figuren is een eenheidscirkel afgebeeld.
Ook is er in elke figuur een hoek getekend.
Lees in elk van de figuren de bijbehorende sinus af.



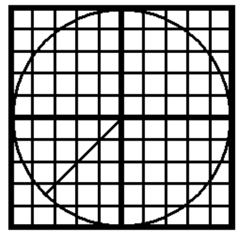
sin(30°) = ________



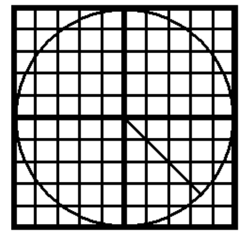
sin(60°) = ________



sin(150°) = ________



sin(225°) = ________



sin(315°) = ________

<u>Opgave 2</u>
Met een rekenmachine kun je bepalen hoe groot de sinus van een hoek is. De sinus van 40^o is bijvoorbeeld gelijk is aan 0,643 (afgerond). Ga dat na. Let er daarbij op, dat je rekenmachine op “degrees” is ingesteld.
Bepaal nu met je rekenmachine hoe groot de sinus van de volgende hoeken is en schrijf deze in de tabel. Rond de getallen af op twee decimalen.

α	0°	35°	70°	90°	110°	160°	180°	200°	240°	360°	395°
$\sin(\alpha)$											

<u>Opgave 3</u>
Stel dat de sinus van een hoek 0,5 is en dat je wilt weten hoe groot de hoek is. Dan kun je deze hoek met je rekenmachine bepalen door gebruik te maken van de toets “$\sin^{-1}$”. Je vindt dan een hoek van 30^o. Ga dat na. Zorg hierbij wel dat je rekenmachine op “degrees” staat.
Bepaal nu met je rekenmachine hoe groot de hoek is, die hoort bij de volgende sinus-waarden. Schrijf deze hoeken in de tabel. Rond de hoeken af op één decimaal.

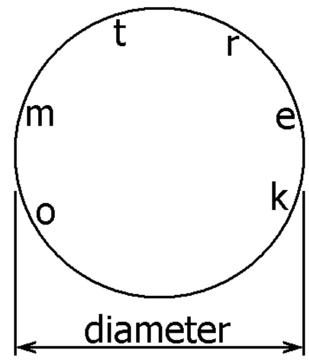
$\sin(\alpha)$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	-0,2	-0,4	-1,0
α									

§ 2 Radialen

Getal pi

In de figuur hiernaast is een cirkel getekend. Er zijn twee lengtes aangegeven, namelijk de omtrek en de diameter. Bij elke cirkel (groot en klein) is de omtrek van de cirkel ongeveer 3,14 keer zo groot als de diameter. Dit getal wordt in de wiskunde met het getal pi (Griekse letter π) aangeduid. Hiervoor geldt dus:

$$\pi = \frac{\text{omtrek}}{\text{diameter}}$$



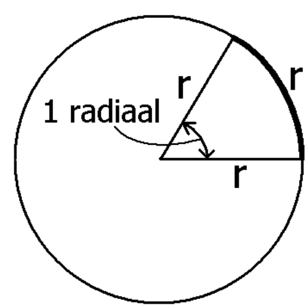
Pi kan als een getal met oneindig veel decimalen (cijfers achter de komma) geschreven worden. Hieronder staat bijvoorbeeld het getal pi met zijn eerste duizend decimalen.

pi = 3,14159 26535 89793 23846 26433 83279 50288 41971 69399 37510 58209 74944 59230 78164 06286 20899 86280 34825 34211
70679 82148 08651 32823 06647 09384 46095 50582 23172 53594 08128 48111 74502 84102 70193 85211 05559 64462 29489 54930
38196 44288 10975 66593 34461 28475 64823 37867 83165 27120 19091 45648 56692 34603 48610 45432 66482 13393 60726 02491
41273 72458 70066 06315 58817 48815 20920 96282 92540 91715 36436 78925 90360 01133 05305 48820 46652 13841 46951 94151
16094 33057 27036 57595 91953 09218 61173 81932 61179 31051 18548 07446 23799 62749 56735 18857 52724 89122 79381 83011
94912 98336 73362 44065 66430 86021 39494 63952 24737 19070 21798 60943 70277 05392 17176 29317 67523 84674 81846 76694
05132 00056 81271 45263 56082 77857 71342 75778 96091 73637 17872 14684 40901 22495 34301 46549 58537 10507 92279 68925
89235 42019 95611 21290 21960 86403 44181 59813 62977 47713 09960 51870 72113 49999 99837 29780 49951 05973 17328 16096
31859 50244 59455 34690 83026 42522 30825 33446 85035 26193 11881 71010 00313 78387 52886 58753 32083 81420 61717 76691
47303 59825 34904 28755 46873 11595 62863 88235 37875 93751 95778 18577 80532 17122 68066 13001 92787 66111 95909 21642
01989

Uit de bovenstaande formule volgt:
omtrek = π·diameter
In de natuurkunde werken we meestal niet met de diameter, maar met de straal (symbool r van radius). De straal is de helft van de diameter. Zo komen we tot het volgende belangrijke resultaat:
omtrek = 2·π·*r*.

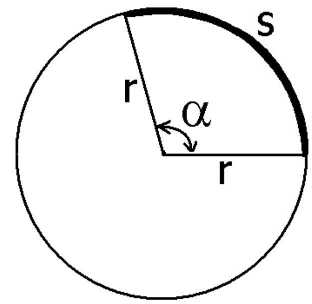
Radiaal

De grootte van een hoek kan naast graden ook in radialen worden uitgedrukt. Onder een radiaal verstaan we de hoek, gemeten vanuit het middelpunt van een cirkel, waarbij de lengte van de boog gelijk is aan de straal r. Zie de figuur hiernaast. De afkorting voor radiaal is rad. Een radiaal is een veel natuurlijker eenheid voor een hoek dan een graad. Een radiaal komt overeen met 57,3 graden.



Hoek, uitgedrukt in radialen

In de figuur hiernaast is een hoek α getekend vanuit het middelpunt van een cirkel. De booglengte s, die bij de hoek hoort, is duidelijk groter dan straal r. Dat betekent dat α groter dan 1 radiaal is. Maar hoe groot dan? Na nauwkeurig opmeten in de figuur blijkt dat de booglengte 1,8 keer zo groot is als de straal. Dus is α = 1,8 rad.



Algemeen geldt (per definitie) dat de hoek in radialen gelijk is aan het aantal keer dat de straal in de booglengte past. Dat kan je wiskundig als volgt opschrijven.

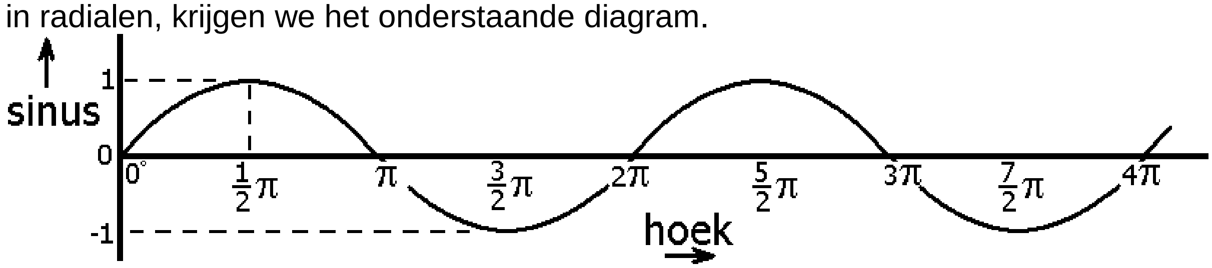
$$\alpha = \frac{s}{r}$$

Uit deze formule volgt dat de radiaal geen normale eenheid is zoals meter, seconde of kilogram. Als je namelijk twee afstanden (s en r) op elkaar deelt, krijg je als uitkomst een getal zonder eenheid. De letters “rad” in “α = 1,8 rad” kun je dus eigenlijk weglaten. Toch wordt dit meestal niet gedaan om aan te geven dat het om een hoek gaat.

Bij een hoek van 360^{o} is de booglengte s gelijk aan de omtrek van de cirkel. Dat is 2π·r. Hieruit volgt het volgende belangrijke resultaat.
Een hoek van 360^{o} (één keer rond) is gelijk aan 2π radialen.

Diagram van de sinus

Als we de sinus van een hoek uitzetten tegen de hoek zelf waarbij de hoek is uitgedrukt in radialen, krijgen we het onderstaande diagram.



Opgaven § 2

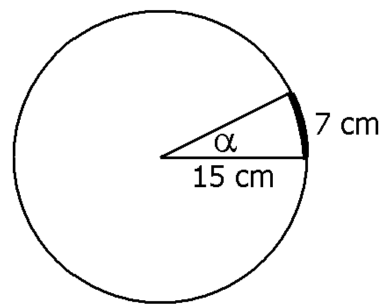
Opgave 1
a.
Wat is de definitie van het getal π (in formulevorm)?

b.
Wat is de definitie van één radiaal (in woorden)?

c.
Wat is de definitie van hoek, uitgedrukt in radialen (in formulevorm)?

Opgave 2
De as van een motor draait precies één keer rond. Hoeveel radialen is de as hierbij gedraaid?

Opgave 3
In de figuur hiernaast is een cirkel verkleind afgebeeld. In werkelijkheid bedraagt de straal 15 cm en de booglengte 7 cm. Bereken hoek α in radialen.



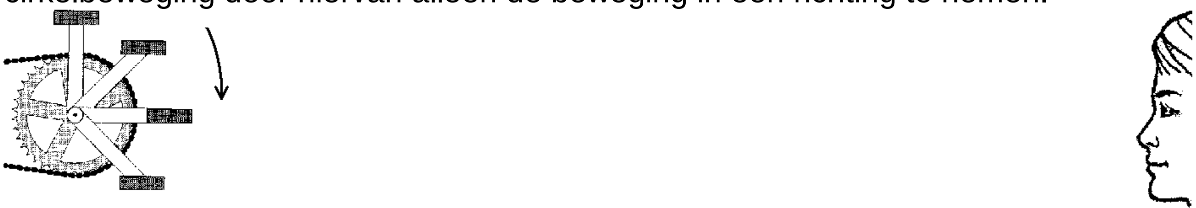
Opgave 4
Een biervat rolt een kleine helling af. Hierbij is de hoekverdraaiing 82 radialen. De straal van het vat is 25 cm. Bereken de afstand die de ton heeft afgelegd.

Opgave 5
Een auto rijdt 40 m vooruit. De wielen zijn daarbij 160 radialen gedraaid.
Bereken de diameter van de wielen.

§ 3 Uitwijking van een harmonische trilling

Cirkelbeweging en trilling

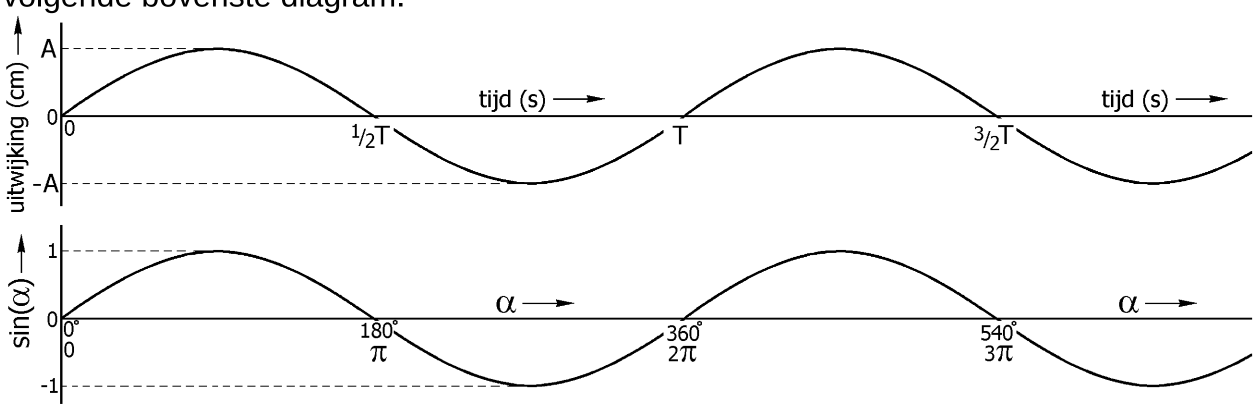
In de onderstaande figuur kijk je naar een ronddraaiende trapper van een fiets. De trapper voert een cirkelbeweging uit. Als de afstand tussen de trapper en jezelf groot genoeg is, zie je de trapper verticaal op en neer bewegen. Van de cirkelbeweging zie je dan alleen de beweging in de Y-richting (en niet in de X-richting). De beweging van de trapper lijkt dan op de beweging van een trillend voorwerp zoals een massa, die aan een spiraalveer hangt en op en neer beweegt. Algemeen kun je het volgende zeggen. De beweging van een harmonisch trillend voorwerp kan afgeleid worden uit een cirkelbeweging door hiervan alleen de beweging in één richting te nemen.



In de rest van deze paragraaf leren we een formule kennen waarmee we de uitwijking van een harmonisch trillend voorwerp kunnen berekenen. In deze formule komt de sinus voor. Na het bovenstaande voorbeeld is dit te begrijpen, want bij een sinus gaat het ook alleen om de Y-richting binnen de eenheidscirkel.

Formule voor de uitwijking van een trillend voorwerp

Stel dat een voorwerp harmonisch trilt met amplitude A en trillingstijd T. Stel bovendien dat het voorwerp op t = 0 door de evenwichtsstand gaat en hierbij in de positieve richting beweegt. Het uitwijking-tijd-diagram van het voorwerp ziet er dan uit zoals in het volgende bovenste diagram.



Direct onder het uitwijking-tijd-diagram zijn de sinus-diagrammen afgebeeld waarbij de hoek zowel in graden als in radialen is uitgedrukt. Het valt meteen op dat de twee diagrammen dezelfde vorm hebben. De sinusfunctie vormt dan ook de basis voor de volgende formules waarmee de uitwijking als functie van de tijd berekend kan worden.

$$u = A \cdot \sin(\frac{t}{T} \cdot 360^\circ) \qquad\qquad u = A \cdot \sin(\frac{t}{T} \cdot 2\pi)$$

In de linker formule is de hoek in graden uitgedrukt en in de rechter formule in radialen. De formules kunnen we als volgt begrijpen. De uitwijking-tijd-grafiek ligt tussen u = A en u = -A en het sinus-diagram ligt tussen +1 en -1. In de bovenstaande formules wordt de sinus daarom vermenigvuldigd met A. In de uitwijking-tijd-grafiek loopt de tijd gedurende de eerste trilling op van 0 naar T. In de overeenkomstige delen van de sinusgrafiek loopt de hoek op van 0^o naar 360^o of van 0 naar 2π. In de bovenstaande formules wordt de tijd daarom vermenigvuldigd met $(1/T)\cdot 360^o$ of met $(1/T)\cdot 2\pi$.

Hoekfrequentie

Vaak maken we gebruik van de zogenoemde ‘hoekfrequentie’ ω. Deze is gedefinieerd als:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Hiermee wordt de uitdrukking voor de uitwijking u vereenvoudigd tot:

$$u = A \cdot \sin(\omega t)$$

Voorbeeld van een berekening

Een voorwerp trilt met een amplitude van 3 cm en met een trillingstijd van 0,5 s. Op t = 0 s beweegt het voorwerp door de evenwichtsstand in de positieve richting. De uitwijking op tijdstip 0,2 s kan als volgt berekend worden.

$$u = A \cdot \sin(\frac{t}{T} \cdot 360^\circ) = (3 \text{ cm}) \cdot \sin(\frac{0{,}2 \text{ s}}{0{,}5 \text{ s}} \cdot 360^\circ) = (3 \text{ cm}) \cdot \sin(144^\circ) = 1{,}8 \text{ cm}$$

Nog een voorbeeld van een berekening

Een voorwerp trilt met een amplitude van 0,5 cm en met een trillingstijd van 0,2 s. Op t = 0 s beweegt het voorwerp door de evenwichtsstand in de positieve richting. Het tijdstip (na t = 0 s) waarbij de uitwijking 0,1 cm is, kan als volgt berekend worden.

$u = A \cdot \sin(\frac{t}{T} \cdot 360^\circ)$ wordt

$0{,}1 \text{ cm} = (0{,}5 \text{ cm}) \cdot \sin(\frac{t}{0{,}2 \text{ s}} \cdot 360^\circ)$

Hieruit volgt:

$\sin(\frac{t}{0{,}2 \text{ s}} \cdot 360^\circ) = 0{,}2$

Hieruit volgt:

$\frac{t}{0{,}2 \text{ s}} \cdot 360^\circ = 11{,}54^\circ$

Hieruit volgt:

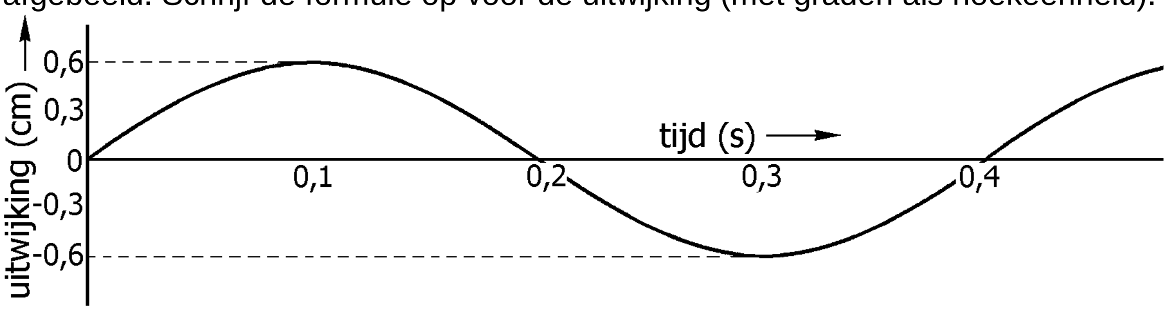
$t = 0{,}0064 \text{ s}$

Opgaven § 3

Opgave 1
Een voorwerp trilt harmonisch met een trillingstijd van 0,3 s en een amplitude van 2 mm. Op tijdstip t = 0 s gaat het voorwerp door de evenwichtsstand in positieve richting. Schrijf hieronder de formule op waarmee de uitwijking u berekend kan worden (met graden als hoekeenheid).

Opgave 2
Een voorwerp trilt harmonisch met een trillingstijd T en een amplitude A.
Op tijdstip t = 0 s gaat het voorwerp door de evenwichtsstand in positieve richting. Schrijf hieronder de formule op waarmee de uitwijking u berekend kan worden (met graden als hoekeenheid).

Opgave 3
Hieronder staat een uitwijking-tijd-diagram van een harmonisch trillend voorwerp afgebeeld. Schrijf de formule op voor de uitwijking (met graden als hoekeenheid).



Opgave 4
Een voorwerp trilt harmonisch. Teken in de onderstaande figuur het uitwijking-tijd-diagram, dat hoort bij de onderstaande formule voor de uitwijking.

$$u = (0{,}4\text{ cm}) \cdot \sin\left(\frac{t}{0{,}2\text{ s}} \cdot 360^\circ\right)$$

Opgave 5

Een voorwerp trilt harmonisch met een amplitude van 1,5 cm en met een trillingstijd van 0,23 s. Op t = 0 s beweegt het voorwerp door de evenwichtsstand in de positieve richting. Bereken de uitwijking op tijdstip 0,1 s.

Opgave 6

Een voorwerp trilt harmonisch met een amplitude van 0,4 cm en met een trillingstijd van 0,3 s. Op t = 0 s beweegt het voorwerp door de evenwichtsstand in de positieve richting. Bereken het tijdstip (na t = 0 s) waarbij de uitwijking 0,2 cm is.

§ 4 Macht en logaritme

Macht, grondtal en exponent

In de wiskunde heeft de macht 10^3 de betekenis van 10•10•10. De uitkomst hiervan is 1000. We noemen 10 het grondtal en 3 de exponent. Het grondtal en de exponent hoeven geen gehele getallen te zijn. Zo zijn $10^{2,5}$ en $9,5^3$ bijvoorbeeld ook mogelijk. De uitkomsten hiervan zijn 316,2 en 857,4 (afgerond). Zelfs $9,5^{2,5}$ is mogelijk (uitkomst 278,2). Ga na hoe je met je rekenmachine deze uitkomsten kunt berekenen.

We kunnen bijvoorbeeld

$316,2 = 10^{2,5}$

algemener schrijven als

$$m = g^x$$

Hierbij hebben de letters de volgende betekenis:
m = macht;
g = grondtal;
x = exponent.

Het zou voor de hand liggen om de letter e voor de exponent te gebruiken. In de wiskunde wordt e echter al voor de constante van Neper gebruikt (e = 2,718281828459….). Daarom is voor de tweede letter van ‘exponent’ gekozen (x dus). En toevallig spreek je x in het Engels uit als ‘ex’.

Logaritme

Stel dat je exponent x moet berekenen in de volgende vergelijking: $6,7 = 10^x$
Dan lukt je dat met de bovenstaande theorie niet. Er bestaat echter een bewerking die je op 6,7 moet toepassen om de exponent te vinden. Je moet dan namelijk de zogenoemde “logaritme” nemen van 6,7. Je zou de logaritme kunnen omschrijven als ‘exponentzoeker’. Op rekenmachines kun je daarbij de “log”-toets gebruiken. Je vindt dan dat x gelijk is aan 0,826. Ga dat na.

We kunnen dit wiskundig opschrijven als

$0,826 = {}^{10}\log(6,7)$

of algemener

$x = {}^{10}\log(m)$

De 10 linksboven “log” wil zeggen dat de logaritme bij grondtal 10 hoort.
Als je bijvoorbeeld exponent x in $6,7 = 7^x$ wilt berekenen, moet je de logaritme behorend bij grondtal 7 toepassen op 6,7. Wiskundig opgeschreven is dit:

$x = {}^{7}\log(m)$

Geavanceerde rekenmachines kunnen bij elk grondtal de logaritme vinden. Simpele rekenmachines kunnen de logaritme alleen bij grondtal 10 berekenen. Voor ons is dat geen probleem omdat wij ons beperken tot machten met grondtal 10.

Samenvatting

Met de onderstaande formule bereken je een macht (m).

$$m = g^x$$

Als je de exponent (x) wilt berekenen moet je de logaritme van de macht nemen.
Dit wordt als volgt opgeschreven.

$$x = {}^g\log(m)$$

De logaritme werkt als een soort ‘exponentzoeker’.
De “log”-toets op simpele rekenmachines werkt bij grondtal 10.

Voorbeeld van een opgave

Reken a uit in

$$\frac{a}{0,5} = 10^{(46-40)/5}$$

<u>Oplossing</u>

$$\frac{a}{0,5} = 10^{(46-40)/5} = 10^{1,2} = 15,84$$

$$a = 0,5 \cdot 15,84 = 7,92$$

Nog een voorbeeld van een opgave

Reken a uit in

$$\frac{24}{5} = 10^{(a-46)/7}$$

<u>Oplossing</u>

$$\frac{a-46}{7} = \log\left(\frac{24}{5}\right) = \log(4,8) = 0,6812$$

$$a - 46 = 7 \cdot 0,6812 = 4,7684$$

$$a = 4,7684 + 46 = 50,7684$$

Opgaven § 4

Opgave 1
Bereken op je rekenmachine $2{,}3^{5{,}4}$.

Opgave 2
Bereken op je rekenmachine x in: $22 = 10^{x}$.

Opgave 3
Bereken a in

$$\frac{a}{3} = 10^{(60-40)/8}$$

Opgave 4
Bereken a in

$$9a = 10^{(2+3)/8}$$

Opgave 5
Bereken a in

$$\frac{50}{25} = 10^{(a-9)/2}$$

Opgave 6
Bereken a in

$$2 \cdot 23 = 10^{(a+5)/4}$$

§ 5 Geluidsniveau en amplitude

Vuistregels voor amplitude en geluidsniveau

Stel dat een geluidsbron zoals een luidspreker, een toon uitzendt. Dan wordt het geluidsniveau groter als de amplitude van de trilling groter wordt. In dit verband gelden de volgende vuistregels.
Vuistregel 1:
Als de amplitude twee keer zo groot wordt, neemt het geluidsniveau met 6 dB toe.
Vuistregel 2:
Als de amplitude tien keer zo groot wordt, neemt het geluidsniveau met 20 dB toe.

In de cursus “Trillingen en geluid” hadden we kennis gemaakt met vuistregel 1. Het voordeel van deze regel is, dat de stapgrootte kleiner is dan in de tweede vuistregel. Het voordeel van de tweede vuistregel is echter, dat deze exact is (de eerste vuistregel is slechts een benadering).

Wiskundige formulering van de tweede vuistregel

We gaan vuistregel 2 nu iets wiskundiger opschrijven. Daarvoor gebruiken we de volgende symbolen.
A_1 = amplitude voor de verandering
A_2 = amplitude na de verandering
L_1 = geluidsniveau voor de verandering (in dB)
L_2 = geluidsniveau na de verandering (in dB)

Vuistregel 2 kan nu in de volgende formule vertaald worden.

$$\frac{A_2}{A_1} = 10^{\frac{L_2 - L_1}{20}}$$

Het voordeel van deze formule is dat je hem voor elke stapgrootte kunt gebruiken en dus niet alleen voor de stapgrootte van de vuistregels.

Getallenvoorbeeld ter controle van de formule

Stel dat de amplitude van een geluidsbron wordt verhoogd van 0,2 mm naar 2 mm. Dan zou volgens regel 2 het geluidsniveau met 20 dB stijgen, dus bijvoorbeeld van 50 dB naar 70 dB. We kunnen controleren of dit klopt volgens de formule. De vier grootheden in de formule zijn: A_1 = 0,2 mm, A_2 = 2 mm, L_1 = 50 dB en L_2 = 70 dB. Als we deze waarden in de formule invullen krijgen we:

$$\frac{2\text{ mm}}{0{,}2\text{ mm}} = 10^{\frac{70-50}{20}}$$

Na vereenvoudiging van het linker en het rechter lid krijgen we 10 = 10. De formule is dus in overeenstemming met vuistregel 2.

Voorbeeld van een opgave

Een luidspreker in een kamer trilt met een amplitude van 1 mm. Het geluidsniveau in de kamer is 60 dB. Bereken hoe groot de amplitude moet zijn om een geluidsniveau van 66 dB te krijgen.
Deze opgave kan als volgt worden opgelost.

Gegeven: $A_1 = 1$ mm
$L_1 = 60$ dB
$L_2 = 66$ dB

Gevraagd: A_2

Oplossing:

$$\frac{A_2}{A_1} = 10^{\frac{L_2-L_1}{20}} = 10^{\frac{66-60}{20}} = 10^{0,3} = 1,99$$

$$A_2 = 1,99 \cdot A_1 = 1,99 \cdot 1 \text{ mm} = 1,99 \text{ mm}$$

De nieuwe amplitude moet dus 2 mm worden (eigenlijk 1,99 mm). Overigens hadden we dit ook met vuistregel 1 kunnen vinden.

Formule waarmee het geluidsniveau kan worden berekend

In het bovenstaande rekenvoorbeeld waren beide geluidsniveaus gegeven. Met de formule kon de nieuwe amplitude berekend worden. Er zijn echter ook vraagstukken waarbij beide amplitudes gegeven zijn en het nieuwe geluidsniveau berekend moet worden. In dat geval is de bovenstaande formule niet geschikt. De formule moet dan in een andere vorm geschreven worden namelijk:

$$\frac{L_2-L_1}{20} = {}^{10}\log\left(\frac{A_2}{A_1}\right)$$

Voorbeeld van een opgave

Een luidspreker in een kamer trilt met een amplitude van 1 mm. Het geluidsniveau in de kamer is 60 dB. Bereken het geluidsniveau als de amplitude veranderd wordt in 4 mm.
Deze opgave kan als volgt worden opgelost.

Gegeven: $A_1 = 1$ mm
$A_2 = 4$ mm
$L_1 = 60$ dB

Gevraagd: L_2

Oplossing:

$$\frac{L_2-L_1}{20} = \log\left(\frac{A_2}{A_1}\right) = \log\left(\frac{4 \text{ mm}}{1 \text{ mm}}\right) = 0,602$$

$$L_2-L_1 = 0,602 \cdot 20 = 12 \text{ dB}$$

$$L_2 = L_1 + 12 \text{ dB} = 60 + 12 \text{ dB} = 72 \text{ dB}$$

Opgaven § 5

Opgave 1
Een luidspreker in een kamer trilt met een amplitude van 0,6 mm. Het geluidsniveau in de kamer is 65 dB. De amplitude wordt vergroot. Het nieuwe geluidsniveau wordt 85 dB
a.
Bepaal met stelregel 2 de nieuwe amplitude.

b.
Doe hetzelfde maar nu met een berekening.

Opgave 2
Een luidspreker in een kamer trilt met een amplitude van 0,2 mm. Het geluidsniveau in de kamer is 50 dB. De amplitude wordt vergroot. Het nieuwe geluidsniveau wordt 65 dB. Bereken de nieuwe amplitude.

Opgave 3
Een luidspreker in een kamer trilt met een amplitude van 0,7 mm. Het geluidsniveau in de kamer is 71 dB. Bereken het geluidsniveau als de amplitude veranderd wordt in 2,2 mm.