

WISKUNDE EN MUZIEK

Natuurkundig Gezelschap Middelburg 1780

5 februari 2016

Jan van de Craats

Universiteit van Amsterdam

Deel 1: Tonen en boventonen

Wat is een (muzikale) toon?

Wat is een (muzikale) toon?

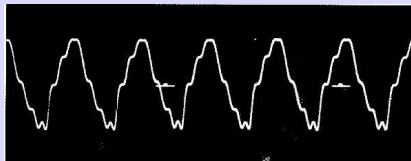
Geluid is een **luchttrilling**. Een muzikale toon is een (bij benadering) **periodieke** luchttrilling.

Voorbeeld:

Wat is een (muzikale) toon?

Geluid is een **luchttrilling**. Een muzikale toon is een (bij benadering) **periodieke** luchttrilling.

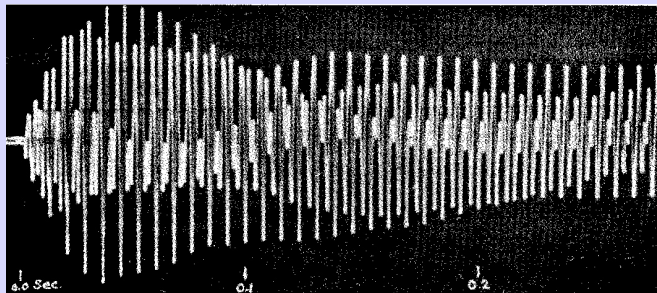
Voorbeeld:



Een klarinettoon C van 258 Hz. De markeringen geven tijdsintervallen van 0.01 seconde aan.

Wat is een (muzikale) toon?

Tweede voorbeeld:



Een pianotoon C van 129 Hz. De markeringen geven tijdsintervallen van 0.1 seconde aan. Duidelijk is het 'aanzetverschijnsel' te zien.

Wat is een (muzikale) toon?

Een muzikale toon is een **periodieke** luchtrilling.

De karakteristieken van een toon:

frequentie	aantal trillingen per seconde, gemeten in Hertz (Hz); de frequentie bepaalt de toonhoogte en de naam van de toon
amplitude	maximale uitwijking van de trilling; de amplitude bepaalt de sterkte (luidheid) van de toon
golfvorm	de golfvorm houdt verband met de klankkleur (het timbre) van de toon;

Wat is een (muzikale) toon?

Tonen worden voortgebracht door trillende voorwerpen:

Wat is een (muzikale) toon?

Tonen worden voortgebracht door trillende voorwerpen:

- ▶ gespannen snaar

Wat is een (muzikale) toon?

Tonen worden voortgebracht door trillende voorwerpen:

- ▶ gespannen snaar
- ▶ riet in een blaasinstrument

Wat is een (muzikale) toon?

Tonen worden voortgebracht door trillende voorwerpen:

- ▶ gespannen snaar
- ▶ riet in een blaasinstrument
- ▶ lip van een orgelpijp

Wat is een (muzikale) toon?

Tonen worden voortgebracht door trillende voorwerpen:

- ▶ gespannen snaar
- ▶ riet in een blaasinstrument
- ▶ lip van een orgelpijp
- ▶ stembanden

Wat is een (muzikale) toon?

Tonen worden voortgebracht door trillende voorwerpen:

- ▶ gespannen snaar
- ▶ riet in een blaasinstrument
- ▶ lip van een orgelpijp
- ▶ stembanden
- ▶ trommelvel

Wat is een (muzikale) toon?

Tonen worden voortgebracht door trillende voorwerpen:

- ▶ gespannen snaar
- ▶ riet in een blaasinstrument
- ▶ lip van een orgelpijp
- ▶ stembanden
- ▶ trommelvel
- ▶ ...

Wat is een (muzikale) toon?

Tonen worden voortgebracht door trillende voorwerpen:

- ▶ gespannen snaar
- ▶ riet in een blaasinstrument
- ▶ lip van een orgelpijp
- ▶ stembanden
- ▶ trommelvel
- ▶ ...

Delen van het instrument en de lucht erin gaan meetrillen en die trillingen bereiken via de omringende lucht uiteindelijk het oor van de luisteraar.

Wat is een (muzikale) toon?

Tonen worden voortgebracht door trillende voorwerpen:

- ▶ gespannen snaar
- ▶ riet in een blaasinstrument
- ▶ lip van een orgelpijp
- ▶ stembanden
- ▶ trommelvel
- ▶ ...

Delen van het instrument en de lucht erin gaan meetrillen en die trillingen bereiken via de omringende lucht uiteindelijk het oor van de luisteraar.

Bij hoorbaar geluid ligt de frequentie tussen 20 en 20 000 Hz.

Tonen en boventonen

Trillende voorwerpen kunnen i.h.a. in **verschillende** frequenties trillen.

Tonen en boventonen

Trillende voorwerpen kunnen i.h.a. in **verschillende** frequenties trillen. Bij gespannen snaren en luchtkolommen in blaasinstrumenten verhouden die frequenties zich (bij benadering) als de reeks

$$1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7 \dots$$

Tonen en boventonen

Trillende voorwerpen kunnen i.h.a. in **verschillende** frequenties trillen. Bij gespannen snaren en luchtkolommen in blaasinstrumenten verhouden die frequenties zich (bij benadering) als de reeks

$$1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7 \dots$$

Zo zijn de mogelijke frequenties bij een pianosnaar met als 'grondtoon' een C van 129 Hz achtereenvolgens

$$129, 258, 387, 516, 645, 774, 903 \dots \text{ Hz}$$

Tonen en boventonen

Trillende voorwerpen kunnen i.h.a. in **verschillende** frequenties trillen. Bij gespannen snaren en luchtkolommen in blaasinstrumenten verhouden die frequenties zich (bij benadering) als de reeks

$$1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7 \dots$$

Zo zijn de mogelijke frequenties bij een pianosnaar met als 'grondtoon' een C van 129 Hz achtereenvolgens

$$129, 258, 387, 516, 645, 774, 903 \dots \text{ Hz}$$

Laagste frequentie: **grondtoon**.

Hogere frequenties: **boventonen** (harmonischen).

Resonantie

Als de omringende lucht trilt met een frequentie die overeenkomt met een mogelijke frequenties waarin een voorwerp kan trillen, kan het voorwerp gaan **resoneren** (meetrillen) in die frequentie.

Resonantie

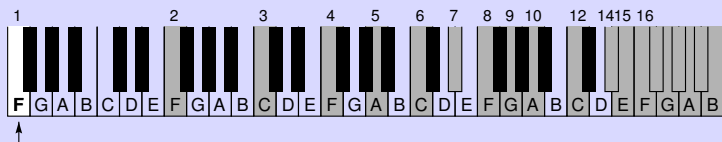
Als de omringende lucht trilt met een frequentie die overeenkomt met een mogelijke frequenties waarin een voorwerp kan trillen, kan het voorwerp gaan **resoneren** (meetrillen) in die frequentie.

Resonantieproef op de piano:

Resonantie

Als de omringende lucht trilt met een frequentie die overeenkomt met een mogelijke frequenties waarin een voorwerp kan trillen, kan het voorwerp gaan **resoneren** (meetrillen) in die frequentie.

Resonantieproef op de piano:



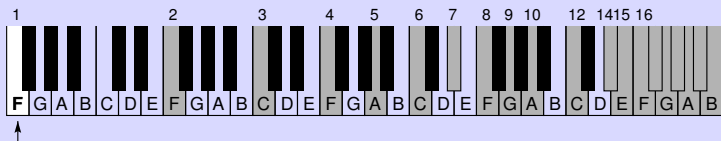
Houd de met een pijl aangegeven F-toets stom ingedrukt terwijl je de grijze toetsen kort aanslaat en weer loslaat. De tonen blijven doorklinken, maar nu voortgebracht door de F-snaar. Geen pedaal gebruiken!

Ook kun je laten horen dat de toon van een snaar verschillende boventonen bevat.

Resonantie

Ook kun je laten horen dat de toon van een snaar verschillende boventonen bevat.

TWEEDE PROEF



Houd nu een of meer van de grijze toetsen stom ingedrukt, terwijl je de met een pijl aangegeven lage F-toets kort aanslaat en weer loslaat. De boventonen brengen de stom ingedrukte snaar of snaren in trilling. Geen pedaal gebruiken!

Gebruik van boventonen

Een melodie met extra inkleuring van de eerste vijf boventonen:

The image displays a musical score for the first five measures of Bolero by Maurice Ravel, starting at measure 149. The score is written for four parts: Piccolo 1-2, Celesta, F. Horn, and Pizzicato Strings. The key signature is one sharp (F#) and the time signature is 3/4. The Piccolo part features a melodic line with a fifth measure rest in the first measure. The Celesta part provides a rhythmic accompaniment with a second measure rest in the first measure. The F. Horn part plays a steady eighth-note pattern. The Pizzicato Strings part consists of two staves, with the first staff showing a chord in the first measure and the second staff showing a chord in the first measure, followed by rests in the subsequent measures.

Figure 5: Exact parallel harmonics in the *Bolero* by Ravel, mm. 149-152.

Gebruik van boventonen

Een melodie met extra inkleuring van de eerste vijf boventonen:

The image displays a musical score for the first five overtones of a melody. The score is written for four staves: Piccolo 1-2, Celesta, F. Horn, and Pizzicato Strings. The Piccolo 1-2 staff starts at measure 149 and features a melodic line with a 5-measure rest at the beginning. The Celesta staff starts at measure 150 and features a 2-measure rest at the beginning. The F. Horn staff starts at measure 149. The Pizzicato Strings staff starts at measure 149. The score shows exact parallel harmonics for the first five overtones of the melody. The Piccolo 1-2 staff has a 5-measure rest at the beginning, followed by a melodic line. The Celesta staff has a 2-measure rest at the beginning, followed by a melodic line. The F. Horn staff has a melodic line. The Pizzicato Strings staff has a melodic line. The score is in 3/4 time and G major. The Piccolo 1-2 staff has a 5-measure rest at the beginning, followed by a melodic line. The Celesta staff has a 2-measure rest at the beginning, followed by a melodic line. The F. Horn staff has a melodic line. The Pizzicato Strings staff has a melodic line. The score is in 3/4 time and G major. The Piccolo 1-2 staff has a 5-measure rest at the beginning, followed by a melodic line. The Celesta staff has a 2-measure rest at the beginning, followed by a melodic line. The F. Horn staff has a melodic line. The Pizzicato Strings staff has a melodic line.

Figure 5: Exact parallel harmonics in the *Bolero* by Ravel, mm. 149-152.

Zie bijvoorbeeld

<https://www.youtube.com/watch?v=3KgpEru9lhw>,
waar dit fragment ongeveer 7:40 minuten na het begin komt.

(met dank aan Frans Absil voor dit voorbeeld)

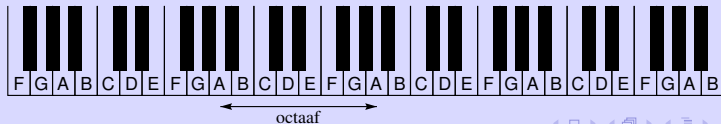
Welluidende intervallen

<i>freq.verh.</i>	<i>naam</i>
1 : 2	octaaf
2 : 3	kwint
3 : 4	kwart
4 : 5	grote tert
5 : 6	kleine tert
3 : 5	grote sext
5 : 8	kleine sext
4 : 7	
5 : 7	
6 : 7	

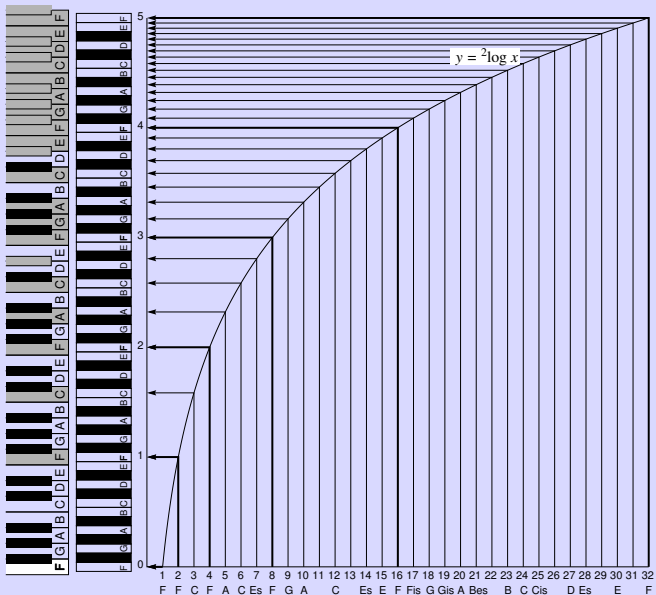
Welluidende intervallen

<i>freq.verh.</i>	<i>naam</i>
1 : 2	octaaf
2 : 3	kwint
3 : 4	kwart
4 : 5	grote tert
5 : 6	kleine tert
3 : 5	grote sext
5 : 8	kleine sext
4 : 7	
5 : 7	
6 : 7	

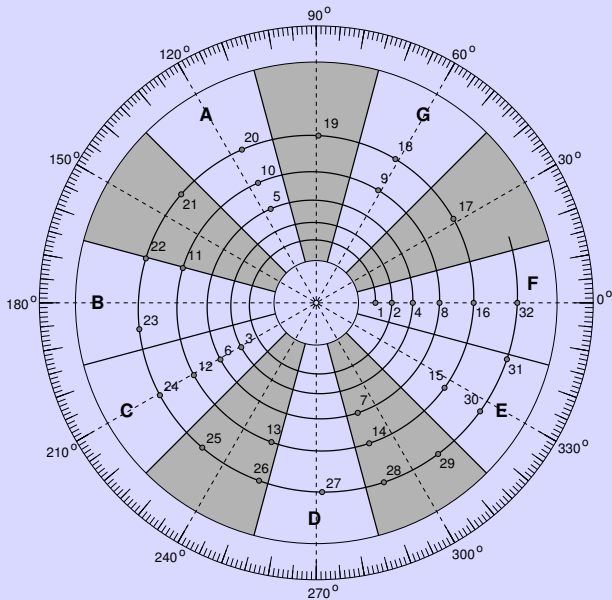
Het octaaf fungeert als 'maateenheid':



De boventonenreeks van een toon F



De boventonenspiraal van een toon F



Deel 2: Toonsystemen

Algemeen uitgangspunt bij de vorming van toonsystemen: met elke toon horen ook alle **octaaftransposities** tot het systeem.

Kwintensystemen

Algemeen uitgangspunt bij de vorming van toonsystemen: met elke toon horen ook alle **octaaftransposities** tot het systeem.

In veel culturen: toonsystemen gebaseerd op een rij van **geschakelde kwinten**.

Algemeen uitgangspunt bij de vorming van toonsystemen: met elke toon horen ook alle **octaaftransposities** tot het systeem.

In veel culturen: toonsystemen gebaseerd op een rij van **geschakelde kwinten**.

Pentatoniek: vier geschakelde kwinten, bijvoorbeeld
F–C–G–D–A

Algemeen uitgangspunt bij de vorming van toonsystemen: met elke toon horen ook alle **octaaftransposities** tot het systeem.

In veel culturen: toonsystemen gebaseerd op een rij van **geschakelde kwinten**.

Pentatoniek: vier geschakelde kwinten, bijvoorbeeld

F–C–G–D–A

Na transpositie over een halve toon omhoog zijn dit precies de zwarte toetsen van het pianoklavier:

Fis–Cis–Gis–Dis–Ais

Kwintensystemen

Algemeen uitgangspunt bij de vorming van toonsystemen: met elke toon horen ook alle **octaaftransposities** tot het systeem.

In veel culturen: toonsystemen gebaseerd op een rij van **geschakelde kwinten**.

Pentatoniek: vier geschakelde kwinten, bijvoorbeeld

F–C–G–D–A

Na transpositie over een halve toon omhoog zijn dit precies de zwarte toetsen van het pianoklavier:

Fis–Cis–Gis–Dis–Ais

Voorbeeld:

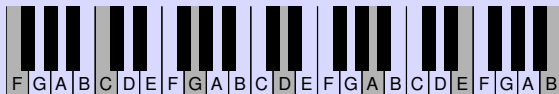


Kwintensystemen

Zes geschakelde kwinten:

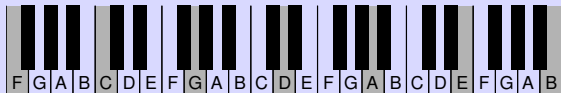
F–C–G–D–A–E–B

vormen het **Pythagoras-toonsysteem**

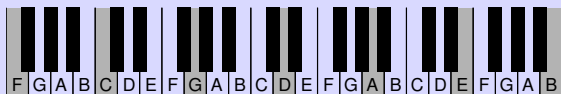


Dit zijn de 'witte toetsen' van het pianoklavier.

Kwintensystemen

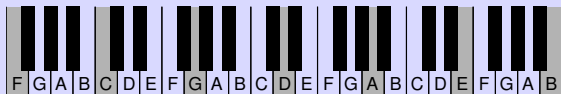


Kwintensystemen



Omdat een evenredigzwevende kwint **vrijwel gelijk** is aan een zuivere kwint, komt de pianostemming **vrijwel** overeen met die van het Pythagoras-toonsysteem.

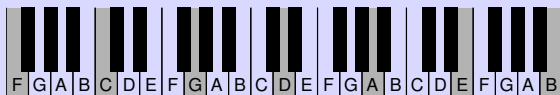
Kwintensystemen



Omdat een evenredigzwevende kwint **vrijwel gelijk** is aan een zuivere kwint, komt de pianostemming **vrijwel** overeen met die van het Pythagoras-toonsysteem.

Maar let op: de zuivere kwint (frequentieverhouding 3 : 2) is **iets groter** dan de evenredigzwevende kwint van de piano!

Kwintensystemen



Omdat een evenredigzwevende kwint **vrijwel gelijk** is aan een zuivere kwint, komt de pianostemming **vrijwel** overeen met die van het Pythagoras-toonsysteem.

Maar let op: de zuivere kwint (frequentieverhouding 3 : 2) is **iets groter** dan de evenredigzwevende kwint van de piano!

Namelijk: halve toonsafstand in de evenredigzwevende pianostemming heeft frequentieverhouding $\sqrt[12]{2} : 1$, dus de pianokwint heeft frequentieverhouding $(\sqrt[12]{2})^7 : 1 \approx 1.4983$.

De kwintenrij kan naar beide kanten worden voortgezet:

...Es–Bes–F–C–G–D–A–E–B–Fis–Cis–Gis...

Kwintensystemen

De kwintenrij kan naar beide kanten worden voortgezet:

...Es–Bes–F–C–G–D–A–E–B–Fis–Cis–Gis...

Wat gebeurt er als je de rij nog verder voortzet?

Kwintensystemen

De kwintenrij kan naar beide kanten worden voortgezet:

...Es–Bes–F–C–G–D–A–E–B–Fis–Cis–Gis...

Wat gebeurt er als je de rij nog verder voortzet?

Omdat

$$(3/2)^{12} \approx 129.7463379 \approx 128 = 2^7$$

is 12 zuivere kwinten omhoog **iets meer** dan 7 octaven omhoog.

Kwintensystemen

De kwintenrij kan naar beide kanten worden voortgezet:

...Es–Bes–F–C–G–D–A–E–B–Fis–Cis–Gis...

Wat gebeurt er als je de rij nog verder voortzet?

Omdat

$$(3/2)^{12} \approx 129.7463379 \approx 128 = 2^7$$

is 12 zuivere kwinten omhoog **iets meer** dan 7 octaven omhoog. Na octaaftranspositie is daarom (bijvoorbeeld) de toon Dis **iets hoger** dan de toon Es.

De kwintenrij kan naar beide kanten worden voortgezet:

...Es–Bes–F–C–G–D–A–E–B–Fis–Cis–Gis...

Wat gebeurt er als je de rij nog verder voortzet?

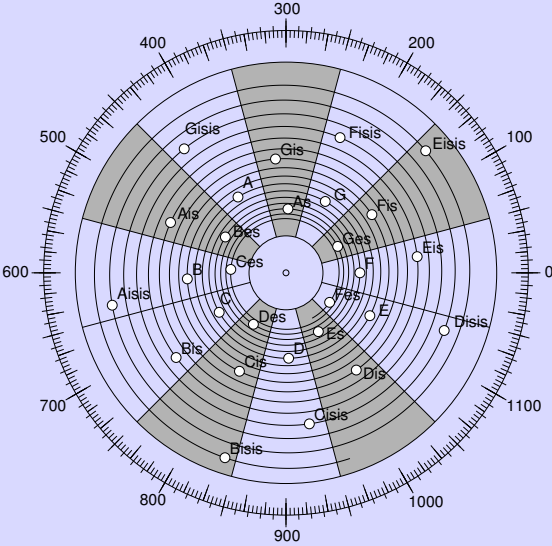
Omdat

$$(3/2)^{12} \approx 129.7463379 \approx 128 = 2^7$$

is 12 zuivere kwinten omhoog **iets meer** dan 7 octaven omhoog. Na octaaftranspositie is daarom (bijvoorbeeld) de toon Dis **iets hoger** dan de toon Es.

Op de piano hebben we maar 12 toetsen per octaaf. Daarom: evenredigzwevende stemming en **kwintencirkel**, waarin (bijv.) Dis en Es gelijk zijn.

De kwintenspiraal binnen één octaaf



Zwevingen

Zwevingen ontstaan bij het gelijktijdig klinken van tonen (of boventonen) met ongeveer dezelfde sterkte en vrijwel (maar niet helemaal!) dezelfde toonhoogte (frequentie). Zwevingen treden op in de **verschilfrequentie**.

Zwevingen

Zwevingen ontstaan bij het gelijktijdig klinken van tonen (of boventonen) met ongeveer dezelfde sterkte en vrijwel (maar niet helemaal!) dezelfde toonhoogte (frequentie). Zwevingen treden op in de **verschilfrequentie**.

Voorbeeld: op een volgens de evenredigzwevende twaalftoonsstemming gestemd orgel zul je in de registers met veel boventonen duidelijke zwevingen kunnen horen in de grote tertsen.

Zwevingen

Zwevingen ontstaan bij het gelijktijdig klinken van tonen (of boventonen) met ongeveer dezelfde sterkte en vrijwel (maar niet helemaal!) dezelfde toonhoogte (frequentie). Zwevingen treden op in de **verschilfrequentie**.

Voorbeeld: op een volgens de evenredigzwevende twaalftoonsstemming gestemd orgel zul je in de registers met veel boventonen duidelijke zwevingen kunnen horen in de grote tertsen.

Voorbeeld: lage tonen F en A:

Zwevingen

Zwevingen ontstaan bij het gelijktijdig klinken van tonen (of boventonen) met ongeveer dezelfde sterkte en vrijwel (maar niet helemaal!) dezelfde toonhoogte (frequentie). Zwevingen treden op in de **verschilfrequentie**.

Voorbeeld: op een volgens de evenredigzwevende twaalftoonsstemming gestemd orgel zul je in de registers met veel boventonen duidelijke zwevingen kunnen horen in de grote tertsen.

Voorbeeld: lage tonen F en A:

F: 43.65 Hz. 5e boventoon: 218.27 Hz

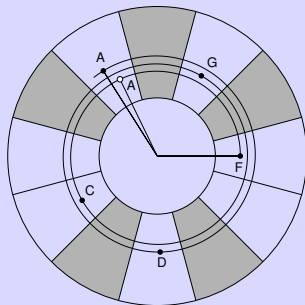
A: 55.00 Hz. 4e boventoon: 220.00 Hz

Verschilfrequentie: 1.73 Hz

De valse grote terts

Ook in de zuivere kwintenstemming is de 'grote-terts' F–A vals:
de frequentieverhouding is

$$(3 : 2)^4 \times (1 : 2)^2 = 81 : 64 \neq 80 : 64 = 5 : 4$$



Dit resulteert in zwevingen van boventonen:
de grote terts F–A is 'vals'.

Kwinten-tertsensystemen

Oplossing voor muziek waarin zowel de kwint als de grote terts een belangrijke rol spelen:

Kwinten-tertsensystemen

Oplossing voor muziek waarin zowel de kwint als de grote terts een belangrijke rol spelen:

Vorm een toonsysteem waarin zowel de **zuivere kwint** als de **zuivere grote terts** als bouwsteen optreden.

Kwinten-tertsensystemen

Oplossing voor muziek waarin zowel de kwint als de grote terts een belangrijke rol spelen:

Vorm een toonsysteem waarin zowel de **zuivere kwint** als de **zuivere grote terts** als bouwsteen optreden.

Voorbeeld:

A	-	E	-	B		
F	-	C	-	G	-	D

Kwinten-tertsensystemen

Oplossing voor muziek waarin zowel de kwint als de grote terts een belangrijke rol spelen:

Vorm een toonsysteem waarin zowel de **zuivere kwint** als de **zuivere grote terts** als bouwsteen optreden.

Voorbeeld:

A	-	E	-	B		
F	-	C	-	G	-	D

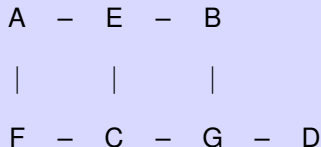
Voordeel: drie zuivere grote tertsen.

Kwinten-tertsensystemen

Oplossing voor muziek waarin zowel de kwint als de grote tertsen een belangrijke rol spelen:

Vorm een toonsysteem waarin zowel de **zuivere kwint** als de **zuivere grote tertsen** als bouwsteen optreden.

Voorbeeld:



Voordeel: drie zuivere grote tertsen.

Nadeel 'opengeknijpte kwint' D – A is (veel) te klein (wolfskwint).

Deel 3: Majeur en mineur

Modulaties en muziekvoorbeelden

Kwinten-tertsensystemen – majeur

Euler stelde voor om het systeem uit te breiden met de toon Fis:

Kwinten-tertsensystemen – majeur

Euler stelde voor om het systeem uit te breiden met de toon Fis:

A – E – B – Fis

| | | |

F – **C** – G – D

Kwinten-tertsensystemen – majeur

Euler stelde voor om het systeem uit te breiden met de toon Fis:

A	-	E	-	B	-	Fis
F	-	C	-	G	-	D

Dit blijkt een goed skelet te zijn voor de toonsoort **C grote terts** (C majeur). In dit systeem heet de toon C de **tonica**, de toon G de **dominant** en de toon F de **subdominant**.

Kwinten-tertsensystemen – majeur

Euler stelde voor om het systeem uit te breiden met de toon Fis:

A	-	E	-	B	-	Fis
F	-	C	-	G	-	D

Dit blijkt een goed skelet te zijn voor de toonsoort **C grote tert** (C majeur). In dit systeem heet de toon C de **tonica**, de toon G de **dominant** en de toon F de **subdominant**.

Het systeem bevat de **grote-tertsdrieklanken** op de tonica (C), de dominant (G) en de subdominant (F), alsmede de drie bijbehorende **leidtonen**, resp. B, Fis, E.

Kwinten-tertsensystemen – mineur

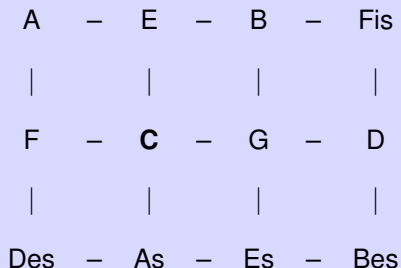
Uitgebreid tot 12 tonen per octaaf:

A	–	E	–	B	–	Fis
F	–	C	–	G	–	D
Des	–	As	–	Es	–	Bes

Dit schema blijkt een goed skelet te zijn voor **kleine-tertstoonsystemen**. In dit geval: **C-mineur**.

Kwinten-tertsensystemen – mineur

Uitgebreid tot 12 tonen per octaaf:



Dit schema blijkt een goed skelet te zijn voor **kleine-tertstoonsystemen**. In dit geval: **C-mineur**.

Het bevat de **kleine-tertsdrieklanken** en de **grote-tertsdrieklanken** op C, G en F met hun leidtonen.

Kwinten-tertsensystemen – mineur

Uitgebreid tot 12 tonen per octaaf:

A	–	E	–	B	–	Fis
F	–	C	–	G	–	D
Des	–	As	–	Es	–	Bes

Dit schema blijkt een goed skelet te zijn voor **kleine-tertstoonsystemen**. In dit geval: **C-mineur**.

Het bevat de **kleine-tertsdrieklanken** en de **grote-tertsdrieklanken** op C, G en F met hun leidtonen.

Verder bevat het de **twee grote-tertssystemen** C-majeur en As-majeur!

Bach: Chaconne in D-mineur

Ciaccona

7

11

15

19

23

27

30

Bach: Chaconne in D-mineur

Het D-mineur toonsysteem:

B	-	Fis	-	Cis	-	Gis
G	-	D	-	A	-	E
Es	-	Bes	-	F	-	C

Bach: Chaconne in D-mineur

Het D-mineur toonsysteem:

B	–	Fis	–	Cis	–	Gis
G	–	D	–	A	–	E
Es	–	Bes	–	F	–	C

'Extra' tonen: Es, B, Fis, Cis, Gis

Het kwinten-tertsenrooster

Het kwinten-tertsenrooster

-	Fis ₂	-	Cis ₂	-	Gis ₂	-	Dis ₂	-	Ais ₂	-	Eis ₂	-	Bis ₂	-	Fisis ₂	-	Cisis ₂	-
-	D ₁	-	A ₁	-	E ₁	-	B ₁	-	Fis ₁	-	Cis ₁	-	Gis ₁	-	Dis ₁	-	Ais ₁	-
-	Bes ₀	-	F ₀	-	C ₀	-	G ₀	-	D ₀	-	A ₀	-	E ₀	-	B ₀	-	Fis ₀	-
-	Ges ₋₁	-	Des ₋₁	-	As ₋₁	-	Es ₋₁	-	Bes ₋₁	-	F ₋₁	-	C ₋₁	-	G ₋₁	-	D ₋₁	-
-	Eses ₋₂	-	Beses ₋₂	-	Fes ₋₂	-	Ces ₋₂	-	Ges ₋₂	-	Des ₋₂	-	As ₋₂	-	Es ₋₂	-	Bes ₋₂	-

Schubert: Onvoltooide symfonie, B-mineur, 1e deel

Schubert: Onvoltooide symfonie, B-mineur, 1e deel

Overgang naar het 2e thema:

The image displays a musical score for the first movement of Schubert's Unfinished Symphony in B minor, 3/4 time. The score is presented in two systems, each with a grand staff (treble and bass clefs). The first system begins at measure 36, marked with a forte (*ff*) dynamic. It features a series of chords in the right hand and a steady bass line in the left hand. Measure 40 is marked with a sforzando (*sf*) dynamic, followed by a piano (*fp*) dynamic. The second system starts at measure 45, marked with a pianissimo (*pp*) dynamic. This system shows a more melodic and rhythmic development in the right hand, with the left hand providing a harmonic accompaniment. The key signature is B minor (two sharps) and the time signature is 3/4.

Schubert: Onvoltooide symfonie, 1e deel

Het B-mineur toonsysteem:

Gis	–	Dis	–	Ais	–	Eis
E	–	B	–	Fis	–	Cis
C	–	G	–	D	–	A

Schubert: Onvoltooide symfonie, 1e deel

Het B-mineur toonsysteem:

Gis	–	Dis	–	Ais	–	Eis
E	–	B	–	Fis	–	Cis
C	–	G	–	D	–	A

G-majeur als deelsysteem (2e thema)

Mozart: Pianoposonate in C-majeur, KV 545, 1e deel

Mozart: Pianosonate in C-majeur, KV 545, 1e deel

Deel van het kwinten-tertsenrooster:

A	-	E	-	B	-	Fis	-	Cis	-	Gis	-	Dis	-
F	-	C	-	G	-	D	-	A	-	E	-	B	-
Des	-	As	-	Es	-	Bes	-	F	-	C	-	G	-

Mozart: Pianosonate in C-majeur, KV 545, 1e deel

Deel van het kwinten-tertsenrooster:

A	-	E	-	B	-	Fis	-	Cis	-	Gis	-	Dis	-
F	-	C	-	G	-	D	-	A	-	E	-	B	-
Des	-	As	-	Es	-	Bes	-	F	-	C	-	G	-

Modulatie in de expositie: C-groot – G-groot

Mozart: Pianosonate in C-majeur, KV 545, 1e deel

Deel van het kwinten-tertsenrooster:

A	-	E	-	B	-	Fis	-	Cis	-	Gis	-	Dis	-
F	-	C	-	G	-	D	-	A	-	E	-	B	-
Des	-	As	-	Es	-	Bes	-	F	-	C	-	G	-

Modulatie in de expositie: C-groot – G-groot

Modulaties in de doorwerking:

G-klein – D-klein – A-klein – F-groot – C-groot

Mozart: Rondo D-majeur, KV 485

Mozart: Rondo D-majeur, KV 485

D-mineur toonsysteem:

Mozart: Rondo D-majeur, KV 485

D-mineur toonsysteem:

B	-	Fis	-	Cis	-	Gis
G	-	D	-	A	-	E
Es	-	Bes	-	F	-	C

Mozart: Rondo D-majeur, KV 485

D-mineur toonsysteem:

B	–	Fis	–	Cis	–	Gis
G	–	D	–	A	–	E
Es	–	Bes	–	F	–	C

Dit systeem bevat D-groot en Bes-groot als deelsystemen.

Mozart: Rondo D-majeur, KV 485

D-mineur toonsysteem:

B	–	Fis	–	Cis	–	Gis
G	–	D	–	A	–	E
Es	–	Bes	–	F	–	C

Dit systeem bevat D-groot en Bes-groot als deelsystemen.

Modulaties in de expositie: D-groot – A-groot

Mozart: Rondo D-majeur, KV 485

D-mineur toonsysteem:

B	–	Fis	–	Cis	–	Gis
G	–	D	–	A	–	E
Es	–	Bes	–	F	–	C

Dit systeem bevat D-groot en Bes-groot als deelsystemen.

Modulaties in de expositie: D-groot – A-groot

Modulaties in het vervolg:

G-groot – D-groot – **D-klein** – F-groot – D-groot – **Bes-groot** –
D-groot

Grote-tertsmodulatie in Mozarts Rondo in D, KV 485

Grote-tertsmodulatie in Mozarts Rondo in D, KV 485

Modulatie van D-groot naar Bes-groot.

The image displays three systems of musical notation for Mozart's Rondo in D major, KV 485. The score is written for piano and features a modulation from D major to B-flat major. The first system, starting at measure 131, shows a treble clef with a complex sixteenth-note melody and a bass clef with a simple accompaniment. The second system, starting at measure 134, shows the treble clef with a melodic line that includes a trill and a fermata, while the bass clef continues with a steady accompaniment. The third system, starting at measure 138, shows the treble clef with a melodic line that includes a trill and a fermata, while the bass clef continues with a steady accompaniment. The key signature changes from two sharps (D major) to two flats (B-flat major) at the beginning of the second system.

Deel 4:

Stemmen van toetsinstrumenten

Twaalf tonen per octaaf

Bij zang, strijk- en blaasinstrumenten kun je de intonatie aan de toonsoort aanpassen.

Twaalf tonen per octaaf

Bij zang, strijk- en blaasinstrumenten kun je de intonatie aan de toonsoort aanpassen.

Bij toetsinstrumenten met twaalf tonen per octaaf is dat lastiger.
Met name bij orgels.

Twaalf tonen per octaaf

Bij zang, strijk- en blaasinstrumenten kun je de intonatie aan de toonsoort aanpassen.

Bij toetsinstrumenten met twaalf tonen per octaaf is dat lastiger. Met name bij orgels.

Probleem: 'juiste intonatie' via kwinten en grote tertsen resulteert in een aantal 'valse' intervallen. Daardoor kun je in sommige toonsoorten niet goed spelen.

Twaalf tonen per octaaf

Bij zang, strijk- en blaasinstrumenten kun je de intonatie aan de toonsoort aanpassen.

Bij toetsinstrumenten met twaalf tonen per octaaf is dat lastiger. Met name bij orgels.

Probleem: 'juiste intonatie' via kwinten en grote tertsen resulteert in een aantal 'valse' intervallen. Daardoor kun je in sommige toonsoorten niet goed spelen.

Evenredigzwevende stemming is al vroeg voorgesteld, maar werd tot ver in de achttiende eeuw verworpen wegens de valse grote tertsen.

Twaalf tonen per octaaf

Bij zang, strijk- en blaasinstrumenten kun je de intonatie aan de toonsoort aanpassen.

Bij toetsinstrumenten met twaalf tonen per octaaf is dat lastiger. Met name bij orgels.

Probleem: 'juiste intonatie' via kwinten en grote tertsen resulteert in een aantal 'valse' intervallen. Daardoor kun je in sommige toonsoorten niet goed spelen.

Evenredigzwevende stemming is al vroeg voorgesteld, maar werd tot ver in de achttiende eeuw verworpen wegens de valse grote tertsen.

Daarom tal van 'compromisstemmingen'.

Middentoonstemming

A

|

F - C - G - D

Middentoonstemming

A

|

F - C - G - D

Stem eerst F, C, G, D via zuivere kwinten, en F– A als een zuivere grote terts.

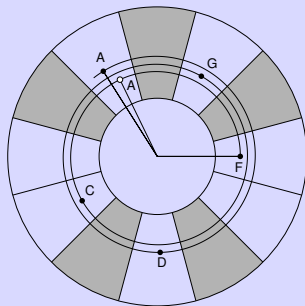
Middentoonstemming

A
|
F – C – G – D

Stem eerst F, C, G, D via zuivere kwinten, en F– A als een zuivere grote terts.

Pas de stemming van de tonen C, G en D zo aan, dat de verkleinde kwinten F–C, C–G, G–D en D–A gelijk worden. (allemaal iets meer dan 5 cent te klein).

Middentoonstemming



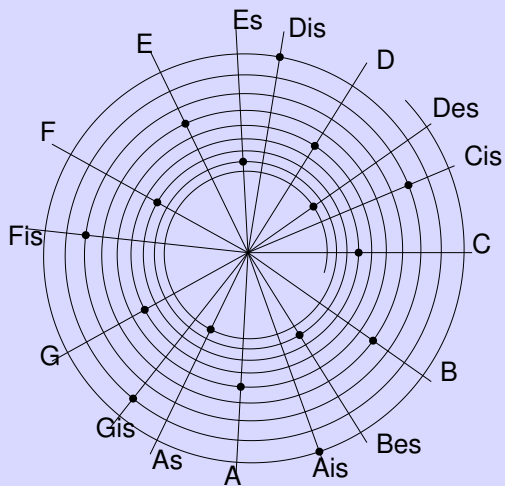
Middentoonstemming

Via zuivere grote tertsen krijgen we

Cis	...	Gis	...	Dis	...	Ais
A	...	E	...	B	...	Fis
F	...	C	...	G	...	D
Des	...	As	...	Es	...	Bes

Middentoonstemming

Middentoonspiraal:



Middentoonstemming

Bij twaalf tonen per octaaf kies je hieruit een geschikt segment, bijvoorbeeld

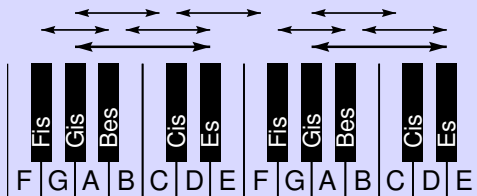
...Es–Bes–F–C–G–D–A–E–B–Fis–Cis–Gis...

Middentoonstemming

Bij twaalf tonen per octaaf kies je hieruit een geschikt segment,
bijvoorbeeld

...Es–Bes–F–C–G–D–A–E–B–Fis–Cis–Gis...

Maar ... nu vier valse 'grote tertsen' en één valse kwint:



Andere compromisstemmingen (selectie)

1. *Rameau (1725):*

Zuivere kwinten op B, Fis en Cis, middentoonkwinten (696.5784 cents) op Bes, F, C, G, D, A, E, 'overmatige kwinten' (709.0430 cents) op Gis en Es.

Andere compromisstemmingen (selectie)

1. *Rameau (1725)*:

Zuivere kwinten op B, Fis en Cis, middentoonkwinten (696.5784 cents) op Bes, F, C, G, D, A, E, 'overmatige kwinten' (709.0430 cents) op Gis en Es.

2. *Werckmeister III (1691)*:

Vrijwel zuivere kwinten (701.7108 cents) op Es, Bes, F, A, E, Fis, Cis, Gis, middentoonkwinten (696.5784 cents) op C, G, D en B.

Andere compromisstemmingen (selectie)

1. *Rameau (1725):*

Zuivere kwinten op B, Fis en Cis, middentoonkwinten (696.5784 cents) op Bes, F, C, G, D, A, E, 'overmatige kwinten' (709.0430 cents) op Gis en Es.

2. *Werckmeister III (1691):*

Vrijwel zuivere kwinten (701.7108 cents) op Es, Bes, F, A, E, Fis, Cis, Gis, middentoonkwinten (696.5784 cents) op C, G, D en B.

3. *Kirnberger III (1779):*

Zuivere kwinten op Es, Bes, F, E, B, Cis, Gis, evenredig zwevende kwint (700 cents) op Fis, middentoonkwinten (696.5784 cents) op C, G, D en A.

Andere compromisstemmingen (selectie)

1. *Rameau (1725):*

Zuivere kwinten op B, Fis en Cis, middentoonkwinten (696.5784 cents) op Bes, F, C, G, D, A, E, 'overmatige kwinten' (709.0430 cents) op Gis en Es.

2. *Werckmeister III (1691):*

Vrijwel zuivere kwinten (701.7108 cents) op Es, Bes, F, A, E, Fis, Cis, Gis, middentoonkwinten (696.5784 cents) op C, G, D en B.

3. *Kirnberger III (1779):*

Zuivere kwinten op Es, Bes, F, E, B, Cis, Gis, evenredig zwevende kwint (700 cents) op Fis, middentoonkwinten (696.5784 cents) op C, G, D en A.

4. *Valotti (1779):*

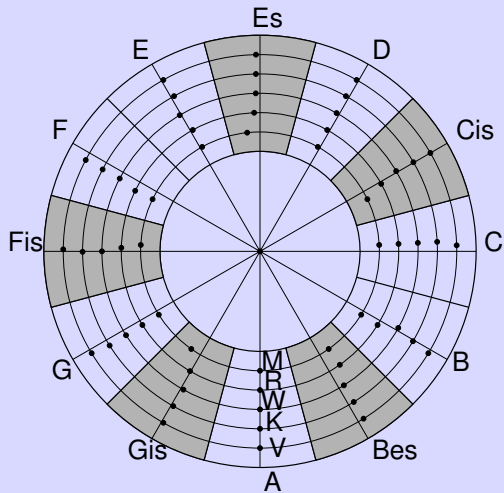
Zuivere kwinten op Es, Bes, B, Fis, Cis, Gis, verkleinde kwinten (698.0450 cents) op F, C, G, D, A, E.

Andere compromisstemmingen (selectie)

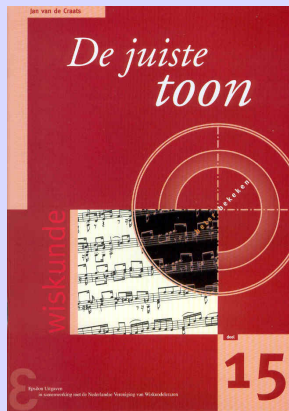
	M	R	W	K	V
Es	21	8	5	4	4
Bes	17	17	7	6	6
F	14	14	9	8	8
C	10	10	10	10	6
G	7	7	7	7	4
D	3	3	3	3	2
A	0	0	0	0	0
E	-3	-3	2	-3	-2
B	-7	-7	3	-1	-4
Fis	-10	-5	0	0	-2
Cis	-14	-3	2	0	0
Gis	-17	-1	3	2	2

Afwijkingen van de evenredig zwevende stemming, afgerond op gehele cents. Achtereenvolgens: de middentoonstemming (M), Rameau (R), Werckmeister (W), Kirnberger (K) en Valotti (V).

Andere compromisstemmingen (selectie)

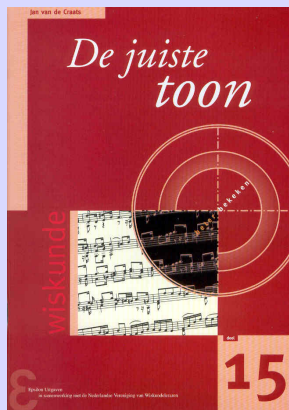


Tot slot:



Jan van de Craats
De juiste toon.

Epsilon Uitgaven,
Utrecht, 2003



Jan van de Craats
De juiste toon.

Epsilon Uitgaven,
Utrecht, 2003

Zie ook mijn homepage

<https://staff.fnwi.uva.nl/j.vandecraats/>