



# Stimmungssysteme

## – fächerübergreifender Unterricht für Physik und Musik –

MELANIE DORFER  
MELIDORFER57@GMAIL.COM

### Zusammenfassung

Im Lauf der Geschichte haben sich verschiedenste Stimmungssysteme in der Musik entwickelt. Einige dieser Stimmungssysteme, welche für die Bearbeitung in der Schule auch geeignet wären, werden im Folgenden thematisiert. Es werden die Entstehung, Vorteile aber auch Schwierigkeiten der einzelnen Stimmungssysteme vorgestellt. Im Rahmen dieser Arbeit sollen außerdem die für die Bearbeitung von Stimmungssystemen relevanten musikalischen und physikalischen Grundlagen erklärt werden. Ein Vorschlag für die konkrete Umsetzung eines fächerüberschreitenden Unterrichts in den Fächern Physik und Musik zum Thema Stimmungssysteme wird dargestellt und Vorteile von fächerübergreifendem Unterricht ausgearbeitet.

### 1 Einleitung

Ein Stimmungssystem ist eine Möglichkeit, „die Töne gegeneinander abzustimmen, ihre Höhen festzulegen“ (Krehl, 2021, S. 75). Mit einem Stimmungssystem wird versucht, die absoluten und relativen Tonhöhen wohlklingend festzulegen (Krehl, 2021). Im Laufe der Zeit haben sich viele verschiedene solcher Systeme entwickelt, welche alle Vor- und Nachteile haben (Moser, 1968). Töne lassen sich physikalisch beschreiben (Hall, 2008) und auch die Konstruktionen der Stimmungssysteme haben einen physikalischen Hintergrund. Daher bietet das Thema Stimmungssysteme eine Möglichkeit für einen fächerübergreifenden Unterricht in den Fächern Physik und Musik.

### 2 Arten von fächerübergreifendem Unterricht

Fächerübergreifender Unterricht lässt sich nach Huber (1995) in fünf Oberkategorien einteilen. Im *fächerüberschreitenden Unterricht* werden Inhalte von anderen Fächern im Unterricht miteinbezogen. Dabei stehen allerdings die Inhalte vom eigenen Fach im Vordergrund. Eine Absprache mit anderen Kolleg\*innen ist bei dieser Form des fächerübergreifenden Unterrichts nicht nötig. Für den *fächerverbindenden/-verknüpfenden Unterricht* ist diese Absprache erforderlich, weil man sich in verschiedenen Unterrichtsfächern auf ein gemeinsames Thema bezieht. Jedoch liegt der Schwerpunkt der Bearbeitung auf den Inhalten des eigenen Faches. Im *fächerkoordinierenden Unterricht* wird der gemeinsam geplante Unterricht ohne Schwerpunkt auf die Inhalte des eigenen Faches durchgeführt. Die bisherigen Formen des fächerübergreifenden Unterrichts können alle im Regelunterricht durchgeführt werden (Huber, 1995).

Beim *fächerergänzenden Unterricht* wird ein fachliches Thema zusätzlich und parallel zum Regelunterricht behandelt. Dies kann in Form eines Zusatz-Kurses oder eines freien Wahlfaches durchgeführt werden. Eine weitere Form des fächerübergreifenden Unterrichts, welche über den Regelunterricht hinausgeht, ist der *fächeraussetzende Unterricht*. Bei dieser Form werden die gewohnten Strukturen des Unterrichts durchbrochen, der Unterricht findet also nicht zeit- oder ortsgebunden statt. Der fächeraussetzende Unterricht lässt sich in Form von Projekttagen, Projektwochen oder Exkursionen realisieren (Huber, 1995).

### 3 Vorteile von fächerübergreifendem Unterricht

Alle Formen vom fächerübergreifenden Unterricht bringen Vorteile für den Unterricht. Im Folgenden werden einige Vorteile, speziell für den Physikunterricht vorgestellt.

Interesse und Motivation für den Physikunterricht können durch einen fächerübergreifenden Unterricht gesteigert werden. Durch das Miteinbeziehen von Inhalten anderer Fächer können auch jene Kinder motiviert werden, die rein physikalischen Inhalten wenig bis nichts abgewinnen können, weil dadurch an das persönliche Interesse angeknüpft werden kann. Dieses Verknüpfen des Lehrstoffes mit natürlichen Interessen oder Hobbys steigert die Motivation der Schüler\*innen (Mandl & Friedrich, 2006). Das Fach Musik, oder musikalische Themen eignen sich für diese Interessenssteigerung. Nach der Studie „Interessensforschung Physik: Die Salzburg-Studie“ aus dem Jahr 2016 ist das Unterrichtsfach Musik vor allem bei Mädchen sehr beliebt.

Das Fach findet sich unter den beliebtesten fünf Schulfächern. Physik befindet sich auf dieser Beliebtheitsskala nur auf Platz zehn von 16 (Herbst, Fürtbauer, & Strahl, 2016).

Eine Voraussetzung für einen qualitativen naturwissenschaftlichen Unterricht ist das Miteinbeziehen von Kontexten. Diese Kontexte können durch einen fächerübergreifenden Unterricht konstruiert werden und wiederum das Interesse an den Naturwissenschaften steigern (Stadler, 2010).

#### 4 Lehrplanbezug

Das Thema Stimmungssysteme lässt sich im Lehrplan für Physik in das erste Semester der sechsten Klasse Oberstufe, also zehnte Schulstufe, einordnen. Im betreffenden Kompetenzmodul werden Schwingungen und Wellen behandelt (BMBWF, 2022). Im Lehrplan für Musik in der Oberstufe sind „*Bereiche wie Musikgeschichte, Instrumentenkunde etc. [...] nicht explizit als Inhalte ausgewiesen, sondern in den Kompetenzen enthalten*“ (BMBWF, 2022). Die Einordnung in den Musiklehrplan ist also flexibler und kann beispielsweise in das Kompetenzmodul 4 *Regionale, nationale und internationale Ausprägungen der Musik* oder das Kompetenzmodul 6 *Unterschiedlichen Erscheinungsformen von Instrumentalmusik* vorgenommen werden. Im dritten Teil des Lehrplans, der Schul- und Unterrichtsplanung, ist ein eigener Punkt zu fächerübergreifendem Unterricht zu finden. Diese Art des Unterrichts eignet sich nach Lehrplan für jene Themen, welche sich nicht eindeutig einem Fach zuordnen lassen (BMBWF, 2022).

#### 5 Grundlagen

Die benötigten musikalischen Grundlagen sind im Lehrplan für Musik bereits in der ersten und zweiten Klasse der Unterstufe, also fünfte und sechste Schulstufe, zu finden. In der neunten Schulstufe erfolgt eine Wiederholung dieser musiktheoretischen Grundlagen (BMBWF, 2022), weshalb diese den Schüler\*innen bekannt sein müssten. Auch die physikalischen Grundlagen sind bereits in der sechsten Schulstufe im Lehrplan zu finden (BMBWF, 2022). Im Folgenden werden die benötigten Grundlagen aus der Musiktheorie und der Physik kurz beschrieben.

#### 5.1 Musiktheoretische Grundlagen

„Die erste Tatsache [sic], welche uns entgegentritt, ist, dass in der Musik aller Völker, so weit [sic] wir sie kennen die Veränderung der Tonhöhe in den Melodien stufenweise und nicht in kontinuierlichem [sic] Uebergange [sic] erfolgt“ (Helmholtz, 1863, S. 386). Für diese Melodien stehen in der europäischen Musik sieben verschiedene Stammtöne zur Verfügung. Diese heißen c, d, e, f, g, a und h und sind aufsteigend nach ihrer Tonhöhe angeordnet. Nach dem h beginnt man wieder mit c, welches der achte Ton in dieser Reihe ist. Eine sogenannte Oktave oder Tonleiter besteht aus acht Tönen, wobei der erste und der achte Ton identisch sind (Schwanitz, 1999). Mit einem Strich kennzeichnet man, dass ein Ton eine Oktave höher ist und mit einem weiteren Strich, kann eine weitere, höhere Oktave gekennzeichnet werden. Eine Oktave kann mit jedem Ton beginnen, also a', h', c', d', e', f', g', a'' wäre eine Oktave (Krehl, 2021).

Die Töne in einer Oktave haben verschiedene Abstände zueinander, es gibt Ganz- und Halbtonschritte, wobei einem Ganztonschritt zwei Halbtonschritten entsprechen. In einer Oktave gibt es fünf Ganztonschritte und zwei Halbtonschritte, oder auch zwölf Halbtonschritte, wenn ein Ganztonschritt als zwei Halbtonschritte betrachtet wird (Krehl, 2021).

Jeder Ton kann erhöht oder erniedrigt werden. Für die Erhöhung um einen Halbtonschritt wird die Endung -is an den Notennamen angehängt. Für die Erniedrigung um einen Halbtonschritt wird die Endung -es an den Notennamen angehängt (Krehl, 2021).

Nimmt man zwei Töne, welche einen Ganztonschritt auseinander liegen, erhöht den tieferen Ton um einen Halbton und erniedrigt den höheren Ton um einen Halbton entsteht der identische Ton. Dieses Prinzip nennt man enharmonische Verwechslung. Mit Berücksichtigung dieses Prinzipes gibt es zwölf verschiedene Töne in einer Oktave, welche alle genau einen Halbtonschritt auseinander liegen (Krehl, 2021).



**Abb. 1:** zwölf Halbtöne in der Oktave von a' bis a'', die blauen Pfeile symbolisieren einen Halbtonschritt

Oktave ist nicht nur der Begriff für zwölf verschiedene Halbtöne, sondern auch der Begriff für den Abstand vom ersten zum zwölften Halbton. Tonabstände nennt man in der Musik Intervalle.

Die Intervalle, welche für die Erarbeitung von Stimmungssystemen besonders relevant sind, sind die Oktave mit einem Tonabstand von zwölf Halbtonschritten und die Quint mit einem Tonabstand von sieben Halbtonschritten (Moser, 1968).

**Tab. 1:** Übersicht der verschiedenen Intervalls-Bezeichnungen und die zugehörigen Halbtonschritte (Hall, 2008)

Name	Halbtonschritte
(reine) Prim	0
Kleine Sekund	1
Große Sekund	2
Kleine Terz	3
Große Terz	4
(reine) Quart	5
Übermäßige Quart / verminderte Quint	6
(reine) Quint	7
Kleine Sext	8
Große Sext	9
Kleine Sept	10
Große Sept	11
(reine) Oktave	12

Die Bezeichnung „rein“ für Intervalle kommt von dem reinen und klaren Zusammenklang, wenn das jeweilige Intervall gespielt wird (Schwanitz, 1999).

## 5.2 Physikalische Grundlagen

Alle Geräusche werden als Schallwellen durch die Luft an unser Gehör transportiert. Ein Geräusch oder ein Ton ist dabei eine Störung in der Luft, welche sich wellenartig ausbreitet. Ob dabei ein Ton oder nur ein Geräusch wahrgenommen wird, hängt davon ab, ob diese Störung der Luft regelmäßig ist oder nicht (Hall, 2008). *[G]leichmäßig wiederkehrende und unter sich gleichartige Erschütterungen (Schwingungen) der Luft, [...] [wirken] als „musikalische Klänge“* (Moser, 1968, S. 37). Solche Störungen der Luft, welche durch ihre Regelmäßigkeit als musikalische Klänge wahrgenommen werden, sind Schwingungen (Hall, 2008). Diese Schwingungen entstehen durch Anblasen der Luft, wie bei Flöten oder Orgelpfeifen, oder durch Saiten, Plättchen oder andere Körper, welche in Schwingung versetzt werden und diese Schwingung an die Luft weitergeben (Moser, 1968).

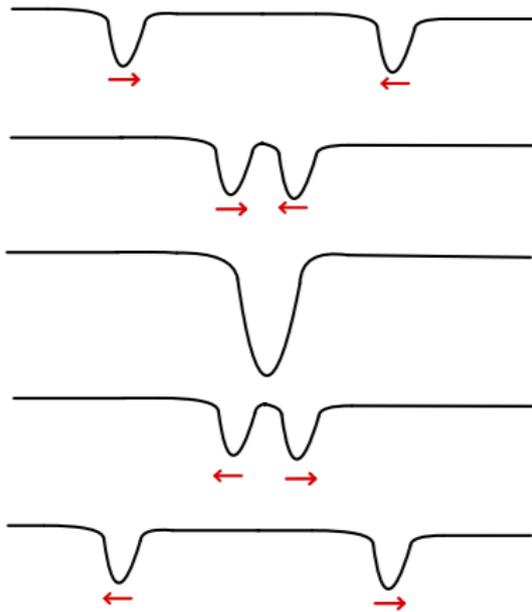
Schwingungen werden durch zwei Größen, die Amplitude und die Frequenz charakterisiert.

Die Amplitude gibt dabei an, wie groß die maximale Auslenkung ist, also wie „kräftig“ eine Saite aus ihrer Ruhelage gezogen wird. Die Amplitude hängt hier direkt mit der Lautstärke des vernommenen Tons zusammen. Je größer die Amplitude, desto lauter ist der Ton. Für das Thema Stimmungssysteme ist aber die Betrachtung der zweiten Bestimmungsgröße, der Frequenz, relevant. Die Frequenz gibt die Anzahl der Schwingungen der Saite pro Sekunde an. Schwingt die Saite öfter, hört man einen höheren Ton. Die Frequenz ist also verantwortlich für die Tonhöhe. Sie wird in der Einheit Hertz (Hz) angegeben (Hall, 2008). Jedem Ton kann eindeutig eine Frequenz zugeordnet werden. Nimmt man einen beliebigen Ton und verdoppelt seine Frequenz, so entsteht zwar ein höherer, aber dennoch so ähnlicher Ton, dass die beiden Töne bei gleichzeitigem Erklängen kaum unterscheidbar sind. Den Ton mit der doppelten Frequenz nennt man Oktave, der Ton ist eine Oktave höher als der Ausgangston. Das gleiche Phänomen ist bei beispielsweise Vervierfachung, Verachtfachung oder Versechzehnfachung zu beobachten. Hier erklingt der Ton dann zwei, drei oder vier Oktaven höher. Bei Verdreifachung, Verfünffachung, Versechsfachung und einigen weiteren, entsteht allerdings ein hörbar anderer Ton. Den Ton, welcher bei Verdreifachung entsteht, nennt man Quint (Moser, 1968).

## 6 Schwebungen

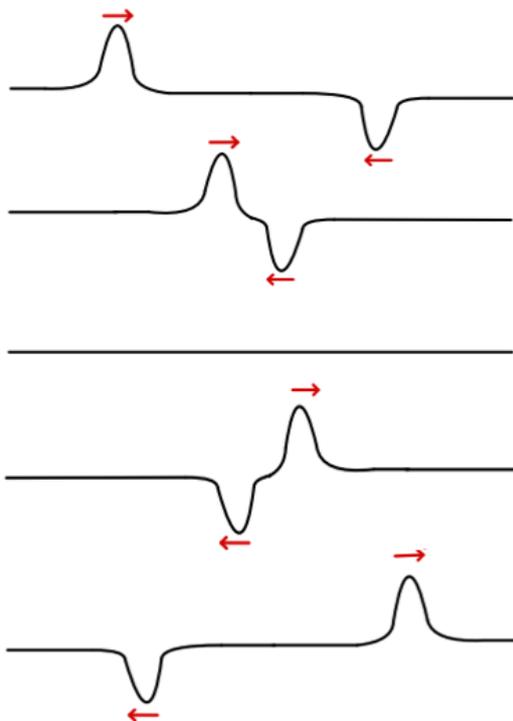
Wenn Töne gleichzeitig erklingen, wird es von Menschen als harmonisch empfunden, wenn die Frequenzen der Töne in einem ganzzahligen Verhältnis zueinanderstehen. Der Grund dafür, ist in der wellenartigen Ausbreitung von Tönen zu finden. Erklingen zwei Töne gleichzeitig, überlagern sich zwei Wellen. Diese beeinflussen sich gegenseitig, sie interferieren. Bei der Überlagerung von Wellen gilt das Superpositionsprinzip. Dieses besagt, dass sich die resultierende Welle durch Addition der Auslenkungen der beiden interferierenden Wellen ergibt. Wellen können konstruktiv oder destruktiv interferieren. (Tipler & Mosca, 2015)

Bei der konstruktiven Interferenz treffen Wellenberge auf Wellenberge und Wellentäler auf Wellentäler. Somit wird die Amplitude verstärkt und der Ton lauter (Hall, 2008). Wellenberg meint hier einen Teil der Welle, wo die Amplitude maximal nach oben ausgelenkt ist, mit Wellental ist ein Teil der Welle gemeint, wo die Amplitude maximal nach unten ausgelenkt ist (Tipler & Mosca, 2015).



**Abb. 2:** Schematische Darstellung der konstruktiven Interferenz

Bei der destruktiven Interferenz treffen Wellenberge auf Wellentäler. Somit wird die Amplitude kleiner und der Ton leiser, oder verklingt ganz (Hall, 2008).



**Abb. 3:** Schematische Darstellung der destruktiven Interferenz

Die Schwebung ist ein Phänomen, welches sich mit dem Superpositionsprinzip erklären lässt. Schwebung tritt auf, wenn zwei Töne eine sehr ähnliche, aber doch verschiedene Frequenz haben. Dabei tritt abwechselnd konstruktive und destruktive Interferenz auf, der Ton wird also abwechselnd lauter und leiser. Die Frequenz des gehörten Tons ergibt sich aus dem Mittelwert der Frequenzen der beiden Wellen (Tipler & Mosca, 2015). Schwebung wird vom Menschen als unangenehm empfunden, daher klingen Intervalle mit ganzzahligen Verhältnissen schön, weil hier keine Schwebung entsteht (Moser, 1968).

Erklingen die beiden Töne mit 440 Hz und 442 Hz gleichzeitig, wird der Ton mit der gemittelten Frequenz gehört, in diesem Beispiel 441 Hz. Dieser Ton mit einer gehörten Frequenz von 441 Hz wird allerdings zwei Mal pro Sekunde laut und wieder leise, er hat also zwei Schwebungen pro Sekunde (Tipler & Mosca, 2015). Diese zwei Schwebungen pro Sekunde sind in Abbildung 4 dargestellt.



**Abb. 4:** Addition der Amplituden eines Tones mit Frequenz 440 Hz und eines Tones mit der Frequenz 442 Hz für eine Sekunde

Je ähnlicher zwei Töne, beziehungsweise Frequenzen sind, desto weniger Schwebungen treten auf. Das menschliche Ohr kann maximal 15-20 Schwebungen pro Sekunde hören, was einem Frequenzunterschied von 15-20 Hz entspricht (Tipler & Mosca, 2015).

Genau dieser Effekt wird beim Stimmen von Instrumenten ausgenutzt. Je schnellere Schwebungen man beim gleichzeitigen Spielen zweier Töne hört, desto schlechter stimmen die Frequenzen überein. Es wird also versucht, die Schwebungen so gering wie möglich zu machen. Musiker\*innen hören beim Stimmen ihrer Instrumente auf diese Schwebungen. Sind diese aber langsamer als einmal pro Sekunde sind sie sehr schwierig wahrzunehmen. Ein gutes Stimmergebnis wäre eine Abweichung von etwa 0,5 Hz, was einer Schwebung alle zwei Sekunden entspricht (Hall, 2008).

## 7 Stimmungssysteme

Ein Stimmungssystem ist eine Vorgehensweise, wie man Töne untereinander abstimmt und ihre Frequenzen und somit Tonhöhen festlegt (Krehl, 2021). „Mit der Philosophie begann bei den Griechen auch das Nachdenken über die Musik. Die ersten musiktheoretischen Schriften entstanden (Aristoteles, Euklid, Nikomachos, Aristoxenos). [...] Von nachhaltiger Wirkung war die kosmologische Harmonielehre des Pythagoras (um 570 bis 497/96 v.Chr.)“ (Schwanitz, 1999, S. 307). Die ersten Stimmungssysteme waren geprägt von der Ansicht der Griechen, dass alles durch ganzzahlige Verhältnisse beschrieben werden kann (Schwanitz, 1999). Einige historisch wichtige Stimmungssysteme werden im folgenden Abschnitt behandelt.

### 7.1 Pythagoreische Stimmung

Die Pythagoreische Stimmung wurde im Mittelalter entwickelt (Schwanitz, 1999). Ausgangspunkt dieses Stimmungssystems ist jener neue Ton, der bei einer Verdreifachung der Frequenz entsteht, die Quint. Die zweite wichtige Grundlage in dieser Stimmung ist die Oktave. Wie bereits im Kapitel 5.2 erklärt, entsteht die Oktave durch die Verdopplung der Frequenz, oder anders ausgedrückt, bei dem Intervall Oktave stehen die beiden Frequenzen in einem Verhältnis von 1:2. Analog kann jedem anderen Intervall ein Frequenzverhältnis zugewiesen werden. Bei der Quint ergibt sich ein Verhältnis von 2:3 (Moser, 1968), was an folgendem Beispiel erklärt wird.

Als Ausgangspunkt betrachten wir den sogenannten Kammerton  $a'$  mit der Frequenz von 440 Hz.<sup>1</sup> Der Ton  $a''$ , also eine Oktave zu  $a'$ , entspricht einer Verdopplung der Frequenz (Moser, 1968), also 880 Hz.

Verdreifacht man die Frequenz eines Tones, also  $440 \text{ Hz} \cdot 3 = 1320 \text{ Hz}$ , ergibt sich ein neuer Ton. Man nennt ihn  $e''$ . Der Ton  $a''$  ergibt sich also durch eine Verdopplung der Frequenz und der Ton  $e''$  durch eine Verdreifachung der Frequenz. Die Töne  $a''$  und  $e''$  stehen also in dem Verhältnis von 2:3. Dieses Verhältnis entspricht dem Intervall Quint. Der Ton  $e''$  ist also die Quint zu  $a''$  (Moser, 1968). Für den Ton  $a'$  in der nächstniedrigeren Oktave ist das  $e'$  die Quint.

Das  $e'$  liegt eine Oktave tiefer als das  $e''$ , die Frequenz kann also durch Halbierung ermittelt werden. Demnach hat das  $e'$  eine Frequenz von  $\frac{1320 \text{ Hz}}{2} = 660 \text{ Hz}$ .

Zusammengefasst erreicht man also die Quint bei einer Verdreifachung und einer anschließenden Halbierung der Frequenz, also bei einer Multiplikation mit dem Faktor  $\frac{3}{2}$ .

Von dem erhaltenen Ton  $e'$ , kann man wieder einen Quintschritt nach oben gehen, indem man die Frequenz mit  $\frac{3}{2}$  multipliziert und erhält einen neuen Ton. Verfolgt man diese Vorgehensweise weiter, entstehen so insgesamt zwölf verschiedene Töne (Moser, 1968).



**Abb. 5:** Darstellung der Erzeugung neuer Töne durch zwölf Quintschritte

In der Abbildung 5 sind diese zwölf Töne dargestellt. Beim achten Schritt erhält man den Ton  $eis$ . Der Stammton heißt  $e$  und der nächsthöhere Stammton heißt  $f$ . Bekanntlich liegen zwischen den Stammtönen Halb- oder Ganztonschritte. Zwischen  $e$  und  $f$  liegt ein sogenannter „natürlicher Halbtonschritt“. Durch eine Erhöhung um einen Halbton des Tons  $e$ , erreicht man bereits das  $f$ . Daher kann hier die enharmonische Verwechslung  $eis = f$  vorgenommen werden (Moser, 1968).

In der Abbildung 5 wurden die insgesamt sieben Oktavüberschreitungen bewusst ausgeklammert. Diese sind in der folgenden Abbildung dargestellt.



**Abb. 6:** sieben Oktavüberschreitungen, durch rote Linien markiert

Es ergeben sich also zwei Wege, mit denen man den letzten Ton erreichen kann. Entweder über Quint-, oder Oktavschritte (Moser, 1968). Die beiden verschiedenen Wege sind in folgender Tabelle dargestellt.

<sup>1</sup> Dieser Ton wurde 1939 in der zweiten internationalen Stimmtongkonferenz in London auf diesen Wert festgelegt (Schröder, 1982).

**Tab. 2:** Zusammengefasste Darstellung der zwei verschiedenen Möglichkeiten zur Ermittlung des letzten Tones

Quintschritte	Oktavschritte
12 Schritte	7 Schritte
Pro Schritt: Multiplikation mit $\frac{3}{2}$	Pro Schritt: Multiplikation mit 2
$\left(\frac{3}{2}\right)^{12} = 129,75$	$2^7 = 128$

Es zeigt sich, dass sich die beiden ermittelten Faktoren unterscheiden. Der Grund liegt in dem Schritt der enharmonischen Verwechslung  $e = f$ . Tatsächlich unterscheiden sich diese beiden Töne. In der europäischen Musik wird allerdings nicht feiner als Halbtöne unterschieden (Brauner, 1950). In anderen Kulturen ist so eine kleinere Unterteilung in Viertel- oder Achteltöne durchaus üblich. Die feinste Unterteilung von Halbtönen nennt man Cent, dabei entspricht ein Halbton 100 Cent, also einer Oktave entsprechen 1200 Cent (Hall, 2008).

In der Pythagoreischen Stimmung klingen alle Quinten rein, außer die Quint  $a$ - $f$ . Diese Quint wird aus diesem Grund auch Wolfsquinte genannt (Schuffler, 2017).

Dies war allerdings im Mittelalter kaum problematisch, da damals wenig Mehrstimmigkeit vorhanden war. Erst mit zunehmender Mehrstimmigkeit wurde ein neues Stimmungssystem benötigt (Schwanitz, 1999).

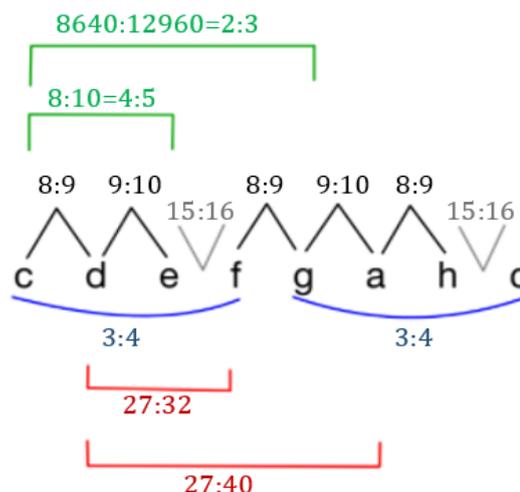
## 7.2 Reine Stimmung

In der Reinen Stimmung wird versucht, für jedes Intervall in einer Oktave ein passendes Frequenzverhältnis zu finden. Für die Oktave und die Quint wurden die Verhältnisse bereits definiert. Nun bekommen die anderen Intervalle ein Frequenzverhältnis zugewiesen (Moser, 1968).

**Tab. 3:** Intervalle und zugehöriges Frequenzverhältnis in der Reinen Stimmung (Hall, 2008)

Name	Frequenzverhältnis
Oktave	1:2
Quint	2:3
Quart	3:4
Große Terz	4:5
Kleine Terz	5:6
Großer Ganzton	8:9
Kleiner Ganzton	9:10
Halbton	15:16

Mit diesen Verhältnissen kann nun eine rein gestimmte Durtonleiter<sup>2</sup> aufgebaut werden.



**Abb. 7:** Aufbau der C-Dur-Tonleiter in Reiner Stimmung, Abbildung nach Moser (1968)

In der Abbildung 7 kann abgelesen werden, dass einige Intervalle rein sind, ein paar entsprechen allerdings nicht exakt den zuvor festgelegten Frequenzverhältnissen, wie die kleine Terz  $d$ - $f$  oder die Quint  $d$ - $a$ . Dieser Unterschied beträgt  $\frac{80}{81}$  und wird das syntonische Komma genannt. Somit ist der Dreiklang  $d$ - $f$ - $a$  dissonant, also nicht wohlklingend. Der Großteil der Intervalle klingt rein, allerdings nur für den jeweiligen Grundton. Für ein Stück in einer anderen Tonart, das bedeutet mit einem anderen Ausgangston, muss das Instrument neu gestimmt werden. Für Violinen, welche sich an eine Tonart flexibel anpassen können, ist die Reine Stimmung geeignet, für festgestimmte Tasteninstrumente wie das Klavier ist die Reine Stimmung aber nicht praktikabel (Moser, 1968).

## 7.3 Gleichstufige Stimmung

Die Gleichstufige Stimmung ist das moderne Stimmungssystem mit dem beispielsweise Klaviere oder Orgeln gestimmt werden.

Der Ausgangspunkt für dieses Stimmungssystem ist die Einteilung einer Oktave in zwölf gleich große Halbtöne. Die Oktave behält als einziges Intervall das ganzzahlige Frequenzverhältnis 1:2 bei (Moser, 1968).

<sup>2</sup> Der Begriff „Dur“ symbolisiert nur eine genaue Position der beiden Halbtöne, nämlich zwischen drittem und viertem und siebtem und achtem Ton der Tonleiter (Moser, 1968).

Die Überlegung, dass in jeder Oktave ein anderer absoluter Frequenzbetrag zurückgelegt werden muss (zum Beispiel 440 Hz von a' nach a'', aber schon 880 Hz von a'' nach a'''), legt nahe, dass ein Faktor ermittelt wird, welcher der Erhöhung um einen Halbton entspricht (Schuffler, 2017).

Da sich bei der Oktave, also nach zwölf Halbtonschritten eine Verdopplung der Frequenz ergeben muss, gilt für den Faktor  $x$ , dass  $x^{12} = 2$ . Für den Faktor ergibt sich also  $\sqrt[12]{2} \approx 1,06$ , Schuffler, 2017). Für die Quint ergibt sich nun nicht mehr  $\frac{3}{2}$ , sondern  $(\sqrt[12]{2})^7 \approx 1,499$ .

Eine Folge dieser Stimmung ist also, dass kein Intervall mehr völlig rein klingt, also ein ganzzahliges Frequenzverhältnis hat, außer die Oktave (Moser, 1968).

## 8 Vorschlag für konkrete Umsetzung in der Schule

Laut Lehrplan wird das Thema in Physik im dritten Semester der Oberstufe unterrichtet, im Musikunterricht eher erst im vierten oder sechsten Semester. Daher ist dieser Vorschlag für die Umsetzung als Stimmungssysteme im Physikunterricht als fächerüberschreitender Unterricht konzipiert, weil im Musikunterricht nicht parallel auf dasselbe Thema eingegangen wird. Die musiktheoretischen Grundlagen werden allerdings in den ersten beiden Semestern der Oberstufe wiederholt. Deshalb wird davon ausgegangen, dass die Schüler\*innen die benötigten musiktheoretischen Grundlagen beherrschen.

### 8.1 Rahmenbedingungen

Dieser Vorschlag für die Umsetzung in der Schule ist an die Unterrichtsphasen Einstieg, Erarbeitung und Ergebnissicherung angehalten (Meyer, 2011). Die grundlegende Idee ist hierbei, dass Schüler\*innen in Gruppenarbeit mit den Hilfsmitteln Internet oder (Schul-)Büchern anhand von Leitfragen ein zugeteiltes Stimmungssystem erarbeiten und präsentieren. Die Leitfragen sollten in der Präsentation behandelt werden.

Diese Unterrichtsumsetzung ist geeignet für musisch interessierte Schüler\*innen, beispielsweise in Schulen mit musikalischem Schwerpunkt. Für weniger musikalisch-interessierte Klassen ist die Durchführung dieses Unterrichtsvorschlages nicht geeignet und hat vermutlich auch nicht den gewünschten interessensteigernden Effekt.

Zeitlich würde sich eine Doppelstunde gut eignen, in Einzelstunden muss die Ergebnissicherungsphase in die zweite Stunde gelegt werden.

Thematisch wurden das Superpositionsprinzip und Interferenz bereits in den Stunden davor behandelt, sie werden also als bekannt vorausgesetzt.

### 8.2 Einstieg

Als Einstieg in das Thema musikalische Stimmungen im Physikunterricht wird den Schüler\*innen entweder direkt mit einem geeigneten Instrument, wie der Violine, oder mit zwei Stimmgabeln, von denen eine leicht verändert wurde, oder mit einem Frequenzgenerator eine Schwebung vorgespielt. Die Schüler\*innen sollten beschreiben, was sie gehört haben. In einem Lehrer\*in-Schüler\*in-Gespräch werden die Empfindungen zusammengetragen, sowie die physikalische Erklärung und die Relevanz für das Stimmen von der Lehrperson vorgestellt. Anschließend folgt die Erklärung des Arbeitsauftrages. Erst danach werden die Gruppen eingeteilt und die Themen zugeteilt. Je nach Klassengröße kann die Anzahl der behandelten Stimmungssysteme variieren. Die wichtigsten sind die Pythagoreische Stimmung, die Reine Stimmung und die Gleichstufige Stimmung. Die mitteltönige Stimmung oder die wohltemperierte Stimmung können bei Bedarf ergänzt werden.

### 8.3 Erarbeitung

In der Erarbeitungsphase dürfen die Schüler\*innen Bücher und auch digitale Medien verwenden. Die Lehrperson hilft bei Fragen, hat aber in dieser Phase keine aktiv-vortragende Rolle. Manche Stimmungssysteme sind durchaus etwas komplexer, daher sollte die Lehrperson die einzelnen Gruppen gut unterstützen und Hilfestellungen anbieten.

Die Schüler\*innen beantworten folgende Fragen und geben in der Präsentation zusätzlich ein Hörbeispiel:

Wann war/Seit wann ist diese Stimmung gebräuchlich?

Was sind die Ausgangspunkte des Stimmungssystems?

Wie werden die einzelnen Töne ermittelt?

Welche Vor-, Nachteile oder Probleme hat das Stimmungssystem?

### 8.4 Ergebnissicherung

In der letzten Unterrichtsphase sollten die Schüler\*innen in Gruppen das Stimmungssystem kurz, in etwa fünf bis zehn Minuten, präsentieren und dabei die Leitfragen beantworten.

Das Ziel ist, dass jede\*r Schüler\*in am Ende der Präsentationen diese Fragen zu jedem Stimmungssystem beantworten kann. Dabei können entweder die Schüler\*innen selbstständig während der Präsentationen mitschreiben, oder die Lehrperson teilt nach den Präsentationen eine Zusammenfassung der Fragen für jedes Stimmungssystem aus.

## 9 Zusammenfassung

Es gibt viele verschiedene Formen von fächerübergreifendem Unterricht (Huber, 1995), welche sich für verschiedene Themen unterschiedlich gut eignen. Fächerübergreifender Unterricht bringt einige Vorteile, wie die Chance zur Aktivierung des natürlichen Interesses, was auch zu einer Motivationssteigerung führen kann (Mandl & Friedrich, 2006). Um das Thema Stimmungssysteme im Physikunterricht sinnvoll behandeln zu können, sind einige Vorkenntnisse der Schüler\*innen im Bereich der Musiklehre notwendig. Die verschiedenen Stimmungssysteme haben diverse Vorteile, aber auch Probleme, welche man mit musikalisch interessierten Schüler\*innen sicher gut diskutieren kann. Für eine musikalisch weniger interessierte Klasse ist dieses Thema für den Regelunterricht vermutlich mit sehr viel Zeitaufwand und eher geringer Motivationssteigerung der Schüler\*innen verbunden. Hier würde sich die Behandlung des Themas in einem Wahlfach als fächerergänzender Unterricht anbieten.

## 10 Literatur

- Brauner, R. (1950). Die Enharmonik als Orthographie-Problem. In: Österreichische Musikzeitschrift, (S. 188-191). <https://doi.org/10.7767/omz.1950.5.1-12.188> [10.02.2022]
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (BMBWF) (2022). Verordnung des Bundesministers für Unterricht und Kunst vom 14. November 1984 über die Lehrpläne der allgemeinbildenden höheren Schulen; Bekanntmachung der Lehrpläne für den Religionsunterricht an diesen Schulen (i.d.F.v. 08.02.2022)
- Von Helmholtz, H. (1863). Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik. Braunschweig: F. Vieweg.
- Herbst, M., Fürtbauer, E. & Strahl, A. (2016). Interessensforschung Physik: Die Salzburg-Studie. Universität Salzburg. <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/787/931> [13.12.2021]
- Huber, L. (1995). Individualität zulassen und Kommunikation stiften: Vorschläge und Fragen zur Reform der gymnasialen Oberstufe. " In: Die Deutsche Schule, H.2, (S. 161 -182).
- Krehl, S. (2021). Theorie der Tonkunst und Kompositionslehre : Teil 1 : Allgemeine Musiklehre. De Gruyter.
- Mandl, H. & Friedrich, H. F. (2006). *Handbuch Lernstrategien*. Göttingen: Hogrefe.
- Meyer, H. (2011). Unterrichtsmethoden. 2. Band: Praxisband. 14. Auflage. Berlin .
- Moser, H. J. (1968). Allgemeine Musiklehre. de Gruyter.
- Schröder, E. (1982). Kammerton—Weber-Fechnersches Gesetz—Gesetze von Mersenne. In: E, Kröll (Hrsg). *Mathematik im Reich der Töne*, (S. 74-78). Wiesbaden: Vieweg+ Teubner Verlag.
- Schuffler, K. (2017). Pythagoras, der Quintenwolf und das Komma. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-15186-7> [11.02.2022]
- Schwanitz, D. (1999). *Bildung. Alles, was man wissen muss*. Frankfurt am Main : Eichborn.
- Stadler, H. (2010). Konsequenzen aus TIMSS und PISA für einen geschlechter-gerechten Physikunterricht. In D. Kröll (Hrsg.), *Gender und MINT: Schlussfolgerungen für Unterricht, Beruf und Studium*. Tagungsband zum Fachtag am 15.02.2010 (S. 52–65). Kassel: Kassel University Press GmbH.
- Tipler, P. A., Mosca, G., & Wagner, J. (2015). *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure*.