

DE JUISTE TOON

Nationale Wiskunde Dagen

Noordwijkerhout

1 februari 2014

Jan van de Craats

Universiteit van Amsterdam

Deel 1: Tonen en boventonen

Wat is een (muzikale) toon?

Wat is een (muzikale) toon?

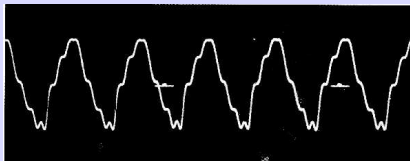
Geluid is een **luchttrilling**. Een muzikale toon is een (bij benadering) **periodieke** luchttrilling.

Voorbeeld:

Wat is een (muzikale) toon?

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

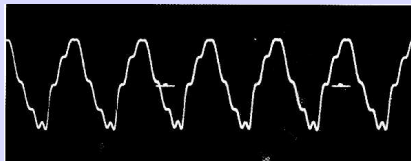
Voorbeeld:



Wat is een (muzikale) toon?

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

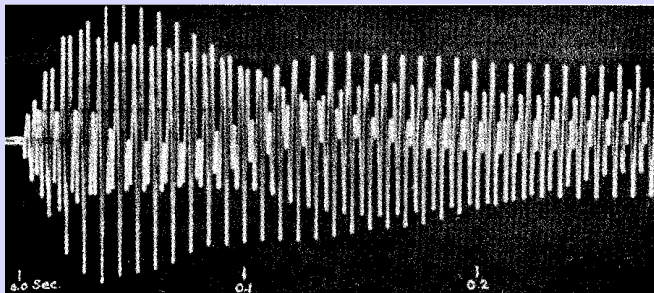
Voorbeeld:



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** luchttrilling.

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.

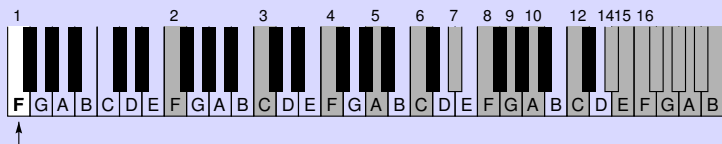
Resonantieproef op de piano:



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!

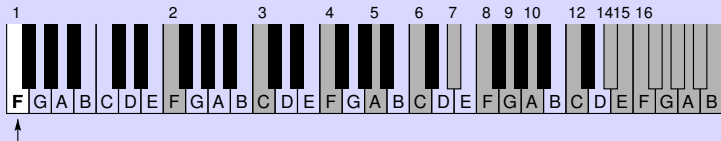
Resonantie

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.

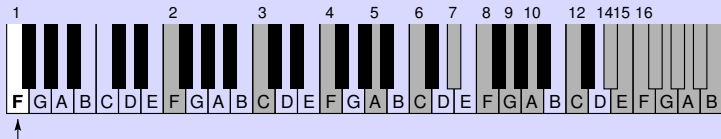
TWEEDE PROEF



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!

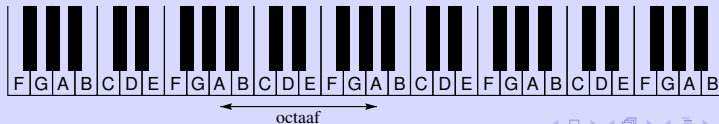
Welluidende intervallen

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

Het octaaf fungeert als 'maateenheid':



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:

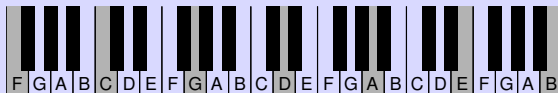


Kwintensystemen

Zes geschakelde kwinten:

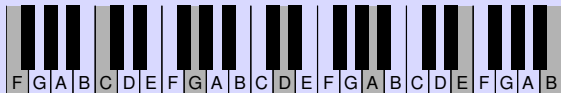
F–C–G–D–A–E–B

vormen het **Pythagoras-toonsysteem**

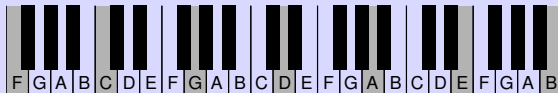


Dit zijn de ‘witte toetsen’ van het pianoklavier.

Kwintensystemen

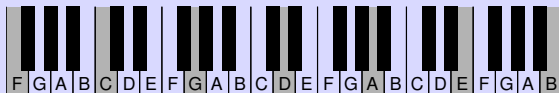


Kwintensystemen



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...

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.

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

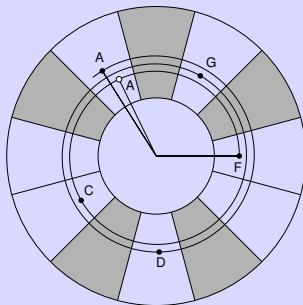
A: 55.00 Hz. 4e boventoon: 220.00 Hz

Verschilfrequentie: 1.73 Hz

De valse grote tert

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

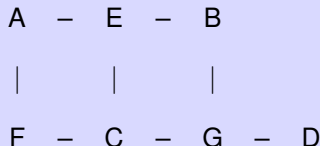
Voordeel: drie zuivere grote tertsen.

Kwinten-tertsensystemen

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

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

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:

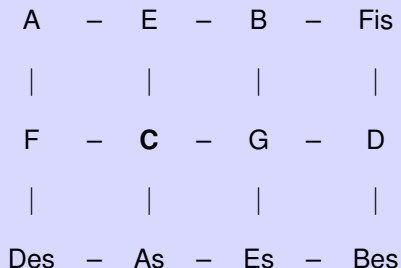
A	–	E	–	B	–	Fis
F	–	C	–	G	–	D

Dit blijkt een goed skelet te zijn voor de toonsoort **C grote terts** (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:



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:

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.

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-tertsystemen** C-majeur en As-majeur!

Bach: Chaconne in D-minor

Ciaccona

This image displays the first 30 measures of J.S. Bach's Chaconne in D-minor, BWV 576. The score is written for a single melodic line on a treble clef staff, with a key signature of two flats (B-flat and E-flat) and a 3/4 time signature. The piece is in common time (C). The notation includes various musical symbols such as eighth notes, sixteenth notes, and rests. Measure numbers 7, 11, 15, 19, 23, 27, and 30 are indicated in small boxes at the beginning of their respective lines. The score is presented on a white background with black ink.

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

-	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. The score is written for piano and is in 3/4 time. It consists of two systems of staves. The first system covers measures 36 to 40, and the second system covers measures 45 to 49. The key signature is B minor (two sharps: F# and C#). The tempo is marked 'ff' (fortissimo) at measure 36, 'sf' (sforzando) at measure 40, and 'pp' (pianissimo) at measure 45. The score shows a transition from a dense, blocky texture to a more melodic and flowing texture. The first system features a strong, rhythmic pattern in the right hand, while the second system introduces a more melodic line in the right hand, supported by a steady bass line in the left hand.

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: 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

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

Zie

Jan van de Craats, *De juiste toon*.

Zebra-reeks, deel 15, Epsilon Uitgaven, Utrecht, 2003

Zie

Jan van de Craats, *De juiste toon*.

Zebra-reeks, deel 15, Epsilon Uitgaven, Utrecht, 2003

Zie ook mijn homepage

`www.science.uva.nl/~craats`

Zie

Jan van de Craats, *De juiste toon*.

Zebra-reeks, deel 15, Epsilon Uitgaven, Utrecht, 2003

Zie ook mijn homepage

`www.science.uva.nl/~craats`

DANK!