

Rudolf Rasch

Muziekinstrumenten

Hoofdstuk Een: Inleiding

Verwijzingen naar deze tekst graag op de volgende manier:

Rudolf Rasch, Muziekinstrumenten: Hoofdstuk Een: Inleiding

<https://muziekinstrumenten.sites.uu.nl/>

Voor opmerkingen, suggesties, aanvullingen en correcties: [r.a.rasch@uu.nl](mailto:r.a.rasch@uu.nl)

© Rudolf Rasch, Utrecht/Houten, 2018

23 juli 2018

## 1.1 MUZIEKINSTRUMENTEN

Hoewel iedereen denkt wel te weten wat een muziekinstrument is, is een definitie van het woord of begrip “muziekinstrument” toch niet zo eenvoudig en vanzelfsprekend als het zou kunnen lijken. Het woord zelf lijkt te impliceren dat het om een instrument, dat wil zeggen een toestel of een apparaat of een object, moet gaan waarmee mensen muziek kunnen maken. Daarmee wordt het definitieprobleem deels verschoven naar de vraag “Wat is muziek?”, een vraag waarop, zoals bekend, ook geen eenduidig antwoord mogelijk is.

Er zijn talrijke objecten die wij zonder aarzeling als muziekinstrumenten classificeren, zoals een viool, een mondharmonica en een grote trom, en zelfs een Hammond-orgel en een draaiorgel. Maar er is ook een heel grote groep van apparaten en objecten die wel muziek voortbrengen maar die wij niet, of niet direct, of misschien niet altijd, zouden classificeren als muziekinstrumenten. Muziek wordt ook gemaakt met de menselijke stem; toch zullen zangers hun stembanden soms liever niet als muziekinstrument betiteld zien. Tal van moderne partituren schrijven allerlei objecten voor die niet voor het muziek maken zijn vervaardigd maar er wel voor kunnen worden gebruikt, zoals kopjes, pannen, buizen, enzovoorts. Zijn dat onder die omstandigheden ook muziekinstrumenten? Ook is er muziek die geluiden uit het dagelijks leven laat horen; zijn die geluidsbronnen (verkeer, natuur) dan muziekinstrumenten? We zwijgen nog maar over de zeer grote hoeveelheid muziek die via cd-speler of andere afspeelapparatuur tot klinken komt, wat de vraag opwerpt of een cd-speler een muziekinstrument is of niet. Dezelfde vraag kan men stellen met betrekking tot een mobiele telefoon die als *ringtone* een melodietje afspeelt.

Andere probleemsituaties ontstaan wanneer het bijvoorbeeld gaat om een muziekinstrument dat niet in bespeelbare toestand is. Een viool waaraan de snaren ontbreken, zal men toch een muziekinstrument noemen, ook al kan er niet op worden gespeeld. Kennelijk is de specificiteit van wat er wel is bepalend. Moeilijker is de vraag te beantwoorden of men al van een instrument kan spreken tijdens de bouw van het instrument: is een violromp al een muziekinstrument? En zo niet, wat moet er dan bijkomen om van een muziekinstrument te kunnen spreken? Is een draaiorgel werkelijk een muziekinstrument? Er is immers geen musicus nodig om het te kunnen bespelen. De orgeldraaier kan door een machine worden vervangen. Verdere vragen betreffen muziekinstrumenten uit het verleden, die misschien bekend zijn uit afbeeldingen of anders door beschrijvingen, maar in het uiterste geval alleen maar uit vermeldingen.

Vanuit de gegeven overwegingen is er dus een kern van objecten die onder nagenoeg alle omstandigheden muziekinstrumenten worden genoemd met daaromheen een onduidelijk afgebakende schil met objecten die onder bepaalde omstandigheden of volgens bepaalde zienswijzen zokunnen worden genoemd, maar niet zonder meer of niet altijd. In dit overzicht zullen in de eerste plaats gewone muziekinstrumenten, in de gangbare betekenis, aan bod komen, maar daarnaast is er ook aandacht voor minder eenduidige categorieën zoals de zangstem, automatische en elektronische muziekinstrumenten.

Het aantal verschillende soorten muziekinstrumenten is groot, onoverzienbaar groot, theoretisch misschien eindig, praktisch beschouwd oneindig. Muziekinstrumenten worden naar bouw en functie in een aantal categorieën ondergebracht (denk aan strijkinstrumenten, blaasinstrumenten — meer specifiek aan houten blaasinstrumenten en koperen blaasinstrumenten —, slaginstrumenten, klavierinstrumenten, enzovoorts), die weer een aantal soorten (viool, fluit, harp, enzovoorts) bevatten. Die soorten bestaan doorgaans weer in een aantal variëteiten: historische instrumenten, kleinere en grotere typen, vormen met verschillende mechanieken, gebouwd met verschillende materialen, enzovoorts. Grofweg worden die variëteiten weer geordend in verschillende groepen, waarbij meestal kunnen worden onderscheiden:

- (a) De thans gangbare typen en vormen, meestal aanwezig vanaf het midden van de negentiende eeuw. Deze instrumenten zijn doorgaans redelijk gestandaardiseerd.

(b) Historische varianten: de typen die vroeger gangbaar waren in de westerse muziek, doorgaans vóór het midden van de negentiende eeuw; met andere woorden, teruggaand in de tijd, in het tijdvak van de “klassieke muziek”, “barokmuziek”, “renaissancemuziek”, middeleeuwse muziek en antieke muziek. Er is hier wel sprake van een zekere standaardisatie, maar die is beduidend geringer dan bij de thans gangbare instrumenten.

(c) Geografisch-culturele of “ethnologische” varianten: de typen die gebruikt worden in de muziek van andere culturen dan de westerse standaardcultuur, dat wil zeggen, in de ‘volksmuziek’ van Europa en andere werelddelen, eventueel in westerse subculturen. Standaardisatie is hier soms aanwezig, maar vaker afwezig.

(d) Persoonlijke varianten: de instrumenten die door hun uitvinders in klein aantal of in enkelvoud experimenteel zijn gebouwd.

De gegeven opsomming maakt duidelijk dat met betrekking tot elk soort instrument een eigen geschiedenis kan worden geschreven, die kan teruggaan tot enkele jaren terug (digitale elektronische instrumenten), tot de Oudheid (schalmei-aulos), of zelfs tot de prehistorie (harp). De geografische en culturele reikwijdte van die geschiedenissen kan ook enorm variëren. Sommige instrumenten zijn bekend bij culturen over de hele wereld, andere hebben een beperkte verspreiding.

De standaardisatie van een muziekinstrument is een belangrijk aspect. Het betekent vooral dat er mogelijkheden tot samenspel bestaan en dat er muziek kan worden opgeschreven waarvan de componist zeker weet dat deze speelbaar is buiten zijn eigen directe kring. Uiteraard heeft ook de vorming van standaardensembles (strijkkwartet, vierstemmig koor, symfonieorkest) direct te maken met de verspreiding van muziek buiten de directe kring van de componist.

Muziekinstrumenten verkrijgen hun betekenis door hun gebruik. Het zal duidelijk zijn dat muziekinstrumenten hierin enorm verschillen. Allerlei culturen en subculturen hebben hun eigen gebruiksvormen: individueel en ensemblespel voor eigen genoegen, professioneel spel voor concert, muziek bij religieuze rituelen, gebruiksmuziek bij officiële gelegenheden, ondersteunende muziek bij theater, film en televisie, achtergrondmuziek, enzovoorts. Al deze situaties vragen om een apart instrumentarium en andersom zal een instrument eerder in de ene dan in de andere situatie worden ingezet. Er is geen enkel instrument dat voor al deze functies wordt ingezet. Elk instrument heeft een connotatie vanuit het gebruik in de maatschappij.

Muziekinstrumenten kunnen worden bestudeerd vanuit zeer verschillende perspectieven. In de muziekinstrumentenkunde in de strikte zin van het woord (ook wel *organologie* genoemd) worden ze vooral bestudeerd wat betreft de *bouw* (van het voltooid instrument) en de *geschiedenis*. De *akoestiek* — eigenlijk een onderdeel van de natuurkunde — kijkt naar muziekinstrumenten als systemen die *geluid* voortbrengen en is daarom minder geïnteresseerd in de geschiedenis of aspecten van de bouw die niet rechtstreeks met de productie van het geluid te maken hebben. Bij de bestudering van de *instrumentatie* wordt nagegaan hoe een instrument kan worden ingezet om bepaalde muzieknoden te spelen, wat betreft hoogte, klank, samenspel, enzovoorts. De *notatiekunde* formuleert de manieren waarop muziek voor bepaalde instrumenten wordt neergeschreven, hetzij in een algemeen gangbaar notenschrift, hetzij in notenschriften die specifiek zijn voor bepaalde instrumenten, vaak *tabulaturen* genoemd. De *muziekiconografie* verzamelt en behandelt beeldmateriaal rond muziek en vaak rond muziekinstrumenten. Muziekinstrumenten kunnen worden verzameld in particuliere en openbare collecties en er bestaan over de hele wereld tal van muziekinstrumentenmusea. Oude of zeldzame (en soms minder oude en minder zeldzame) muziekinstrumenten worden door antiquairs of op veilingen als kostbare objecten te koop aangeboden. Muziekinstrumenten kunnen ook worden bestudeerd vanuit een sociale of sociologische invalshoek, waarbij

klasse en *gender* een rol kunnen spelen. Men kan verder aandacht besteden aan de etymologie van de naamgeving van instrumenten en aan onderwerpen als het spel op het instrument, de speeltechniek, de educatie, het repertoire en de bespelers in heden en verleden. Ten slotte is er nog het aspect van de *muziek-instrumentenbouw* (in de zin van ontwerpen en produceren), wat enerzijds is verbonden met de *technologie* ervan, anderzijds met de *ergonomie* ervan. Onder dit laatste deelaspect valt de menselijke maat van het muziekinstrument: het moet door mensen worden bespeeld en daarom in afmeting, vorm, gewicht, enzovoorts afgestemd zijn op het menselijk lichaam, de mogelijkheden van armen, handen en vingers, benen en voeten, de ademhaling, enzovoorts. Het moet zo mogelijk draagbaar zijn of op een andere manier kunnen worden vervoerd. Voor kinderen of jonge spelers bestaan soms kleinere varianten van instrumenten (halve en driekwartviool, “damesgitaar”). Sommige instrumenten worden nooit vervoerd en zijn in de architectuur van de ruimte waar zij worden gebruikt opgenomen, zoals het orgel in een kerkruimte. Bovendien moeten instrumenten het liefst bespeelbaar zijn zonder dat dit overmatige stress, vermoeidheid of andere lichamelijke klachten (RSI) oplevert. In uitvoeringssituaties zou het geluid van de muziekinstrumenten geen gehoorbeschadiging moeten opleveren, aan welke voorwaarden in het midden van een symfonieorkest (pal voor het koper en het slagwerk) en bij elektrisch versterkte muziek (popconcerten) niet altijd voldaan is.

De verschillende genoemde perspectieven worden in de literatuur traditioneel doorgaans gescheiden behandeld. In deze tekst zal een zekere poging tot integratie worden gedaan, maar een complete en systematische behandeling van alle genoemde aspecten voor alle behandelde muziekinstrumenten is uiteraard onmogelijk. Voorlopig zullen de aspecten organologie, akoestiek, instrumentatie en notatiekunde voorop staan. Maar de andere aspecten zullen allemaal wel ergens aan bod komen.

Op deze plaats kunnen nog wel enige woorden aan de etymologie van muziekinstrumentennamen worden gewijd. Sommige namen zijn onomatopeeën, dat wil zeggen, klanknabootsingen. De kern “trom” heeft zijn weg gevonden naar trom (trommel), drum, trompet, enzovoorts. Verdere onomatopeeën bij de slag-instrumenten zijn woorden als gong, tamtam en tomtom. Ook het Middelfranse *virole*, waar *viola*, *violino*, *viool*, enzovoorts, vandaan komen, wordt als een onomatopee beschouwd.

Een aantal namen gaat terug op Griekse instrumentennamen of andere Griekse woorden, dikwijls via het Latijn en het Italiaans:

|           |   |
|-----------|---|
| κιθάρα    | <i>cithara</i> , gitaar, citer, <i>chime</i> , enz. |
| κύμβαλον  | <i>cymbalum</i> , cymbaal, cembalo, enz.            |
| τύμπανον  | tympani   |
| ψαλτήριον | psalterium, salterio                                |
| ὄργανον   | organum, organo, orgel, enz.                        |

andere op Latijnse instrumentennamen of andere Latijnse woorden:

|                          |                                   |
|--------------------------|-----------------------------------|
| cornu (“hoorn”)          | <i>cornu</i> , <i>cor</i> , hoorn |
| clarus (“helder”)        | klaroen, clarino, klarinet        |
| flare, flatus (“blazen”) | flauto, fluit, enz.               |
| tuba (“trompet”)         | tuba                              |
| bucina (“trompet”)       | Posaune, bazuin                   |
| calamus (“riet”)         | chalumeaux, shawm, schalmei       |

Weer andere namen vinden hun oorsprong in het Italiaans:

|                            |                   |
|----------------------------|-------------------|
| piano, forte (zacht, luid) | pianoforte, piano |
|----------------------------|-------------------|

of het Frans:

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| haut-bois (“luid-hout”) | hobo, oboe |
|-------------------------|------------|

De instrumentennaam luit (luth, liuto) is afgeleid van de Arabische luit onder de naam ūd (wat als woord “hout” betekent), in combinatie met het Spaanse lidwoord “el”.

Ten slotte zijn er instrumenten, meestal vrij moderne, die de naam van de uitvinder bevatten:

|                        |   |
|------------------------|---|
| saxofoon, saxhoorn     | naar Adolphe Sax (1814-1894)                                      |
| bandoneon              | naar Heinrich Band (1821-1860)                                    |
| böhmfluit (boehmfluit) | naar Theobald Boehm (1794-1881)                                   |
| hammondorgel           | naar Lawrence Hammond (1895-1973)                                 |
| theremin               | naar Lev Sergeyevich Termen (Franse spelling Theremin; 1896-1993) |

Ook kan het interessant zijn te kijken naar de materialen waarvan de muziekinstrumenten zijn vervaardigd. Traditioneel het belangrijkste materiaal is hout. Een groot aantal houtsoorten is benut voor muziekinstrumenten en hun onderdelen. De volgende korte opsomming is niet meer dan het eerste begin van een lijst die nooit volledig kan zijn:

|  |   |
|--|---|
| <i>Acer nigrum</i><br>zwarte esdoorn (black maple)             | fagot   |
| <i>Acer pseudoplatanus</i><br>gewone esdoorn (sycamore maple)  | fagot, blokfluit<br>viool: achterblad, zijkanten, hals-schroevenkast-krul<br>luit: spanen |
| <i>Acer saccharum</i><br>suikeresdoorn (sugar maple)           | fagot   |
| <i>Buxus sempervirens</i><br>buxus (boxwood)                   | historische houten blaasinstrumenten (blokfluit, hobo, klarinet)                          |
| <i>Castanea sativa</i><br>tamme kastanje (chestnut)            | castagnetten  |
| <i>Cedrus libani</i><br>Libanonceder (cedar)                   | hals (gitaar)   |
| <i>Dalbergia melanoxylon</i><br>grenadille (African blackwood) | moderne blokfluit, hobo, klarinet   |
| <i>Dalbergia nigra</i><br>palissander (Brazilian rosewood)     | gitaar: zijkanten, achterblad<br>blokfluit, fagot   |

|   |                              |
|---|------------------------------|
| <i>Diospyros</i> species<br>ebbenhout (ebony)                                       | viool: toets                 |
| <i>Guilandina</i> [ <i>Caesalpina</i> ]<br><i>echinata</i><br>pernambuco            | strijkstok (19de-20ste eeuw) |
| <i>Guibourtia demeusei</i><br>bubinga   | blokfluit                    |
| <i>Picea abies</i><br>vurenhout (Norway spruce)                                     | viool, luit: bovenblad       |
| <i>Pinus sylvestris</i><br>grenenhout (pinewood)                                    | piano: zangbodem             |
| <i>Piratinera guianensis</i><br>slangenhout (snakewood,<br>specklewood, letterwood) | strijkstok (17de-18de eeuw)  |
| <i>Pyrus communis</i><br>peer (pear)  | blokfluit                    |
| <i>Taxus baccata</i><br>taxus, taxis, venijnboom (yew)                              | luit: spanen                 |

Verdere plantaardige voortbrengselen die worden benut zijn onder meer:

|  |                                 |
|--|---------------------------------|
| pijlriet ( <i>Arundo donax</i> )           | rietten voor hobo's en fagotten |
| bamboe ( <i>Bambusa</i> species)           | bamboefluiten                   |
| fleskalebas ( <i>Lagenaria siceraria</i> ) | maracas                         |

Dieren leveren onder meer de volgende materialen voor muziekinstrumenten:

| dier               | deel               | toepassing  |
|--------------------|--------------------|---|
| schaap             | darmen             | viool en andere snaarinstrumenten: snaren   |
| paard              | staartharen        | strijkstokken: haar   |
| olifant            | slagtanden (ivoor) | klavierinstrumenten: toetsen; } alle<br>blaasinstrumenten: ringen } toepassingen<br>dwarsfluiten } historisch |
| schaap, geit, kalf | vel                | trommelvellen   |
| raaf               | pennen (van veren) | klavecimbel: kieltsjes (historisch)   |
| zijderups          | zijde              | snaren  |

Metalen vinden ook een ruime toepassing, waaronder:

|           |  |
|-----------|--|
| staal     | snaren voor klavierinstrumenten, E-snaar van viool |
| gietijzer | frame voor moderne piano en vleugel                |
| zilver    | fluiten; applicatuur; historische trompetten       |

|               |                                     |
|---------------|-------------------------------------|
| goud, platina | dwarsfluiten                        |
| messing       | koperen blaasinstrumenten; saxofoon |

Sinds de laatste driekwart eeuw vinden ook tal van kunststoffen allerlei toepassingen, dikwijls ter vervanging van wat eerst van hout, ivoor of metaal was.

Hier zullen, zoals reeds gezegd, de instrumenten uit de eerder genoemde groepen (a) (huidig instrumentarium) en (b) (historische instrumenten) de meeste aandacht krijgen. Daarmee wordt de geschiedenis van instrumenten teruggevolgd tot ergens in de middeleeuwen, indien van toepassing. De bestudering van muziekinstrumenten uit de Oudheid, zowel uit de culturen van het Midden-Oosten als uit de Griekse en de Romeinse cultuur, is een ingewikkelde kwestie. De kennis hierover is moeizaam opgebouwd door gegevens vanuit geschriften, afbeeldingen en bewaard gebleven (opgegraven) exemplaren of delen daarvan te combineren. Hieronder volgt een samenvatting van de belangrijkste soorten. Daarbij is de variëteit die kenmerkend is voor het latere instrumentarium al zichtbaar.

Eerst de belangrijkste instrumenten uit de Bijbel, en wel uit het Oude Testament. Na de Hebreeuwse naam wordt de meest gebruikte vertaling in de Septuagint (Grieks), de Vulgaat (Latijn) en de moderne Nederlandse vertaling genoemd. De *tof* (τύμπανον; *tympanum*; “tamboerijn”) is een soort van lijsttrommel, vaak met vellen aan beide zijden. *Mesaltayim* en *selselim* (κύμβαλα; *cymbala*; “cymbalen”) zijn kleine bekkens of cymbalen. De *kinnor* (κιθάρα; *cithara*; citer) en de *nebel* (ψαλτήριον; *psalterium*; harp) zijn snaarinstrumenten, de *kinnor* van het liertype, de *nebel* eerder een harp. De *kinnor* is Davids instrument, maar in die context vaak ten onrechte als “harp” weergegeven. De *halil* (αὐλός; *tibia*; “schalmei”) is een blaasinstrument, vermoedelijk met enkel of dubbelriet en vingergaten en aldus een soort van schalmei. Ten slotte zijn er de *hasoserah* (σάλπιγξ; *tuba*; “trompet”), een metalen trompet, en de *shofar* (ook σάλπιγξ en *tuba*; “bazuin”), een gekromde hoorn gemaakt uit de hoorn van een geit of ram. Deze instrumenten worden op verschillende plaatsen in het Oude Testament genoemd, dikwijls in specifieke contexten, zoals godsdienstige ceremonies, feestelijkheden of strijdgewoel.

Het Griekse instrumentarium lijkt wel enigszins op het oudtestamentische, maar kent bij de genoemde soorten natuurlijk zijn eigen varianten en heeft zijn eigen, autonome ontwikkeling gekend, parallel aan die in het Midden-Oosten. De verschillende instrumenten zijn vanzelfsprekend binnen het Griekse cultuurgebied ook aan een grote variatie onderhevig geweest: het gaat over de tijdspanne van een millennium en het gehele oostelijke bekken van de Middellandse Zee als geografische afbakening. De *tumpanon* (τύμπανον) is een lijsttrom, de *krotala* (κρόταλα) zijn handkleppers, *κρούπεζαι* (*kroupezai*) (of *κρούπαλα* [*kroupala*]) zijn voetkleppers, *cymbala* (κύμβαλα) handbekkens. Van de snaarinstrumenten behoort een aantal tot het type van de lier (λύρα = *lyra*, φόρμιγξ = *phorminx*, κιθάρα = *kithara*, χέλυς = *chelus* en βάρβιτος (of -ον) = *barbitos*) en worden dan met plectrum bespeeld, een aantal behoren tot het type van de harp (ψαλτήριον = *psalterion*, ἐπιγόνειον (*epigoneion*), σιμίκιον (*simikion*), μαγάδις = *magadis*, πηκτίς = *pektis*, φοῖνιξ = *phoenix*, σαμβύκη = *sambuka*, τρίγωνον = *trigonon*). Maar van lang niet alle genoemde namen is het volledig duidelijk wat voor instrumenten ermee worden aangeduid. De namen zijn van zeker belang omdat ze soms terugkeren in de latere westerse muziekgeschiedenis, maar dan gewoonlijk om een westers muziekinstrument mee aan te duiden. De uitvinding van het monochord (in het Grieks κανόν, in het Latijn *canon*) wordt aan Pythagoras (5de eeuw voor Christus) toegeschreven. Het bestaat uit één snaar die over een klankkast is gespannen en werd, ook in de Middeleeuwen en de Nieuwe Tijd, tot in de negentiende eeuw, gebruikt voor wetenschappelijk onderzoek. *Aulos* (αὐλός) en *syrinx* (σῦριγξ) zijn ‘houten’ blaasinstrumenten. Het eerste is een schalmei, het tweede een panfluit. *Salpinx* (σάλπιγξ) en *keras* (κέρας) zijn metalen trompetten, de *bucina* een hoorn uit een dierhoorn vervaardigd.

De Griekse instrumentennamen keren terug in het Nieuwe Testament, dat immers direct in het Grieks is geschreven. Regelmatige worden de cymbala (κύμβαλα), de aulos (αὐλός), de cithara (κιθάρα) en de salpinx (σάλπιγξ) genoemd. De instrumenten zelf zullen eerder een ontwikkeling van de oudtestamentische zijn geweest dan een directe overname van de Griekse instrumenten.

De Romeinse cultuur is eclecticisch en dat weerspiegelt zich in de muziekinstrumenten. Uit de Griekse cultuur overgenomen zijn de *lyra* (lier), de *cithara* (citer), de *tympanum* (trom), het *psalterium* (harp), de *scabella* (voetkleppers), en de *tibia* (schalmei= αὐλός), uit Egypte het *sistrum* (een rammelinstrument bestaande uit een U-vormig blad waardoorheen pennen zijn gestoken die speling hebben en dus kunnen rammelen), uit Etruskië de trompetachtige *bucina*, *tuba*, *lituus* en *cornu*. Verder kenden de Romeinen kleine klokjes (*tintinnabulum*), het waterorgel (*hydraulis*) en luitinstrumenten als de *pandura*, naar de Griekse πανδοῦρα.

#### LITERATUUR

##### OVERZICHTSWERKEN

Curt Sachs, *Real-Lexikon der Musikinstrumente: Zugleich ein Polyglossar für das gesamte Instrumentengebiet* (Berlijn 1913, R New York, 1964)

—, *Handbuch der Musikinstrumentenkunde* (Leipzig, 1920, 2/1930 = [3]/1966, [4]/1971, 5/1990)

—, *Die Musikinstrumente* (Breslau, 1923)

—, *Geist und Werden der Musikinstrumente* (Berlin, 1929/R Buren NL 1965)

—, *The History of Musical Instruments* (New York, 1940), in het Nederlands als *De geschiedenis van de muziekinstrumenten* (Utrecht, 1969).

Francis W. Galpin, *A Textbook of European Musical Instruments: Their Origin, History and Character* (Londen, 1937, 3/1956/R).

Robert Donington, *The Instruments of Music* (London, 1949; 3/1970).

Anthony Baines, *European and American Musical Instruments* (London, 1966).

Sibyl Marcuse, *A Survey of Musical Instruments* (Newton Abbot, 1975).

*Musical Instruments of the World* (London/New York, 1976). Door een team, de Diamant Group, samengesteld. In Nederlandse vertaling beschikbaar als *Encyclopedie van muziekinstrumenten* (Helmond, 1977). Een uitvoerig plaatwerk op groot formaat.

Bert Oling & Heinz Wallisch, *Geïllustreerde Muziekinstrumenten Encyclopedie: Een uniek naslagwerk met alle muziekinstrumenten van vroeger en nu* (Lisse, 2003). Een handzaam overzicht voor een zeer gunstige prijs.

Max Wade-Matthews, *Muziekinstrumenten* (Utrecht, 2004). Naar de Engelse versie van Max Wade-Matthews & Wendy Thompson, *Music: An Illustrated Encyclopedia of Musical Instruments and the Great Composers* (London, 2000).

Vele uitvoerige en goede artikelen zijn te vinden in de recente grote muziekencyclopedieën zoals *Die Musik in Geschichte und Gegenwart, Zweite Auflage, Sachteil 1-9* (Kassel, 1994-1999; met registerdeel) and *The New Grove Dictionary of Music and Musicians, Second Edition* (Londen, 2001).

##### BIJBEL

Alfred Sendrey, *Music in Ancient Israel* (New York, 1969).

Hans Seidel, *Musik in Altisrael* (Frankfurt, 1989).

Jeremy Montagu, *Musical Instruments of the Bible* (Oxford, 1996)

##### GRIEKSE OUDHEID

Leopold Vorreiter, *Die schönsten Musikinstrumente des Altertums* (Frankfurt, 1983).

Martha Maas & Jane McIntosh Snyder, *Stringed Instruments of Ancient Greece* (New Haven, CT, 1989).



MUZIEKINSTRUMENTENVERZAMELINGEN

James Coover, *Musical Instrument Collections: Catalogues and Cognate Literature* (Detroit, 1981).

Zie ook het artikel 'Instruments, collections of' in *The New Grove Dictionary of Music and Musicians, Second Edition* (Londen, 2001), 12, p. 428-468.

---

1.2 AKOESTIEK

Muziekakoestiek is de wetenschap die zich bezighoudt met muzikaal geluid, dat wil zeggen, geluid dat voortgebracht wordt door muziekinstrumenten (inclusief de menselijke stem) in een muzikale situatie, inclusief het geluid dat probeert traditioneel muzikaal geluid na te bootsen, zoals bij elektronische klankvoortbrenging. Een traditioneel muziekinstrument functioneert als een element in een keten die begint bij de componist en eindigt bij de luisteraar:

Componist → Muziek (geschreven) → Uitvoerende → Muziekinstrument → Muziek (klinkend) → Luisteraar

Het laatste deel van de keten kan benaderd worden vanuit het volgende simpele communicatieschema:

Zender → boodschap/kanaal → ontvanger,

waarin de verschillende elementen als volgt gerealiseerd kunnen worden:

---

| element            | realisatie            | functie                             |
|--------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| 1. zender          | muziekinstrument      | geluidproductie en geluidafstraling |
| 2. boodschap       | muzikaal geluid       | muziek                              |
| 3. kanaal (medium) | lucht, ruimte, wanden | transmissie                         |
| 4. ontvanger       | luisteraar            | ontvangst, verwerking               |

---

De muziekakoestiek houdt zich bezig met alle schakels in de communicatieketen. De vier componenten in het schema vormen de hoofdbestanddelen, namelijk (1) de akoestiek van muziekinstrumenten, (2) de eigenschappen van muzikaal geluid, (3) de zaalakoestiek [toegepast op muziekzalen], en (4) de psycho-akoestiek [toegepast op muzikaal geluid]. De toevoegingen tussen vierkante haken geven aan dat de zaalakoestiek en de psychoakoestiek algemeen genomen een grotere reikwijdte hebben dan alleen de muziekakoestiek.

Een muziekinstrument produceert dus muzikaal geluid dat door een luisteraar wordt ontvangen. Vanuit dat gezichtspunt zijn muziekinstrumenten, muzikale geluiden en luisteraars akoestische systemen, die als volgt verder kunnen worden gedetailleerd, ook wat betreft hun functie:

---

| systeem              | substelsysteem              | functie                             |
|----------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| 1. muziekinstrument  | 1a. excitator               | energietoever                       |
|                      | 1b. oscillator              | primaire toonvorming                |
|                      | 1c. resonator               | afstraling van luchtrillingen       |
| 2+3. muzikaal geluid | 2a. lucht                   | geluidvoortplanting                 |
|                      | 2b. grensovervlakken        | reflectie, absorptie                |
| 4. luisteraar        | 3a. trommelvlies, middenoor | omzetting in mechanische trillingen |
|                      | 3b. binnenoor               | omzetting in zenuwimpulsen          |
|                      | 3c. zenuwstelsel            | informatieverwerking                |

---

De verschillende subsystemen van muziekinstrumenten worden verderop in deze paragraaf behandeld, die van het muzikaal geluid ('lucht', 'grensooppervlakken') in het hoofdstuk over zaalakoestiek (Hoofdstuk 16). De menselijke luisteraar is geen onderwerp.

We zullen nu de werking van muziekinstrumenten uitwerken in akoestische zin, waarbij we terugkeren naar het schema dat muziekinstrumenten beschreef als bestaande uit excitator, oscillator en resonator.

De *excitator* is het deel van het instrument dat het instrument in werking zet, of het is een systeem buiten het instrument dat deze functie vervult, zoals de strijkstok van een strijkinstrument of de luchtstroom uit de longen bij de vorming van zanggeluiden. We gaan eerst in op de wijze waarop die excitator wordt gebruikt, hetgeen we de *excitatie* van het instrument noemen. Wat betreft de akoestische muziekinstrumenten zijn er vier basisvormen van excitatie:

- Blazen;
- Strijken (Wrijven);
- Slaan; en
- Tokkelen.

Van deze vier manieren zijn er twee *continu* (blazen en strijken) en twee *eenmalig* (slaan en tokkelen). Dit onderscheid heeft in akoestisch opzicht grote gevolgen. Continue excitatie heeft een continue toon tot gevolg. In plaats van 'strijken' spreekt men ook wel van 'wrijven', vooral als het niet over strijkinstrumenten gaat. Eenmalige excitatie veroorzaakt een toon die na de aanslag met een bepaalde snelheid wegsterft.

Voor alle vier excitatiewijzen geldt dat de excitator in wisselende mate als deel van het instrument herkenbaar is. In het geval van *blazen* is de lucht de excitator: deze is weliswaar essentieel bij de werking van het instrument, maar zal nooit als deel van het instrument worden beschreven. Een aantal instrumenten bevat constructies die de lucht op een bepaalde manier geleiden (blokfluit, orgel), andere (trompet) doen uitsluitend een beroep op lippen en mond van de bespeler. Bij *strijken* is de strijkstok de excitator. Deze is geen deel van de viool (of andere strijkinstrumenten), maar een toebehoren of accessoire, onmisbaar bij het bespelen. Bij een draailier wordt gestreken met behulp van een geharst wiel en is de excitator dus wel een deel van het instrument.

Bij het *slaan* is er ook een variatie aan excitatoren. Veel slaginstrumenten worden met de hand beslagen, andere weer door een variëteit aan stokken en hamers, soms (drumstel, beiaard) vast aan het instrument gemonteerd. In een piano wordt geslagen door een hamer die inclusief de toets een flink stuk mechaniek representeert, dat in actie komt via de vingers van de speler. Het *tokkelen* laat een soortgelijke indeling zien als het slaan: het kan met de vingers gebeuren, met speciale losse hulpmiddelen (plectrum) of met een ingebouwd mechaniek (klavecimbel).

De functie van excitator en excitatie is het veroorzaken van een verstoring in de oscillator van het instrument, een situatie die afwijkt van de oscillator van het instrument in rust. In deze verstoring is een zekere hoeveelheid *energie* opgeslagen die vervolgens benut wordt voor de oscillatie van de oscillator en daardoor indirect voor het geluid dat wordt afgestraald. Deze constatering doet ons zeggen dat niet de lucht zelf, noch een strijkstok of een plectrum op zichzelf een excitator zijn, maar wel een *luchtstroom*, een *bewegende* strijkstok en een *gehanteerd* plectrum. Bij elektronische instrumenten (en bij de elektronische component van elektro-akoestische) neemt de stroomtoevoer de rol van excitator op zich.

De *oscillator* van een muziekinstrument is het deel ervan dat door de excitatie in *trilling* wordt gebracht. (Wat een trilling is zal later nog worden bekeken.) Bij snaarinstrumenten zijn de snaren oscillatoren, bij slaginstrumenten de aanwezige vellen, platen, buizen, enzovoorts. Bij blaasinstrumenten is doorgaans sprake van een dubbele oscillator, ofwel twee gekoppelde oscillatoren: enerzijds het riet (rietinstrumenten), de lippen

van de speler (koperblazers) of het wervelmechanisme bij het mondgat of labium (fluitinstrumenten), anderzijds de luchtkolom van het instrument. Deze twee oscillatoren beïnvloeden elkaar in sterke mate, vanwaar de aanduiding gekoppelde oscillatoren. De stembanden vormen de oscillator voor de zanger. (De mond-, keel- en neusholte vormen hier *geen* gekoppelde oscillator.) Bij elektrofonen (verzamelnaam voor instrumenten met een elektrische of elektronische component) is er sprake van elektrische oscillatie (variabele spanning) of van “elektronische oscillatie” (digitaal gedefinieerd). In het laatste geval oscilleert er eigenlijk niets; men zou kunnen spreken van *virtuele oscillatie* spreken: het oscillatiepatroon wordt in getallen nagebootst en vervolgens omgezet in een analoge oscillatie.

Een belangrijke eigenschap van oscillatoren is de *dimensionaliteit*. Veel muzikale oscillatoren zijn ééndimensionaal (snaar, luchtkolom) en niet zonder reden: een ééndimensionale oscillator heeft deeltonen in een harmonische reeks of een bijna harmonische reeks (zie onder, §2.3) en in muzikale situaties spelen deze harmonische tonen de hoofdrol. Een toon met een harmonisch patroon van deeltonen geeft een duidelijke toonhoogte. Ééndimensionaliteit is natuurlijk nooit perfect aanwezig: een snaar heeft dikte en een luchtkolom een doorsnede, maar we spreken van ééndimensionaliteit als er een dimensie is die in lengte de andere met (bijvoorbeeld) ten minste een factor tien overtreft. Tweedimensionale oscillatoren (platen, vellen, rieten) hebben *eigenfrequenties* (het voorvoegsel *eigen-* is hier een Duits woord) die geen harmonische reeks vormen en voor driedimensionale oscillatoren en resonatoren (blokken, luchtruimte) geldt hetzelfde. De toonhoogte is dan veel minder duidelijk of zelfs helemaal afwezig. Een klok heeft als resonator een eigen dimensionaliteit die tussen twee en drie dimensies in ligt en zo door een specifiek niet-harmonisch spectrum een toon van geheel eigen karakter produceert. Regelmatig gevormde oscillatoren (rechthoekig) willen nog wel bepaalde patronen van *eigenfrequenties* hebben, ronde en onregelmatig gevormde hebben dat zelden. Sommige oscillatoren hebben eigenlijk geen dimensie (stembanden, lippen, werveltoonmechanisme). Voor elektrische en elektronische oscillatoren is de vraag naar de dimensie niet relevant.

De *resonator* van een muziekinstrument zorgt ervoor dat de trilling van de oscillator wordt overgebracht op de lucht rond het instrument en zo aanleiding geeft tot luchttrillingen, ofwel muzikaal geluid dat naar de oren van de luisteraar kan reizen. Bij traditionele strijk- en tokkelinstrumenten wordt deze functie vervuld door het voor- of bovenblad van het instrument, bij piano en klavecimbel door de zangbodem. Bij blaasinstrumenten is de resonator niet altijd als apart deel van het instrument herkenbaar (blokfluit, orgelpijpen). De diverse bekken van koperen en sommige houten blaasinstrumenten fungeren als resonator. De zanger benut zijn keel- en mondholte om het geluid naar buiten te brengen. Bij slaginstrumenten ontbreekt de resonator vrij systematisch en wordt de functie ervan door de oscillator overgenomen. Bij elektrofonen kan het versterker-luidspreker-systeem als resonator worden beschouwd.

#### LITERATUUR

##### A. Klassieke literatuur.

- Hermann von Helmholtz, *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik* (Brunswijk, 1/1863, 6/1913; alle drukken bijgewerkt). Hét klassieke, “*grundlegende*” werk op het gebied van de muzikakoestiek en vooral de muzikale psychoakoestiek. Uit de ondertitel blijkt Helmholtz’ speciale bedoelingen met dit boek. Hij wilde de muzikale compositie (waarom die zó was en niet anders) verklaren vanuit de fysiologie van het oor. Zo mogelijk nog bekender geworden dan het Duitse origineel is de Engelse vertaling door Alexander John Ellis, onder de titel *On the Sensations of Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music* (London 1875, 2/1885). Ellis voegde ook het één en ander toe. De tweede Engelse druk (1885) is als Dover-editie gemakkelijk en goedkoop beschikbaar.
- Carl E. Seashore, *Psychology of Music* (New York, 1938). Bevat ondanks de titel ook vrij veel over muzikakoestiek, zij het vooral psychoakoestiek, vanuit de materialistische denkwijze uit de jaren-1930, die

ervan uitging dat nauwkeurig onderzoek van de fysische ‘stimulus’ veel van de menselijke ‘responsie’ zou kunnen verklaren.

B. Wat verouderde, maar nog wel bruikbare (want vrij eenvoudige) inleidingen zijn:

- James Jeans, *Science and Music* (Cambridge 1937). Vertaald in het Nederlands door E.J. Dijksterhuis als *De wereld van het geluid* (Den Haag 1938, 1952).
- Alexander Wood, *The Physics of Music* (London 1944, revised by J.M. Bowsher, 6/1962, 7/1975). Nederlandse vertaling door E.J. Dijksterhuis als *De natuurkunde der muziek* (Amsterdam 1949).

C. Recente overzichtswerken over de gehele muzikakoestiek, dikwijls geschreven als leerboeken voor de geïnteresseerde niet-natuurkundige, bijv. musicus of musicoloog.

- John Backus, *The Acoustical Foundations of Music* (New York: Norton 1969, second revised edition 1977). 368 blz. Het meest algemene overzicht; behandeld worden geluidleer, psychoakoestiek, zaalakoestiek en muziekinstrumenten (inclusief elektro-akoestiek).
- Jürgen Meyer, *Akustik und musikalische Aufführungspraxis* (Frankfurt/Main, Das Musikinstrument, 1972). 237 blz. Vooral uitvoerig over het akoestische gedrag van muziekinstrumenten tijdens uitvoeringen (afstraling, niveaus, enzovoorts). In het Engels als *Acoustics and the Performance of Music* (1978).
- Arthur H. Benade, *Fundamentals of Musical Acoustics* (New York, Oxford University Press, 1976). 596 blz. Uitvoeriger (en wijldropiger) dan Backus, en ook wat persoonlijker, 25 hoofdstukken, volgorde globaal geluidleer, oscillaties, zaalakoestiek, psychoakoestiek, muziekinstrumenten.
- Donald Hall, *Musical Acoustics: An Introduction* (Belmont CA, Wadsworth, 1980). 488 + ongenummerde bladzijden. Degelijk overzicht, 20 hoofdstukken: geluidleer, psychoakoestiek, instrumenten, zaalakoestiek, elektro-akoestiek en wat over muziek zelf.
- Thomas D. Rossing, *The Science of Sound* (Reading MA, Addison-Wesley, 1982, 2/1990, 3/2001). 637, 686, 783 blz. Derde druk met co-auteurs F. Richard Moore en Paul A. Wheeler. Uitstekend werk, maar een klein beetje dubbelzinnig van opzet: enerzijds algemeen akoestisch (met nadruk op psychoakoestiek), anderzijds muzikakoestisch. 33 hoofdstukken in acht delen: geluidleer, psychoakoestiek, muziekinstrumenten, stem, elektroakoestiek, zaalakoestiek, elektronische muziek.
- Neville H. Fletcher & Thomas D. Rossing, *The Physics of Musical Instruments* (New York, 1991, 2/1998).
- Juan Roederer, *Introduction to the Physics and Psychophysics of Music* (London, Springer, 1973). 202 blz. Veel gebruikte inleidende tekst, vooral vanwege de belangrijke plaats die wordt ingeruimd voor de psychoakoestiek. Ook in Duitse vertaling beschikbaar.
- John R. Pierce, *Klank en muziek: Een combinatie van wetenschap en cultuur* (Maastricht, Natuur en Techniek, 1986). 242 blz. Vertaling S. Tempelaars. Oorspronkelijke titel *The Science of Musical Sound* (New York 1983).
- Johan Sundberg, *The Science of Musical Sounds* (San Diego: Academic Press, 1991). 237 blz. Prettige, beknopte en overzichtelijke tekst.

D. Tijdschriften.

Er bestaan geen tijdschriften die geheel gespecialiseerd zijn in de muzikakoestiek in het algemeen. Dat betekent dat artikelen over muzikakoestiek terecht komen in algemeen akoestische tijdschriften. De belangrijkste daarvan zijn *The Journal of the Acoustical Society of America* (afgekort: J. Acoust. Soc. Amer., of, korter: JASA; Amerikaans) en *Acustica* (internationaal, voornamelijk Europees, in Duitsland uitgegeven). Het tijdschrift *Music Perception* (University of California Press) geeft ook wel aandacht aan muzikaal-akoestische, voornamelijk muzikaal-psychoakoestische onderwerpen. Ook bestaan er tijdschriften, uitgegeven door verenigingen van lieden die zich met de akoestiek van één instrument of een instrumentengroep bezighouden. Zo geeft de “Catgut Acoustical Society” (akoestiek van de viool) het *Journal of the Catgut Acoustical Society* uit.

---

### 1.3 CLASSIFICATIE

De oudste overzichten van muziekinstrumenten stammen uit de middeleeuwen. De eerste werkelijk omvattende behandeling is die door Michael Praetorius in zijn *Syntagmatis musici Tomus secundus: De*

---

*organographia* [Tweede deel van de Verhandeling over de muziek: De beschrijving van de muziekinstrumenten] (Wolfenbüttel, 1619), een werk (ondanks de Latijnse titel in het Duits geschreven) van ruim 200 bladzijden dat het gehele toenmalige instrumentarium beschrijft, evenals een aantal antieke instrumenten. In het eerste deel ervan wordt de indeling van muziekinstrumenten beschreven (in windinstrumenten=orgel, blaasinstrumenten, slaginstrumenten en snaarinstrumenten, welke groepen ook nog onderverdeeld worden), in het tweede deel worden de blaas- en snaarinstrumenten afzonderlijk behandeld, in het derde, vierde en vijfde deel het orgel. Het zesde deel is het *Theatrum instrumentorum*, een verzameling van afbeeldingen van muziekinstrumenten op 42 platen. Verschillende van deze platen zijn als illustratie hier opgenomen.

Zeer uitvoerig is enkele jaren later Marin Mersenne in het derde deel van zijn *Harmonie universelle* (Parijs, 1636). De indeling is als volgt:

- Livre premier des instrumens*: voornamelijk inleidend en akoestisch
- Livre second des instrumens à cordes*: snaren, tokkelinstrumenten
- Livre troisieme des instrumens à cordes*: klavecimbel, harp, enzovoorts.
- Livre quatrieme des instrumens à cordes*: strijkinstrumenten
- Livre cinquiesme des instrumens à vent*: blaasinstrumenten
- Livre sixiesme des orgues*: het orgel
- Livre septiesme des instrumens de percussion*: slaginstrumenten

Bij elkaar bijna 500 bladzijden, met talrijke illustraties, waarvan verschillende hier zijn opgenomen. De stem en vocale muziek worden door Mersenne in aparte delen behandeld, die aan die over instrumenten voorafgaan:

- Livre premier de la voix*
- Livre second de la voix*

De classificatie van muziekinstrumenten die na Praetorius en Mersenne gangbaar is geworden gaat uit van wat de *gebruikersinterface* zou kunnen worden genoemd, ofwel de vraag wat de speler doet om een instrument te bespelen. De resulterende classificatie is dan: strijkinstrumenten, tokkelinstrumenten, blaasinstrumenten, klavierinstrumenten, slaginstrumenten, automatische muziekinstrumenten, en elektronische muziekinstrumenten die direct worden aangestuurd (zoals de oorspronkelijke ondes martenot, het traonium en de theremin, en dus niet het hammondorgel en de elektrische gitaar, die via een klavier respectievelijk het tokkelen van snaren worden bespeeld en daardoor bij de klavierinstrumenten en tokkelinstrumenten worden gerekend). Deze classificatie gaat voorbij aan de onderliggende functionele en akoestische eigenschappen. Verschillende strijk- en tokkelinstrumenten zijn wat betreft hun bouw wederzijds zeer verwant; onder het hoofd klavierinstrumenten gaan instrumenten schuil met verschillende soorten excitatoren en oscillatoren. Hetzelfde geldt voor de automatische muziekinstrumenten. De elektronische muziekinstrumenten kunnen worden verdeeld in een groep die gebruik maakt van een traditionele interface en een groep van rechtstreeks bespeelde, zoals de ondes martenot.

Als we proberen de indeling van muziekinstrumenten meer op een akoestische basis op te zetten, dan lijken excitor en resonator af te vallen als primair indelingscriterium. Blijft over de oscillator, maar ook hier moeten problemen worden opgelost, in het bijzonder welke eigenschap men neemt voor de primaire classificatie. Keuze is hier tussen de dimensionaliteit en het materiaal, waarbij we afzien van de complicatie vanuit de gekoppelde oscillator van de blaasinstrumenten.

Sinds het begin van de twintigste eeuw is een specifieke indeling van muziekinstrumenten in gebruik die in beginsel uitgaat deels van het materiaal, deels van de dimensionaliteit van de oscillator. Voor blaas-

instrumenten wordt uitgegaan van de secundaire oscillator. De bedoelde indeling is het werk van de etnomusicoloog Erich M. von Hornbostel (1877-1935) en de musicoloog Curt Sachs (1881-1959), beiden werkzaam in Berlijn (Sachs later in de Verenigde Staten). Zij bouwden voort op vroeger werk van Victor-Charles Mahillon (1841-1924), de beheerder van de instrumentencollectie van het Brusselse conservatorium. Hun indeling wordt de Hornbostel/Sachs-classificatie genoemd en is sinds de publicatie ervan in 1914 maatgevend voor de indeling en benoeming van muziekinstrumenten. De hoofdingeling is als volgt:

---

| Hoofdgroep       | Oscillator<br>Materiaal | Dimensie            | Spanning            |
|------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|
| 1. Idiofonen     | Vast                    | Eén tot drie        | Niet onder spanning |
| 2. Membranofonen | Vast                    | Twee                | Onder spanning      |
| 3. Chordofonen   | Vast                    | Eén                 | Onder spanning      |
| 4. Aërofonen     | Lucht                   | Eén (drie)          | Onder druk          |
| 5. Elektrofonen  | Niet van toepassing     | Niet van toepassing | Niet van toepassing |

---

De vijfde hoofdgroep (Elektrofonen) is een latere toevoeging.

Een essentieel aspect van de Hornbostel/Sachs-classificatie is de numerieke codering die eruit voortvloeit. De categorie idiofonen (hoofdcategorie 1) bijvoorbeeld wordt onderverdeeld in subcategorieën met de nummers 11, 12, 13, enzovoorts, de categorie membranofonen in subcategorieën met nummers 21, 22, 23, enzovoorts. De subcategorie 11 wordt onderverdeeld in 111, 112, 113, enzovoorts. De verdeling kan eindeloos worden verfijnd. In principe stopt de verdeling als een individueel instrumententype is bereikt (viool, dwarsfluit, accordeon), maar men kan deze instrumententypen natuurlijk weer onderverdelen in subtypen. (Het systeem van de nummering noemt men decimale classificatie of Dewey-classificatie, naar de Amerikaanse bibliothecaris Melvil Dewey (1851-1931), die het ontwikkelde had voor de classificatie en plaatsing van boeken in een bibliotheek.)

Bij de idiofonen, membranofonen en aërofonen wordt in de Hornbostel/Sachs-classificatie op een bepaald niveau steeds een onderverdeling gemaakt in enkelvoudige instrumenten en meervoudige instrumenten. Een panfluit wordt dan gezien als een meervoudig fluitinstrument of een *set* van fluiten, een xylofoon als een meervoudige idiofoon, een set van slaghoutjes. Bij de chordofonen wordt deze werkwijze niet toegepast, al is daar evenzeer sprake van een aantal toonbronnen die naar keuze afzonderlijk of in combinatie kunnen worden gebruikt. Verschil met de eerder genoemde voorbeelden van sets van instrumenten is wel dat de verschillende snaren van een snaarinstrument allemaal van hetzelfde resonatorblad gebruik maken, waardoor het instrument een eenheid wordt en de afzonderlijke toonbronnen in fysisch opzicht niet volledig van elkaar kunnen worden gescheiden.

De indeling van de hoofdgroepen verloopt niet steeds via dezelfde wegen. Idealiter zoekt men voor de indeling naar een aspect dat op dat moment de grootste differentiërende waarde heeft. Laten wij zien wat dit voor de verschillende groepen betekent.

De idiofonen worden in eerste instantie als volgt verdeeld:

- 11 Geslagen idiofonen
- 12 Getokkelde idiofonen of lamellofonen
- 13 Gewreven idiofonen
- 14 Geblazen idiofonen

De membranofonen als volgt:

- 21 Geslagen membranofonen (trommels)
- 22 Getokkelde membranofonen
- 23 Gewreven membranofonen
- 24 Geblazen membranofonen

In beide categorieën is de verdeling dus via het excitatiemechanisme, wat zou moeten inhouden dat dit onlosmakelijk met een bepaald type instrument is verbonden.

De chordofonen worden als volgt verdeeld:

- 31 Eendelige chordofonen of citerinstrumenten.
- 32 Samengestelde chordofonen (luitinstrumenten en harpinstrumenten)

Hier is de indeling volgens een bouwprincipe: als de resonator tevens aan beide zijden snaarhouder is, dan is de chordofoon eendelig ofwel een citerinstrument. Onder de citerinstrumenten vallen ook piano en klavecimbel. Als er aan één zijde een aparte snaarhouder is, is de chordofoon samengesteld. Gitaar, viool en harp zijn voorbeelden van samengestelde chordofonen. De samengestelde chordofonen worden opnieuw naar een bouwprincipe ingedeeld:

- 321 Luitinstrumenten, met snaren in een vlak dat evenwijdig aan het vlak van de klankkast is.
- 322 Harpinstrumenten, met snaren in een vlak dat loodrecht op de klankkast staat

Onder luitinstrumenten worden hier alle getokkelde en gestreken instrumenten verstaan die gebouwd zijn volgens het basisprincipe van klankkast, snaren en hals, waarbij het snarenvlak evenwijdig aan het resonantieblad van de klankkast is. Dit geldt voor violen, gamba's, gitaren, luiten, enzovoorts. Voor de harpinstrumenten is uiteraard de harp een bruikbaar model.

De aërofonen worden verdeeld in vrije en gekoppelde aërofonen. De vrije aërofonen zijn in onze bewoordingen blaasinstrumenten met een enkele oscillator, zonder ondersteunende luchtkolom. Ze worden verdeeld in werveltoonaërofonen (waaronder de zweep) en onderbrekingsaërofonen, welke laatste weer verdeeld worden in vrije rieten (waaronder de *zangstem*) en andere vrije aërofonen met een ander onderbrekingsmechanisme (waaronder de *sirene*):

- 41 Vrije aërofonen
  - 411 Vrije werveltoonaërofonen
  - 412 Vrije onderbrekingsaërofonen
    - 412.1 Idiofone onderbrekingsaërofonen , waaronder de zangstem
    - 412.2 Niet-idiofone onderbrekingsaërofonen

De gekoppelde aërofonen komen overeen met wat wij normaliter blaasinstrumenten noemen. Ze bestaan uit een primaire oscillator (op zichzelf een vrije aërofoon: werveltoonmechanisme, rietmechanisme of lipmechanisme) en een secundaire oscillator (de buis van het blaasinstrument). Ze worden verdeeld naar aanleiding van het karakter van de primaire oscillator die de trilling van de lucht in de buis van het instrument in gang zet. Aldus ontstaat de volgende indeling:

- 42 Gekoppelde aërofonen of blaasinstrumenten
  - 421 Werveltooninstrumenten of fluitinstrumenten
  - 422 Rietinstrumenten
  - 423 Instrumenten met lipvibratie of trompetinstrumenten

De belangrijkste werveltooninstrumenten zijn dwarsfluit en blokfluit, de belangrijkste rietinstrumenten hobo, fagot, klarinet en saxofoon, de belangrijkste trompetinstrumenten trompet, trombone, hoorn en tuba.

In de Hornbostel/Sachs-classificatie komen de elektrofonen nog niet voor. In de literatuur wordt dikwijls van de volgende onderverdeling uitgegaan:

- 51 Elektroakoestische instrumenten
  - 511 Idiofonen
  - 512 Chordofonen
- 52 Elektromechanische instrumenten
  - 521 Elektromagnetische instrumenten
  - 522 Elektrostatische instrumenten
- 53 Elektronische instrumenten
  - 531 Analoge elektronische instrumenten
  - 532 Digitale elektronische instrumenten

Hier zijn het dus de aard en de rol van de elektronica in het instrument die de indeling bepalen. Bij elektro-akoestische instrumenten wordt de toon eerst akoestisch opgewekt en vervolgens in het instrument in een elektrisch signaal omgezet, zoals bij de elektrische gitaar (chordofoon) en bij elektrische piano's met metalen lipjes (idiofoon). Bij elektromechanische instrumenten wordt het elektrische signaal dat de toon vormt opgewekt door bewegende delen in het instrument, zoals bij het hammondorgel. Afhankelijk van de manier waarop het signaal wordt gevormd spreekt men van elektromagnetische instrumenten (hammondorgel) of elektrostatische instrumenten (comptonorgel). Bij elektronische instrumenten wordt het elektrische signaal dat de toon vormt zonder de hulp van bewegende delen opgewekt. Gebeurt dit door middel van louter analoge componenten, zoals in de traditionele synthesizer, dan spreekt men van analoge elektronische instrumenten. Als de tonen worden gevormd met behulp van digitale technieken, zoals in de moderne synthesizer, dan spreekt men van digitale elektronische instrumenten.

De automatische muziekinstrumenten vormen geen eigen categorie. Maar ze kunnen wel op zichzelf worden onderverdeeld in idiofonen, membranofonen, aërofonen, elektrofonen of combinaties daarvan. In de Hornbostel/Sachs-indeling zijn ze ondergebracht in de categorie waar ze op grond van de toonopwekking en verdere kenmerken bij zouden horen. Ze worden onderscheiden door de toevoeging van een suffix.

#### LITERATUUR

Victor-Charles Mahillon, *Catalogue descriptif et analytique du Musée instrumental du Conservatoire royal de Musique de Bruxelles* (Gent-Brussel, 1880–1922, R 1978).

E.M. von Hornbostel & C. Sachs, 'Systematik der Musikinstrumente: Ein Versuch,' *Zeitschrift für Ethnologie* 44 (1914), pp. 553-590. Engelse vertaling in *Galpin Society Journal* 14 (1961), pp. 3-29, ook in H. Myers (ed.), *Ethnomusicology: An Introduction* (Londen, 1992), pp. 444-461.

De Franse termen zijn te vinden in: [www.crlm.paris4.sorbonne.fr/organologie/annexe\\_3.pdf](http://www.crlm.paris4.sorbonne.fr/organologie/annexe_3.pdf), de Italiaanse in Febo Guizzi, *Gli strumenti della musica popolare in Italia*, Lucca, LIM, 2002.

---



## NATUURKUNDIG INTERMEZZO 1: GROOTHEDEN EN EENHEDEN

In de akoestiek wordt veel gemeten en daarom moeten de grootheden die bemeten worden en de eenheden waarmee wordt gemeten goed en eenduidig bekend zijn. Sommige grootheden, bijvoorbeeld lengte, tijd en massa zijn basisgrootheden; deze kunnen niet worden uitgedrukt door een combinatie van andere grootheden. Maar er zijn ook grootheden die gedefinieerd zijn vanuit de combinatie van andere, de zogenaamde afgeleide grootheden. Hier zullen de grootheden worden genoemd die deel uitmaken van de klassieke mechanica en die van toepassing zijn op de akoestische werking van muziekinstrumenten. Grootheden die te maken hebben met elektriciteit en elektronica zullen worden opgesomd in het NATUURKUNDIG INTERMEZZO 2, dat voorafgaat aan het hoofdstuk over de elektrofonen (HOOFDSTUK ELF). De basisgrootheden van de klassieke mechanica zijn, met hun eenheden:

- *Afstand of lengte* (symbool  $l$ ), te meten in meters (m);
- *Tijd* (symbool  $t$ ), te meten in seconden (s); en
- *Massa* (symbool  $m$ ), te meten in kilogrammen (kg).

Wanneer deze eenheden worden weergegeven in meters, secondes en kilogrammen, zoals aangegeven, dan spreekt men van SI-eenheden, waarbij de afkorting SI staat voor “Système International”. Minder gebruikelijk zijn formuleringen in termen van het cgs-systeem, waarbij de afkorting cgs staat voor centimeter (cm), gram (g) en seconde (s). Voorbeelden van afgeleide grootheden zijn:

- *Hoek* in radialen (rad) = lengte van het cirkelsegment dat door de hoek wordt afgesneden wanneer de straal de lengte “1” (één) heeft. In het dagelijks gebruik worden hoeken in graden (symbool  $^{\circ}$ ) gemeten, waarbij  $180^{\circ}$  een gestrekte hoek of ‘halve slag’ is,  $360^{\circ}$  een gehele slag.  $1 \text{ rad} = 180/\pi^{\circ}$ .
- *Oppervlakte* (symbool  $A$ , van *area*) = lengte maal lengte uitgedrukt in  $\text{m} \times \text{m} = \text{m}^2$ ;
- *Inhoud* (symbool  $V$ , van *volume*) = lengte maal lengte maal lengte, uitgedrukt in  $\text{m} \times \text{m} \times \text{m} = \text{m}^3$ ;
- *Frequentie* (symbool  $f$ , van *frequency*) = aantal per tijdseenheid, uitgedrukt in hertz (Hz = /s);<sup>1</sup>
- *Snelheid* (symbool  $v$ , van *velocity*) = afgelegde weg per tijdseenheid, uitgedrukt in afstand/tijd = m/s;
- *Versnelling* (symbool  $a$ , van *acceleration*) = verandering in snelheid per tijdseenheid, uitgedrukt in [snelheid min snelheid]/tijd =  $\text{m}/\text{s}^2$ ;
- *Kracht* (symbool  $F$ , van *force*) = massa maal versnelling, uitgedrukt in newton ( $\text{N} = \text{kgm}/\text{s}^2$ );<sup>2</sup>
- *Druk* (symbool  $p$ , van *pressure*) = kracht per oppervlakte, uitgedrukt in pascal ( $\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$ );<sup>3</sup>
- *Energie* (symbool  $E$ , van *energy*) en *arbeid* (symbool  $W$ , van *work*) = kracht maal weglengte, beide uitgedrukt in joule ( $\text{J} = \text{Nm}$ );<sup>4</sup> en
- *Vermogen* (symbool  $P$ , van *power*) = energie per tijdseenheid, uitgedrukt in watt ( $\text{W} = \text{J}/\text{s}$ ).<sup>5</sup>

---

<sup>1</sup> Naar de Duitse natuurkundige Heinrich Hertz (1857-1897).

<sup>2</sup> Naar de Engelse natuurkundige Isaac Newton (1643-1727).

<sup>3</sup> Naar de Franse wis- en natuurkundige Blaise Pascal (1623-1662).

<sup>4</sup> Naar de Engelse natuurkundige James Prescott Joule (1818-1889).

<sup>5</sup> Naar de Schotse ingenieur en uitvinder James Watt (1736-1819).

## WISKUNDIG INTERMEZZO

### GETALLEN

Grootheden worden in getallen uitgedrukt, die verschillende vormen kunnen aannemen. *Gehele getallen* omvatten de *positieve getallen* (1, 2, enz.), de *negatieve getallen* (-1, -2, enz.) en *nul* (0). *Gebroken getallen* kunnen worden weergegeven als *gewone breuken* ( $\frac{2}{5}$ ,  $\frac{4}{9}$ , enzovoorts), of als *tiendelige breuken* (0,4; 0,6666). *Rationele getallen* kunnen weergegeven worden als quotiënt (breuk) van twee gehele getallen. De gehele getallen behoren er ook toe. Als de weergave tiendelig is, heeft het getal een beperkt aantal cijfers (0,4) of een onbeperkt aantal, maar dan met steeds weerkerend patroon ( $2/3 = 0,666666^*$ ,  $1/7 = 0,142857142857^*$ ). (Het sterretje geeft aan dat de voorgaande reeks oneindig vaak herhaald kan worden.) *Irrationele getallen* kunnen niet worden weergegeven als een breuk van gehele getallen. Als ze tiendelig worden weergegeven, zijn er geen weerkerende patronen. Het toevoegen van cijfers achter de komma levert steeds verdere verfijning op. Bekende voorbeelden zijn het getal  $\pi$  ( $\pi = 3,141.592.654$ ) en de waarden van sinus- en cosinusformules en van logaritmen ( $\log 2 = 0,301.029.996$ ).

### MACHTSVERHEFFEN EN WORTEL TREKKEN

Machtsverheffen en worteltrekken zijn bewerkingen die op één getal of symbool kunnen worden toegepast.

De exponent van een *machtsverheffing* staat doorgaans als superscript rechts van het getal of symbool waarop deze betrekking heeft. Machtsverheffen betekent dat men het getal een aantal malen (namelijk dat de macht aangeeft) met zichzelf vermenigvuldigt:

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$$

Machtsverheffen kan niet alleen met gehele getallen ( $2^2$ ,  $2^3$ , enz.), maar ook met gebroken getallen ( $2^{5/2}$ ,  $2^{1,6666}$ ) of irrationele getallen ( $2^\pi$ ). In het geval van machtsverheffen met een niet-gehele exponent is de uitkomst doorgaans niet met de hand te berekenen, maar is de hulp van een rekenmachine nodig.

Machtsverheffen met een negatief getal betekent 1 gedeeld door het getal met dezelfde macht, maar positief:

$$a^{-2} = \frac{1}{a^2}$$

Wanneer men twee machten van hetzelfde getal of hetzelfde symbool met elkaar vermenigvuldigt, kan men de exponenten bij elkaar optellen en het getal of symbool met die macht verheffen:

$$a^p a^q = a^{p+q}.$$

*Worteltrekking* betekent dat men op zoek gaat naar het getal dat bij machtsverheffing met dezelfde exponent het oorspronkelijke getal oplevert:

$$\sqrt[b]{a} = x \text{ wanneer } x^b = a.$$

Het meest gebruikelijke zijn de tweedemachtswortel of vierkantswortel (bijvoorbeeld  $\sqrt[2]{25} = 5$ ) en de derdemachtswortel (bijvoorbeeld  $\sqrt[3]{27} = 3$ ). Bij een tweedemachtswortel wordt de exponent vaak weggelaten. Een wortel is maar bij uitzondering een geheel of zelfs een rationeel getal. Doorgaans is een wortel een irrationeel getal. Als voorbeeld de wortel van 2:

$$\sqrt[2]{2} = 1,414214$$

Worteltrekking kan ook worden genoteerd als machtsverheffen met een exponent die gelijk is aan 1 gedeeld door de exponent van de worteltrekking:

$$\sqrt[b]{a} = a^{1/b}$$

Zo geldt bijvoorbeeld  $\sqrt{2} = 2^{0,5}$  en  $\sqrt[3]{2} = 2^{1/3}$ . Worteltrekking en machtsverheffing zijn dus nauw verwante operaties.

#### FORMULES

*Formules* worden gebruikt om de relaties tussen verschillende grootheden weer te geven. Men vindt erin getallen (van alle soorten), symbolen die getallen aangeven (zoals  $\pi$  en  $e$ ), symbolen die in de formule een constante waarde representeren (de zogenaamde constanten) en symbolen die een variabele grootheid weergeven. Daarnaast vindt men er operatoren die bewerkingen met de getallen representeren, zoals die van optelling (+), aftrekking (-), vermenigvuldiging ( $\times$  of ontbrekend) en deling (/). Ook zijn er meer ingewikkelde operatoren zoals sinus, cosinus of logaritme die op grond van de waarde van getallen die eraan zijn toegevoegd (het argument) een bepaalde waarde in de formule representeren.

#### FUNCTIES

Een *functie* is een grootheid waarvan de waarde volgens een bepaald voorschrift varieert naar aanleiding van de grootte van één of meer variabelen die in dat voorschrift zijn opgenomen. In wiskundige notatie plaatst men de variabele tussen haakjes na het functiesymbool, bijvoorbeeld:

$$p(t) = \sin 2\pi ft.$$

waarin  $p$  de functie is, die in waarde varieert naar aanleiding van verschillende waarden van  $t$  (de tijd na een bepaald begintijdstip, waarvoor geldt  $t=0$ ).  $\pi$  (pi als quotiënt van omtrek en straal van een cirkel) en  $f$  (de zogenaamde frequentie) zijn constanten in deze formule, dat wil zeggen dat ze een vaste waarde hebben en daardoor binnen de formule als een constante fungeren. ( $\pi$  is natuurlijk altijd een constante.) ‘Sin’ staat voor sinus en geeft volgens een bepaalde procedure steeds een waarde (minimaal  $-1$ , maximaal  $+1$ ) op grond van de grootte van  $2\pi ft$ .

#### AFGELEIDE

De *afgeleide* van een functie is een functie die weergeeft hoeveel de oorspronkelijke functie verandert per schaaleenheid. Als een functie bijvoorbeeld in waarde 2 toeneemt per elke schaaleenheid, is de waarde van de afgeleide functie steeds 2. Dat betekent dat lineaire functies (die kunnen worden afgebeeld met een rechte

lijn) een afgeleide hebben van een bepaalde, constante waarde. Kromlijnige functies hebben een afgeleide die in waarde varieert. Voor stijgende gedeelten is de afgeleide positief, voor dalende gedeelten negatief. Wanneer een functie van stijgend naar dalend overgaat of andersom, is de afgeleide nul. De berekening van de afgeleide geschiedt via bepaalde methodes die doorgaans tot een nieuwe formule leiden.

### LOGARITMEN

De *logaritme* van een getal is de macht waarmee men het *grondtal* van de logaritme moet verheffen om het bedoelde getal te verkrijgen. Als het bedoelde getal 100 is en het grondtal is 10, dan is de logaritme van 100 gelijk aan 2, ofwel  $\log 100 = 2$ , omdat geldt  $10^2 = 100$ . Ofwel:

$$\text{grondtal}^{\text{logaritme}} = \text{getal}.$$

Het voorbeeld is natuurlijk zo gekozen dat de logaritme een geheel getal is, maar wanneer een getal geen gehele macht is van het grondtal, dan is de logaritme een niet-geheel getal, meestal zelfs een irrationeel getal.

De logaritme van het getal 1 is altijd 0 (nul), omdat steeds geldt:  $x^0 = 1$ . De logaritmen van getallen kleiner dan 1 zijn negatief, waarbij geldt:

$$\log x = -\left(\log \frac{1}{x}\right) \text{ ofwel: } -\log x = \left(\log \frac{1}{x}\right).$$

‘Gewone’ logaritmen zijn *decimale logaritmen* en hebben het grondtal 10, zodat geldt  $\log 10 = 1$ ,  $\log 100 = 2$ ,  $\log 1000 = 3$ , enzovoorts (en  $\log 0,1 = -1$ ,  $\log 0,01 = -2$ , enzovoorts). In een aantal toepassingen is een grondtal 2 handig (men spreekt dan van *binair logaritmen*), in weer andere het grondtal  $e = 2,71828\dots$ , het grondtal van de zogenaamde *natuurlijke logaritmen*, afgekort als  $\ln$ .

Logaritmen hebben enkele bijzondere eigenschappen. De logaritme van een product is gelijk aan de som van de logaritmen van de afzonderlijke factoren:

$$\log ab = \log a + \log b.$$

De logaritme van een quotiënt is gelijk aan het verschil van de logaritmen van de afzonderlijke factoren:

$$\log \frac{a}{b} = \log a - \log b.$$

De logaritme van een macht is de logaritme van het oorspronkelijke getal maal de macht:

$$\log a^b = b \log a.$$

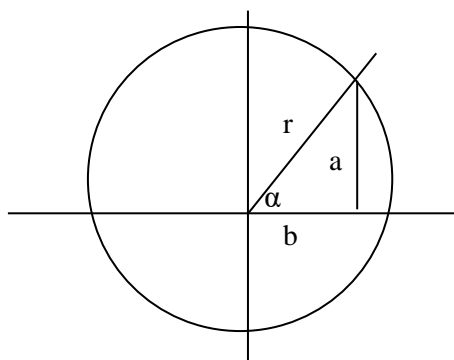
De logaritme van een wortel is de logaritme van het oorspronkelijke getal gedeeld door de wortel:

$$\log a^{1/b} = \frac{\log a}{b}.$$

Wanneer getallen getransformeerd worden naar logaritmen, ontstaat een schaal die gelijke delen heeft voor elk veelvoud in de oorspronkelijke schaal. Als bijvoorbeeld de reeks van gehele getallen logaritmisch wordt getransformeerd, ontstaat een nieuwe schaal waarin de afstand van 10 naar 100 (tienmaal) even groot is als die van 100 naar 1000 (tienmaal), enzovoorts. Immers:  $\log 10 = 1$ ;  $\log 100 = 2$ ;  $\log 1000 = 3$ . Deze gelijkmatigheid geldt ook voor alle andere veelvoudigen. In een logaritmische schaal van gehele getallen is de afstand van 5 naar 25 (vijf maal), dezelfde als van 100 naar 500 (vijfmaal). Dit is een gevolg van de eigenschap dat als we de logaritme van  $x$  en van  $5x$  met elkaar vergelijken,  $\log 5x$  altijd  $\log 5$  (een vast getal) groter is dan die van  $\log x$ .

### SINUS EN COSINUS

*Sinus* en *cosinus* zijn twee functies waarvan de waarde bepaald wordt door het quotiënt van twee lijnstukken die ontstaan wanneer we vanuit het middelpunt van een cirkel een hoek tekenen waarvan de benen die cirkel snijden. We kunnen deze situatie als volgt tekenen:



De grootte van de hoek noemen we  $\alpha$  en wordt gemeten in graden of radialen. Bij graden gaan er 360 in de complete omwenteling, 90 in een rechte hoek. Bij radialen gaan er  $2\pi$  in een complete omwenteling en  $\pi/2$  in een rechte hoek. (Een hoek in radialen wordt dus gemeten naar de lengte van de omtrek van de cirkel binnen de hoek wanneer de straal één eenheid is.) In de akoestiek wordt de grootte van hoeken meestal in radialen uitgedrukt.

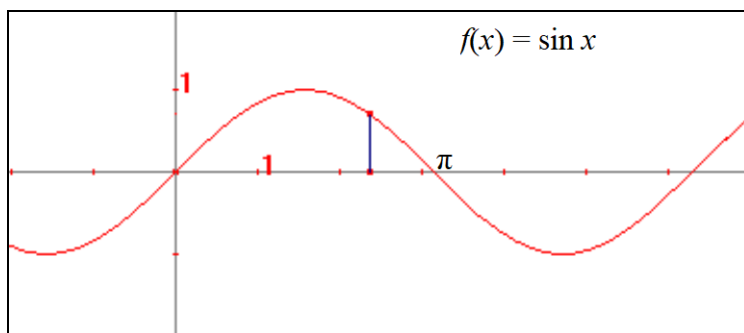
In een rechthoekige driehoek is de sinus het quotiënt van de overstaande rechthoekige zijde en de schuine zijde; de cosinus is het quotiënt van de aanliggende rechthoekszijde en de schuine zijde. In de gegeven figuur zijn de sinus en cosinus van  $\alpha$  daarom gelijk aan achtereenvolgens:

$$\sin \alpha = \frac{a}{r}$$

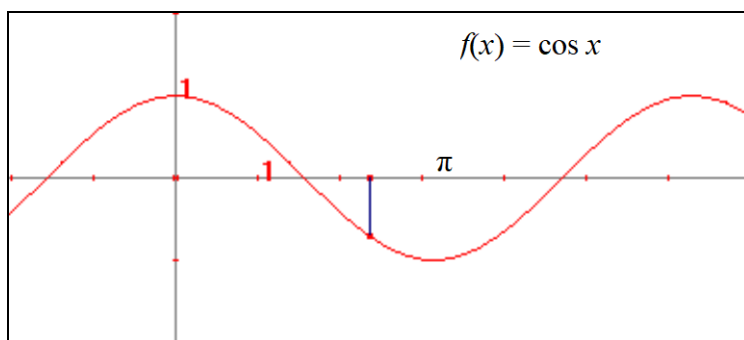
$$\cos \alpha = \frac{b}{r}$$

Sommige waarden van de sinus- en cosinusfunctie laten zich gemakkelijk weergeven en onthouden:

$\sin 0 = \sin \pi = 0$ ;  $\sin \frac{\pi}{2} = 1$ ;  $\sin \frac{3}{2}\pi = -1$ . In een grafiek:



$\cos 0 = 1$ ;  $\cos \pi = -1$ ;  $\cos \frac{\pi}{2} = \cos \frac{3}{2}\pi = 0$ . In een grafiek:



### SOMMATIE

Wanneer een som wordt geformeerd uit een groot aantal termen die volgens een bepaalde formule worden vastgesteld, dan kiest men er vaak voor om niet de afzonderlijke termen te noteren, maar de formule, voorafgegaan door het sommatiesymbool  $\Sigma$  (hoofdletter sigma; sigma is de Griekse letter s). De afzonderlijke termen worden dan gegenereerd door de opeenvolgende waarden van de *index*  $i$  van de *sommatie* in de formule toe te passen. Bijvoorbeeld:

$$\sum_i a_i = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_i + \dots$$

Een eindeloos doorlopende som heeft uiteraard alleen maar zin als deze naar een bepaalde limietwaarde toeloopt, bijvoorbeeld doordat de hogere termen steeds kleiner worden. De sommatie kan ook plaatsvinden over een bepaald bereik van de index  $i$ :

$$\sum_{i=2}^{i=5} a_i = a_2 + a_3 + a_4 + a_5.$$

### ROOT-MEAN-SQUARE

De *Root-Mean-Square* (of afgekort: RMS) is een begrip uit de statistiek. Als men de variabiliteit van een grootheid met een gemiddelde 0 (nul) wil weergeven, staan verschillende opties ter beschikking. Allereerst kan

men de gemiddelde grootte van de afwijking, positief of negatief nemen. Daartoe moet men wel van alle negatieve waarden de *absolute waarde* nemen:

$$\text{gemiddelde afwijking} = \sum |a_i|/n.$$

(De absolute waarde van een getal is de getalswaarde zonder een plus- of min-teken en wordt aangegeven door verticale strepen vóór en na het getal.)

Maar formules met absolute waarden laten zich vaak moeilijk met andere formules combineren, omdat er een voorwaarde in zit, in de vorm van  $a = x$  als  $x > 0$  en  $a = -x$  als  $x < 0$ , waarbij  $x$  de waarden zijn die men waarneemt en  $a$  de waarden waarmee men verder rekt. Om deze conditie te elimineren is het gebruikelijk om met de kwadraten van de waargenomen waarden te rekenen: deze zijn immers altijd positief. (Het kwadraat van een negatief getal is namelijk positief:  $4 \times 4 = 16 = (-4) \times (-4)$ .) Deze kwadraten worden gesommeerd en gemiddeld. Om op de oorspronkelijke dimensie van de grootte te komen moet men de wortel van het gemiddelde nemen. De Root-Mean-Square of RSM is dus de wortel van het gemiddelde van de kwadraten, zoals de uitdrukking al aangeeft:

$$\text{RMS}(x) = \sqrt{\sum x_i^2}$$

De RMS is op deze wijze een maat voor de variatie van de variabele grootte  $x$ , die in de statistiek bekend staat als de standaarddeviatie.

#### VERMENIGVULDIGINGSGETALLEN

Indien zeer grote of zeer kleine getallen moeten worden gebruikt om de grootte van een gemeten hoeveelheid weer te geven, wordt gebruik gemaakt van eenheden die steeds 1000 maal zo groot of klein zijn dan de enkele eenheid. Ze worden weergegeven door voorvoegsel zoals k- (kilo-;  $1000 \times$ ), M- (mega-;  $1.000.000 \times$ ), G- (giga-;  $1.000.000.000 \times$ ), T- (tera-;  $1.000.000.000.000 \times$ ), enzovoorts, en m- (milli-;  $/1000$ ),  $\mu$ - (micro-;  $/1.000.000$ ), n (nano-;  $/1.000.000.000$ ). Bekende decimale voorvoegsels die buiten het systeem van de duizendtallen vallen zijn c- (centi-;  $/100$ , zoals in cm) en d- (deci-;  $/10$ , zoals in dm).

---