Middentoonstemmingen

In de loop van de 19de eeuw werd de **evenredig zevende stemming**[1] ook wel **gelijkzwevende stemming** genaamd, steeds belangrijker ten opzichte van de oudere stemmingen. Vandaagde dag staan vrijwel alle instrumenten in deze stemming. Het is welhaast een vanzelfsprekendheid geworden.

Vanzelfsprekendheid 1: speel en beluister diverse kwintsamenklanken op piano of orgel. Bij aangehouden klanken hoor je een zweving. Doe dezelfde proefjes in verschillende liggingen en je zal merken dat het tempo van die zwevingen verschilt naar gelang je die samenklanken hoger of lager speelt. Aan deze evenredige tempoverschillen dankt de stemming dan ook z'n naam.

Vanzelfsprekendheid 2: speel de kwintencirkel rond. Begin bij de laagste C op je klavier en ga vervolgens steeds een kwint omhoog:

C	G	D	A	E	B	F#	C#	G#	D#	A#	F	C
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Je vindt het volstrekt vanzelfsprekend dat je terug eindigt op een C die exact 7 octaven hoger ligt. Nochtans vanuit de historie is dit 12-toonsstelsel opgebouwd uit **reine** kwinten. De kwinten die je zojuist speelde worden doorgaans wel rein genoemd maar zijn het akoestisch welbeschouwd allerminst. Dat worden ze pas als je ze zó zou verstemmen dat de zwevingen geheel zijn verdwenen en je een samenklank hoort die volledig in rust is.

De Pythagoreïsche stemming

In de middeleeuwen was het toonsysteem opgebouwd uit reine kwinten algemeen gebruikelijk voor toetsinstrumenten. Deze stemming wordt ook wel de Pythagoreïsche stemming genoemd vernoemd naar Pythagoras, die aan de basis van dit toonstelsel stond. Zouden we nu volgens deze methode alle kwinten opeenvolgend rein stemmen, dus zonder zwevingen, dan komen we per slot niet op een C maar op een quasi C uit die aanzienlijk hoger is! Dit kleine interval tussen de reine C (7 octaven gestapeld: $2^7=128$) en quasi C ,$(2/3)^{12}=129.7463379$. Naar cent[2] omgerekend resulteert dit in 8423,460011, afgerond op 24 cent[3]. (12 evenredigzwevende kwinten van 700 cent gestapeld levert 8400 cent. Echter 12 gestapelde reine kwinten van 702 cent geeft 8424 cent.)

In het **evenredig zwevende toonsysteem** smeren we dit kleine interval, het Pythagoreïsch komma, gelijkelijk uit over alle 12 intervallen van de kwintencirkel. Daardoor komen we als we de reeks op C beginnen na een stapeling van 12 kwinten terug uit weer op een C die precies 7 octaven hoger ligt. We hebben nu alle tonen van de evenredigzwevende stemming bekomen zij het dat die verspreid liggen over 7 octaven. Via octaveren brengen we deze 12-tonenreeks dan binnen een octaaf. Deze evenredigzwevende stemming berust dus op 1/12-verdeling van het Pythagoreïsche komma.

De 1/4' middentoonstemming

Een gekende historische stemming is de 1/4' middentoonstemming, die ook wel gewoon middentoontemming zonder meer wordt genoemd. In deze stemming is het uitgangspunt de reine grote terts. Na stapeling van vier reine kwinten op C: G D A E, verkrijgen we de Pythagoreïsche grote terts E, twee octaven hoger dan de uitgangstoon C (vier reine kwintintervallen gestapeld resulteert in $(3/2)^4=5.0625$). De **reine** grote terts E, twee octaven hoger, heeft evenwel als verhouding 5. Het interval tussen beide grote tertsen vinden we door deling 5.0625/5=1.0125, wat omgerekend[3] overeenkomt met 21.5 cent. Dit kleine interval, de discrepantie tussen de middentoons grote terts en reine grote terts, wordt het syntonisch of het komma van Didymus genoemd naar z'n ontdekker. Het kleine, nauwelijks waarneembare, interval tussen het Pythagoreïsche komma en het syntonische komma wordt schisma genoemd en bedraagt 1.9537 cent.

De verdeling van het syntonisch komma

In de 1/4' middentoonstemming wordt het syntonische komma van 21.5 cent uitgesmeerd over de kwintenstapeling. De vierde kwint in de stapel is zoals we zagen de te hoge Pythagoreïsche grote terts E. Als we nu elk kwintinterval met 1/4 komma verkleinen hebben we de te hoge Pythagoreïsche E gewijzigd in een reine E. 1/4 komma komt overeen met 5.375 (21.5 : 4) cent . Elk getemperd kwintinterval bedraagt nu 702-5.375=696.625 cent, afgerond op 697 cent. Een stapel van 11 van deze kwinten geeft 11 maal 697 is gelijk aan 7667 cent. Als laatste blijft zodoende een interval over van 8400-7667=733 cent! Dat is dus een ruim te grote kwint, een schreeuwend 'vals' interval en daarom wel de **wolfskwint** genoemd.

Kenmerken van de 1/4' middentoonstemming

Kenmerk zijn de reine grote tertsen en reine kleine sexten. Dit gaat echter wel ten koste van de niet meer reine - iets te kleine - kwinten, die dientengevolge een zweving laten horen, Dat deze temperatuur in de geschiedenis populair werd is niet verwonderlijk. Toen op het einde van de 15de eeuw de grote tertssamenklank in toenemende mate als consonant werd ervaren, was het dan ook de tot dan toe gebruikelijke Pythagoreïsche stemming, met onzuivere grote tertsen, die verdween ten gunste van de 1/4' middentoonstemming. De naam middentoon dankt deze temperatuur aan het gegeven dat de grote secundes precies in het midden liggen van de grote terts. De mooie rustige grote tertsen en kleine tertsen hebben het al genoemde nadeel, de wolfskwint. Deze wordt traditioneel niet aan het einde van de cyclus gelegd, maar op G#-D#. Naast de wolfskwint ontstaan nog extra wolfsamenklanken. Vanwege de wolfskwint en de andere 'wolven' zijn niet alle toonaarden bruikbaar. De wel bruikbare: Bes, F, C, G, D en A; melodisch: g, d, a, e, b en fis; harmonisch: g, d en a. Zoals bovenstaand al aangegeven is de 1/4' verdeling gebaseerd op grote tertsen en kleine sexten met respectievelijk frequentieverhoudingen, 5/4 en 8/5.

1/4' middentoon in Cents

Toetsen	C	C#	D	D#	**E**	F	F#	G	G#	A	A#	B	C
Cents	0	76	193.2	310.3	**386.3**	503.4	579.5	696.6	772.6	889.7	1006.8	1082.9	(1200)
Afw. 12-EDO	0	-24	-6.8	10.3	-13.7	3.4	-20.5	-3.4	-27.4	-10.3	6.8	-17.1	(0)

Intervallenprofiel 1/4' middentoon

M3	Cents	m3	Cents	P5	Cents
C-E	386	C-D#	310	C-G	697
C#-F	427	C#-E	310	C#-G#	697
D-F#	386	D-F	310	D-A	697
D3-G	386	D#-F#	269	D#-A#	697
E-G#	386	E-G	310	E-B	697
F-A	386	F-G#	269	F-C	697
F#-A#	427	F#-A	310	F#-C#	697
G-B	386	G-B	310	G-D	697
G#-C	427	G#-B	310	G#-D#	738
A-C#	386	A-C	310	A-E	697
A#-D	386	A#-D#	269	A#-F	697
B-D#	427	B-D	310	B-F#	697

M3: grote tertsen; m3: kleine tertsen; P5: kwinten
Rood: wofsintevallen

Andere verdelingen van het syntonisch komma

Ook op basis van het syntonisch komma zijn er doorheen de geschiedenis een groot aantal varianten ontstaan. Enerzijds door het verplaatsen van de wolfskwint en ook door de 'valsheid' van de 'wolf' te verdelen over bijvoorbeeld meerdere (al dan niet aaneengesloten) kwintintervallen. Anderzijds door een toenemend kleiner deel van het komma als verdeling toe te passen bijvoorbeeld: 1/3', 1/5' en 1/6' middentoon. 1/11' verdeling van het syntonische komma resulteert in een theoretisch nagenoeg perfecte benadering van 1/12 verdeling van het Pythagoreïschsche komma; praktisch is dit verschil verwaarloosbaar.

De 1/5' middentoonstemming

Uitgangspunt is de vijfde kwint in de stapeling, B. De 1/5' verdeling kenmerkt zich door reine grote septiemen en kleine secundes met respectievelijke frequentieverhoudingen 16/9 en 9/8.

1/5' middentoon in Cents

Toetsen	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	**B**	C
Cents	**0**	83.6	195.3	307	390.6	502.3	585.9	697.7	781.2	893	1004.7	**1088.3**	(1200)
Afw. 12-EDO	0,	-16.4	-4.7	7	-9.4	2.3	-14.1	-2.3	-18.8	-7	4.7	-11.7	(0)

Intervallenprofiel 1/5' middentoon

M3	Centa	m3	Cents	P5	Cents
C-E	391	C-D#	307	C-G	698
C#-F	419	C#-E	307	C#-G#	698
D-F#	391	D-F	307	D-A	698
D#-G	391	D#-F#	279	D#-A#	698
E-G#	391	E-G	307	E-B	698
F-A	391	F-G#	279	F-C	698
F#-A#	419	F#-A	307	F#-C#	698
G-B	391	G-B	307	G-D	698
G#-C	419	G#-B	307	G#-D#	726
A-C#	391	A-C	307	A-E	698
A#-D	391	A#-D#	279	A#-F	698
B-Eb	419	B-D	307	B-F#	698

De 1/6' middentoonstemming

Heeft als basis de tritonus, de zesde kwint in de stapel, F# met als frequentieverhouding 45/32.

1/6' middentoon in Cents

Toetsen	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B	C
Cents	0	88.6	196.7	304.9	393.5	501.6	**590.2**	698.4	787	895.1	1003.3	1091.9	(1200)
Afw. 12-EDO	0,	-11.4	-3.3	4.9	-6.5	1.6	-9.8	-1.6	-13	-4.9	3.3	-8.1	(0)

Intervallenprofiel 1/6' middentoon

M3	Cents	m3	Cents	P5	Cents
C-E	394	C-D#	305	C-G	698
C#-F	413	C#-E	305	C#-G#	698
D-F#	394	D-F	305	D-A	698
D#-G	394	D#-F#	285	D#-A#	698
E-G#	394	E-G	305	E-B	698
F-A	394	F-G#	285	F-C	698
F#-A#	413	F#-A	305	F#-C#	698
G-B	394	G-B	305	G-D	698
G#-C	413	G#-B	305	G#-D#	718
A-C#	394	A-C	305	A-E	698
A#-D	394	A#-D#	285	A#-F	698
B-D#	413	B-D	305	B-F#	698

De 1/3' middentoonstemming

Hierbij is het uitgangspunt de derde kwint in de stapeling, A. De 1/3' verdeling kenmerkt zich door reine kleine tertsen en grote sexten met respectievelijke frequentieverhoudingen 6/5 en 5/3.

1/3' middentoon in Cents

Toetsen	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	**A**	A#	B	C
Cents	0	63.5	189.6	315.6	379.1	505.2	568.7	694.8	758.3	**884.4**	1010.4	1073.9	(1200)
Afw. 12-EDO	0,	-36.5	-10.4	15.6	-20.9	5.2	-31.3	-5.2	-41.7	-15.6	10.4	-26.1	(0)

Interval profile 1/3' meantone

M3	Cents	m3	Cents	P5	Cents
C-E	379	C-D#	316	C-G	698
C#-F	413	C#-E	316	C#-G#	698
D-F#	379	D-F	316	D-A	698
D#-G	379	D#-F#	253	D#-A#	698
E-G#	379	E-G	316	E-B	698
F-A	379	F-G#	253	F-C	698
F#-A#	413	F#-A	316	F#-C#	698
G-B	379	G-B	316	G-D	698
G#-C	413	G#-B	316	G#-D#	757
A-C#	379	A-C	316	A-E	698
A#-D	379	A#-D#	253	A#-F	698
B-D#	413	B-D	316	B-F#	698

Reine boventoonstemming en getempereerde stemming

Al deze stemmingen (voor toetsinstrumenten!) Hebben het impliciete uitgangspunt dat de betreffende geluidsgeneratoren een harmonische boventoonstructuur hebben (bijvoorbeeld klavecimbels en orgels). Dit betekent dat de frequenties van de boventonen allemaal gehele veelvouden zijn van de fundamentele toonfrequentie. De frequenties in het toonspectrum verhouden zich dus als 1 (grondtoon), 2, 3 enz. Dit veroorzaakt in combinatie met de onderlinge stemming van de klankbronnen, trillende snaren en luchtkolommen, problemen.

Bijvoorbeeld

Stel, een orgel gestemd in de evenredigzwevende stemming. Kies prestant 8' en speel het kwintinterval c'-g'. Je hoeft niet eens zo geconcentreerd te luisteren om op te merken dat die samenklank een zweving ten gevolge heeft. De oorzaak ligt in het vaste gegeven dat de boventonen van het prestantregister hele veelvoudfrequenties zijn van de grondtoon. Anders gezegd de boventonen (de inwendige stemming) staan in de **reine** stemming; ze verhouden zich in frequentie dus als: 1, 2, 3, …. Niettemin in de samenklank c'-g' staat de g-prestantpijp' ten opzichte van de c'-prestandpijp in een **evenredig zwevende** stemming. Dat heeft de volgende consequentie: de derde harmonische van de c'-prestant, g'', valt niet precies samen met de tweede harmonische van de g'-prestant, het octaaf g''. Eenvoudig vanwege het gegeven dat de evenredig zwevende kwint ten opzicht van de reine kwint een fractie te klein is. Aan die reine stemming in de boventonen valt bij trillende luchtkommen en (ideale) snaren niets te veranderen. De enige optie die er is om de **principiële discrepantie** tussen reine boventoonstemming en uitwendige stemming zo goed als kwaad te laten samenklinken is een aanpassing van die uitwendige stemming, bijvoorbeeld: 1/4' middentoon, Werckmeister, Valotti, Young, evenredigzwevend enz.

Idiofonen

Bij de idiofone instrumenten die tonen voortbrengen met een niet-harmonische of slechts deels harmonische boventoonstructuur moet het belang van welke stemming en waarom in een ander perspectief worden gezien. Zeker voor die instrumenten waarop in de stemming van de boventonen kan worden ingegrepen (klokken, metallofoons etc.) door ze in meer of mindere mate te kunnen verstemmen. Belangrijkste voorwaarde is wel dat de interne boventoonstructuur, indien mogelijk, in overeenstemming moet zijn met de uitwendige stemming zoals die op de onderscheiden klankopwekkers wordt gelegd. Een voorbeeld uit de beiaardwereld. ***Beiaardklokken*** *hebben een zeer kenmerkende kleine terts als boventoon. Speel je een c' dan krijg je er klinkend een es' bij. De gieter heeft de klok afgestemd voor een beiaard in de* *evenredigzwevende stemming. Vanwege deze gelijkzwevende stemming is de terts es1, meer precies omschreven, een evenredigzwevende kleine terts, die aldus in overeenstemming is met de stemming van de klokken ten opzichte van elkaar (in de evenredigzwevende temperatuur). Speel je het interval c'-es' dan valt de priem en slagtoon van de es'-klok precies overeen met de kleine terts van de c'-klok.Stel dat de inwendige terts van de klok - dat is de dus desbetreffende kleine terts-boventoon - is afgestemd op een reine kleine terts, dan zijn beide toonhoogtes niet gelijk: er zal een zweving ontstaan.*

Stemming en klaviersinstrumenten

Vrij intonerende muzikanten als bespelers van snaarinstrumenten en blaasinstrumenten kunnen naar wens lager of hoger intoneren en dat doen ze dan ook, intuïtief. Het hele stemmingen-vraagstuk is eigenlijk alleen het probleem van onze *klavier*instrumenten, die slechts een beperkt aantal fysieke toetsen hebben waarbij een keuze moet worden gemaakt voor een bepaalde stemming. Nogmaals, dit vloeit voort uit het gegeven dat de tonen van de aangekoppelde klankopwekkers, trillende snaren en trillende luchtkolommen, een *vaste harmonische* boventoonstructuur vertonen.

Toonhoogte en frequentie

Toonhoogte en frequentie, twee begrippen die een speciale relatie vertonen. Toonhoogte betreft een psychologische *kwaliteit*, frequentie daarentegen staat voor een natuurkundige *kwantiteit*. Aan de hand van een voorbeeld zullen we de betrekking tussen deze twee begrippen eens nader bekijken. Een bepaalde melodie herkennen we direct als hetzelfde of ze nu in een hoge of lage ligging wordt gespeeld. We onderscheiden nl. Intervallen: octaven, kwinten, tertsen enz. Kijken we naar de frequentieverschillen van twee dezelfde melodieën, de ene in lage ligging en de andere variant in hoge ligging, dan blijkt dat de opeenvolgende frequentie**verschillen** in beide varianten totaal verschillend zijn. Bij een nadere beschouwing blijkt dat de opeenvolgende intervallen, frequentie**verhoudingen**, evenwel identiek zijn. Bij een lineair verband van de toonhoogtesensatie behoort aldus een meetkundig verband van de frequentie Zo herkennen we de exponentieel verlopende frequentiereeks 100, 200, 400 en 800Hz, waarin elke frequentie opeenvolgend met 2 wordt vermenigvuldigd, als een serie van vier opeenvolgende octaven.

[1]Internationaal wordt deze stemming meer en meer aangeduid als 12-EDO (12 **E**qual **Di**visions of the **O**ctave). Ook kom je dikwijls nog benamingen als 12-TET en 12-ET tegen, afkortingen van 12-(**To**ne) **E**qual **T**emperament.

[2]**Het centsysteem**
De Engelse wiskundige Alexander Ellis bedacht voor de bepaling van muzikale intervallen een stelsel dat de lineariteit van de toonhoogtewaarneming centraal stelt. Hij verdeelde het octaaf in 1200 gelijke micro-intervallen. Een interval van een halve toon is zo per definitie gelijke aan 100 cent. Tegenwoordig is dit centsysteem de standaard voor (wetenschappelijke) muzikale intervalsnotatie. Het al genoemde kleine interval, gekend als het Pythagoreïsch komma, meet volgens dit systeem afgerond 24 cent, wat neerkomt op vrijwel het achtste deel van een hele toon. Met de volgende formules kan je eenvoudig frequentieverhoudingen naar cent en omgekeerd uitrekenen.

[3]**Omrekenen: frequentieverhoudingen en intervallen in cent**
Vanuit de frequentieverhouding **R** van twee frequenties (xHz/yHz) bekom je het interval **I** in cent: $I=\ln R/\ln 2 \times 1200$

Omgekeerd, vanuit het interval **I** naar de (decimale) frequentieverhouding **R**, gaat het als volgt: $R=e^{(I \times \ln 2/1200)}$

Hz is de eenheid van frequentie en per definitie is 1Hz=1 trilling per seconde

Ernst Bonis

bronnen en verder lezen

Tuning and Temperament
A Historical Survey
J. Murray Barbour
Dover Publications, Inc.
Mineola, New York

Campanologie
dr. André Lehr
©1996 Koninklijke Beiaardschool, 'Jef Denyn', Mechelen, België
Nationaal Beiaardmuseum, Asten, Nederland

http://www.janvanbiezen.nl/Stemmingen.pdf

http://www.huygens-fokker.org/microtonality/temperament.html

An Introduction to Historical Tunings
https://www.kylegann.com/histune.html

Summary of Equal-Temperament, Meantone, and Well-Temperament Systems
https://www.historicaltuning.com/TuningsSummary.html

Bradley Lehman, LaripS.com
http://www-personal.umich.edu/~bpl/larips/meantone.html

'Mean Tone Scale Generator'
http://robertinventor.com/software/tunesmithy/help/mean_tone_in_cents.htm

http://www2.siba.fi/akustiikka/index.php?id=47&la=en

Vele links naar relevante onderwerpen op Wikipedia op basis van trefwoorden als: tuning, meantone, comma, Pythagorean, wolf interval etc.