



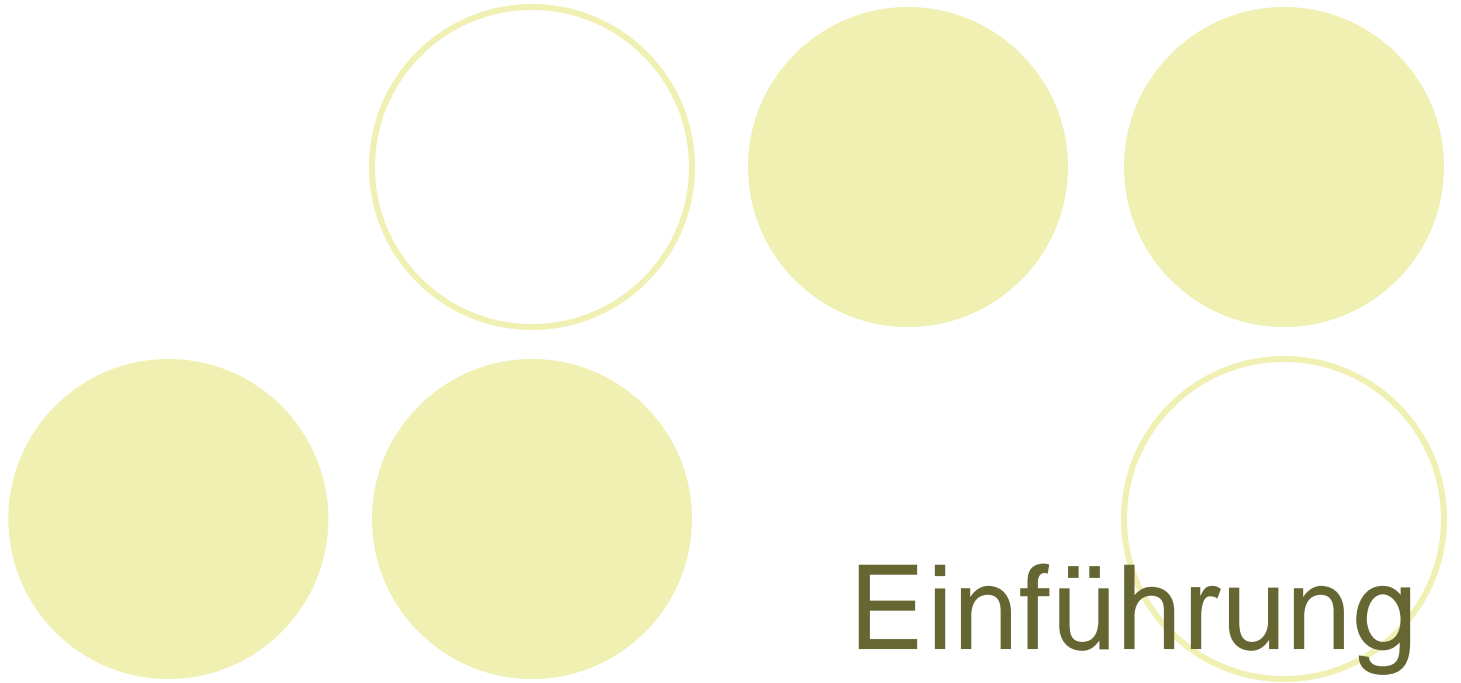
Physik und Musik

Sigrid Stöckl, Susanne Rauch, Theresa
Schapfl, Andrea Giffinger, Sabine
Margreiter, Mira Reiber



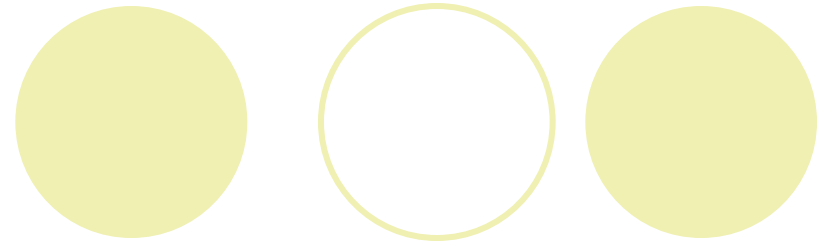
Inhalt

- Einführung
- Tonleitern - Tonskalen
- Musikalische Skalen
- Intervalle
- Konsonanz - Dissonanz
- Stimmung



Einführung

Einführung



● Formeln und Berechnung:

○ Frequenz:

● $f=1/T$

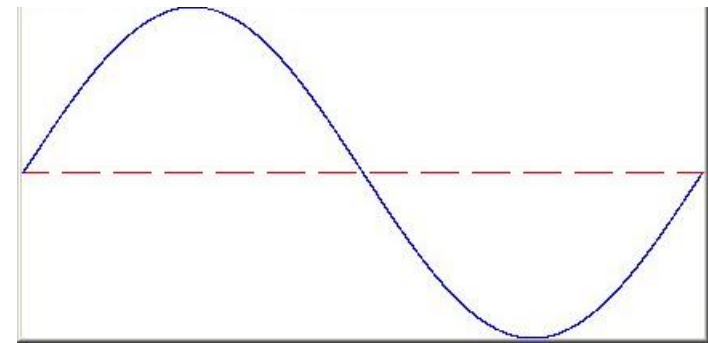
$f=c\lambda$

○ Wellenlänge:

● $\lambda=c/f$

○ Periodendauer:

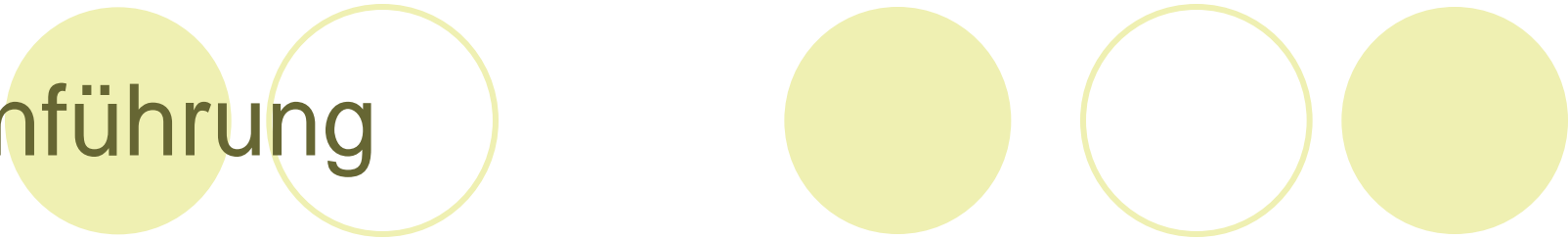
● $T=1/f$



T...Periodendauer

λ ...Wellenlänge

Einführung



- Berechnung von Tonhöhen in Cent:

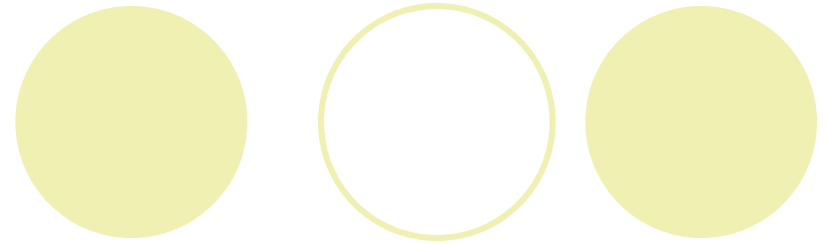
- $\lg(f_2/f_1)/\lg 2 \times 1200$

- Berechnung von Tonhöhen in Hz:

- $f_1 \times 1,05946 = f_2$

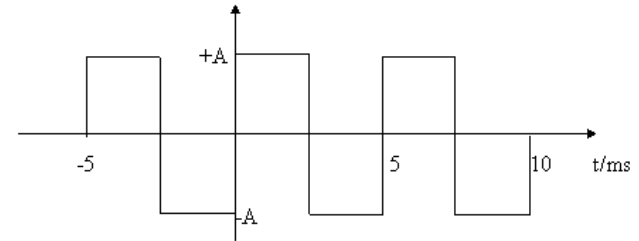
$$f_2 > f_1$$

Einführung

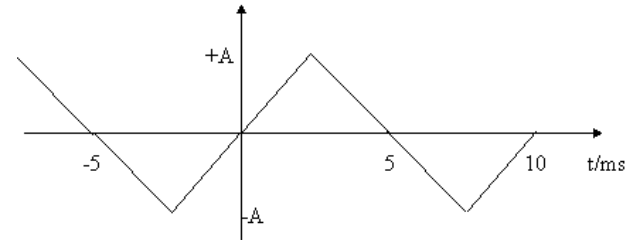


● Schwingungsformen:

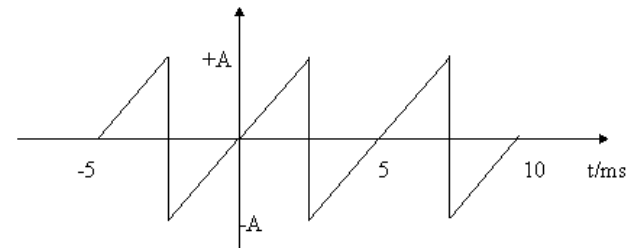
○ Rechteckschwingung:

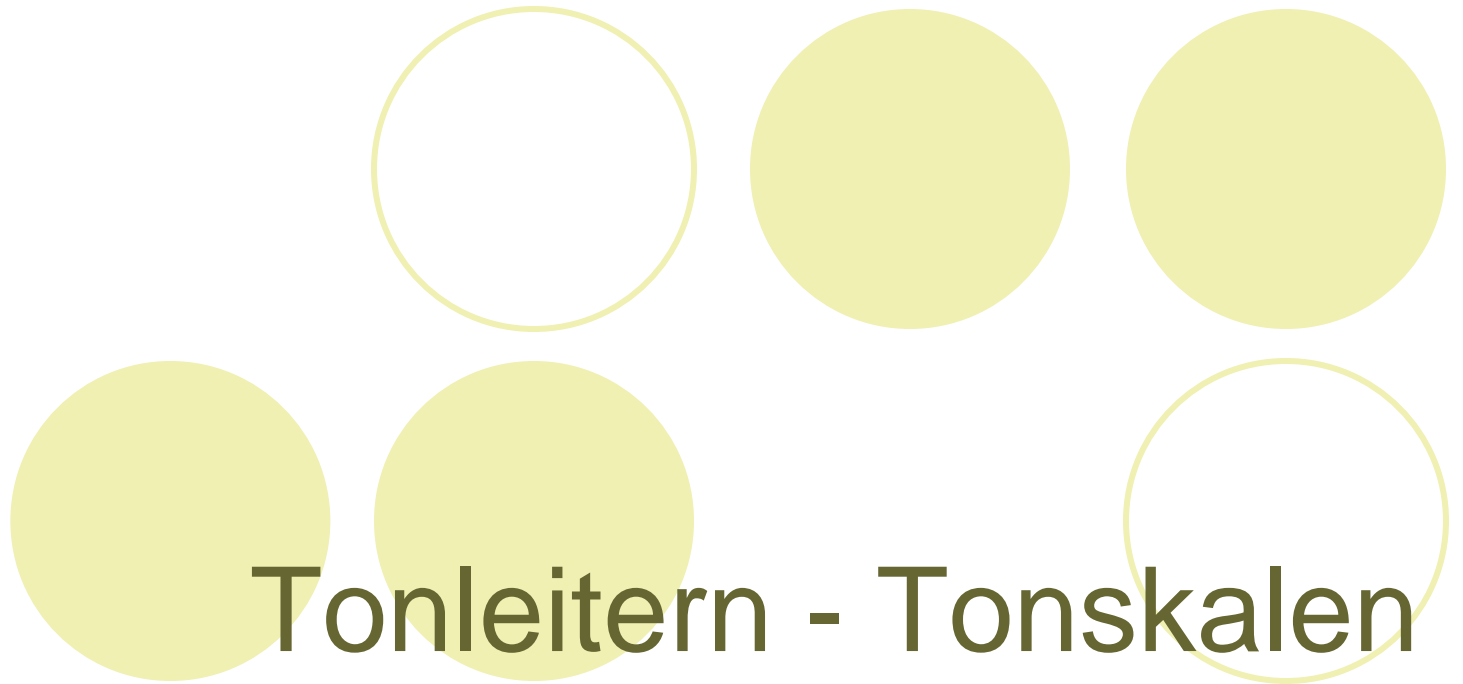


○ Dreieckschwingung:



○ Sägezahnschwingung:





Tonleitern - Tonskalen

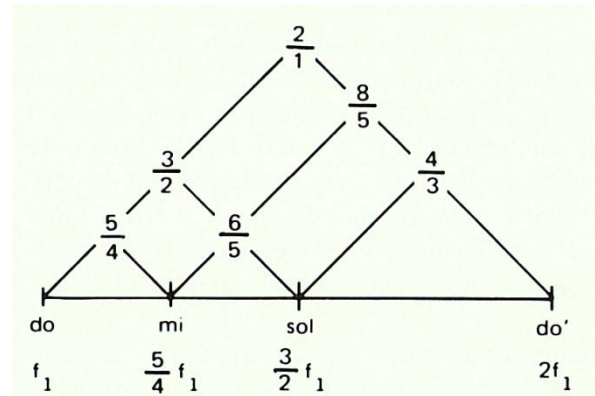
Tonleitern - Tonskalen



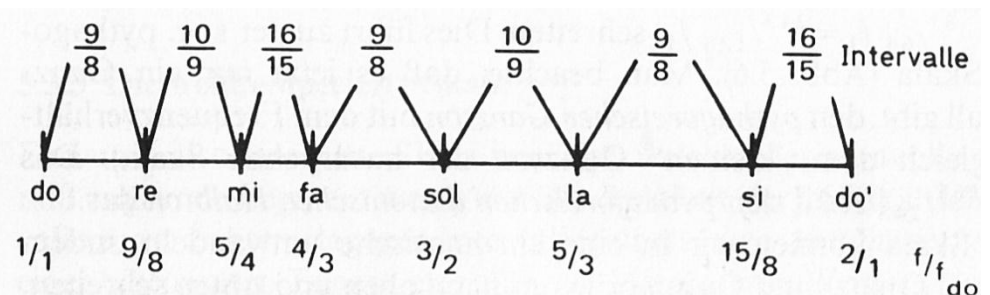
Def.: Eine Tonleiter ist eine Zusammenstellung von diskreten Tonhöhen, die so angeordnet sind, dass man eine größtmögliche Anzahl an konsonanten Kombinationen erhält, wenn zwei oder mehr Töne aus dieser Zusammenstellung zusammenklingen

Die natürliche Skala

do, mi, sol: Fundament
der Musikharmonie



Frequenzverhältnisse: $\frac{9}{8}$ und $\frac{10}{9} =$
Ganztöne, $\frac{16}{15} =$ Halbtöne



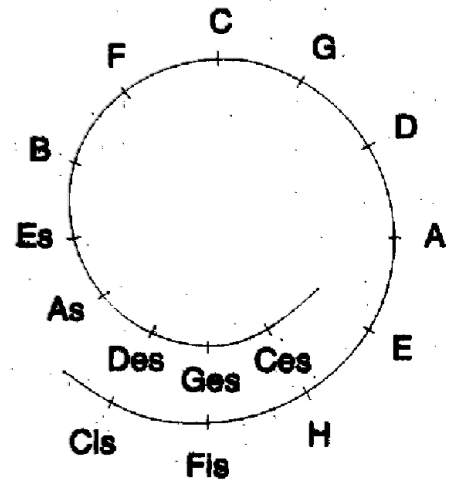
Die pythagoreische Tonleiter

- Älteste Tonleiter unseres Kulturkreises
- Beruht auf Quinten und/oder Quarten
- 1. Möglichkeit: Quinten -> Quintenschnecke

○ $g:c = 3:2$

○ $d:c = d:g \times g:c = 9:4$

○ ...



- Warum Quintenschnecke?

Weil die Frequenzen der Töne ALLE verschieden sind



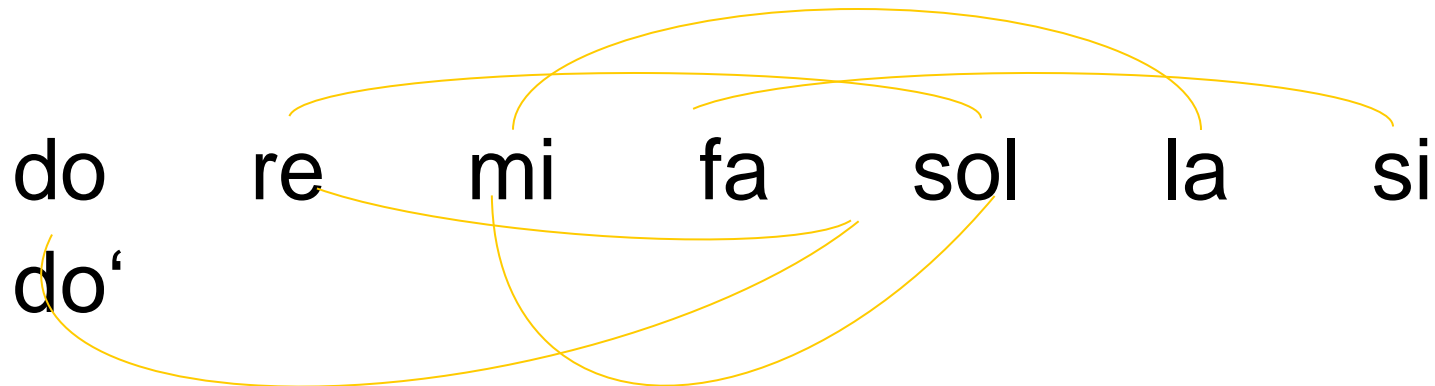
● 2. Möglichkeit: Quinten und Quarten

○ Innerhalb der Oktave

do' - 5 nach unten = fa ($\frac{2}{3} \times 2f_1 = \frac{4}{3} f_1$)

sol - 5 nach oben = re

...



Die wohltemperierte Skala

- Halbtöne sollen die gleichen Frequenzverhältnisse aufweisen
- Unsere Standardskala, Halbtöne werden zusammengefasst und enharmonisch verwechselt

$$f_{\text{do}\#} = s f_{\text{do}'} \dots \Rightarrow s = \sqrt[12]{2}$$

Symbolik verschiedener Tonarten

- D-Moll: ruhig
- D-Dur: lustig, kriegerisch, aufmunternd
- E-Moll: betrübt, traurig
- F-Dur: lieblich
- Es-Dur: Nacht, grausam

- Natürlich gibt es hier viele verschiedene Meinungen



Musikalische Skalen

Pentatonik

- 5 Töne

- Anhemitonische / hemitonische Pentatonik

- Rolle in Musikbereichen

- Verbreitung



Hexatonik

- 6 Töne
- Ganztonleiter
- Große Sekunden (enharmonisch verminderte Terz)



Heptatonik

A decorative graphic at the top of the slide features the word 'Heptatonik' in a dark grey font. The text is positioned over a series of circles: a solid light green circle, a hollow light green circle, a solid light green circle, a hollow light green circle, and another solid light green circle.

- 7 Töne
- Dur- / Molltonleiter
- Kirchentonarten
- Spanische und jüdische Tonleiter
- Zigeunertonleiter
- Mi- Sheberach- Tonleiter
- Engimatische Leiter

Spanische und jüdische Tonleiter

- Heptatonische Tonleiter
- Ahava Rabbah oder Freygisch:
übermäßige Sekund zwischen 2. Und 3.
Stufe



Spanische und jüdische Tonleiter

- Abonoy Moloch = mixolydisch



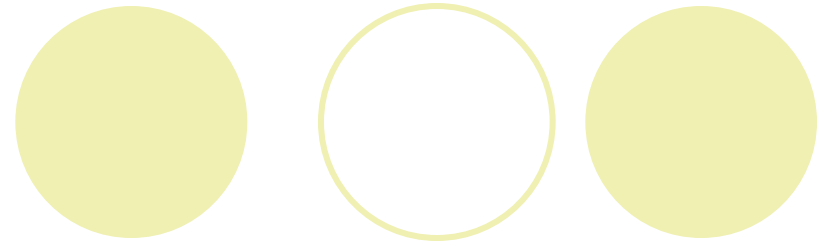
- Mogen Ovos = aeolisch



- Yishtabach = lokrisch



Zigeunertonleiter



- Roma und Sinti
- 2 übermäßige Sekunden

- Zigeunerdur



- Zigeunermoll



Mi- Sheberach- Tonleiter



- Heptatonische Moll- Tonleiter
- Dorisch mit erhöhter 4. Stufe
- Klezmer Musik
- 4. Stufe der dorischen Tonleiter wird erhöht

Engimatische Leiter

- Nichtdiatonische (aber heptatonische) Tonleiter
- Adolfo Crescentini (1854-1921)
- Abwärts wird die 4. Stufe erniedrigt



Oktatonik

A decorative graphic at the top of the slide consists of two rows of circles. The top row has a solid light green circle on the left, followed by an empty light green circle outline. The bottom row has a solid light green circle, followed by an empty light green circle outline, followed by another solid light green circle.

- Verminderte Skala oder verminderte Tonleiter
 - 2 Modi: Ganzton-Halbton-Leiter, Halbton-Ganzton-Leiter
- Abwechselnd ein Ganzton und ein Halbton
- Im Jazz sehr gängig

Chromatische Tonleiter

- 12 Halbtöne (jeder Halbton hat 100 Cent)



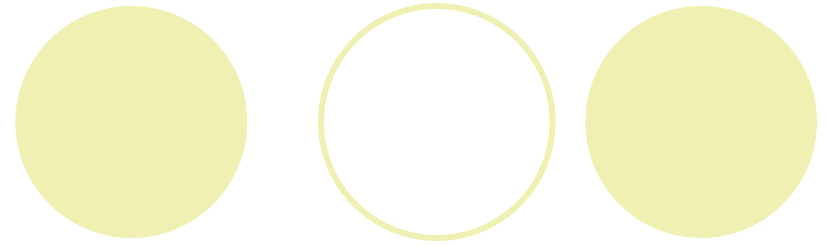
Raga (klassische indische Musik)

- Shrutis (Mikrotöne) teilen eine Oktave in 22 Schritte
- 7 Haupttöne - Svaras (Sa Ri Ga Ma Pa Dha Ni Sa)

12 Lü (chinesische Musik)

- Oktave in 12 Halbtöne unterteilt
- 5 Modi - 60 Tonarten
 - Gōng (宮)
 - Shāng (商)
 - Jué (角)
 - Zhǐ (徵)
 - Yǔ (羽)
- Pentatonisch

Slendro und Pelog



- Slendro (jawanische Musik)

- 12 Halbtöne

- Abstände: 223 253 236 225 263 Cent

- Pelog (indonesische Musik)

- Abstände: 125 146 417 100 412 Cent

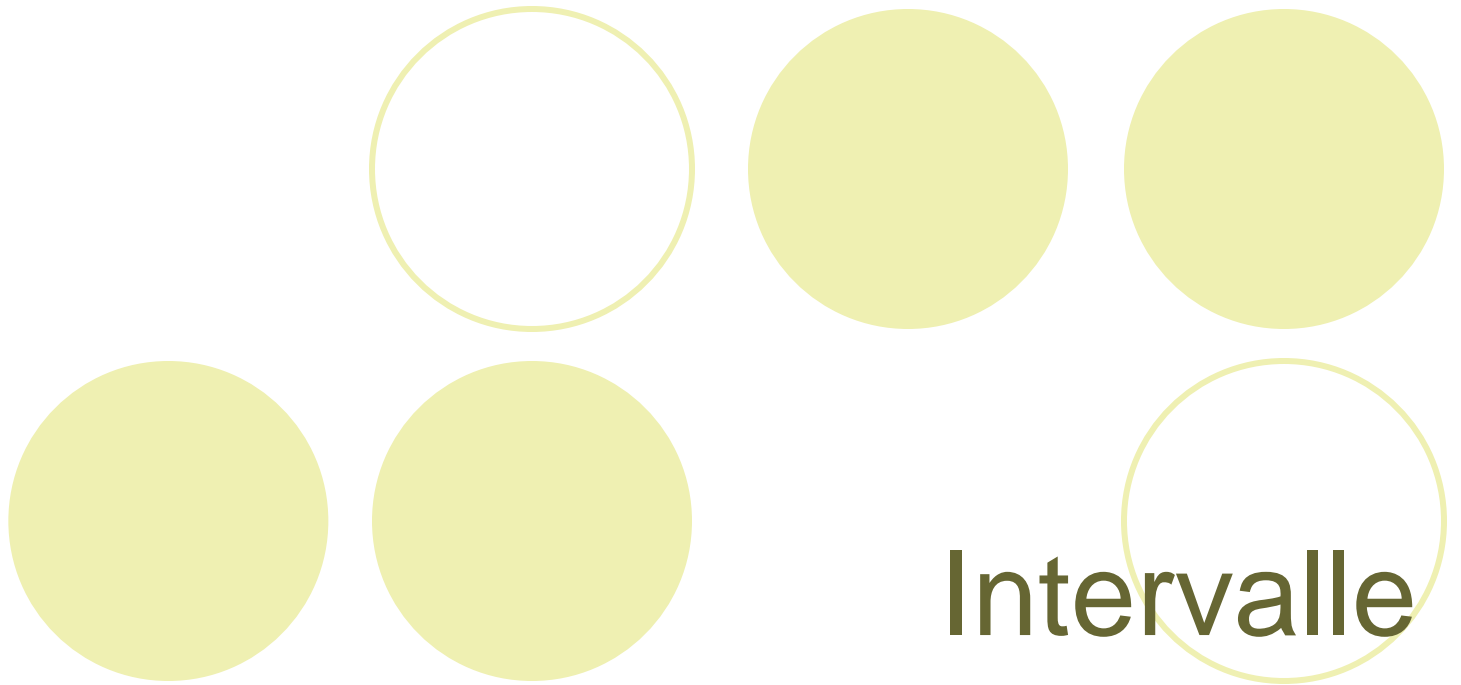


Shepard- Skala



- 1964 vom Psychologen Roger Shepard vorgestellt
- Akustische Täuschung
- Anzahl verschiedener Sinustöne (meist mehr als 8)

<http://www.youtube.com/watch?v=ev9hrqkhWsM>



Bedeutung des Wortes



- Heute

- Höhenunterschied zwischen 2 nacheinander (sukzessiv) oder gleichzeitig (simultan) erklingenden Tönen

- Ursprünglich

- Zwischenraum, Abstand, Zeitspanne, Zeitdifferenz, Unterschied

- Mittelalterliche Musiktheorie

- Erörterung von Quantität und Qualität der Tonhöhendifferenzen

Mittelalter



- **Simultan- und Sukzessiv- Intervalle**
 - Allgemeine Auffassung: Intervall als Melodieschritt
- **Diatonische Zwischenstufen**
 - Quinte: 4 Intervalle (c-d-e-f-g)
 - Oktave: 7 Intervalle (c-d-e-f-g-a-h-c)
- **Ganzton**
 - Melodiesprung wird als Intervall angesehen

Bedeutung der Intervalle

● Lehrschriften:

Musica theorica

- Mathematische Gesetze

Musica practica

- Gregorianische Gesänge
- Figuralgesang

● Gesangslehre:

Modi

- Guidonische Intervalle (6 Modi)
- Später 13 Modi (Tritonus als Intervall)

Mi-contra-fa-Verbot

- Tritonus
- Verminderte Quinte

Grundlage der mittelalterlichen Intervallenlehre (Musica theorica)

- Lehre von mathematischen Zahlenverhältnissen
 - Intervalle entsprechen bestimmten Zahlenverhältnissen
 - Pythagoras
 - Je nach Verhältnis konsonant oder dissonant
- Griechische Musiktheorie
 - Weltall von den gleichen Gesetzmäßigkeiten beherrscht
- Lehre von der Herrschaft der Zahl

Berechnung der Intervalle

- Verhältnisse aus den Ordnungszahlen der Naturtonreihe entnommen

The diagram illustrates the natural harmonic series on a musical staff. The notes are numbered 1 through 16. Brackets indicate the intervals between specific notes, labeled with their ratios and names:

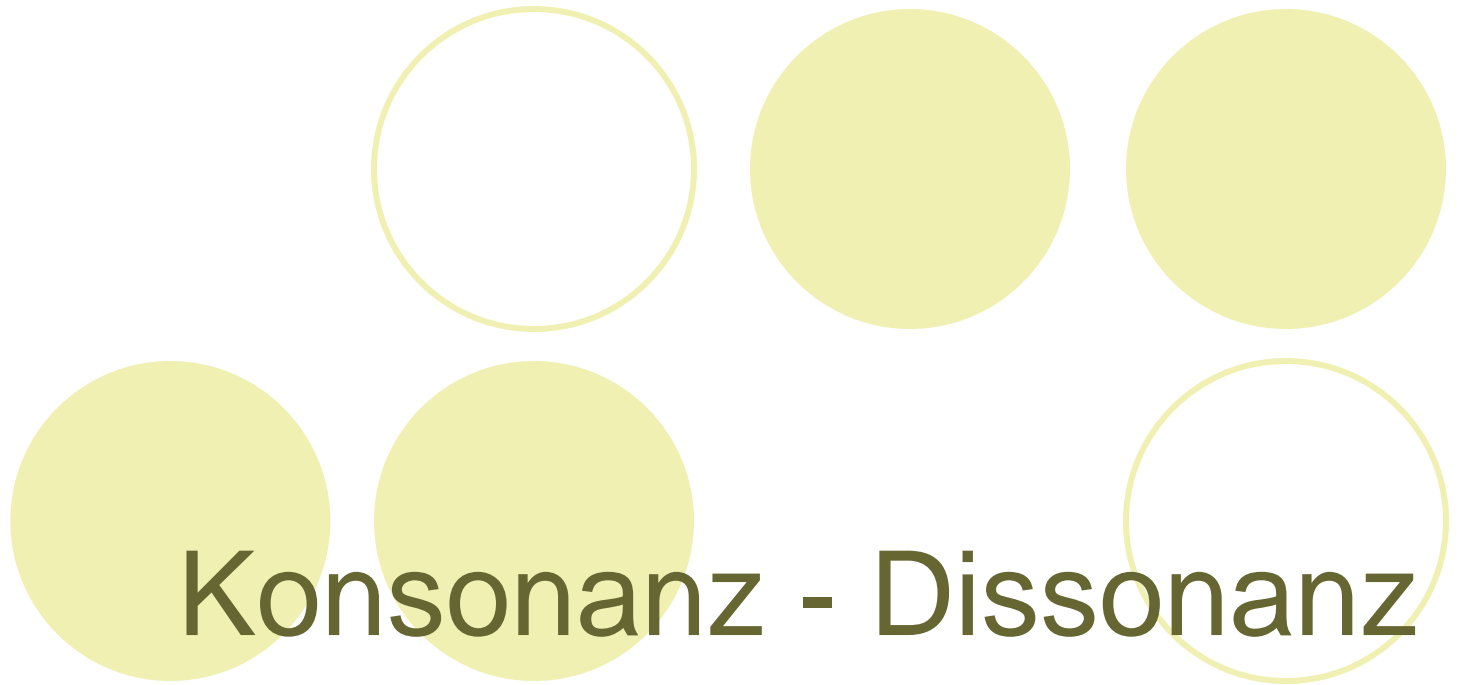
- 1:2 reine Oktave (between notes 1 and 2)
- 2:3 reine Quinte (between notes 2 and 3)
- 3:4 reine Quarte (between notes 3 and 4)
- 4:5 große Terz (between notes 4 and 5)
- 5:6 kleine Terz (between notes 5 and 6)
- 8:9 große Sekunde (between notes 8 and 9)
- 15:16 kleine Sekunde (between notes 15 and 16)

Additional intervals are shown above the staff:

- 3:5 gr. Sexte (between notes 3 and 5)
- 4:9 kl. Septime (between notes 4 and 9)
- 5:8 kl. Sexte (between notes 5 and 8)
- 8:15 große Septime (between notes 8 and 15)

Verhältnisse der Intervalle

	reine Stimmung	Verhältnis
c'	264 Hz	1:1
cis'	275 Hz	24:25
d'	297 Hz	8:9
es'	317 Hz	5:6
e'	330 Hz	4:5
f'	352 Hz	3:4
fis'	367 Hz	18:25
g'	396 Hz	2:3
as'	422 Hz	5:8
a'	440 Hz	3:5
b'	475 Hz	5:9
h'	495 Hz	8:15
c''	528 Hz	1:2



Konsonanz - Dissonanz

Konsonanz

A decorative graphic at the top of the slide consists of two rows of circles. The top row has two circles: the left one is solid light green and the right one is a light green outline. The bottom row has three circles: the left and right ones are solid light green, and the middle one is a light green outline.

- Lat.: con = zusammen, sonare = klingen

-> nicht auflösungsbedürftig

- Entdeckung der mathematischen Grundlagen von Konsonanzen -> Legende von Pythagoras in der Schmiede

Geschichte der Konsonanz



- Bis zum Mittelalter - Prim, Oktav, Quint, Quart, später auch große Terz
- Im Mittelalter - Oktav, Quint, Quart
- In der Renaissance - Hinzukommen der Terz und Sext
- Im Barock - Sonderstellung der Quart z.B.: Quartvorhalt, Quartsextakkord
- Im Jazz - Trotz dissonanter Struktur werden “Jazzakkorde” als wohlklingend empfunden (Terzsichtung, Skala)

Dissonanz

A decorative graphic consisting of two rows of circles. The top row has a solid light green circle on the left and an outlined light green circle on the right. The bottom row has a solid light green circle on the left, an outlined light green circle in the middle, and a solid light green circle on the right.

- Lat.: dis = unterschiedlich, sonare = klingen

-> auflösungsbedürftig

Geschichte der Dissonanz



- In der abendländischen Musikgeschichte - Dissonanz gewinnt über die Jahrhunderte an Geltung
- In der Romantik - Wagners Tristan Harmonik
- In der klassischen Moderne - Emanzipation der Dissonanz durch Arnold Schönbergs Atonalität

Der Tritonus



- Lat.: tri = drei, tonus = Töne -> Tritonus
- Streng genommen nur übermäßige Quart (3 Ganztonschritte)
- Verminderte Quint (Halbton-Ganzton-Ganzton-Halbton) -> Tritonus-Klang
- Außerdem: gleichstufiger Tritonus (1/2 Oktav), Huygens' Tritonus, pythagoreischer Tritonus, Eulers Tritonus
- In jedem Dominantseptakkord kommt zwischen Terz und kleiner Septim ein Tritonus vor

Geschichte des Tritonus



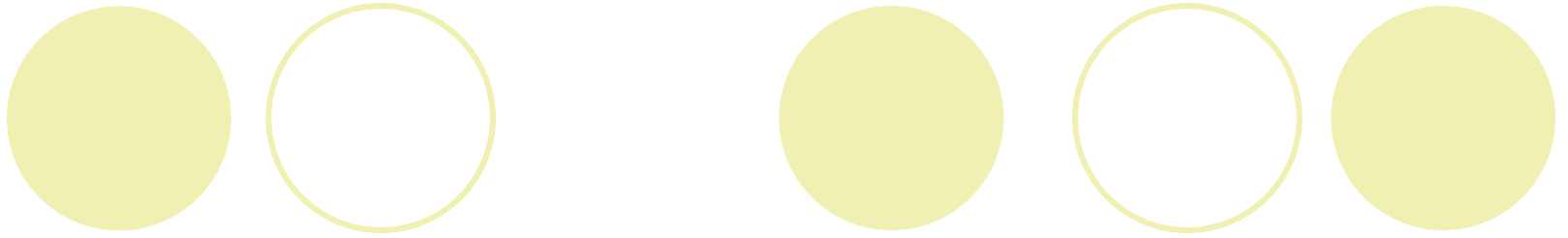
- Im Mittelalter - Teufelsintervall, lat.: Diabolus in musica
- Im Barock - Gang einer Stimme in den Tritonus (harter Gang), Sprung in den Tritonus (harter Sprung). Sie stellten z.B.: das Übertreten einer Grenze/Erreichen von unmöglichen/schmerzlichen Dingen dar

Geschichte des Tritonus

- Im Jazz - häufige Verwendung (Tritonussubstitution)
- Wichtige Werke:
 - Franz Liszt - *Après une lecture du Dante*
 - Modest Mussorgskij - *Hütte der Baba Yaga*
 - *West Side Story* - Maria
 - Titelmusik der Simpsons
 - Slayer Album: *Diabolus in Musica ...*

Warum klingen manche Intervalle konsonant/dissonant?

- Bei z.B.: einem Zweiklang wird jedem Ton eine Frequenz und Wellenlänge zugeordnet
- Höherer Ton: größere Frequenz, aber kleinere Wellenlänge
- Tieferer Ton: kleinere Frequenz, aber längere Wellenlänge
 - Z.B.: reine Quint: $f_1:f_2 = 3:2$
 - > 3 Wellen des höheren und 2 Wellen des tieferen Tones schwingen gleichzeitig



Formel basierend auf Frequenzverhältnissen:

- $\text{Wurzel}(3 \times 2) = 2,45$
- $3^{\text{Wurzel}[\text{Wurzel}(5 \times 4) \times \text{Wurzel}(6 \times 5) \times \text{Wurzel}(3 \times 2)]} = 3,91$
- usw.
 - > Konsonanzwert
 - > Konsonanzwerte unter ca. 7 sind sehr konsonant
 - > Je höher/komplizierter der Wert, desto dissonanter klingt er

Klangempfindung

Zweiklang	Frequenz- verhältnis	Konsonanz- wert	Klangempfindung
Oktave	2:1	1,41	sehr konsonant ("neutral")
Quinte	3:2	2,45	sehr konsonant ("neutral")
Quarte	4:3	3,46	konsonant
große Sexte	5:3	3,87	konsonant ("Dur")
große Terz	5:4	4,47	konsonant ("Dur")
Naturseptime	7:4	5,29	
kleine Terz	6:5	5,48	konsonant ("Moll")
Huygens' Tritonus	7:5	5,92	
kleine Sexte	8:5	6,32	konsonant ("Moll")
septimale kleine Terz	7:6	6,48	
weite kleine Septime	9:5	6,71	
große Sekunde	9:8	8,49	dissonant
große Septime	15:8	10,95	dissonant
kleine Septime	16:9	12,00	dissonant
kleine Sekunde	16:15	15,49	sehr dissonant
Tritonus	45:32	37,95	sehr dissonant

Instrumente

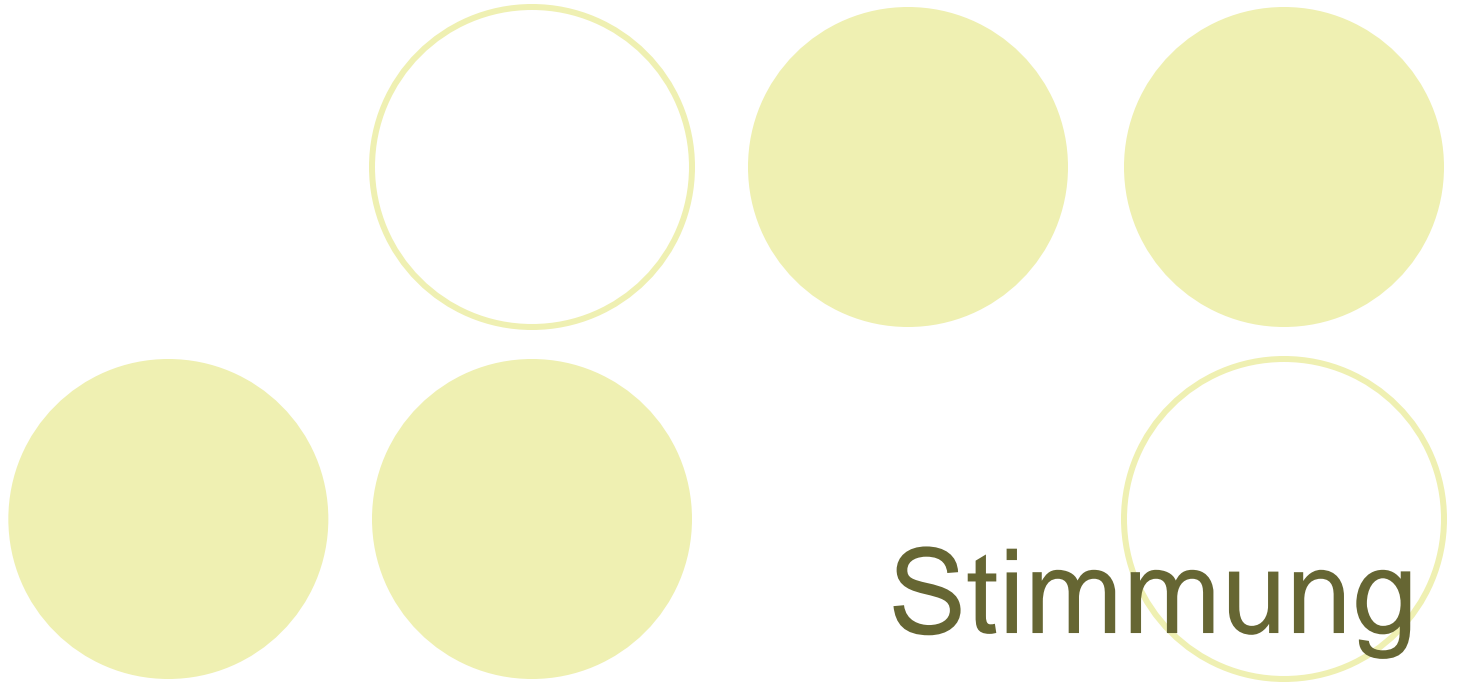


- Der Konsonanzgrad ist auch abhängig vom Spektrum der Tonkomponenten
 - > störende Obertonpaare
- z.B.: Instrumentenkombination Klarinette und Geige spielt große Terz:
 - Klarinette unten: dissonantes Obertonpaar trifft später aufeinander -> konsonant
 - Klarinette oben: dissonantes Obertonpaar trifft früher aufeinander -> “eher dissonant”

Ausschlaggebend für
Konsonanzempfinden ist auch...



- Kultur
- Epoche
- Musikstil
- Instrumentenkombination
- Persönliche Wahrnehmung
- ...



Stimmung

Temperatur



- Ist die Art, wie bei einem Instrument die genauen Frequenzverhältnisse gewählt werden und meint somit das Stimmungssystem, welches gewählt wird

Stimmung



- Ist die Festlegung von Tönen eines Musikinstruments bzgl. ihrer *absoluten* (Stimmton) und *relativen* Tonhöhe, i. d. R. nach einem vorgegebenen theoretischen System
 - Streichinstrumente werden in reinen Intervallen gestimmt
 - Tasteninstrumente -> Problem

Stimmungssysteme

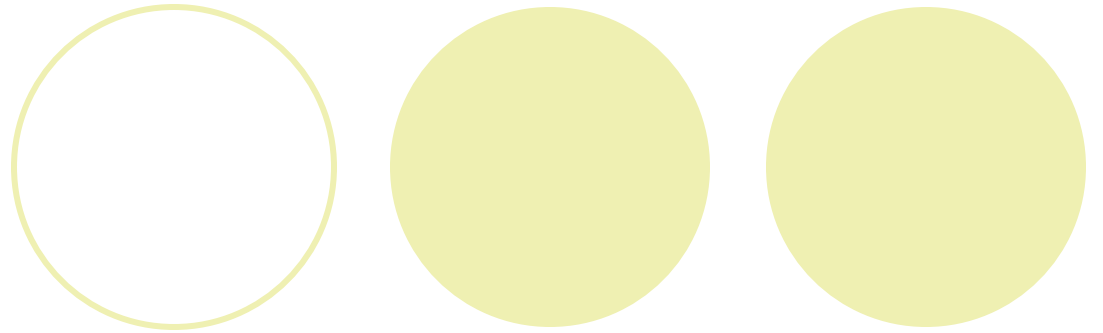


- Pythagoreische Stimmung
- Natürlich-harmonische Stimmung
- Mitteltönige Stimmung
- Wohltemperierte Stimmung
 - Werckmeister - Kirnberger - Vallotti
 - Neidhardt-Temperatur
- Gleichstufige Stimmung

Die Unmöglichkeit einer vollkommenen Stimmung



- Eine “vollkommene Stimmung” würde bedeuten, dass sämtliche Intervalle in allen Tonarten absolut rein klingen
- Die Unmöglichkeit dies zu realisieren, ergibt sich aus mathematischen Gegebenheiten, wie dem pythagoreischen und dem syntonischen Komma



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!