Inhoudsopgave

2 Basiskennis

2.1 De bedoeling van dit hoofdstuk

Dit is de verkorte versie van Hoofdstuk 2. Dat hoofdstuk is bedoeld als naslagwerk, maar ook om vaardigheden bij te leren die je nodig hebt maar waarover je niet of onvoldoende beschikt. Radiotechniek is nu eenmaal toegepaste natuurkunde. Het gereedschap van de natuurkunde bestaat uit getallen, eenheden, grootheden en wiskunde. De wiskunde die nodig is voor het zendexamen is vooral rekenkunde en een klein beetje 'echte' wiskunde.

2.2 Getallen, eenheden en grootheden

Een getal heeft in de werkelijke wereld geen betekenis. Een betekenis komt pas als een getal wordt gecombineerd met iets tastbaars. In de natuurkunde is dat een *eenheid*. Eenheden zijn bijvoorbeeld de meter, de seconde of de volt. De combinatie van getal en eenheid heet een *grootheid*.

Onze eenheden behoren tot het SI-eenhedenstelsel. Daaronder vallen de meter (lengte), seconde (tijd), ampère (stroomsterkte), volt (spanning) en de kg (massa). Meer informatie vind je bijvoorbeeld op http://www.dr-aart.nl/Meetkunde-grootheden-en-eenheden.html.

Als een grootheid heel groot of klein is, moet je de eenheid met een onhandig groot of klein getal vermenigvuldigen. In plaats daarvan hebben we voorvoegsels zoals kilo- (maal 1000), mega- (maal 1000 000), milli- (gedeeld door 1000) en micro- (gedeeld door 1 000 000). Alle voorvoegsels zijn te vinden op (https://nl.wikipedia.org/wiki/SI-voorvoegsel).Voor elk is er een afkorting van één letter. De enige uitzondering met twee letters komt in onze cursus niet voor.

Getallen en afkortingen van eenheden print je rechtop, symbolen voor grootheden cursief. Dat geeft onderscheid.

2.3 Optellen en aftrekken

Een optelling is een opsomming van getallen of grootheden met hun teken: + of -. 5-2 is dus hetzelfde als -2+5. Daarmee wordt een aftreksom een optelling. We houden zo alleen optellingen over. Daarin hebben de getallen of grootheden een teken, + of -. De volgorde doet er niet toe. Heeft het eerste getal geen teken, zoals in 5+3, dan wordt een + bedoeld.

Je kunt alle getallen bij elkaar optellen. Grootheden kun je bij elkaar optellen als ze dezelfde eenheid hebben. Grootheden en getallen bij elkaar optellen kan ook niet.

Bij een grootheid kunnen we vaak het teken koppelen aan een richting, bijvoorbeeld ergens naar toe of ergens vandaan. Wat dan + of - wordt genoemd doet er niet toe, als het maar consequent gebeurt.

De uitkomst van een optelling heet de *som*.

2.4 Vermenigvuldigen

Vermenigvuldigen met een getal is een getal of grootheid een aantal keren bij zichzelf optellen. 3 maal 7 is 7+7+7.

3½ maal 7 is 7+7+7+½ maal 7 is 7+7+7+3½ is 24½. Dit zijn eigenlijk twee vermenigvuldigingen in één. Het klassieke vermenigvuldigteken is ‘x’. 3 x 7=21. Dat teken is onhandig omdat computers het gemakkelijk verwarren met de letter *x*. We schrijven dan meestal een ster (*) of de punt ‘.’ En als het om symbolen gaat, niets. Er geldt dus ook dat 3.7=21; 3*7=21 en *ab*=*a.b*. Dit betekent dat we de punt niet kunnen gebruiken als decimaalteken. Daarvoor is op het vasteland van Europa de komma de standaard.

Alle grootheden kunnen met alle grootheden worden vermenigvuldigd. De uitkomst van zo’n vermenigvuldiging levert een andersoortige grootheid op. De eenheid van lengte is de m. Een lengte maal een lengte is een oppervlakte. De capaciteit van een accu is de stroomsterkte in ampère die in een bepaald aantal uren kan worden geleverd en staat in Ah (h staat voor uur), dus ampère maal uren.

De volgorde in een vermenigvuldiging is niet van belang. Dus is *a.b.c* hetzelfde als *c.b.a*.

De uitkomst van een vermenigvuldiging heet *product*.

Het teken van een product wordt bepaald door het teken van zijn bestanddelen: (-*a*)bc=-abc. (-*a*)(-*b*)c=abc. (-*a*)(-*b*)(-*c*)=-abc. Regel: als het aantal mintekens in een vermenigvuldiging oneven is, heeft de uitkomst een minteken, is het aantal mintekens 0 of even, dan heeft de uitkomst een plus. De plus wordt meestal niet geschreven, tenzij hij middenin een optelling terechtkomt. Vermenigvuldigen met 0 levert altijd de uitkomst 0.

2.5 Delen en omgekeerde waarden

Delen is het omgekeerde van vermenigvuldigen. 3 maal 7 is 21. Als je 21 in drie gelijke getallen verdeelt, ontstaat 3.7=21. 21 gedeeld door 7 moet dan 3 zijn, want 7.3=3.7.

Net als bij vermenigvuldigen hebben we voor delen meer dan één teken. Het klassieke teken is de dubbele punt ‘:’. 21 gedeeld door zeven schrijven we dan als 21:7. Maar 21/7 en $\frac{21}{7}$ worden vaker gebruikt. Een enkele keer kom je ook ‘÷’ tegen.

De omgekeerde waarde van iets is 1 gedeeld door datzelfde iets. De omgekeerde waarde van 2 is dus ½, de omgekeerde waarde van 4 is ¼, enzovoort. De omgekeerde waarde van ½ is weer 2. Twee keer omkeren geeft dezelfde uitkomst als niets doen.

Delen is hetzelfde als vermenigvuldigen met de omgekeerde waarde. Dus $21{:}7 = 21.\frac{1}{7}$.

Delen door een grootheid kan. We doen het dagelijks zonder het door te hebben. Snelheid bijvoorbeeld kun je schrijven als kilometers per uur, kortweg km/uur. Met deelteken dus. Het is het aantal afgelegde (of af te leggen) kilometers gedeeld door het aantal uren dat daarvoor nodig is. Afstand gedeeld door tijd. Een grootheid gedeeld door een andere grootheid.

In een deling mag de volgorde niet worden veranderd. Doen we dat wel, dan krijgen we de omgekeerde waarde van de oorspronkelijke uitkomst. Probeer het maar. $1:4 = \frac{1}{4}$. Dat is niet hetzelfde als $\frac{4}{1} = 4$. Als we er eerst met de omgekeerde waarde een vermenigvuldiging van maken, werkt het wel.

De uitkomst van een deling heet *quotiënt.* De uitkomst is alleen negatief als één van de twee betrokken getallen of grootheden een minteken heeft. Anders is de uitkomst positief.

2.6 Breuken

Een breuk is een deling. Soms komt er uit een breuk een geheel getal, maar meestal niet. Dan hebben we het over een *gebroken getal*, zoals ½ of ¼. Het getal boven de deelstreep heet de *teller*, het getal eronder de *noemer*. In ¼ is 1 de teller en 4 de noemer.

Als je teller en noemer van een breuk door hetzelfde getal deelt of met hetzelfde getal vermenigvuldigt, blijft de waarde gelijk:

$$\frac{24}{6} = \frac{4}{1} = 4 \qquad (2.6\text{-}1)$$

Teller en noemer kunnen bestaan uit een optelling of vermenigvuldiging (er zijn nog meer vormen, maar die komen nog). Een optelling wordt eerst uitgewerkt; dan pas wordt er gedeeld, zoals in (2.6-2). Bij een vermenigvuldiging is het slim om eerst te kijken of er een getal in staat dat met een getal aan de andere kant van de deelstreep een vereenvoudiging oplevert:

$$\frac{2+3}{10.6} = \frac{5}{10.6} = \frac{1}{2.6} = \frac{1}{12} \qquad (2.6\text{-}2)$$

In (2.6-2) werden teller en noemer eerst gedeeld door 5; daarna kwam de verdere uitwerking. Breuken kun je pas optellen als hun noemers gelijk zijn. Anders moeten ze eerst gelijk gemaakt worden. Een voorbeeld:

$$\frac{1}{3} + \frac{1}{2} = \frac{1.2}{3.2} + \frac{1.3}{2.3} = \frac{2}{6} + \frac{3}{6} = \frac{5}{6} \qquad (2.6\text{-}3)$$

Het vermenigvuldigen van breuken is het vermenigvuldigen van de tellers en de noemers.

$$\frac{1}{3} . \frac{3}{4} = \frac{1.3}{3.4} \left(= \frac{3}{12} \right) = \frac{1}{4} \qquad (2.6\text{-}4)$$

Delen door een breuk is hetzelfde als vermenigvuldigen met de omgekeerde waarde. Delen door ½ is vermenigvuldigen met 2, delen door ¾ is vermenigvuldigen met ⁴/₃.

2.7 Tiendelige of decimale breuken, afronden.

In gehele getallen schrijven we van grote naar kleine getalseenheden van links naar rechts, zoals de duizendtallen, de honderdtallen, de tientallen en de enen. Het getal 3208 is de som van 3 duizendtallen, 2 honderdtallen, 0 tientallen en 8 enen. Er is geen reden waarom we bij de enen zouden moeten stoppen. Doorgaan met tienden, honderdsten, duizendsten, enzovoort is logisch. Er is één probleem. Bij hele getallen weten we dat het meest rechtse getal de enen voorstelt. Als we met tienden, honderdsten enzovoort doorgaan, weten we alleen dat we met elke positie naar rechts met een tien keer zo klein eenheidsgetal werken. Daarvoor is een baken nodig. Het baken is de komma. Die komt meteen rechts van de enen. Niet de punt zoals in veel landen buiten het Europese vasteland. Die gebruiken we al als vermenigvuldigteken. De komma dus. We kunnen zo bijvoorbeeld schrijven 3208,7314. Achter het getal 3208 en de komma komen dan 7/10, 3/100, 1/1000 en 4/10 000.

Met tiendelige breuken schrijf je een getal soms precies op. Meestal is het een benadering. 1/3 is bijvoorbeeld 0,33333 en nog een oneindig lange rij van cijfers 3 erachter. Je rondt af op een gewenst of zinvol aantal cijfers. 5 of meer naar boven, minder dan 5 naar beneden. Meer hierover vind je op https://nl.wikipedia.org/wiki/Afronden.

Elk gebroken getal is als tiendelige breuk te schrijven.

2.8 Percentages

Een procent is een honderdste. Je schrijft het met het procentteken %. 10% is 10/100, dus 1/10 van iets. Een gloeilamp die 7% van de toegevoerde elektrische energie in zichtbaar licht omzet, heeft een rendement van 7%.

2.9 Kwadraten, machten en exponenten

Een kwadraat is een getal of grootheid maal zichzelf. 3.3=9. $9=3^2$. De hoog geschreven 2 is de macht of de *exponent*. Die zegt hoe vaak het getal met zichzelf wordt vermenigvuldigd. Kwadraat betekent *vierkant*. De oppervlakte van een vierkant is het kwadraat van één van de vier zijden. Het kwadraat van een lengte is dus een oppervlakte. De SI-eenheid van oppervlakte is de vierkante meter, geschreven als m^2. Grootheden kun je dus *kwadrateren*. Er rolt dan een andersoortige grootheid uit.

Machten groter dan twee bestaan. $2^3=2.2.2$, $2^4=2.2.2.2$, enzovoort. $2^1=2$. De eerste macht van een getal of grootheid is het getal of de grootheid zelf. Als je machten van eenzelfde getal met elkaar vermenigvuldigt, tel je de exponenten bij elkaar op. $2^2.2^2=2.2.2.2=2^4$. En ook $2^1.2^1=2^2$. Zo verander je een vermenigvuldiging in een optelling.

Negatieve exponenten bestaan ook. $2^{-1}=½$ en $2.2^{-1}=2^1.2^{-1}=1=2^0$. Ieder getal of grootheid tot de macht 0 levert het getal 1. Dus x^0 is altijd 1, wat x ook mag zijn.

Een exponent is altijd een getal en dus nooit een grootheid.

2.10 Wortels, gebroken machten en machten van negatieve getallen

Een wortel is een gebroken macht. $3^{½}$ is het getal dat je met zichzelf moet vermenigvuldigen om 3 te krijgen: $3^{½}.3^{½}=3^{½+½}=3^{1}=3$. De getalswaarde van $3^{½}$ is ongeveer 1,732, die van $2^{½}$ ongeveer 1,414.

Een wortel gedraagt zich als alle andere machten. Het wortelteken is √. Dus $\sqrt{2}=2^{½}$ en $\sqrt{3}=3^{½}$. Worteltekens zijn niet beperkt tot de macht 2. $\sqrt[4]{2} = 2^{¼}$. $(2^{¼})^4 = 2$. Je kunt een wortel meteen als macht schrijven zonder gebruik van het wortelteken.

Het kwadraat van -2 is 4, dus (-2)(-2)=+4. Strikt genomen heeft $4^{½}$ de uitkomsten, +2 en -2. Voor de duidelijkheid schrijven we $-(4^{½})$ of $-\sqrt{4}$ als we de uitkomst -2 bedoelen. Een tweede macht kan nooit negatief worden, omdat er in de bijbehorende vermenigvuldiging 0 of 2 minnen staan.

De derde macht van een negatief getal is negatief. (-2)(-2)(-2)=-8. Elke oneven gehele macht van een negatief getal levert een negatieve uitkomst. Een gebroken macht van een negatief getal bestaat als de noemer van de exponent een oneven getal is en de teller een geheel getal. Andere gebroken exponenten van negatieve getallen geven geen uitkomst.

2.11 Voorrangsregels in vergelijkingen

Wat tussen haakjes staat, gaat altijd voor. Er zijn 'verborgen haakjes' in de vorm van bewerkingen in een exponent of onder een wortelteken. Voorbeelden:

$$x^{a+bc} \quad \text{en} \quad \sqrt{a+bc} \tag{2.11-1}$$

Machten gaan voor vermenigvuldigingen, vermenigvuldigingen gaan voor optellingen.

Wortels zijn gebroken machten, delingen zijn vermenigvuldigingen met de omgekeerde waarde en aftrekken is optellen van een negatief getal.

2.12 Machten van 10, logaritmen en de decibel.

Getallen met een heleboel nullen schrijf je vaak gemakkelijker als een macht van 10. 10 is de basis van ons getalstelsel.

275 000 000 000 is hetzelfde als $2{,}75.10^{11}$. En 0,000 000 275 is hetzelfde als $2{,}75.10^{-7}$. Als we ze met elkaar vermenigvuldigen krijgen we $2{,}75.2{,}75.10^{11}.10^{-7}=2{,}75.2{,}75.10^{4}$ of $7{,}5625.10^{4}=75625$. Als we afronden op 3 cijfers: $7{,}56.10^{4}$.

Een logaritme is een exponent zonder het bijbehorende getal. Dat wordt bekend verondersteld. Het heet het *grondtal* van de logaritme. Meestal gaat het om het getal 10. Zoals $2=10^{0{,}30103}$. Dan is log 2=0,30103.

In de natuurkunde kan ook het getal *e* grondtal zijn. Afgerond is *e* =2,718. We komen het tegen bij de zogenoemde *tijdconstante* (hoofdstuk 4).

$10=10^1$. Dus is log 10=1 en log 20=log(2.10)=log $10^{0,30103}$+log 10=1,30103. Een logaritme verandert dus een vermenigvuldiging in een optelling.

De logaritme van 1 is 0 en log 0 bestaat niet. De logaritme van een getal tussen 0 en 1 is negatief: log ½=-0,30103.

Daarvan maken we gebruik bij de decibel (dB). De decibel is 0,1 Bel. De Bel is de logaritme van het quotiënt (verhouding) van twee vermogens, bijvoorbeeld uitgedrukt in Watt. Zijn ze even groot, dan is de verhouding 1. We weten dat log 1=0, dus verschillen ze 0 B, dus ook 0 dB.

Is de één 2x zo groot als de ander, dan verschillen ze afgerond 0,3 B= 3 dB. Een versterking van 3 dB is een vermogensversterking van 2x, 6dB is 4x, 10 dB is 10x, 20 dB is 100x, enzovoort. De versterking van opeenvolgende versterkertrappen mag je optellen als die in dB is gegeven, want het is een logaritmische eenheid. Een versterking van een negatief aantal dB is een verzwakking. Een versterking van -6 dB betekent dus een verzwakking van 4x.

2.13 Getallenstelsels

We zijn gewend aan het tientallige stelsel. Een getal wordt zo geschreven dat het een optelling is van 0, 1, 2 …..9 maal een gehele machten van 10. Van rechts naar links gaat het dan om 10^0, 10^1, 10^2, enz. 125 is dus $1.\ 10^2 + 2.10^1 + 5.10^0$. In een zeventallig stelsel – dat geen mens gebruikt maar waartegen wiskundig geen enkel bezwaar is- zou dat een optelling van 0-6 maal opeenvolgende gehele machten van 7 zijn. In een tweetallig stelsel hebben we 0 of 1 maal een opeenvolgende gehele macht van 2.

Het getal 437 is $4.10^2+3.10^1+7.10^0$. Als er getallen achter de komma staan, gaat het verder met 10^{-1}, 10^{-2}, en zo verder. De komma is nodig om te weten waar de grens is tussen 10^0 en 10^{-1}.

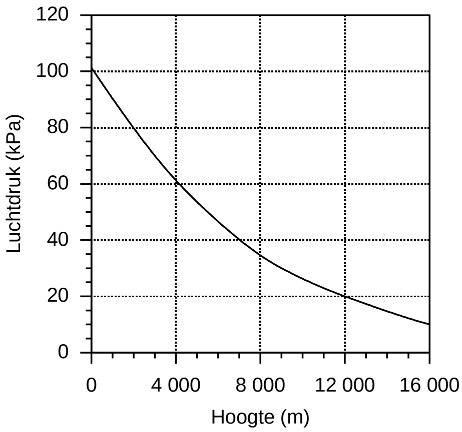
Computers werken met het eenvoudigste stelsel dat er is, het tweetallige of *binaire* stelsel. Het getal 83 is binair 1010011, dus $1.2^6+0.2^5+1.2^4+ 0.2^3+0.2^2+1.2^1+1.2^0=64+16+2+1=83$.

2.14 Grafieken

Grafieken worden gebruikt om verbanden tussen getallen en/of grootheden zichtbaar te maken. Bij een grafiek moet je op drie dingen letten:

1. Wat staat op welke as?
2. De *schaal* van de assen
3. Het *nulpunt* van de assen.

Figuur 2.14-1 is een grafiek van luchtdruk in kPa (kiloPascal) tegen de hoogte in m boven het aardoppervlak. De Pascal is de eenheid van druk. Op zeeniveau (0 m) is de luchtdruk ruim 100 kPa (kiloPascal), op 10 km hoogte ruim 25 kPa.



Figuur 2.14-1. Luchtdruk tegen hoogte.

2.15 Vergelijkingen

Vergelijkingen worden ook *formules* genoemd. Elke wiskundige vergelijking zier eruit als

$b=a$, $b\neq a$, $b>a$, $b\geq a$, $b<a$ of $b\leq a$.

De eerste, $b=a$, in het rijtje is een gelijkheid, de andere zijn ongelijkheden.

Een gelijkheid blijft een gelijkheid als aan beide kanten van het '='-teken dezelfde bewerking wordt uitgevoerd. Als we alles wat links van het '='-teken staat verwisselen met alles wat er rechts van staat, blijft de gelijkheid ook in stand.

Dat laatste geldt niet voor ongelijkheden, behalve ≠ (is ongelijk aan). Bij de andere ongelijktekens moeten we het ongelijkteken omdraaien. '>' en '≥' worden resp. '<' en '≤' en '<' en '≤' worden resp. '>' en '≥'. Bij vermenigvuldigen met een negatief getal aan weerskanten van het ongelijkteken, behalve bij ≠, gebeurt hetzelfde..

2.16 Evenredigheid

Als a evenredig is met b, dan is er een vast getal of een grootheid met vaste waarde waarmee je a moet vermenigvuldigen om b te krijgen. Dat getal of die grootheid heet de *evenredigheidsconstante*. In de Wet van Ohm (hoofdstuk 3) is in een gegeven schakeling de weerstand R de evenredigheidsconstante tussen de stroom I en de spanning U: $U=IR$.

Bij omgekeerde evenredigheid is de omgekeerde waarde van a evenredig met b en de omgekeerde waarde van b evenredig met a.

2.17 De stelling van Pythagoras.

De stelling van Pythagoras is onderdeel van de meetkunde, maar wordt ook toegepast in de wisselstroomtheorie (hoofdstuk 5).

In een rechthoekige driehoek, dat is een driehoek met één hoek van 90º, (zie figuur) geldt voor de lengten van de zijden a, b en c

$$a^2 + b^2 = c^2 \qquad (2.17\text{-}1)$$

Hieruit volgen

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \qquad (2.17\text{-}2)$$

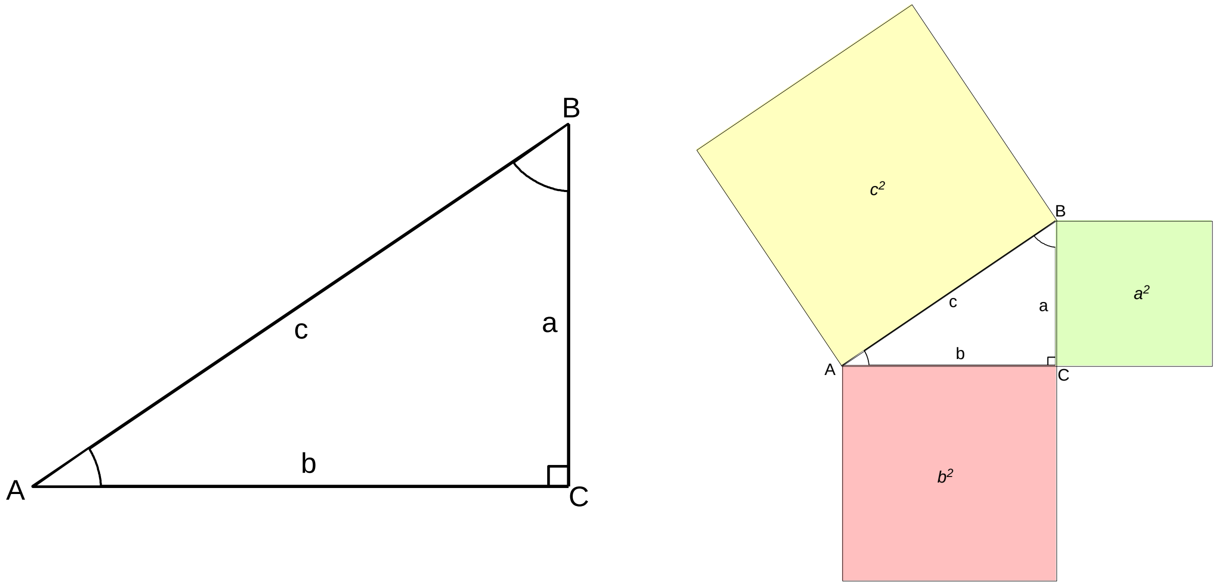
en

$$b = \sqrt{c^2 - a^2} \qquad (2.17\text{-}3)$$

en

$$a = \sqrt{c^2 - b^2} \qquad (2.17\text{-}4)$$

De kwadraten zijn in Figuur 2.17-1 weergegeven als gekleurde vierkanten.

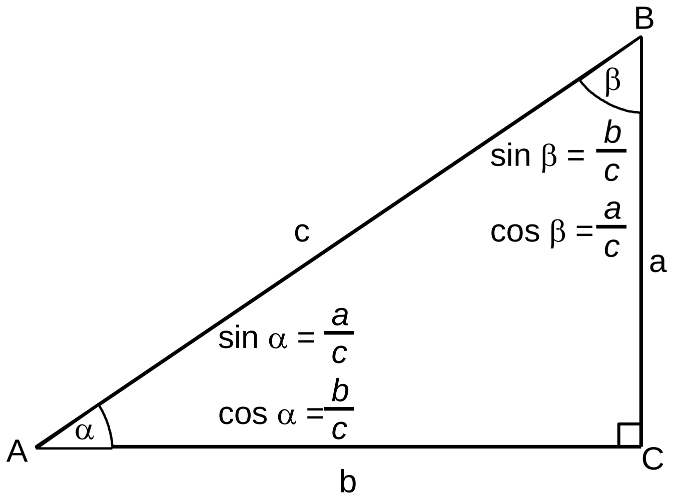


Figuur 2.17-1. Links: rechthoekige driehoek. Rechts: rechthoekige driehoek met gekwadrateerde zijden.

Een gemakkelijke manier om een rechthoekige driehoek te maken is, de zijden lengten van 3, 4 en 5 te geven (ga dit na).

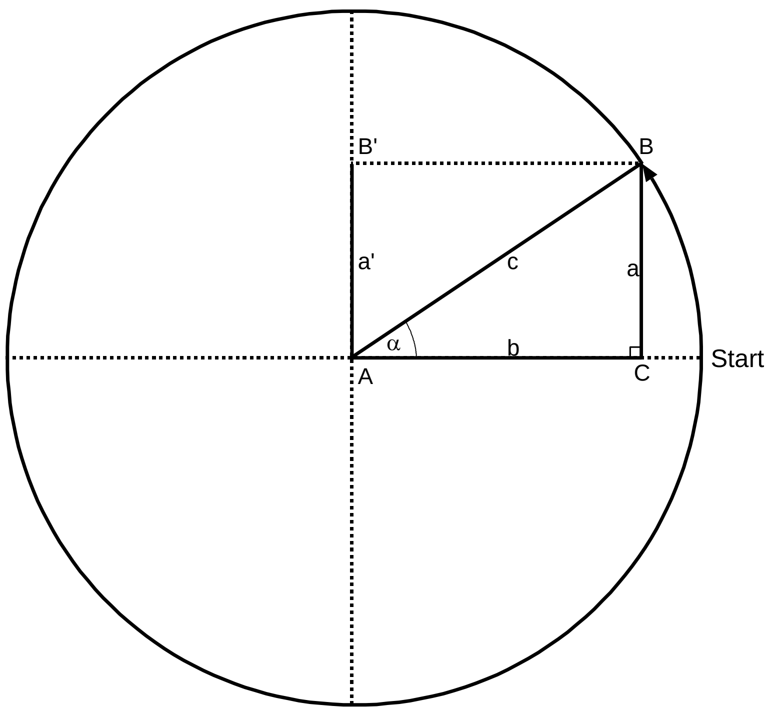
2.18 Goniometrische verhoudingen, het getal π (pi) , de radiaal en fase

In de rechthoekige driehoek hieronder zijn van de hoeken α en β de sinus (sin) en de cosinus (cos) weergegeven. We zien dat sin α = cos β en cos α = sin β.



Figuur 2.18-1. Sinussen en cosinussen van twee hoeken

We kunnen hoekpunt B een cirkel met hoekpunt A als middelpunt laten beschrijven. Zie Figuur 2.18-2.

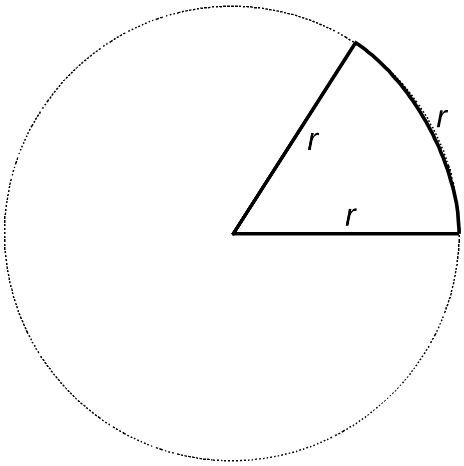


Figuur 2.18-2. Rechthoekige driehoek en cirkel met horizontale en verticale middellijn. Middelpunt is A op de kruising van de middellijnen. B ligt op de cirkelomtrek. Het lijnstuk AB' dat de naam a' heeft gekregen is een 1:1 kopie van CB op de verticale middellijn.

De lengten a en b veranderen. We zullen voor de gelegenheid c als eenheid van lengte gebruiken. Dan zijn sin α en cos β gelijk aan de getalswaarde van a en sin β en cos α gelijk aan die van b. In de figuur is c de *straal* van de cirkel. Vaak wordt de lengte ervan aangeduid als r (van *radius*, Latijn voor straal).

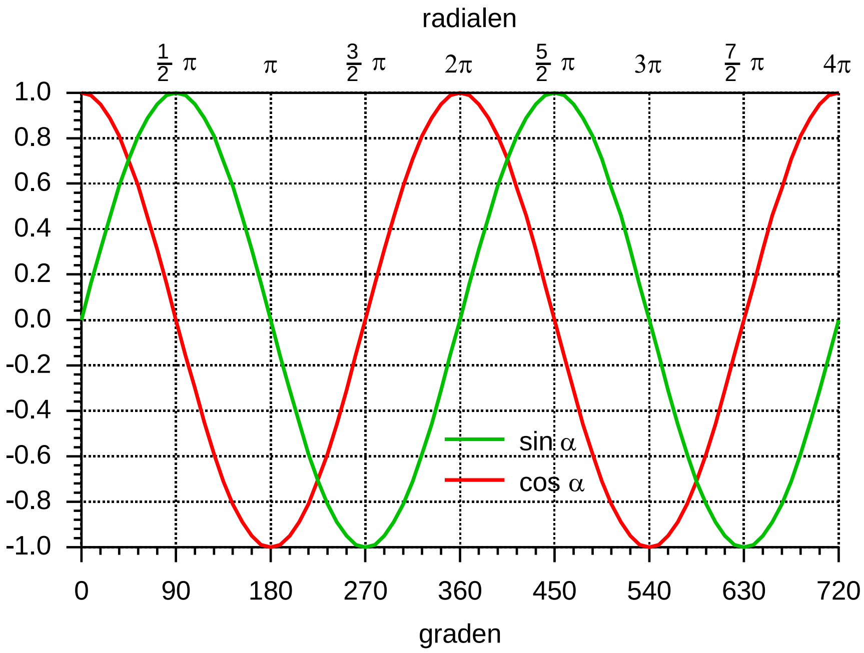
Punt B legt in één cirkelgang een afstand van $2\pi c$ af. Dan hebben de sinussen en cosinussen van beide hoeken al hun mogelijke waarden doorlopen.

Een hoek die een stuk cirkel 'in zijn bek' houdt dat even lang is als de straal, is een hoek van 1 radiaal. Zie de figuur hieronder.



Figuur 2.18-3. Een hoek van 1 radiaal

Eén cirkelgang of *periode* is 360°, maar ook 2π radialen, want 2π maal de straal r is de omtrek van een cirkel. De radiaal en niet de graad is de natuurlijke eenheid van hoeken. In de volgende grafiek van sin α en cos α staan zowel radialen (horizontale as boven) als graden (horizontale as onder). De grafiek beslaat twee perioden (dus 4π of 720°). De cosinus loopt $^{\pi}/_{2}$ vóór op de sinus, want hij bereikt elke waarde $^{\pi}/_{2}$ eerder dan de sinus. Dat heet een verschil in *fase*. Strikt genomen kun je ook zeggen dat de cosinus $^{3\pi}/_{2}$ in fase achterloopt op de sinus.



Figuur 2.18-4. Verloop van sinus en cosinus van een hoek α die varieert van 0 tot 720º (horizontale as onder) of van 0 tot 4π, wat hetzelfde is.

2.19 Hoeksnelheid, hoekfrequentie, cirkelfrequentie

Alle drie de termen in de titel betekenen hetzelfde: radialen per tijd. Dat is 2π maal het aantal rondjes per seconde, want in een rondje zitten 2π radialen. De cirkelfrequentie komen we tegen bij berekeningen aan spoelen en condensatoren (hoofdstukken 4 en 5).

2.20 Functies

Een functie is een wiskundige uitdrukking. Je stopt er iets in en er komt iets anders uit. De soort functie bepaalt wat er bij een bepaalde invoer uitkomt. Van een functie kun je altijd een grafiek tekenen, zoals de sinus – en cosinusgrafiek van Figuur 2.18-4.

2.21 Twee grondbeginselen uit de natuurkunde

Het eerste beginsel houdt in dat energie niet verloren gaat en ook niet uit het niets ontstaat.

Het tweede beginsel houdt in dat ordening niet kan toenemen. Als ordening op een plek toeneemt, gaat dat altijd ten koste van ordening ergens anders.

Stroming van lucht (wind) of water is een geordende vorm van energie. Warmte is de meest chaotische vorm. Warmte kun je niet omzetten in stroming, stroming wel in warmte. Warmteverschil is weer een vorm van ordening. Dat kun je inruilen voor een geordende vorm van energie. Dat gebeurt bijvoorbeeld in een stoomturbine of een verbrandingsmotor.

Bij alle energieomzettingen ontstaat warmte. Alle elektronische schakelingen zijn gebaseerd op energie-omzetting en ze produceren dus allemaal een deel warmte. 100% rendement bestaat daarom niet, behalve bij een elektrische kachel.