
STEMMINGEN, SPECIAAL BIJ TOETSINSTRUMENTEN

Dr. J van Biezen

stichting



centrum voor de kerkzang

Woord vooraf

In de jaren zeventig van de vorige eeuw schreef Jan van Biezen een handzame brochure over stemmingen, speciaal bij toetsinstrumenten. Hierin werd een aantal stemmingen besproken, waaronder die van Werckmeister en Kirnberger. Daarnaast bood de brochure de nodige informatie over muziektheoretische en -historische achtergronden. Nu, ook in de kerkmuziek, de historische uitvoeringspraktijk gemeengoed is geworden bleef de vraag naar deze brochure van het Centrum voor de Kerkzang bestaan, reeds lang nadat zij was uitverkocht.

Om die reden is naar mogelijkheden gezocht de brochure hernieuwd onder de aandacht te brengen. Inmiddels heeft het world wide web een grote vlucht genomen. Besloten werd dan ook, de brochure via dit medium te verspreiden. Eén en ander bracht met zich mee, dat een "elektronische" versie moest worden gemaakt. Deze versie is inhoudelijk nagenoeg gelijk aan de derde druk van de brochure. Wel moesten, om technische redenen, een aantal typografische wijzigingen worden aangebracht. Zo werden verhogingen en verlagingen van "witte toetsen" niet meer met een kruis- of molteken aangeduid, maar door het uitschrijven van de naam van de noot, dus in plaats van c # nu: cis. De belangrijkste wijziging betreft de stemming "Van Biezen 3", die nieuw is in deze uitgave.

Wij danken dr. Jan van Biezen hartelijk voor zijn medewerking aan de totstandkoming van deze hernieuwde uitgave, en spreken de wens uit dat het onderwerp van zijn tekst zich blijvend in de belangstelling van de lezer mag verheugen.

Anje de Heer
Jan Nauta

juli 2004

1. Inleiding

In ons toonstelsel komen de consonante intervallen octaaf, kwint, kwart, grote en kleine tert, grote en kleine sext voor. Als deze intervallen zuiver zijn, dan hebben de trillingsgetallen van de tonen die een interval samenstellen een eenvoudige verhouding: octaaf $\leftrightarrow 2:1$, kwint $\leftrightarrow 3:2$, grote tert $\leftrightarrow 5:4$, kleine tert $\leftrightarrow 6:5$, enz. Voor ons gehoor wordt de grootte van een interval dus bepaald door de verhouding en niet door het verschil van de trillingsgetallen; wij horen als het ware logaritmisch. Wat wij gewoonlijk opvatten als het optellen en aftrekken van intervallen, correspondeert in toonberekeningen met het vermenigvuldigen en delen van trillingsgetalverhoudingen: grote tert + kleine tert = kwint $\leftrightarrow 5/4 \times 6/5 = 3/2$, enz. Een gebruikelijke logaritmische maat voor het meten van intervallen is de *cent*, het twaalfhonderdste deel van een octaaf:

$$\sqrt[1200]{2/1} \leftrightarrow 1 \text{ cent, trillingsgetalverhouding } p/q \leftrightarrow 1200 \cdot \log p/q \text{ cents.}$$

De trillingsgetalverhoudingen van de zuivere consonanten en de onderlinge relaties van deze

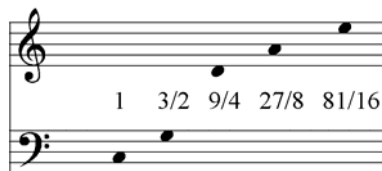


intervallen kunnen gemakkelijk onthouden worden met behulp van de boventoonrij:

Nu zit er in ons toonstelsel echter een tegenstrijdigheid, in die zin, dat de zuiverheid van de kwinten onverenigbaar is met de zuiverheid van de tertsen. Als we vier reine kwinten opstapelen, dan is de hoogste toon geen zuivere grote tert ten opzichte van de laagste toon:

$3/2 \times 3/2 \times 3/2 \times 3/2 = 81/16$ en niet $5/1 = 80/16$, de *e* is $81/80$ te hoog. Dit kleine intervalletje wordt syntonisch komma genoemd, het heeft de waarde van 21,5 cents (afgerond 22 cents). Dus:

Vier opeenvolgende reine kwinten geven een grote tert die een syntonisch komma \leftrightarrow 22 cents te groot is. (1)



Analoog geldt dat drie opeenvolgende reine kwinten een grote sext geven die een syntonisch komma te hoog is (in omkering dus een kleine tert die een syntonisch komma te laag is).

Van belang voor het berekenen van stemmingen is nog het volgende. Stapelen we twaalf reine kwinten op elkaar, dan komen we niet precies zeven octaven boven de uitgangstoon terecht:

$$(3/2)^{12} = \frac{531441}{4096} \text{ en niet } (2/1)^7 = 128 = \frac{524288}{4096}, \text{ de laatste toon is } \frac{531441}{524288} \text{ te hoog. Dit kleine}$$

intervalletje wordt pythagoreïsch komma genoemd, het heeft de waarde van 23,5 cents (afgerond 24 cents). Dus:

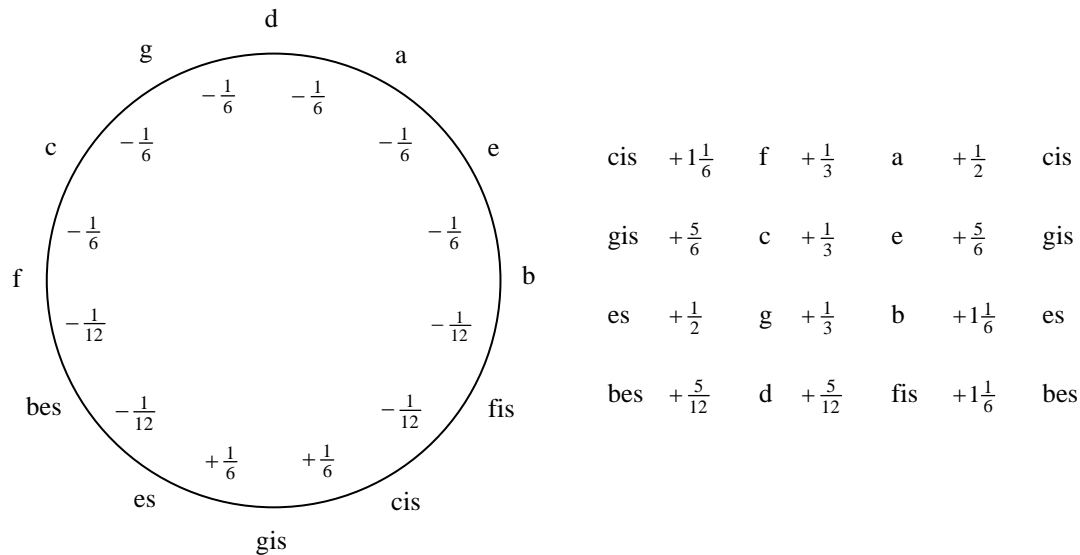
Twaalf opeenvolgende reine kwinten geven een toon die een pythagoreïsch komma \leftrightarrow 24 cents hoger is dan de uitgangstoon. (2)

Voor de discussie van de verschillende stemmingen is het, naast kennis van de muziek waarvoor zij bestemd zijn, noodzakelijk te weten wat ons gehoor aan onzuiverheid verdragen kan. Ons gehoor bezit namelijk een zekere tolerantie, geringe afwijkingen van de zuiverheid nemen we voor lief. De afwijkingen die ons gehoor verdragen kan, zijn voor de verschillende intervallen verschillend. Werckmeister: "Wer aber die Principia leügnen/ und nicht verstehen kan/ mit dem ist nicht zu disputiren. Sonderlich die nicht einmal wissen/ wie viel eine jede consonantia in specie vertragen kan/ denn wer wolte so tolle sein/ und eine quinta ein/ oder 1/2 Comma schweben lassen. *Es kan eine Tertia Major im fall der Noth ein gantz Comma in der Schwebung ertragen/ eine tertia minor noch mehr. Aber eine Octava gar nichts. Eine quinta 1/4 auch wol 1/3 vom Commate.*"¹ Ik voeg er aan toe dat *een merkbaar te kleine grote terts en een merkbaar te grote kleine terts echter niet geaccepteerd worden.*

¹ Andreas Werckmeister, *Hypomnemata Musica, oder Musicalisches Memorial*, 1697, p. 27, 28.

2. De belangrijkste stemmingen

In dit gedeelte wordt het verschil tussen syntonisch en pythagoreïsch komma verwaarloosd. De verschillende stemmingen worden voorgesteld met behulp van kwintencirkels en systemen van tertsketens, waarin de afwijkingen van kwinten en grote tertsen zijn uitgedrukt in komma's. Bij voorbeeld:



De som van de getallen in de kwintencirkel moet -1 zijn, want uit (2) volgt, dat we op de begintoon uitkomen als aan een opeenvolging van twaalf kwinten in totaal 1 komma ontbreekt.

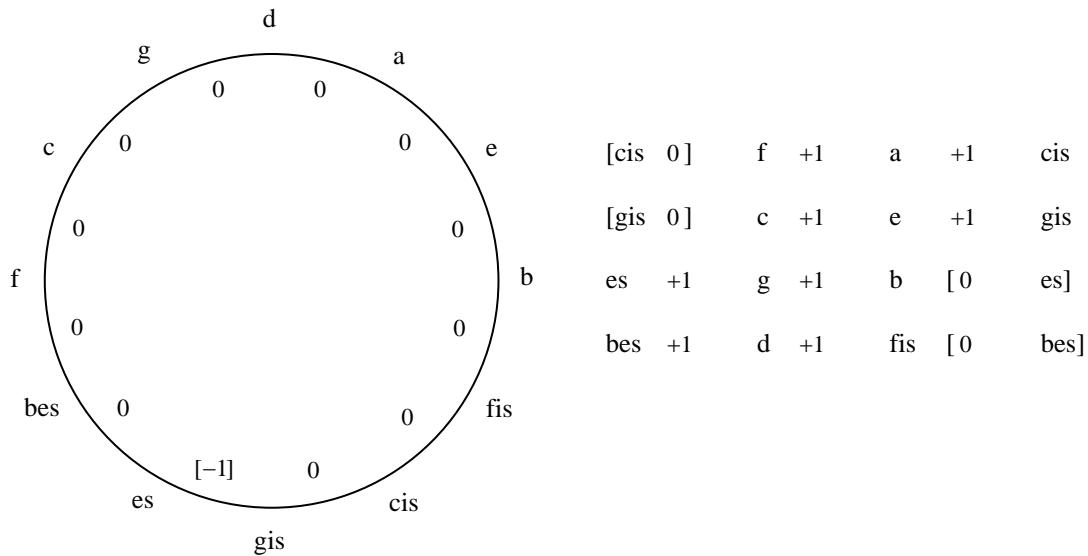
De getallen in de tertsketens kunnen als volgt uit die in de kwintencirkel afgeleid worden. Volgens (1) geeft een opeenvolging van vier reine kwinten een grote terts die 1 komma te groot is. Een opeenvolging van vier kwinten waaraan in totaal bijv. $\frac{2}{3}$ komma ontbreekt, geeft dus een grote terts die $1 - \frac{2}{3} = \frac{1}{3}$ komma te groot is.

De som van de getallen in de tertsketens moet $+2$ zijn. Immers, een reine grote terts correspondeert volgens (1) met een opeenvolging van vier kwinten, waarin in totaal 1 komma ontbreekt. Een keten van drie reine grote tertsen correspondeert dus met een opeenvolging van twaalf kwinten waaraan in totaal 3 komma's ontbreken. Om op de begintoon uit te komen moet volgens (2) aan een opeenvolging van twaalf kwinten 1 komma ontbreken. We komen dus met een keten van drie reine grote tertsen $3 - 1 = 2$ komma's te kort; om op de begintoon uit te komen moet een keten van drie grote tertsen in totaal 2 komma's te veel hebben.

De waarde van de kleine tertsen kan eenvoudig worden afgeleid uit de betrekking reine grote terts + reine kleine terts = reine kwint. Als bijv. de kwint $c - g$ $\frac{1}{6}$ komma te klein is en de grote terts $c - e$ $\frac{1}{3}$ komma te groot is, dan is dus de kleine terts $e - g$ $\frac{1}{6} + \frac{1}{3} = \frac{1}{2}$ komma te klein.

A. De pythagoreïsche stemming.

In de Middeleeuwen werd de pythagoreïsche stemming met louter reine kwinten gebruikt. De grote terts is dan een komma te groot en de kleine terts een komma te klein.



De diatonische en chromatische halve toon hebben hier de waarde 90 resp. 114 cents, hun verhouding is dus ongeveer als 4 : 5.

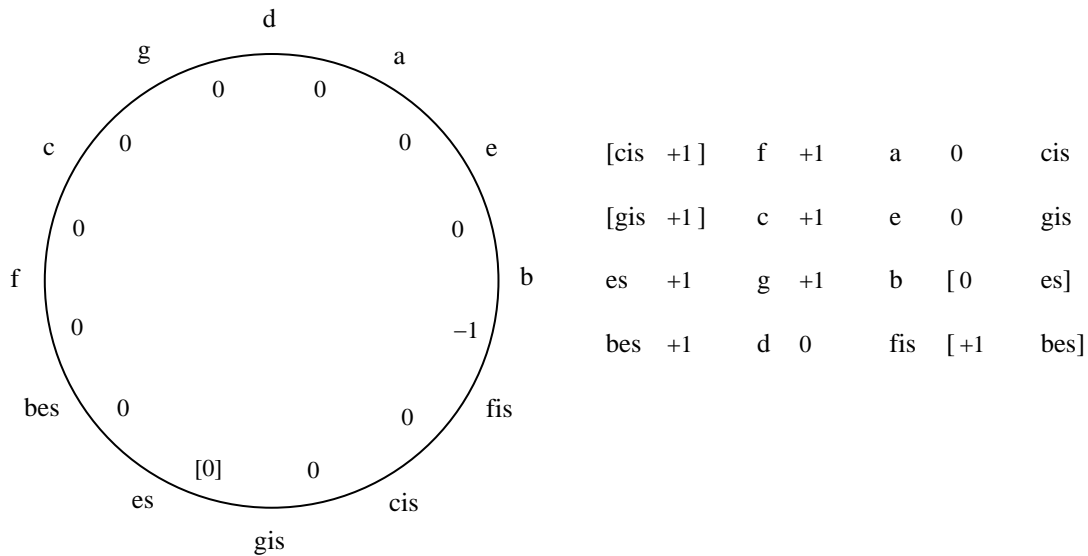
De oude schrijvers stelden de diatonische halve toon op 4 komma's en de chromatische halve toon op 5 komma's ($7 \times 4 + 5 \times 5 = 53 \rightarrow$ de pythagoreïsche stemming kan benaderd worden door het octaaf in 53 gelijke delen te verdelen).

Deze stemming is uitermate geschikt voor de middeleeuwse meerstemmigheid, gebaseerd op de consonanten octaaf, kwint en kwart. Tertsen en sexten werden toen als niet-consonant beschouwd. N.b.: de tertsen die in deze stemming rein zijn, worden in de muziek van die tijd juist niet gebruikt! Er zijn aanwijzingen, dat men in de middeleeuwse eenstemmigheid inderdaad de voorkeur gaf aan kleine halve tonen. De pythagoreïsche stemming sluit aan bij Ptolemaeus' genus "diatonon ditoniaion", waarbij twee pythagoreïsche grote secunden ($9/8$) en een pythagoreïsche kleine secunde ($256/243$), limma genaamd, tezamen een tetrachord vormen.

Een interessante modificatie van de pythagoreïsche stemming vinden we bij Henri Arnaut van Zwolle in het midden van de vijftiende eeuw en bij Martin Agricola in 1539.

De restkwint gis - es is hierbij verplaatst naar b - fis.

Het gevolg is, dat de constructieve tonen blijven wat zij waren in de pythagoreïsche stemming, maar dat de ornamentale tonen fis, cis, en gis een komma zijn verlaagd, waardoor de bij cadenzen optredende grote tertsen d - fis, a - cis, e - gis en grote sexten (of kleine tertsen) a - fis, e - cis en b - gis rein worden. De chromatisering van het subtonium tot subsemitonium gebeurt dan door een kleine halve toon. Deze stemming zou al toegepast kunnen worden bij de muziek van de late Middeleeuwen, waar voor het eerst de verhogingen van de musica ficta optreden.



B. De middentoon-temperatuur (Sorge: Praetorianische Temperatur).

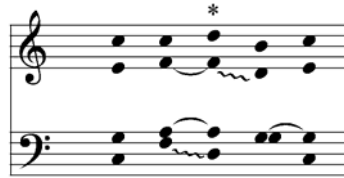
Als men tijdens de Renaissance de tertsen als consonant – zij het onvolkomen consonant – gaat beschouwen, trachten de theoretici tot een systeem te komen waarin voor de reine terts plaats is. Men sluit aan bij Ptolemaeus' genus "diatonon syntonon", waarbij een kleine hele toon (10/9), een grote hele toon (9/8) en een kleine secunde (16/15) tezamen een tetrachord vormen. In zo'n tetrachord is zowel de grote als de kleine terts rein. Een combinatie van twee zulke tetrachorden met een gemeenschappelijke grenstoon geven de traditionele majeur-toonladder in de "reine" stemming:

	16/15	9/8	10/9	16/15	9/8	10/9	
B	c	d	e	f	g	a	

De kwint d - a en de kleine terts d - f zijn echter niet rein, er ontbreekt een (syntonisch) komma aan. En dat is wat de kwint betreft onverdragelijk. Werckmeister: "... wenn die Consonantien nicht eine Temperatur bekommen / können sie in Verwechselung und Fortsetzung der Harmonia, sonderlich durchs clavier, gar nicht gebraucht werden/ die Ursache ist/ ob wir itzo schon eine vollkommene concert haben/ und aus demselben in eine andere Zusammenstimmung gehen wollen/ so fehlet bald ein comma, bald ist wieder eins zu viel in den consonantien/ dass sie so unrein klingen/ und nicht können gebraucht werden: Ich setze zum Exempel im Syntonischen genera f und a. ist gantz rein/ ich solte aber aus dem f. ins d. schreiten/ und mit dem a halten bleiben/ da wird das d. gegen das a. so hesslich mit einander klingen/ dass man einen grossen Abscheu dafür hat. Nehmen wir ein neu d/ und schreiten weiter/ so wil das d wider einen neuen clavem haben: Darüm hat es Gott so weisslich geordnet/ und unser Gemüte also zugerichtet/ dass es mit einer guten Temperatur zufrieden ist/ ja Gott hat alles/ was in der Natur ist/ in die Temperatur gesetzt/ warüm wolten wir dieselbe aus der Music verbannen und verwerffen/ zumal es auch nicht anders seyn kan/ man mag 100. oder 1000. Subsemitonia in ein clavier machen/ so wird doch die Zusammenbindung der Harmoniae unvollkommen und lahm seyn und bleiben.²

² Andreas Werckmeister, *Musicalische Temperatur*, 1691, p. 69-71.

Laten wij als voorbeeld nemen:



In de "reine" stemming krijgen we twee valse melodische intervallen (wavy line) en een ondragelijk vals accoord (*). Maken we dit accoord zuiver door de d's een komma ter verlagen, dan ontstaan er drie valse melodische intervallen (wavy line), waaronder een hinderlijk te grote kwart:



We kunnen wel alle harmonische en melodische intervallen rein krijgen, maar dan is het resultaat dat we een komma zakken:

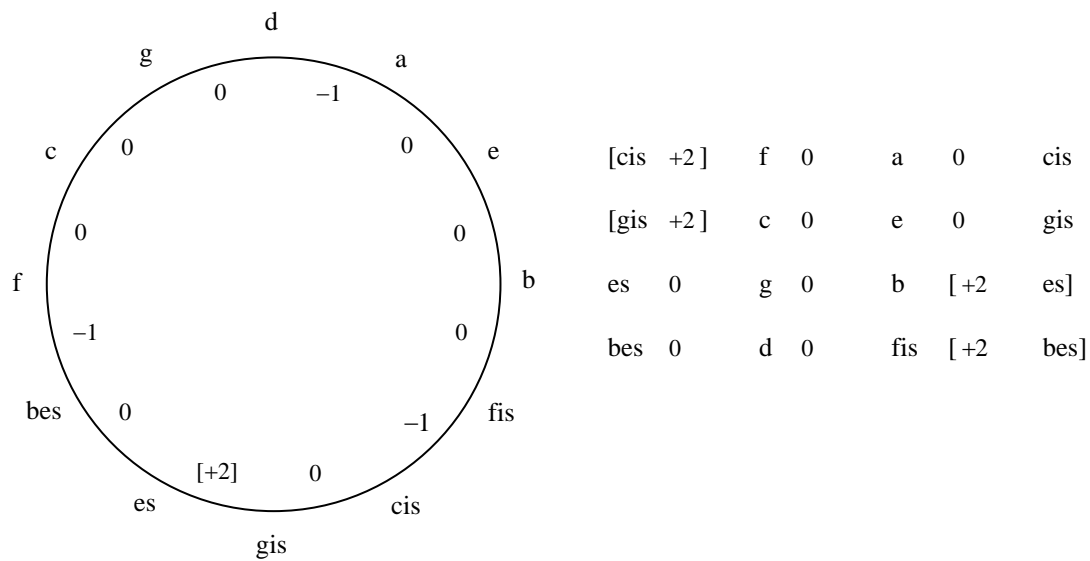


Reine stemming is niet alleen praktisch onuitvoerbaar, maar ook principieel onmogelijk.

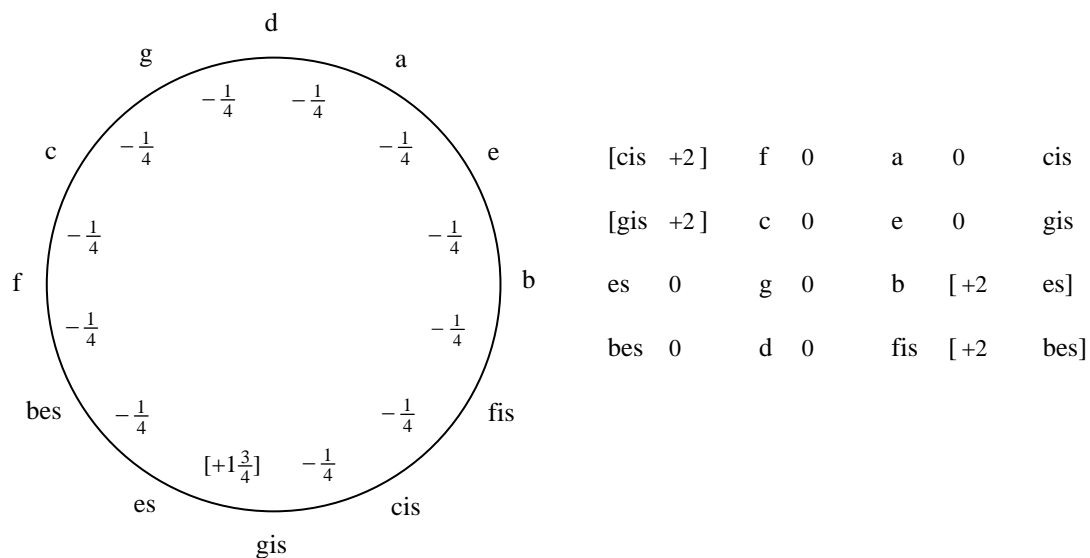
Werckmeister: "Wir halten uns hier zu lange auf. Sapiienti sat dictum est. Mag. A. Bartholdi redet in seiner Musica Mathematica hiervon also: Diejenigen/ welche subsemitonia auf Orgeln/ Instrumenten/ Lauten etc. zumachen sich unterstehen/ stecken in grossen Irrthum/ handeln wider die Natur/ wollen klüger als Gott seyn: Die halb halben Thöne sind lauter unvollkommenes Werck/ und machen nur ein lahmes Gethöne. u.s.w."³ De vraag was nu, hoe men tot een redelijk compromis kon komen, tot een "temperamento", speciaal voor toetsinstrumenten.

Bij de "reine" stemming ontstaan de reine grote tertsen door de samenvoeging van drie reine kwinten en één kwint die een komma te klein is.

³ loc. cit.

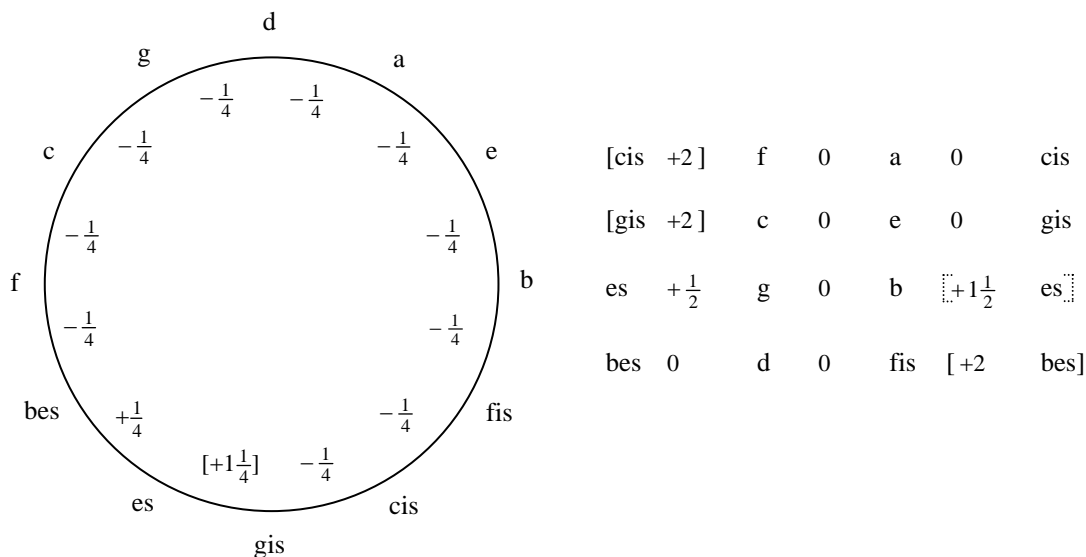


Het ligt nu voor de hand het onverdragelijke kommaverschil telkens uit te smeren over vier naburige kwinten, zodat iedere kwint 1/4 komma te klein wordt, wat voor ons gehoor zeer goed te verdragen is. Dit is de middentoonstemming. De kleine tertsen zijn daarbij 1/4 komma te klein.



In de strijd tussen kwinten en tertsen is bij deze stemming dus gekozen voor de tertsen. In die zin is de middentoonstemming de tegenpool van de pythagoreïsche stemming. De naam "middentoon" wil zeggen, dat er niet twee hele tonen zijn, zoals bij de "reine" stemming, maar slechts één, namelijk het gemiddelde van de grote en de kleine hele toon. De diatonische en chromatische halve toon hebben hier de waarde van 117 resp. 76 cents, hun verhouding is dus ongeveer als 3 : 2 ($7 \times 3 + 5 \times 2 = 31 \rightarrow$ de middentoonstemming kan benaderd worden door het octaaf in 31 gelijke delen te verdelen.)

De vroegste beschrijving van deze stemming vinden we bij Pietro Aron 1523. Haar bloeitijd ligt rond 1600. In de middentoonstemming heeft iedere toon een eenduidige functie: gis bijv. kan niet gebruikt worden als as. In de composities tot en met het begin van de 17^e eeuw worden dan ook vrijwel uitsluitend de hierboven in de kwintencirkel en tertsketens aangegeven tonen benut. Zo nu en dan gebruikte men echter ook dis, echter niet als kwint van gis. Om dit mogelijk te maken zonder een extra toets te hoeven aanbrengen, verlaagde men de es enigszins.

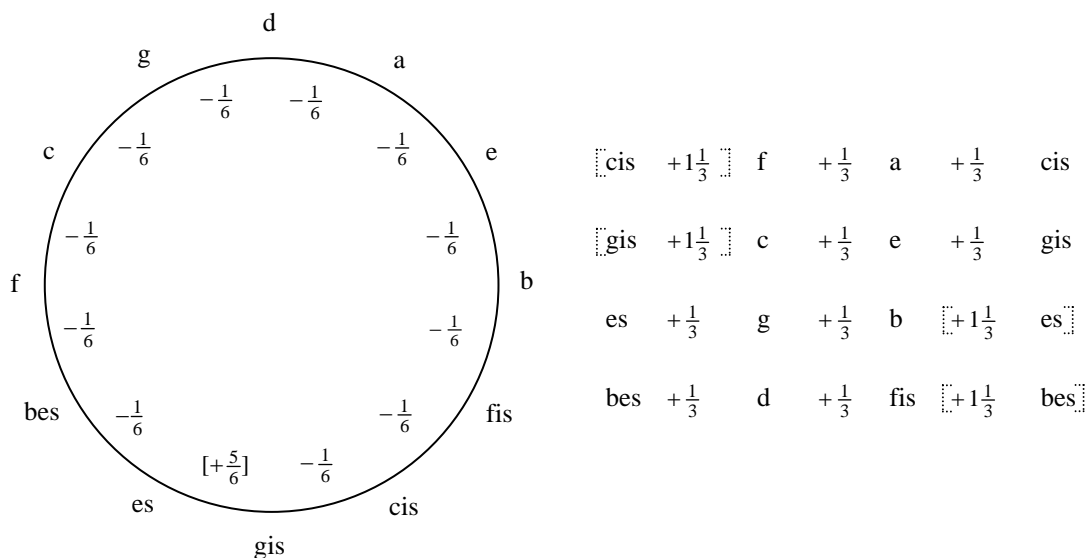


Aanvulling. Bij de "reine" stemming ontstaan de reine kleine tertsen door de samenvoeging van twee reine kwinten en één kwint die een komma te klein is. Smeren wij dit kommaverschil gelijkmatig uit over de drie kwinten die een kleine terts vormen en zetten we dit procédé voort over de gehele kwintencirkel, dan wordt iedere kwint $1/3$ komma te klein. Dit is de stemming van Salinas 1577. Hier is dus gekozen voor de kleine terts. De grote tertsen worden echter $1/3$ komma te klein, hetgeen onacceptabel is. De diatonische en chromatische halftoon hebben hier de waarde van 126 resp. 64 cents, hun verhouding is dus ongeveer als 2 : 1 ($7 \times 2 + 5 \times 1 = 19 \rightarrow$ de $1/3$ komma-stemming kan benaderd worden door het octaaf in 19 gelijke delen te verdelen).

Opmerking. De stemmingen van Rameau, Van Heurn e.a. kunnen worden opgevat als varianten van de middentoon-stemming, waarbij in het gebied van de zwarte toetsen de invloed van de wolfskwint afgezwakt is.

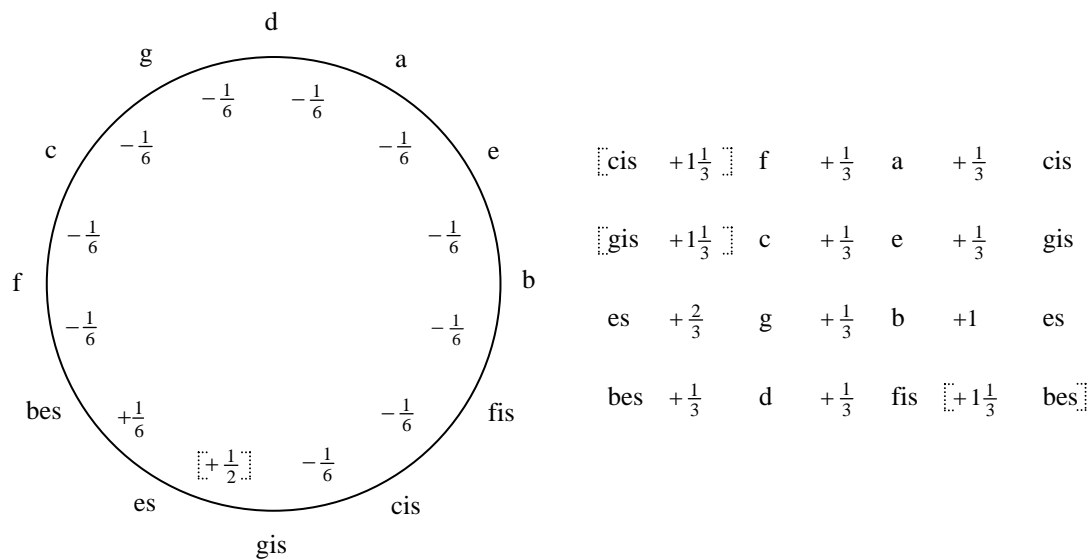
C. De 1/6 komma - temperatuur (Sorge: Silbermannische Temperatur).

In deze stemming worden de onzuiverheden verdeeld over kwinten en tertsen beide. De kwinten zijn $1/6$ komma te klein, de grote tertsen $1/3$ komma te groot en de kleine tertsen $1/2$ komma te klein. Dit is fraai in overeenstemming met de voor de verschillende intervallen verschillende toleranties van ons gehoor ten aanzien van de onzuiverheid.

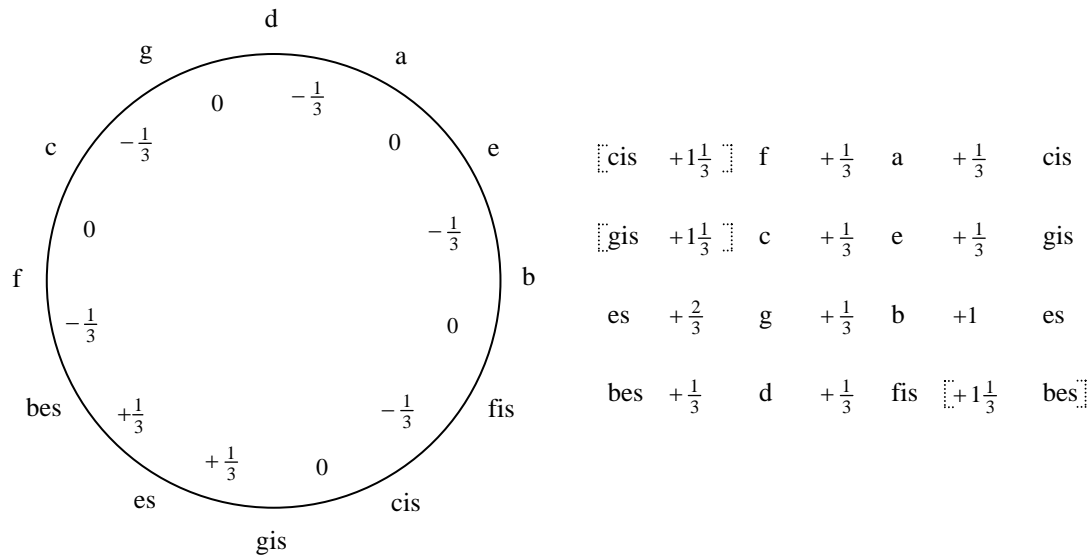


De diatonische en chromatische halve toon hebben de waarde van 110 resp. 86 cents, hun verhouding is dus ongeveer 5 : 4. Wat dit betreft kan ook deze stemming als de tegenpool van de pythagoreïsche stemming beschouwd worden. Toen in de 16e eeuw de reine stemming het ideaal was geworden, bleef men toch, getrouw aan de pythagoreïsche traditie, vermelden dat een hele toon verdeeld wordt in een halve toon van 4 en een halve toon van 5 komma's, men verwisselde echter de diatonische en de chromatische halve toon. De verhouding 5:4 geldt echter niet voor de middentoon-stemming, wel voor de 1/6 komma-stemming. ($7 \times 5 + 5 \times 4 = 55 \rightarrow$ de 1/6 komma-stemming kan benaderd worden door het octaaf in 55 gelijke delen te verdelen.)

Het 55-ledige toonsysteem kan beschouwd worden als een consequente uitbreiding van de 1/6 komma-stemming in het gebied van de kruisen, mollen, dubbelkruisen, dubbelmollen, enz. In Frankrijk vermeldt Sauveur in het begin van de 18e eeuw dat dit systeem gevolgd wordt door de musici. In Duitsland vermeldt Sorge in het midden van de 18e eeuw het 55-ledige systeem als dat van Telemann, en in algemeen gebruik bij zangers, strijkers en blazers. Als stemming voor toestromenten heeft Sorge echter bezwaar tegen de 1/6 komma-stemming vanwege de enharmonische kwint gis-es die "unleidlich über sich schwebet" en de vier enharmonische tertsen die "allzu rauh, scharff und barbarisch" zijn. Toch gebruiken volgens hem Gottfried Silbermann en de meeste orgelstemmers deze temperatuur. De uitdrukking "barbarisch" schrijft hij toe aan Johann Sebastian Bach. Als Quantz 1752 het verschil van enharmonisch verwisselde tonen 1 komma noemt, dan impliceert dit dat hij de 1/6 komma-stemming op het oog heeft. In het 18e eeuwse Italië gebruikt Tartini deze stemming. Evenals in de middentoon-stemming kan ook hier de es enigszins verlaagd worden om beter als dis dienst te kunnen doen. Ook de wolfskwint wordt dan min of meer bruikbaar.



In deze vorm is de 1/6 komma-stemming o.a. gevonden in een orgel van Hinsch uit 1722 te Midwolda. Het is van belang in te zien dat Werkmeesters 2e temperatuur niets anders is dan een modificatie van deze stemming in die zin, dat hij in de kwintencirkel om en om de tonen 1/6 komma verhoogt en 1/6 komma verlaagt. Hierdoor ontstaat in plaats van de rij kwinten die 1/6 komma te klein zijn een rij met om de andere een reine kwint en een kwint die 1/3 komma te klein is. Voor de grote tertsen brengt dit geen verandering met zich mee.



Werckmeister beveelt deze temperatuur aan "so man die regular-Modos mehr gebrauchen will" (Orgel-Probe 1681), zij is "dem Generi Diatonico ... favorabel" (Musicalische Temperatur 1691).

Opmerking. Schlick's temperatuur kan opgevat worden als een variant van de 1/6 komma-stemming, waarbij in het gebied van de zwarte toetsen de invloed van de wolfskwint afgezwakt is. Zie voor een reconstructie van Schlick's bedoelingen het stemmingsvoorbeeld aan het begin van dit hoofdstuk.

Aanvulling. Tussen de middentoon-stemming en de 1/6 komma-stemming in staat de 1/5 komma-stemming, waarbij de kwinten 1/5 komma te klein, de grote tertsen 1/5 komma te groot en de kleine tertsen 2 / 5 komma te klein zijn.

De diatonische en chromatische halve toon hebben hier de waarde van 112 resp. 53 cents, hun verhouding is dus ongeveer 4 : 3 ($7 \times 4 + 5 \times 3 = 43 \rightarrow$ de 1/5 komma-stemming kan benaderd worden door het octaaf in 43 gelijke delen te verdelen.)

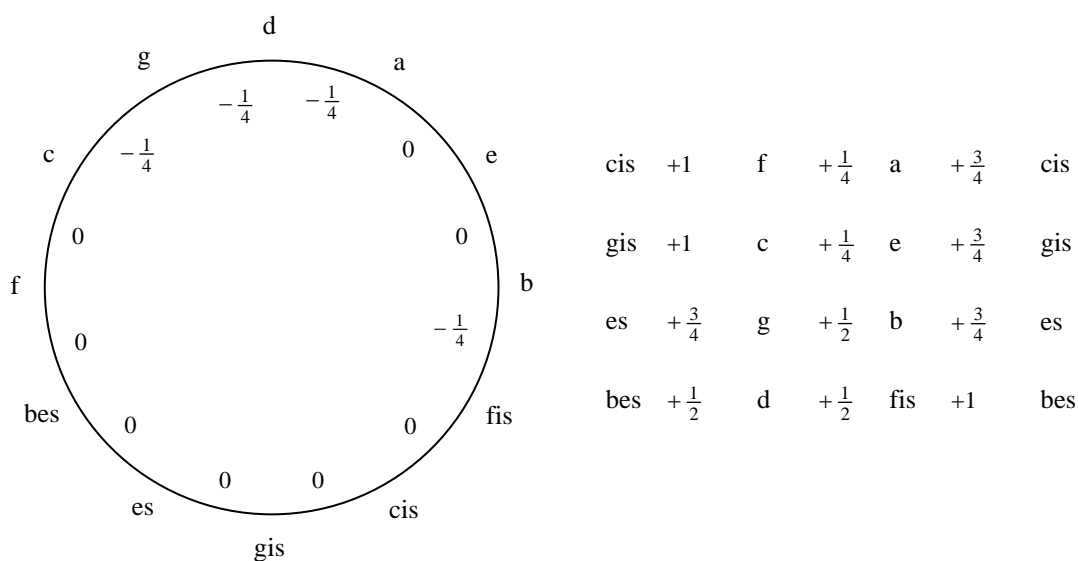
D. Werckmeisters eerste temperatuur (Sorge: Werckmeisterische Temperatur).

De muziekpraktijk van de late 17e eeuw vereiste een stemming, waarbij het mogelijk was in alle toonaarden te spelen.

Werckmeister: "Es finden sich zwar einige übelgesinnete/ welche vielleicht unsere Demonstrationes und Meinung nicht verstehen/ oder aus Hass nicht verstehen wollen/ die da sagen/ sie wollen bey der alten/ oder Praetorianischen Temperatur verbleiben/ haben daher angefangen zu scoptisiren: Dieses kann ich wol leiden/ denn ich achte mich viel zu geringe / dass ich hierinnen einem oder dem andern Gesetze verschreiben wolle. Sie können aber zum theil erkennen/ dass die Music zu Praetorii zeiten/ nun mehro bey nahe vor 100. Jahren/ nicht also beschaffen gewesen/ als heutiges Tages/ da man die vielen fictas Transpositiones hat/ derowegen hat der Hochberümte Praetorius zu seiner Zeit/ das seinige wohlgetan/ und mit solcher Temperatur zu frieden seyn können: wie seine Composition es satsam aussweist/ im Nothfall hat er ein subsemitonium bey dem Clavem Dis legen können/ da ist die gantze Sache guth gewesen/ heutiges Tages aber/ da man gleichsam Circul wise das gantze Clavier brauchen muss/ ist unmöglich bey solchem Clavir ausszukommen; Dan nun die Music durch Gottes Gnade so gestiegen und verändert/ so wäre ungereimt: wenn man auch nicht solte bedacht sein/ das Clavir zu verbessern: Damit auch solche heutiges Tages zum Theil wolgesetzte Stücke nicht verdorben würden/ und ein Geheul darauss entstehe".⁴

De vorige stemming en zijn varianten voorzien reeds min of meer in de behoeften. Werckmeister beveelt "so ein Clavier fictè viel gebraucht wird" (Orgelprobe 1681) zijn eerste temperatuur aan, die "dem [Generi] chromatico favorabel" is (Musicalische Temperatur 1691).

⁴ Andreas Werckmeister, *Erweiterte und verbesserte Orgel-Probe*, 1698. p. 78-80.



De middentoon- en 1 / 6 komma-stemming zijn *regelmatige* temperaturen, d.w.z. afgezien van de restkwint, de wolfskwint, zijn alle kwinten gelijk, afgezien van de enharmonische, de "barbaarse" tertsen, zijn ook alle tertsen gelijk. Oudtijds noemde men dit "gelijkzwevend". De genoemde stemmingen zijn ook *open* stemmingen, d.w.z. de kwintencirkel is niet gesloten. De tonen kunnen eigenlijk niet enharmonisch verwisseld worden, men kan slechts in een beperkt aantal toonaarden werkelijk goed spelen. Werckmeisters eerste temperatuur is een *gesloten* stemming. De tonen kunnen enharmonisch verwisseld worden, men kan spelen in iedere toonaard. Het is tevens een *onregelmatige*, een "ongelijkzwevende" temperatuur: er zijn twee soorten kwinten en vier soorten grote tertsen. Men spreekt nu van "wohltemperiert" indien men in iedere toonaard kon spelen, in de meest gebruikelijke echter het meest rein. Van alle "Wohltemperierungen" is deze van Werckmeister de meest geniale. Het pythagoreïsche komma is uitgesmeerd over vier kwinten. De listige plaatsing van deze kwinten - drie aaneengesloten en één geïsoleerd - maakt, dat vanaf de meeste zuivere tertsen f - a en c - e het in de kwintencirkel nog tot de terts fis - ais duurt, voordat een pythagoreïsche grote terts verschijnt, zodat de veelvuldig voorkomende dominanttertsen daartussen zeer goed bruikbaar zijn. Vergelijk de functie van de kwint b - fis hier en in de gemodificeerde pythagoreïsche stemming. De kwinten c - g, g - d en d - a doen aan de middentoon-stemming denken.

Werckmeister: "Und unsere Temperaturen sind auch von der Alten so sehr nicht entfernt/ wie etliche wol meinen."⁵ De variatie in de grote tertsen veroorzaakt karakterverschillen bij de toonaarden.

Werckmeister: "Einige wollen meine Temperatur verwerfflich machen/ weil eine Consonantia nicht so viel schwebet/ wie die andere/ aber derer Unwissenheit muss man auch erdulden: Ich gläube dass sie den Schöpffer selbst tadeln/ dass er den defect des commatis in unsere Scalam auss weisem Rath geleet hat/ warum hat Gott und die Natur nicht lauter gleiche Tonos/ und Semitonia, sondern kleine und grosse in unsere Scalam geordnet? Warum pflegen doch rechtschaffene Musici die Transpositiones also zu lieben? Wenn sie nicht angenehme Veränderung brächten/ würde man wol an keine Transposition gedencken; Die veränderliche Angenehmigkeit bestehet nun nicht allein in der Höhe und Tiefe der Sonorum/ sondern die differenz/ und Schwebung der Consonantien/ und die Ungleichheit der Tonorum und Semitonorum machen einer harmoniae eine gantz andere Natur: Wenn nun alle Semitonia/ Toni, tertien, quinten u.s.w. in einerley differenz und Schwebung bestunden/ so wolte man aus den Transpositionibus wenig Belustigung haben: Zum Exempel: Wen der Dorius eine Secunde etwa ins c. oder e. transponiret wird/ so machen solche transpositiones grosse Veränderungen und Bewegungen/ dieser thut die höhe/ und tieffe der Sonorum nicht so wol/ als die veränderliche Disposition, der Tonorum, und Semitonorum wie auch die Schwebung der Consonantiarum, Die Erfahrung bezeuget es/ wenn man ein alt Orgel-Werck höret, welches eine Secunde, oder wol gar eine kleine Tertie zu hoch stehet/ so wird wegen der gewöhnlichen Temperatur, keine grosse veränderung

⁵ loc. cit.

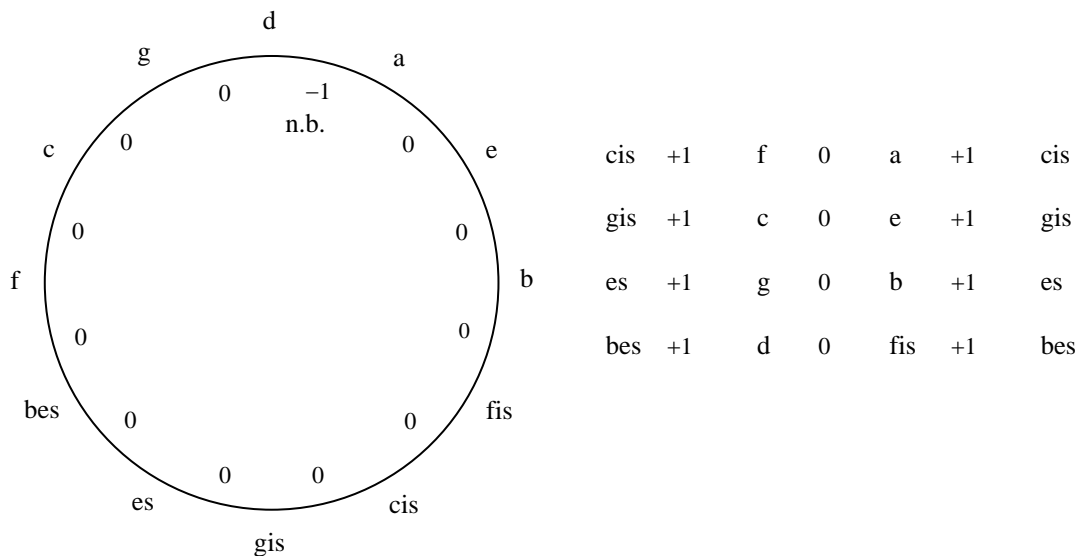
gespühret: So bald aber der Chor-thon ein Semitonium auf oder niederwärts transponiret wird/ bekömt die harmonia wegen veränderung der Semitoniorum, Tonorum, und Schwebenden Consonantien eine neue Angenehmlichkeit: Darum heisset es auch hier: harmonia est discors concordia, Und ist der Natur gemäss/ und angeheim von einer guten Veränderung zur andern zu schreiten/ ars enim imitatur naturam: Wenn keine veränderung des Temperamentes in der Zeit und Natur wehre/ so würde gewisslich nichts zur perfection gelangen/ es müste alles verderben/ und untergehen".⁶
 Men vergelijke de toonaardkarakteristieken bij Mattheson.

Volgens Cor Edskes heeft Bätz voor het orgel in Medemblik in 1784/5 de eerste temperatuur van Werckmeister gebruikt.

Opmerking. Neidhart's vele "Wohltemperierungen" zijn slechts afzwakkingen van Werckmeisters eerste temperatuur. Hun praktische betekenis moet gering geacht worden, we hebben hier eerder te maken met een "sophisticated sort of comma-juggling" (Barbour). Deze temperaturen convergeren naar de gelijkzwevende temperatuur.

Aanvulling 1.

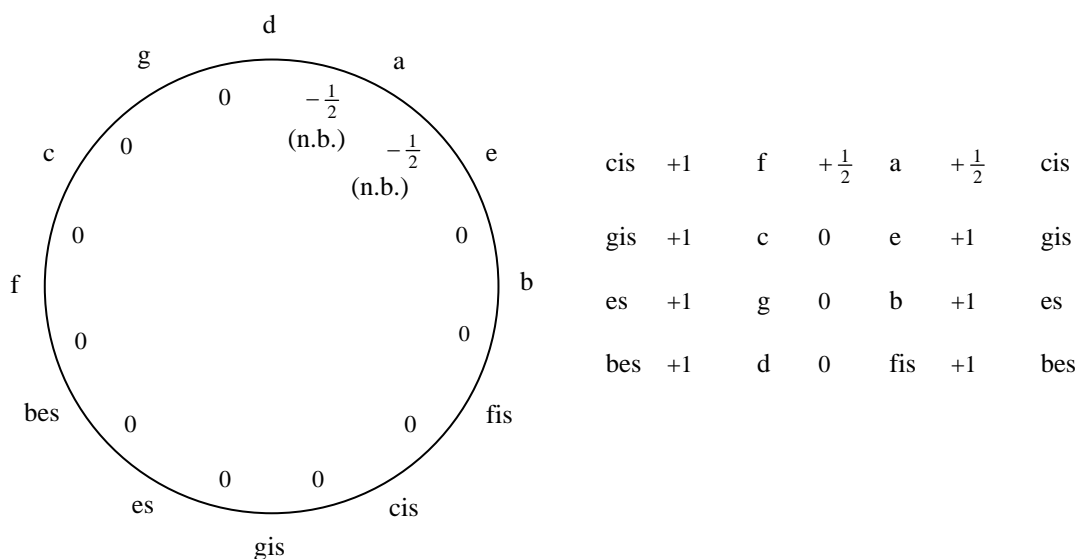
Kirnbergers stemmingen hebben de "reine" stemming als basis. Zijn eerste voorstel van 1766 is even onmogelijk als de "reine" stemming zelf:



(We vinden deze stemming overigens reeds bij Ramis 1482.)

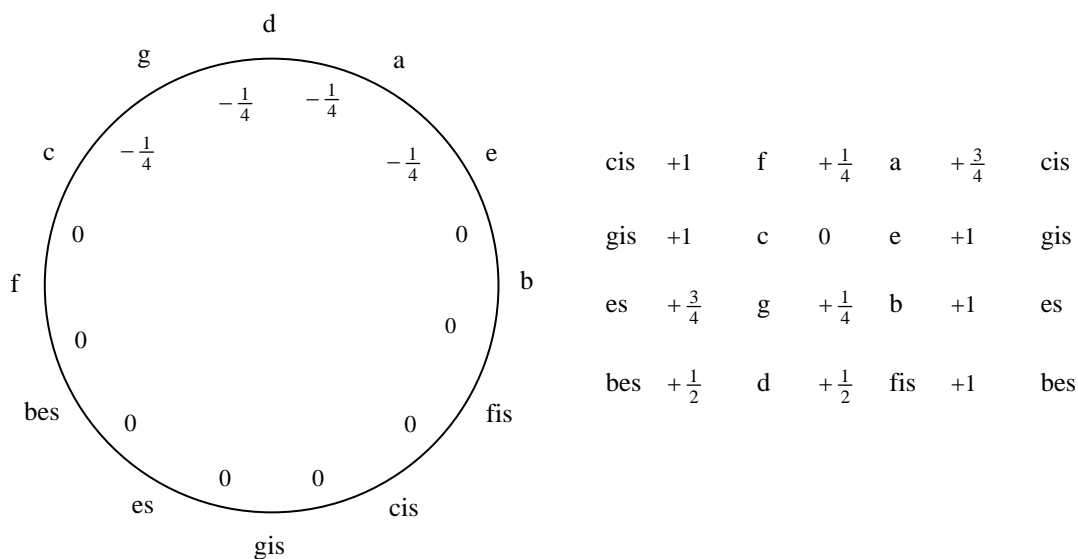
Dan publiceert hij in de "Kunst des reinen Satzes" van 1771/4 een stemming die algemeen als de stemming van Kirnberger bekend staat en ook door anderen overgenomen is.

⁶ Andreas Werckmeister, *Hypomnemata Musica, Oder Musicalisches Memorial*, 1697. p. 33-37.



(Het ware misschien beter geweest als hij het komma-verschil uitgesmeerd had over de kwinten d - a en g - d. In de "reine" stemming van c-majeur is d - a een komma te klein, in de "reine" stemming van a-mineur is g - d een komma te klein.)

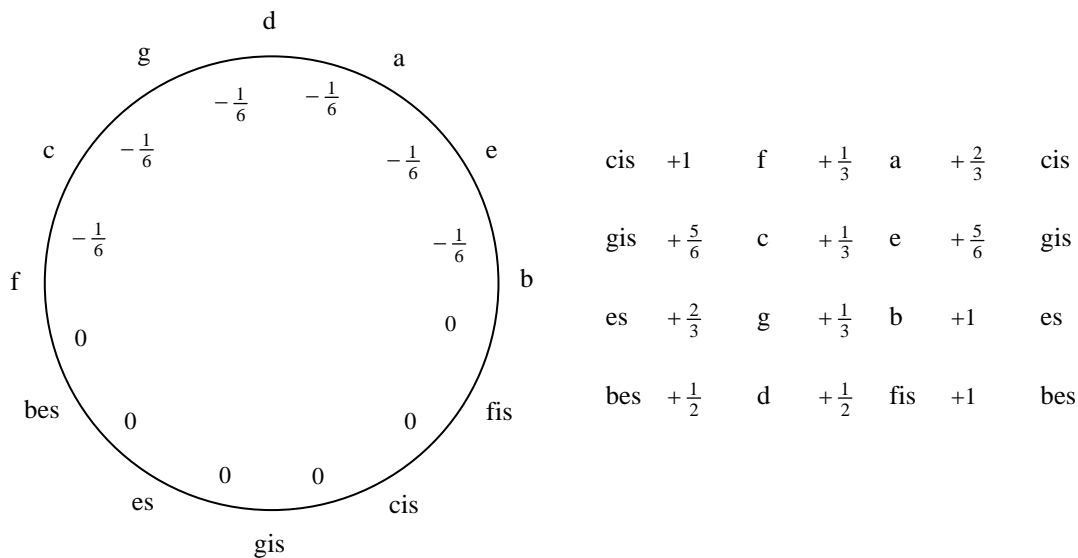
Deze stemming is echter ook nauwelijks bruikbaar. In een brief aan Forkel van 1779 komt hij dan tot een temperatuur die de middentoon-stemming als basis heeft.



Zo gaat het altijd: "reine" stemming-idealisten komen voor de praktijk steeds bij de middentoon-temperatuur uit. Verglijken we deze stemming met Werckmeister 1, dan is het verschil dat de vier middentoonkwinten hier aaneengesloten zijn. Dat levert één reine terts c - e op, die we echter moeten betalen door twee goede tertsen e - gis en b - dis in te ruilen voor pythagoras-tertsen. Waarom bovendien de terts c - e zo geprivilegieerd ten opzichten van bijv. f - a? Werckmeister verdient verre de voorkeur boven Kirnberger.

Aanvulling 2.

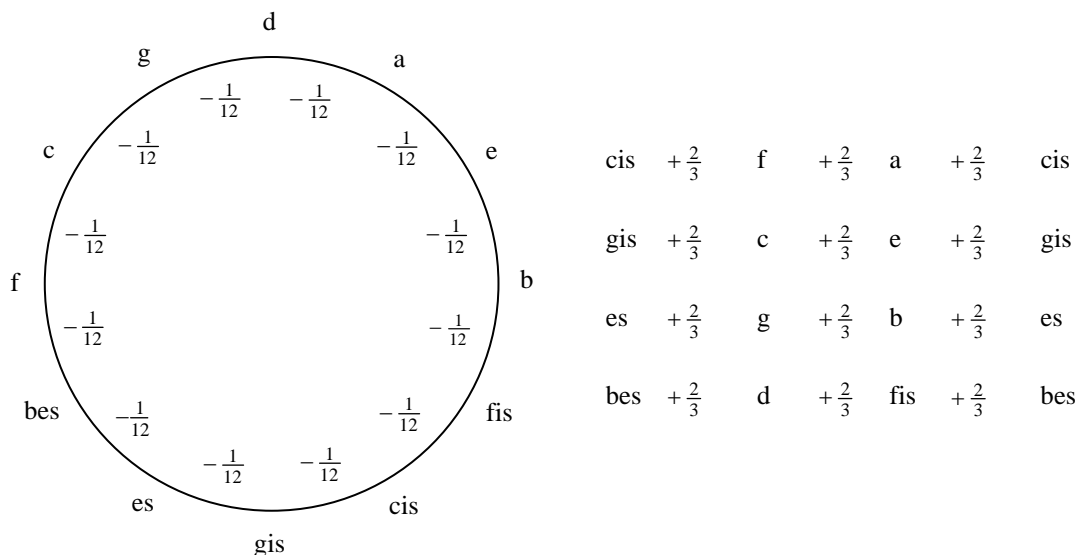
Een "Wohltemperierung" die ik in de jaren vijftig zelf uitgeprobeerd en uitgedacht heb, is de volgende:



Deze stemming was echter, naar Luigi Fernando Tagliavini mij later meedeelde, reeds in de 18e eeuw in Italië in gebruik. Barca 1786 noemt haar het "temperamento per comune opinione perfettissimo". Met geringe afwijking vinden we haar ook in 1800 bij Thomas Young. Op de witte toetsen heerst de 1/6 komma-stemming. Strijkers en blazers kunnen hierop stemmen (bij Werckmeister 1 is dat niet zo zinvol). Op de zwarte toetsen + f + b heerst de eerbiedwaardige pythagoreïsche stemming. De halve tonen c - b en b - bes evenals e - f en f - fis hebben de klassieke verhouding 5 : 4. De onderlinge verhouding van de halve tonen is overigens in overeenstemming met de plaatsing van de zwarte toetsen ten opzichte van de witte toetsen op het klavier en de symmetrie-tonen van de stemming corresponderen met de symmetrie-assen van het klavier. Het is een "Wohltemperierung" in symmetrische vorm, ook geschikt voor andere dan oude muziek.

E. De "gelijkzwevende" temperatuur (Sorge: Neidhardtische Temperatur).

Deze tegenwoordig normale stemming vond pas in de loop van de 19e eeuw algemene ingang voor toetsinstrumenten. Voor instrumenten met Bünde, zoals luit en gamba, werd hij echter reeds in de 16e eeuw gebruikt. We hebben hier te maken met een *regelmatige* en *gesloten* temperatuur.



Alle intervallen van dezelfde soort zijn onderling gelijk. Een citaat van Werckmeister, waarin deze grote man waarlijk profetisch wordt: "Wer aber eine Temperatur verlanget da alle consonantien in einer Gleichheit stehen der lasse alle quinten 1 / 12 eines commatis herunter schweben/ so werden die tertiae majores 2 / 3 die Minores 3 / 4 commatis schweben/ die Sexten werden auch der Natur Ihrer

tertien folgen: Und man bedarff keines Subsemitonii. Dieses hat ein gewisser Theologus in einen sonderbahren tractat/ da er von etlichen Geheimnissen der Heiligen Schrifft vermeldet/ angeführet/ da er nicht allein von den Tempel Salamonis alle consonantias musicas hernimmt/ und aus ziehet/ sondern auch insonderheit von dem gegossenem Mehr/ welches 12. Ochsen getragen haben/ eine mathematische Beschreibung anführet/ dass die rechte Musicalische temperatur wie sie Gott selber geordnet darinnen enthalten sey. Denn wie die cicumferens 22. gegen den diameter 7. sich halte/ da es doch billig 21. gegen 7. und also / in terminis minimis 3. 1. sein solte/ also müste der excus in die 12. Theile vertheilet werden/ welches dann eine gleiche und richtige temperatur geben würde: Biss her habe ich dieser Meinung nicht können Beyfall geben/ weil ich lieber die Diatonischen claves reiner halten wollen/ damit dasselbe genus/ welches am meisten gebrauchet wird/ desto reiner behalten würde: Andere meinen/ dass die temperatur da alle consonantien in der Gleichheit stehen/ endlich würde den Preis behalten/ und die Music würde künfftig durchaus so excoliret werden/ dass ieden gleichviel seyn würde/ ein Lied aus dem c. oder cis zu spielen/ u.s.w. Den Gott würde unsern Nachkommenden viel Wunder erzeugen: Ich lasse auch diese Meinung in ihrem Werth/ es kan sich viel ändern/ denn viel Dinge so vor hundert Jahren denen Musicis ein Eckel gewesen/ sind jetziger Zeit am angenehmsten. Et sic mundus regitur opinionibus oder wie andere wollen/ Homo astris."⁷

⁷ loc. cit.

3. Het aanbrengen en identificeren van stemmingen

Hierbij mogen we het verschil tussen syntonisch en pythagoreïsch komma niet langer verwaarlozen. Voor het aangeven van de afwijkingen bij kwinten en tertsen voeren we een nieuwe eenheid in, namelijk $1/12$ pythagoreïsch komma. Laten we voor het gemak deze eenheid aanduiden met "Werkmeister" en noteren als Wm. Reeds in de 18e eeuw gebruikten Neidhardt e.a. deze eenheid, evenwel zonder te letten op het verschil tussen pythagoreïsch en syntonisch komma. De voordelen van deze eenheid zijn:

- Veel voorkomende afwijkingen zijn veelvoud van 1 Wm:

$1/12$	pythagoreïsch komma	=	1 Wm
$1/6$	"	"	= 2 Wm
$1/4$	"	"	= 3 Wm
$1/3$	"	"	= 4 Wm
- Het verschil tussen pythagoreïsche en syntonisch komma bedraagt juist 1 Wm:

1 pythagoreïsch komma	=	12 Wm
1 syntonisch komma	=	11 Wm
- In de gelijkzwevende temperatuur zijn de kwinten 1 Wm te zwak, het is dus een maat waarmee hedendaagse stemmers volledig vertrouwd zijn.
- De nieuwe eenheid is eenvoudig te relateren aan cents-waarden:

2 cents	=	1 Wm
---------	---	------

 Als gevolg van a., b. en c. heeft dus ook het gebruik van cents voordelen ten opzichte van het gebruik van savarts, enz.

Bij het aanbrengen en identificeren van stemmingen maken we gebruik van het verschijnsel der zwevingen. Het aantal zwevingen per seconde van een onzuiver interval kan men bepalen door de trillingsgetallen van wat de eerste gemeenschappelijke boventoon zou moeten zijn van elkaar af te trekken.



De laagste gemeenschappelijke boventoon van d' en a' is a". Nemen we $a' = 440$ Hz en de kwint d' - a' een syntonisch komma te klein (zoals in de "reine" stemming van c - majeur), dus d' ten opzichte van a' een syntonisch komma te hoog. De boventoon a" van d' is dan een syntonisch komma hoger dan de boventoon a" van a'. De boventoon a" van a' is $2 \times 440 = 880$ Hz, de boventoon a" van d' is dus $81/80 \times 880 = 891$ Hz. Het aantal zwevingen per seconde bedraagt nu $891 - 880 = 11$. Tegenover a" = 880 Hz geeft dus een a" die 11 Wm te hoog is, 11 zwevingen per seconde. Bij benadering geldt dan dat tegenover a" = 880 Hz een a" die 1 Wm te hoog is, 1 zweving per seconde geeft. (We mogen namelijk, aangezien $81/80$ dicht bij 1 ligt geometrische verdelingen van het syntonisch komma wel vervangen door arithmetische verdelingen:

$(80/81)^k = (1 + 1/80)^k \approx 1 + k \cdot 1/80$. Zie bijv. dat a" = 880 Hz tegenover een a" die een syntonisch komma te laag is, in werkelijkheid 10,9 zwevingen per seconde geeft, wat we voor de praktijk echter gerust op 11 mogen stellen.)

Indien dus $a' = 440$ Hz en de kwint d' - a' is 1 Wm te klein (zoals in de "gelijkzwevende" temperatuur), dan horen we 60 zwevingen per minuut. Dit geldt ook voor andere intervallen die 1 Wm onzuiver zijn en in a" zweven. Dat zijn de kwart $a^0 - d'$, de grote terts $f^0 - a^0$, de kleine terts $d^0 - f^0$, de grote sext $f^0 - d'$ en de kleine sext $A - f^0$.



Voor andere toonhoogten verandert het aantal zwevingen evenredig met het trillingsgetal van de toonhoogte (vandaar dat het beter is te spreken van evenredig zwevende temperatuur dan van "gelijkzwevende" temperatuur).

Op dit alles berust de volgende tabel, die het aantal zwevingen per minuut aangeeft voor intervallen die 1 Wm onzuiver zijn op verschillende toonhoogten. Is de afwijking van een interval k Wm, dan is het aantal zwevingen k maal zo groot. Op deze wijze kan een stemming aangebracht worden of een onbekende stemming worden geïdentificeerd, hetzij met behulp van een metronoom of stopwatch, hetzij door schatting. In het laatste geval kan men de frequentie van de zwevingen van de kwinten vergelijken met de "normale" zwevingen bij de "gelijkzwevende" temperatuur.

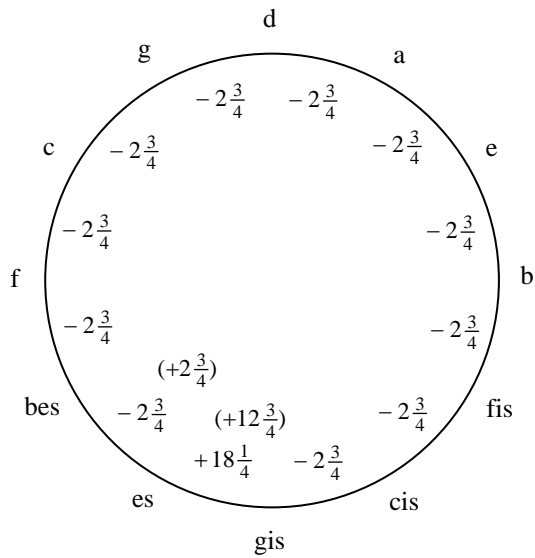
($a' = 440$ Hz)

kwint resp. kwart met als laagste resp. hoogste toon:	grote tertsen met als laagste toon:	zweving in	aantal zwevingen per minuut indien het interval 1 Wm onzuiver is
f^0	Gis	c^2	36
fis^0	A	cis^2	38
g^0	Bes	d^2	40
gis^0	B	es^2	42
a^0	c^0	e^2	45
bes^0	cis^0	f^2	48
b^0	d^0	fis^2	50
c^1	es^0	g^2	53 (≈ 54)
cis^1	e^0	gis^2	57
d^1	f^0	a^2	60 ←
es^1	fis^0	bes^2	64
e^1	g^0	b^2	67
f^1	gis^0	c^3	71 (≈ 72)
fis^1	a^0	cis^3	76
g^1	bes^0	d^3	80
gis^1	b^0	es^3	85
a^1	c^1	e^3	90
bes^1	cis^1	f^3	95
b^1	d^1	fis^3	101
c^2	es^1	g^3	107 (≈ 108)
cis^2	e^1	gis^3	113
d^2	f^1	a^3	120
es^2	fis^1	bes^3	127
e^2	g^1	b^3	135
f^2	gis^1	c^4	143

Te gebruiken in het klein octaaf van de Octaaf 4'.

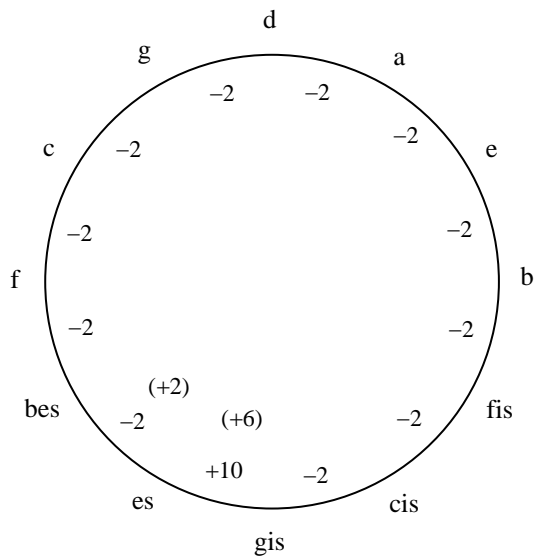
Hieronder volgen de kwintencirkels en terstketens van een aantal voor ons bruikbare stemmingen, waarbij de afwijkingen zijn uitgedrukt in "Werckmeisters".

Middentoon-stemming:



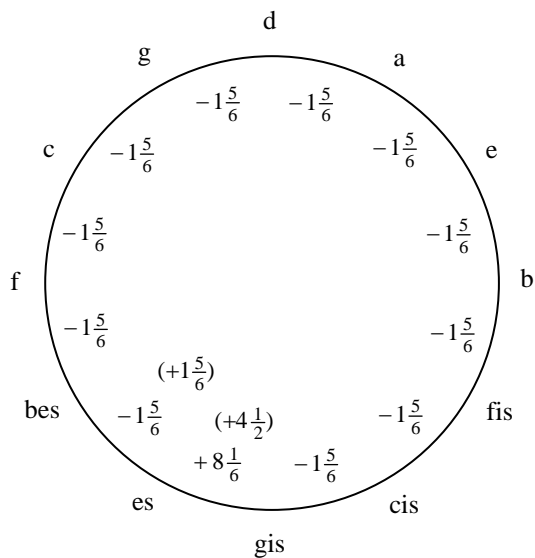
[cis +21]	f	0	a	0	cis
[gis +21]	c	0	e	0	gis
es	0	g	0	b	[+21 es]
	(+5 $\frac{1}{2}$)			(+5 $\frac{1}{2}$)	
bes	0	d	0	fis	[+21 bes]

1/6 komma-stemming (pythagoreisch komma):
(\approx Werckmeister 2)



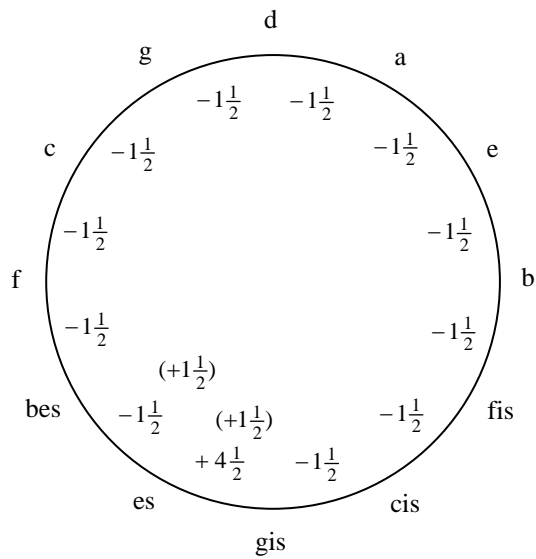
[cis +15]	f	+3	a	+3	cis
[gis +15]	c	+3	e	+3	gis
es	+3	g	+3	b	[+15 es]
	(+7)			(+11)	
bes	+3	d	+3	fis	[+15 bes]

1/6 komma - stemming (syntonisch komma):



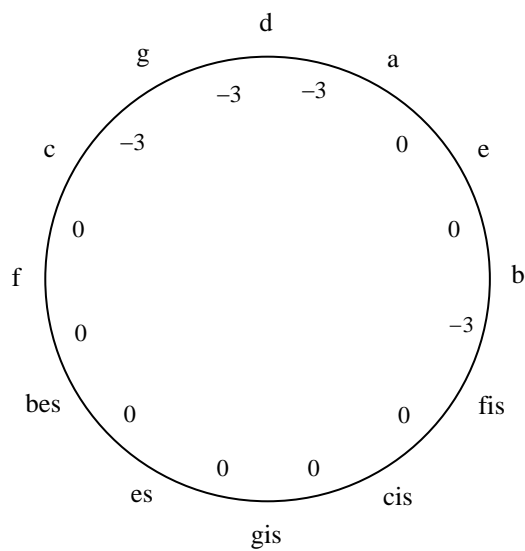
[cis +13 $\frac{2}{3}$]	f	+3 $\frac{2}{3}$	a	+3 $\frac{2}{3}$	cis
[gis +13 $\frac{2}{3}$]	c	+3 $\frac{2}{3}$	e	+3 $\frac{2}{3}$	gis
es	+3 $\frac{2}{3}$	g	+3 $\frac{2}{3}$	b	[+13 $\frac{2}{3}$ es]
	(+7 $\frac{1}{3}$)			(+10)	
bes	+3 $\frac{2}{3}$	d	+3 $\frac{2}{3}$	fis	[+13 $\frac{2}{3}$ bes]

1/8 komma-stemming (pythagoreisch komma):
 (≈ Werckmeister 3)



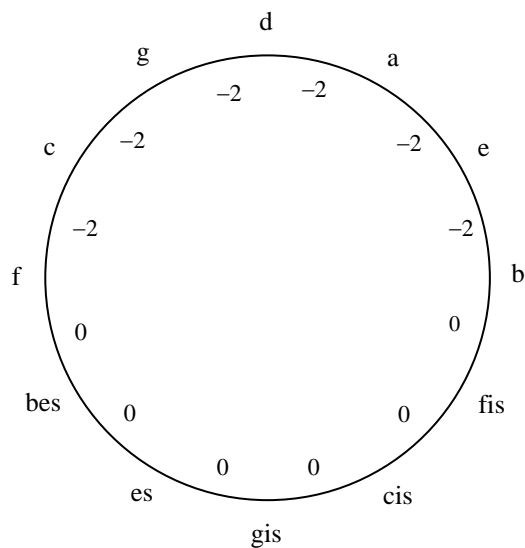
cis	+11	f	+5	a	+5	cis
gis	+11	c	+5	e	+5	gis
es	+5	g	+5	b	+11	es
	(+8)				(+8)	
bes	+5	d	+5	fis	+11	bes

Werckmeister 1:



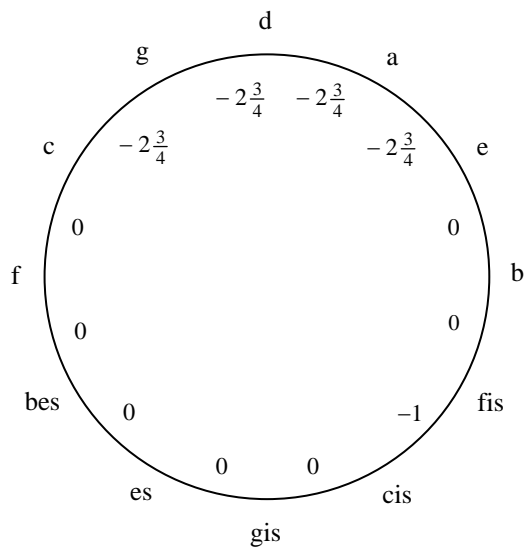
cis	+11	f	+2	a	+8	cis
gis	+11	c	+2	e	+8	gis
es	+8	g	+5	b	+8	es
bes	+5	d	+5	fis	+11	bes

Barca / Van Biezen 1:



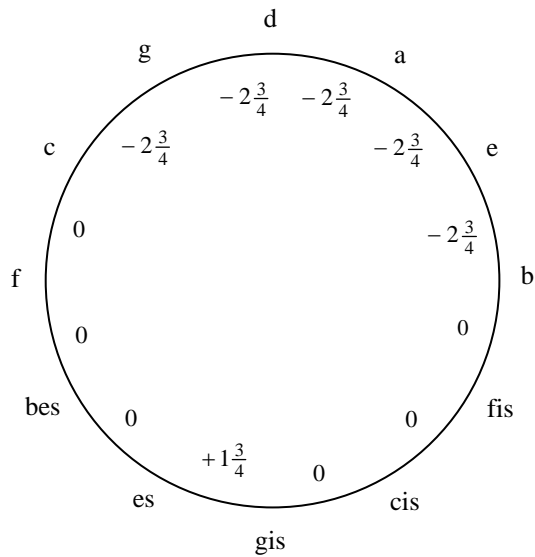
cis	+11	f	+3	a	+7	cis
gis	+9	c	+3	e	+9	gis
es	+7	g	+3	b	+11	es
bes	+5	d	+5	fis	+11	bes

Kirnberger 1779 (brief aan Forkel)



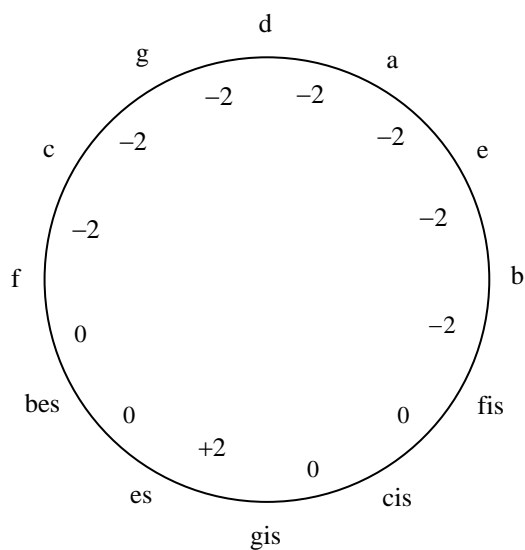
cis	+11	f	+2 $\frac{3}{4}$	a	+7 $\frac{1}{4}$	cis
gis	+11	c	0	e	+10	gis
es	+8 $\frac{1}{4}$	g	+2 $\frac{3}{4}$	b	+10	es
bes	+5 $\frac{1}{2}$	d	+5 $\frac{1}{2}$	fis	+10	bes

Van Biezen 2:



[cis	+12 $\frac{3}{4}$]	f	+2 $\frac{3}{4}$	a	+5 $\frac{1}{2}$	cis
[gis	+12 $\frac{3}{4}$]	c	0	e	+8 $\frac{1}{4}$	gis
es	+8 $\frac{1}{4}$	g	0	b	[+12 $\frac{3}{4}$	es]
bes	+5 $\frac{1}{2}$	d	+2 $\frac{3}{4}$	fis	[+12 $\frac{3}{4}$	bes]

Van Biezen 3:



[cis	+13]	f	+3	a	+5	cis
gis	+11	c	+3	e	+7	gis
es	+7	g	+3	b	+11	es
bes	+5	d	+3	fis	[+13	bes]