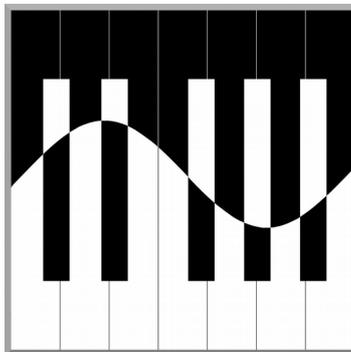


just Intonation



Leitfaden

Karolin Stange, Christoph Wick und Haye Hinrichsen

Lehrstuhl für Theoretische Physik III
Fakultät für Physik und Astronomie
Universität Würzburg

just-intonation.org



Inhaltsverzeichnis

Motivation des Projekts.....	3
Intonation und Temperamente.....	3
Dynamisch-adaptive Stimmverfahren.....	5
Just Intonation – Benutzeroberfläche.....	8
Erste Schritte.....	8
Einfacher Modus.....	9
Expertenmodus.....	12
Hilfe und Information.....	14
Einstellungen.....	15
Umgang mit der Software.....	18
Musik in reiner Stimmung hören.....	18
Musik spielen.....	19
Experimentieren mit verschiedenen Stimmungen.....	20
Anschluss eines externen elektronischen Klangerzeugers.....	21
Häufig gestellte Fragen (FAQ).....	22
Danksagung.....	23

Motivation des Projekts

Intonation und Temperamente

Sind die beiden Töne F \sharp und G \flat identisch? So scheint es wohl zu sein, denn zumindest auf einem Klavier gibt es für beide nur eine einzige schwarze Taste. Aber wofür gibt es dann zwei unterschiedliche Notationen?



Wenn Sie sich mit Musik beschäftigen, werden Sie wahrscheinlich wissen, dass die beiden Töne F \sharp und G \flat *nicht* identisch sind. In der Tat betonen Dirigenten und Chorleiter immer wieder, dass beide Töne unterschiedlich intoniert werden müssen, sich also in ihrer Tonhöhe unterscheiden. Nur auf Tasteninstrumenten werden sie durch einen einzigen Ton repräsentiert.

Diese sogenannte *enharmonische Äquivalenz* auf Tasteninstrumenten ist eine der wesentlichen Errungenschaften der sogenannten *gleichstufigen Stimmung* (engl. *equal temperament*, ET), die sich in der westlichen Welt seit Beginn des 19. Jahrhunderts als Standard durchgesetzt hat. In der gleichstufigen Stimmung wird die Oktave in zwölf exakt gleich große Halbtonschritte unterteilt, die jeweils ein konstantes irrationales Frequenzverhältnis von $2^{1/12}$ aufweisen. Einer der großen Vorteile der gleichstufigen Stimmung besteht in der Invarianz aller Frequenzverhältnisse unter Transposition (Tonartwechsel). Wenn also beispielsweise eine Komposition, die in C-Dur geschrieben ist, in D-Dur gespielt wird, hört sie sich bis auf die veränderte globale Tonhöhe genau gleich an.

Die Einfachheit und Symmetrie der gleichstufigen Stimmung geht allerdings auf Kosten der harmonischen Eigenschaften. Rein gestimmte Intervalle beruhen nämlich auf einfachen rationalen Frequenzverhältnissen. Da die Frequenzverhältnisse in der gleichstufigen Stimmung jedoch irrational sind, sind demzufolge sämtliche Intervalle mit Ausnahme der Oktave mehr oder weniger verstimmt. Für eine Quinte ergibt sich zwar nur eine sehr kleine Abweichung, da $2^{7/12}=1.4983$ lediglich um etwa 2 Cent¹ von dem idealen rationalen Frequenzverhältnis $3:2=1.5$ abweicht., und gleiches gilt auch für das Komplementärintervall, die Quarte. Eine große Terz weicht allerdings um ungefähr 14 Cent ab, eine sehr große und gut hörbare Differenz.

Im Hinblick auf die harmonischen Eigenschaften ist die gleichstufige Stimmung wahrscheinlich das schlechteste Stimmsystem, das die Menschheit jemals hervorgebracht hat. Vielleicht deshalb hat sich die gleichstufige Stimmung, die eigentlich schon seit langem

1 1 Cent ist definiert als Frequenzverhältnis von 1/100 eines Halbtons.

bekannt ist², erst im Verlauf des 19. Jahrhunderts durchsetzen können, denn Musiker früherer Epochen waren vermutlich noch nicht bereit, die dabei entstehenden Dissonanzen zu akzeptieren. Heutzutage haben sich allerdings die westlichen Gesellschaften an die gleichstufige Stimmung gewöhnt, und auch andere Kulturkreise werden zunehmend davon beeinflusst. „*How Equal Temperament Ruined Harmony – and Why You Should Care*“ lautet der provokative Titel eines Buches von Ross W. Duffin³, in dem sehr schön dargestellt wird, wie sich die Hörgewohnheiten über die Jahrhunderte verändert und wie Komponisten und Musiker darauf reagiert haben.

Das extreme Gegenstück zur gleichstufigen Stimmung ist die sogenannte *reine Stimmung*, ein Stimmsystem, das ausschließlich auf einfachen rationalen Frequenzverhältnissen beruht. In ihrer jeweiligen Bezugstonart klingt die reine Stimmung sehr harmonisch, wenn nicht sogar etwas steril, doch leider funktioniert sie nur für die Tonart, auf dessen Grundton sie sich bezieht. Würde man also zum Beispiel ein Klavier in Bezug auf den Grundton C rein stimmen, so würde sich Musik in C-Dur perfekt, in den meisten anderen Tonarten jedoch unerträglich verstimmt anhören. Gleiches trifft auf Modulationen durch verschiedene Tonarten innerhalb einer Komposition zu. Zu Recht eilt also der reinen Stimmung der Ruf voraus, sie sei absolut nicht zu gebrauchen.

Ein geschultes Musikerohr ist in der Lage, zu einem gegebenen Grundton oder aus dem harmonischen Verlauf heraus seinen eigenen Ton rein zu intonieren, sei es im Chor oder im Orchester. Die aus diesem fortwährenden adaptiven Prozess resultierende Intonation wird deshalb von der gleichstufigen Stimmung abweichen. Mit diesem Wissen erscheint auch der Ausspruch des berühmten Cellisten Pablo Casals völlig einleuchtend:

„Erschrecke nicht, wenn Du eine andere Intonation als das Klavier hast.

Das liegt am Klavier, das verstimmt ist.“⁴

Wenn z.B. ein Chor versucht möglichst sauber zu intonieren, um so der reinen Stimmung näher zu kommen, treten dabei zwei grundsätzliche Schwierigkeiten auf: Zum einen arbeitet fast jede Komposition, auch wenn sie sich auf eine bestimmte Grundtonart bezieht, mit Modulationen über temporäre Zwischentonarten. Die sogenannte *Akkordwurzel*, also der Grundton, auf den sich die rationalen Frequenzverhältnisse in der reinen Stimmung beziehen, ändert sich dabei ständig, und dementsprechend ändern sich die erforderlichen Korrekturen in der Tonhöhe.

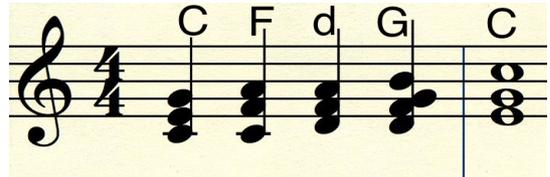
2 Die gleichstufige Stimmung wurde vermutlich bereits von Aristoxenos von Tarent (ca. 300 v. Chr.) vorgeschlagen, jedoch wieder verworfen.

3 Ross W. Duffin, published by W. W. Norton & Company, Inc., New York (2007).

4 Pablo Casals, *The way we play* (1972).

Die zweite Schwierigkeit besteht in der sogenannten *Harmoniefortschreitung* (Tonhöhen-drift), die durch eine kumulative Aneinanderreihung kleiner Tonhöhenkorrekturen entsteht, ein Effekt, der bereits 1585 vom dem Renaissance-Mathematiker Giovanni Benedetti entdeckt worden ist. Die Harmoniefortschreitung ist dafür verantwortlich, dass sich die mittlere Tonhöhe sogar bei sehr guten Chören mit der Zeit verändern kann, dass also die Stimmung fällt oder ansteigt.

Um die Abweichung der Tonhöhe durch eine Harmoniefortschreitung zu verstehen, betrachten wir kurz nebenstehendes Beispiel. Stimmt man die Tonfolge C-F-d-G-C mit reinen Intervallen, so würde man, so erhält man insgesamt von C bis C das Frequenzverhältnis



$$\frac{4}{3} \cdot \left(\frac{6}{5}\right)^{-1} \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{4}{3} = \frac{160}{81} \approx 1.975 < 2,$$

welches kleiner als 2 ist, also ist das C am Ende der Sequenz um 80/81 (-21.52 Cent) tiefer als man es bei einer Oktave erwarten würde. Diese Differenz wird als *syntonisches Komma* bezeichnet. Wiederholt man diese Harmoniefolge vier mal, ist die Tonhöhe fast um einen Halbton abgesunken. Einen solchen Vorgang nennt man auch Kommafalle. Es gibt eine Vielzahl verschiedener harmonischer Fortschreitungen, wobei es abhängig vom harmonischen Verlauf sowohl zu einem Anstieg als auch zu einer Absenkung der mittleren Tonhöhe kommen kann.

Dynamisch-adaptive Stimmverfahren

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die reine Stimmung als statisches Stimm-system in Bezug auf eine bestimmte Basistonart in der Praxis unbrauchbar ist, weil sie sich in fast jeder anderen Tonart verstimmt anhört. Andererseits sind Chöre und Orchester dazu in der Lage, ihre Intonation durch Tonhöhenkorrekturen einer reinen Stimmung näher zu bringen. Ist es möglich, einen solchen Korrekturmechanismus auf einfache Weise algorithmisch nachzubilden?

Diese naheliegende Frage führt auf natürliche Weise zum Konzept *dynamisch-adaptiver Stimmverfahren*, bei denen die Höhe eines jeden Tons im Verlauf der Musik instantan berechnet und angepasst wird. Die Idee dynamischer Stimmverfahren reicht zurück bis in die Frühzeit elektronischer Tasteninstrumente. Seitdem wurden eine Vielzahl möglicher Implementierungen vorgeschlagen und in die Praxis umgesetzt. Dazu gehören zum

Beispiel *Justonic Pitch Palette*⁵, *Mutabor*⁶, und *Hermodé Tuning*⁷. Die meisten existierenden Verfahren bestimmen dabei entweder die Wurzel (den Bezugston) des momentan erklingenden Akkords und berechnen dann die entsprechenden rationalen Frequenzverhältnisse, oder die Akkorde werden durch Schablonen klassifiziert und die Tonhöhen entsprechend auf selektive Weise modifiziert. Mit Ausnahme des *Hermodé*-Verfahrens, das heute in verschiedenen Synthesizern und sogar in manchen Kirchenorgeln verwendet wird, entsteht allerdings der Eindruck, dass keines dieser Verfahren bisher eine Verbreitung gefunden hat, mit der die vorherrschende gleichtemperierte Stimmung ernsthaft infrage gestellt werden würde.

In diesem Zusammenhang sollte erwähnt werden, dass die reine Stimmung auch in einem speziellen Zweig der zeitgenössischen Musik, nämlich der sogenannten *mikrotonalen* Musik⁸ eine Rolle spielt. In der mikrotonalen Musik möchte man das feste Tonsystem aus Halbtönen überwinden und stattdessen den gesamten Bereich von Mikrotönen, also alle dazwischenliegenden Töne mit kontinuierlich variierender Frequenz, musikalisch einsetzen. Dabei spielen natürlich rationale Frequenzverhältnisse eine wesentliche Rolle, was zu einem erneuten Interesse an reinen Stimmungen geführt hat. Allerdings handelt es sich um eine recht ungewöhnliche und experimentelle Art von Musik, die ein breites Publikum noch nicht zu erreichen scheint.

Mit *Just Intonation*, der hier besprochenen Software, möchten wir demonstrieren, dass dynamische Stimmverfahren möglicherweise einen viel breiteren Anwendungsbereich auch in der konventionellen Musik haben könnten. Wir möchten den Hörer und Anwender davon überzeugen, dass „Reine Stimmung“ mehr ist als ein praxisfernes theoretisches Stimmsystem, und dass dynamische Verfahren auch erfolgreich auf klassische und zeitgenössische Musik angewendet werden können, – Musik die viele von uns kennen und wertschätzen.

Wenn Sie zum ersten Mal Musik in reiner Stimmung hören, wird sie Ihnen vielleicht etwas fremdartig wenn nicht sogar leicht verstimmt vorkommen. Das liegt daran, dass wir alle seit frühester Kindheit an die gleichstufige Stimmung gewöhnt sind. Wenn Sie aber wiederholt aufmerksam zuhören oder selbst auf der Touchscreen-Tastatur oder einem MIDI-Keyboard spielen, werden Sie feststellen, wie schnell sich unser Gehör an rationale Frequenzverhältnisse gewöhnt, und vielleicht werden Sie mit der Zeit den hohen Grad der Konsonanz sogar als angenehm empfinden. Wenn Sie dann zur gleichstufigen Stimmung zurückkehren, wird es plötzlich die gleichstufige Stimmung sein, die sich verstimmt anhört, – und in der Tat ist das ja auch so.

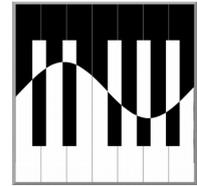
5 Justonic Tuning Inc (Rex Weyler). Soweit uns bekannt ist ging die Webseite im Frühjahr 2016 offline.

6 <http://www.math.tu-dresden.de/~mutabor/>

7 http://www.hermodé.com/index_en.html

8 Vgl. z.B. Center for Microtonal Music, <http://www.huysgens-fokker.org/activities.html>

Just Intonation – Aufbau und Funktionsweise

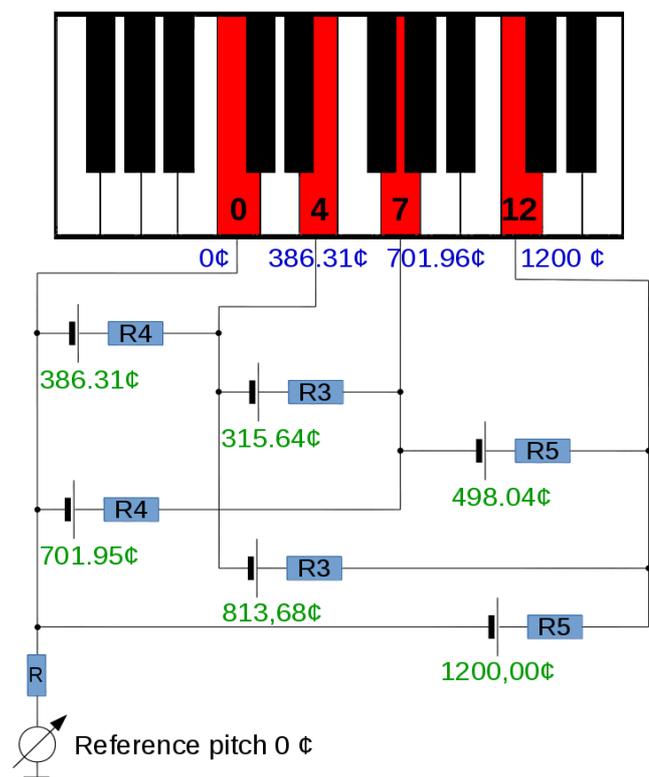


Just Intonation ist ein Softwarepaket, das aus folgenden Komponenten besteht:

- Ein mikrotonaler Sampler, der Klänge in beliebiger Tonhöhe wiedergeben kann.
- Ein mikrotonaler Tuner, der Musik in adaptiver reiner Stimmung oder anderen Temperamenten stimmen kann.
- Eine Schnittstelle für MIDI Ein- und Ausgabe sowie ein eingebauter MIDI-Player.
- Eine grafische Benutzeroberfläche zur Steuerung der Komponenten

Kernstück ist ein der mikrotonale Stimmalgorithmus, der alle Töne in Abhängigkeit vom jeweiligen harmonischen Kontext in reiner Stimmung stimmt. Im Gegensatz zu bereits existierenden Algorithmen, die das Problem auf mathematische Weise durch Bestimmung der Akkordwurzel versuchen zu lösen, bildet unser Algorithmus genau das nach, was auch Musiker tun. Eine Sängerin oder ein Sänger in einem Chor löst beim Intonieren keine komplizierten Gleichungen, vielmehr passt sie/er die Tonhöhe intuitiv so an, dass die bestmögliche Intonation erreicht wird. Unser Algorithmus verhält sich genau so: Er reduziert die Unreinheit (Schwebungen) im Gesamtklang soweit wie möglich.

Wie das intern funktioniert, lässt sich am besten mit Hilfe einer elektrotechnischen Analogie erklären. Stellen Sie sich vor, dass Sie einen C-Dur-Dreiklang spielen. Wenn man sich nun die gedrückten Tasten als elektrische Kontakte vorstellt und alle Intervalle mit einem Widerstand und einer Batterie verbindet, deren Spannung gerade der idealen Intervallgröße entspricht, dann werden sich an den Kontakten Spannungen einstellen, die exakt der gewünschten Tonhöhe entsprechen. Bei komplexeren Akkorden, die nicht rein stimmbar sind, entsteht aber auch automatisch der bestmögliche Kompromiss, der die reine Stimmung so gut wie möglich approximiert.



Just Intonation – Benutzeroberfläche

Erste Schritte

Just Intonation wurde als grafisch skalierbare plattformunabhängige Anwendung entwickelt und läuft auf einer Vielzahl von Desktop-Computern, Tablets und Mobiltelefonen. Besuchen Sie die Internetseite des Projekts

www.just-intonation.org

und gehen Sie von dort zum Downloadbereich, wo die zur Verfügung stehenden Plattformen aufgelistet sind. Folgen Sie dort den entsprechenden Anweisungen. Für Desktop-Computer erfolgt die Installation über einen Installationsassistenten, während die Software für Mobilgeräte über die einschlägigen App-Stores auf bekannte Weise heruntergeladen wird.

Lizenz

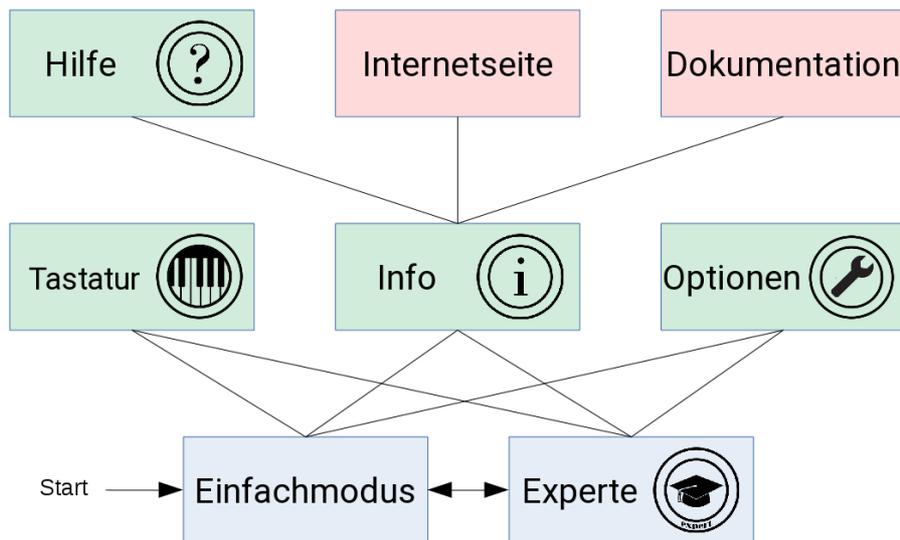
Just Intonation ist eine freie kostenlose Software, die gemäß [GPLv3](https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html) lizenziert ist., d.h. Sie dürfen beliebig viele Kopien der Software für private und kommerzielle Zwecke einsetzen. Der Gebrauch der Software geschieht auf eigene Gefahr. Der Quelltext ist öffentlich zugänglich und Sie sind eingeladen, sich an der Weiterentwicklung des Projekts zu beteiligen.

Download von Klangdateien

Nach dem Start der Anwendung erscheint der Begrüßungsbildschirm, wo Sie die Sprache wählen, das Programm starten, oder mit „Mehr erfahren“ zu der Internetseite des Projekts zurückkehren können.

Just Intonation kann die Klänge realistischer Instrumente nachbilden (Klavier, Orgel und Cembalo). Die dazu erforderlichen speicher-intensiven Samples sind in dem Programm selbst nicht enthalten, sondern müssen separat vom Server heruntergeladen werden. Wenn Sie die Anwendung zum ersten Mal starten, werden Sie gefragt, ob Sie mit dem Download einverstanden sind. Dazu sind etwa 600 MB Permanentspeicher (Festplatte) erforderlich. Wir empfehlen Ihnen sehr, den Download zu erlauben, da sonst nur sehr einfache künstliche elektronische Klänge zur Verfügung stehen.





Navigationstruktur

Navigation

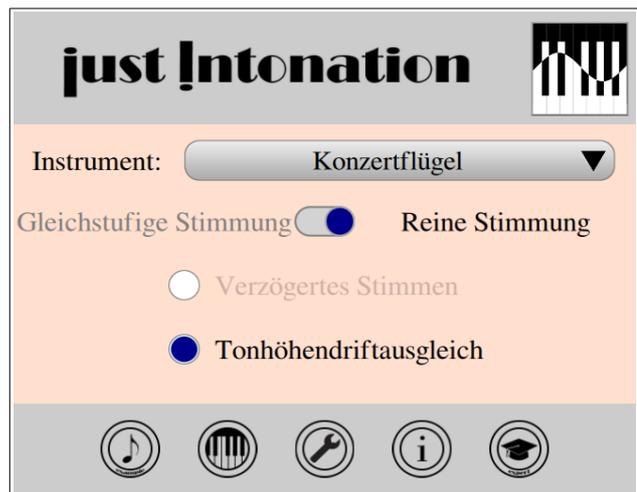
Die Abbildung zeigt die Navigationsstruktur der Anwendung. Nach dem Start von *Just Intonation* wird man zunächst zum sogenannten *einfachen Modus* geführt, mit dem eine minimale Benutzeroberfläche bereitgestellt wird, die weiter unten beschrieben wird. Von dort aus können Sie das Touchscreen-Keyboards, einen Hilfedialog sowie den Einstellungsdialog öffnen oder zum *Expertenmodus* gelangen. Der Expertenmodus bietet Ihnen eine Vielzahl von Möglichkeiten, den Stimmprozess zu beeinflussen und mit verschiedenen Stimmungen zu experimentieren.

Zu erleichterten Navigation auf Geräten mit einer Tastatur stehen folgende Kurzbefehle zur Verfügung:

F1	Hilfe-Auswahl
F9	Einstellungen
E	Expertenmodus
K	Bildschirm-Keyboards
I	Allgemeine Information über die Anwendung
Eingabetaste	Zwischen ET und reiner Stimmung umschalten
Leertaste	Midi-Player starten und anhalten
Zurück/Entf	Harmoniefortschreitungsdrift zurücksetzen
← →	Vorheriges / nächstes MIDI-Beispiel
↑ ↓	Globale Tonhöhe (Kammerton) anpassen
ESC	Zurück zur vorherigen Ebene

Einfacher Modus

Mit dem rechts gezeigten Basismodus wird dem Anwender eine minimale Benutzeroberfläche bereitgestellt, mit der man die gleichstufige mit der dynamisch-adaptiven reinen Stimmung vergleichen kann. In diesem Modus stehen folgende Bedienungselemente zur Verfügung:



- **Download-Fortschritt**

Wenn Sie der Anwendung gestatten, Samples von realen Musikinstrumenten aus dem Internet herunterzuladen, wird der aktuelle Fortschritt beim Download durch einen horizontalen Balken angezeigt (siehe Abbildung). Jedes Instrument wird dabei separat heruntergeladen, d.h. der Fortschrittsbalken bewegt sich mehrfach von 0...100%. Die Downloadzeit hängt von der Geschwindigkeit der Internetverbindung ab und kann zwischen wenigen Minuten und 1 Stunde variieren. Die Samples werden im Hintergrund heruntergeladen, sodass Sie die Anwendung bereits während des Downloads nutzen können.



Download-Fortschritt

Instrumentenauswahl

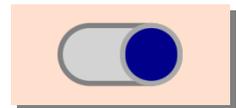
Mit diesem Kombinationsfeld können Sie das Instrument auswählen. Standardmäßig sind in der Anwendung künstlich erzeugte Töne (Dreieckswellen) enthalten. Wenn es der Anwendung gestattet ist, Samples vom Server herunterzuladen, werden die anderen Instrumente (Klavier, Orgel und Cembalo) ebenfalls nach und nach erscheinen. Wenn diese Instrumente in der Auswahl noch nicht sichtbar sind, ist der Download entweder noch nicht abgeschlossen oder fehlgeschlagen. In

diesem Fall sollten Sie versuchen, die Instrumente vom Einstellungsdialog aus neu zu laden (siehe unten).

Ab Version 1.2 ist es außerdem möglich, ein externes Midi-Gerät zur Klangerzeugung anzuschließen, also z.B. ein Keyboard oder einen Synthesizer. In diesem Fall ist der letzte Eintrag in der Liste (Externes Midi-Gerät) auszuwählen. Nähere Informationen dazu finden Sie auf Seite 25.

- **Temperamentumschalter**

Berühren Sie diese Schaltfläche, um zwischen reiner und gleichstufiger Stimmung umzuschalten. Dabei werden alle Tonhöhen instantan verändert, sodass Sie sofort den Unterschied zwischen den beiden Stimmsystemen hören können. Alternativ können Sie auch mit der Eingabetaste zwischen den Temperamenten umschalten.



- **Verzögertes Stimmen**

Wenn diese Option aktiviert ist, wird jeder neu angeschlagene Ton zunächst für 1,5 Sekunden in gleichstufiger Stimmung wiedergegeben, bevor das Stimmen in reiner Stimmung erfolgt. Damit können Sie den Unterschied zwischen den beiden Temperamenten hören, ohne ständig umschalten zu müssen. Verzögertes Stimmen ist vor allem bei Gebrauch eines MIDI-Keyboards sinnvoll, sollte aber ansonsten ausgeschaltet bleiben.

- **Kompensation der Tonhöhendrift**

Wie bereits oben erwähnt haben dynamisch-adaptive Stimmverfahren den Nachteil, dass sich mit der Zeit die globale Tonhöhe verschieben kann. Standardmäßig ist die Anwendung so eingestellt, dass diese Tonhöhendrift automatisch kompensiert wird. Indem Sie diese Option abschalten, können Sie das Phänomen der Harmoniefortschreitung ohne automatische Kompensation hörbar machen.

- **Hörbeispiele**

Just Intonation enthält mehrere eingebaute MIDI-Dateien⁹, sodass Sie ohne zusätzlichen Aufwand direkt Musik in reiner Stimmung hören können. Berühren bzw. klicken Sie einfach auf die Schaltfläche, um zwischen Wiedergabe und Pause umzuschalten. Wenn Sie Ihre eigenen auf dem Rechner gespeicherten MIDI-Dateien abspielen wollen, ziehen Sie diese aus dem Dateimanager mit der Maus auf die Schaltfläche.



- **Information**

Mit dieser Schaltfläche öffnen Sie eine Seite mit fünf verschiedenen Links für Hilfethemen und nähere Informationen.



- **Touchscreen-Klaviatur**

Wenn Ihnen kein MIDI-Keyboard zur Verfügung steht oder die entsprechenden Adapterkabel fehlen, können Sie stattdessen die eingebaute Touchscreen-Klaviatur benutzen. Diese Klaviatur ist besonders für Tablet-Computer geeignet. Aber auch auf gewöhnlichen Desktop-Computern kann man die Maus benutzen, um einzelne Tasten mit aufeinanderfolgenden Klick zur drücken und wieder loszulassen.



- **Einstellungen**

Mit diesem Dialog können Sie die Systemeinstellungen wie z.B. die Konfiguration der MIDI-Schnittstelle und Soundkarte sowie andere systemrelevante Parameter ändern.



- **Expertenmodus**

Diese Schaltfläche öffnet den Expertenmodus, der im folgenden Abschnitt beschrieben werden wird.



⁹ Die in der Anwendung enthaltenen MIDI-Dateien sind entweder gemeinfrei oder unterliegen einer „Creative-Commons“-Lizenz. Nähere Informationen zu den Autoren und der Lizenz erfahren Sie, indem Sie im Expertenmodus unter „Midi-Beispiele“ die Schaltfläche „Info“ betätigen.

Expertenmodus

Der Expertenmodus wurde für Anwender entwickelt, die gerne mit Stimmungen selbst experimentieren. In diesem Modus erscheinen vier Felder:



- **MIDI-Player**

Der MIDI-Player ist einfach zu bedienen und weitgehend selbsterklärend. Um eine externe MIDI-Datei zu laden drücken Sie auf die gezeigte Schaltfläche und wählen eine Datei mit der Endung *.mid aus. Alternativ können Sie die Datei auch vom Dateimanager per „drag and drop“ auf dem Feld des MIDI-Players ablegen.



- **MIDI-Beispiele**

Navigieren Sie hier durch die im Programm enthaltenen MIDI-Beispiele. Erfahren Sie durch Drücken der Info-Schaltfläche mehr über die Urheberrechte.

- **Instrumentauswahl**

Hier können Sie das Instrument auswählen, ähnlich wie im einfachen Modus. Des

weiteren ist es möglich, die Frequenz des Kammertons A4 im Bereich von 400 bis 480 Hz zu wählen. Eine Einstellung des Kammertons ist auch mit den Pfeiltasten $\uparrow\downarrow$ möglich.

- **Stimmverfahren**

In diesem Feld können die Parameter des Stimmverfahrens verändert werden. Oben befinden sich drei Schieberegler. Der erste Regler stellt die Stimmverzögerung ein, um den Unterschied zwischen gleichstufiger und reiner Stimmung zeitversetzt zu hören. Der zweite Schieberegler bestimmt die Zeitskala, mit der aufeinanderfolgende Harmonien korreliert werden.

Wie bereits zuvor beschrieben, kommt es bei reinen Stimmsystemen zu einer sukzessiven Veränderung der globalen Tonhöhe durch Harmoniefortschreitung. Die aktuelle Abweichung von der eingestellten Tonhöhe wird mithilfe der kreisförmigen Anzeige dargestellt, die einen Bereich von einem Halbton abdeckt. Der dritte Schieberegler stellt die Effizienz der automatischen Tonhöhenkorrektur (Driftausgleich) ein. Wenn die Tonhöhenkorrektur abgeschaltet wird (Schieberegler ganz links bei 0%), kann man den Effekt der Harmoniefortschreitung sehr schön hören und dabei beobachten.

Unter der kreisförmigen Skala befindet sich ein weiterer Balken, der anzeigt, wie sehr das berechnete Ergebnis temperiert ist. Wenn dieser Balken gänzlich blau ist, ist der aktuelle Akkord exakt rein gestimmt, während ein teilweiser roter Balken anzeigt, dass ein temperierter Kompromiss berechnet wurde. Die Anzeige vermittelt ein Gefühl dafür, wie sehr dieser Kompromiss von der reinen Stimmung abweicht.¹⁰

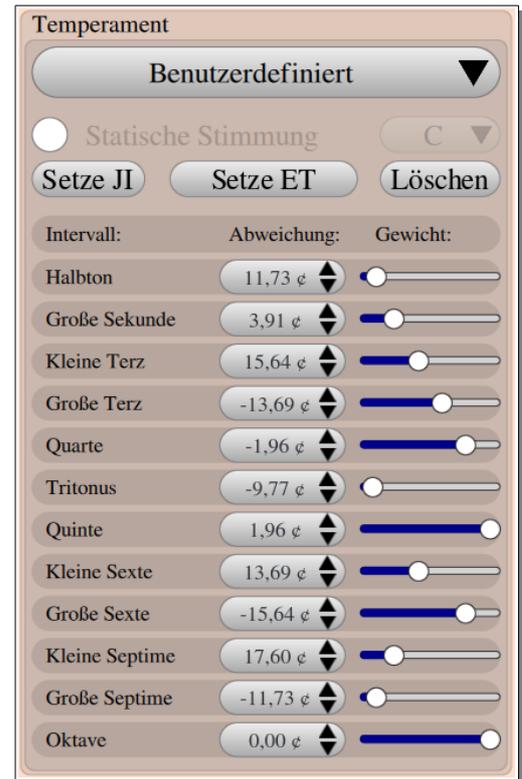
Ganz unten werden Zahlen angezeigt, die durch senkrechte Striche getrennt sind. Diese Zahlen entsprechen den gerade berechneten Intervallgrößen zwischen benachbarten Tönen, gemessen in Cent relativ zu zur gleichstufigen Stimmung.



¹⁰ Der Balken zeigt den Wert des Abweichungspotentials $\exp[-V[\lambda]]$ ausgewertet am optimalen Punkt an. Details dazu erfahren Sie in unserem Papier, in dem wir die Details des Stimmverfahrens beschreiben.

- **Auswahl des Temperaments**

Mit dem Feld auf der rechten Seite wird das verwendete Stimmsystem ausgewählt. Mit der oberen Auswahlbox können Sie zwischen gleichstufige, reiner, mitteltöniger, pythagoreischer und einer beliebigen benutzerdefinierten Stimmung wählen. Das gewählte Temperament wird normalerweise dynamisch gestimmt, es sei denn, dass Sie die darunter befindliche Option für statische Stimmung markieren. Im Fall einer statischen Stimmung ist die dazugehörige Bezugstonart anzugeben. Möchte man beispielsweise in einer statischen reinen Stimmung in C-Dur spielen, so ist als Bezugston C anzugeben. Mit dieser Option kann sehr schön demonstriert werden, warum reine Intonation als statisches System in der Praxis untauglich ist.



Weiter unten sind die zwölf chromatischen Intervalle aufgelistet. Die Auswahlboxen zeigen dabei die Abweichungen relativ zur gleichtemperierten Stimmung in Cent an. Darüber hinaus gibt es zwölf Schieberegler, mit denen die Elastizität der Intervalle verändert werden kann. Wenn sich ein Schieberegler auf der linken Seite befindet, ist das entsprechende Intervall nicht dominant und passt sich flexibel an die jeweilige Harmonie an. Wenn sich dagegen der Schieberegler auf der rechten Seite befindet, wird das entsprechende Intervall rigide auf den jeweiligen Cent-Abstand gestimmt. Wie das im einzelnen funktioniert können Sie in der entsprechenden Dokumentation nachlesen.

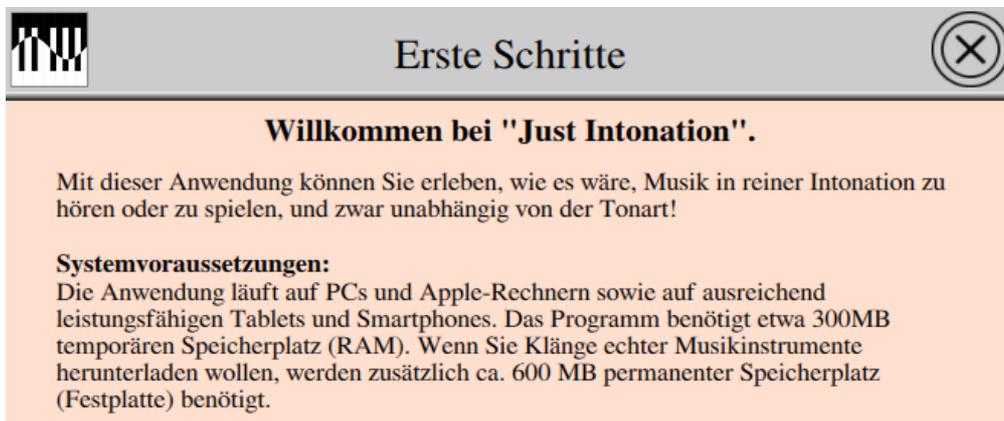
Hilfe und Information



Dieser Dialog bietet fünf verschiedene Optionen für Hilfe und nähere Informationen an. Die erste Option zeigt eine Kurzanleitung für die ersten Schritte an, die auch offline verfügbar ist. Die zweite Option führt zu der Anleitung, die Sie gerade lesen, während die dritte Option zur Internetseite des Projekts führt.



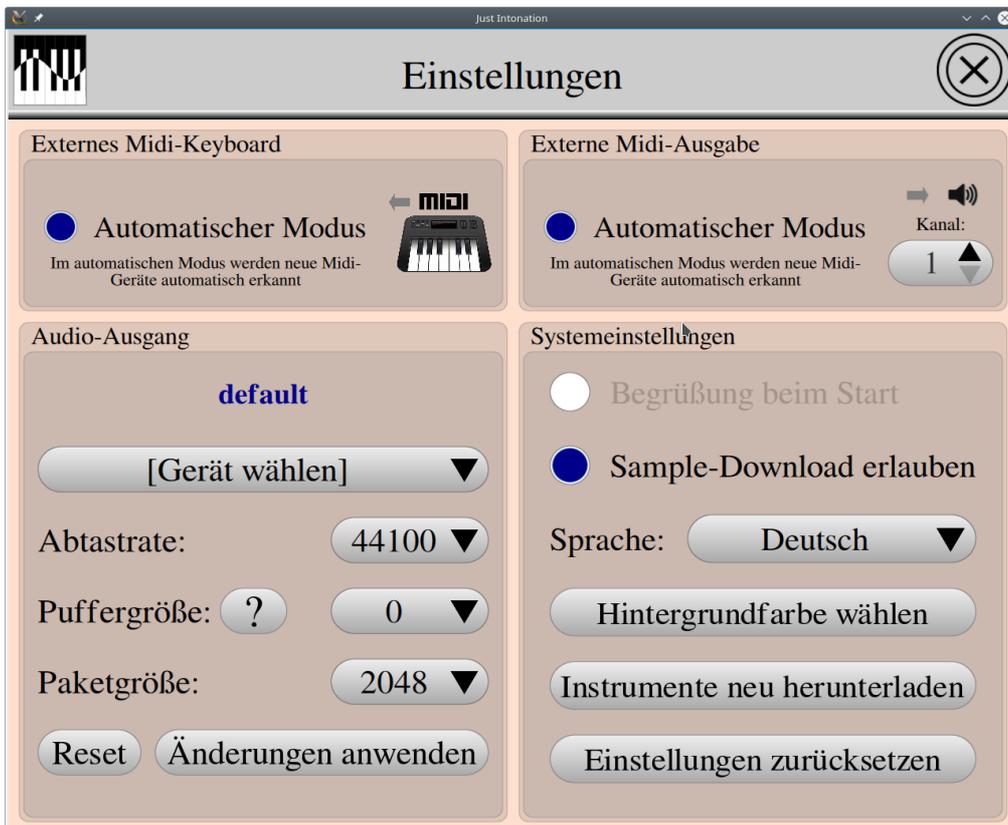
Mit der vierten Schaltfläche können Sie eine Publikation herunterladen, in der das Stimmverfahren detailliert beschrieben wird (ab Nov. 2016). Die letzte Schaltfläche öffnet schließlich den „Über diese App“-Dialog, wo Sie nähere Informationen zur Programmversion, der Lizenz, den Autoren und über diejenigen erhalten, die unser Projekt unterstützt haben.



Der eingebaute Hilfe-Dialog

Einstellungen

Hier können Sie verschiedene Einstellungen vornehmen, welche die MIDI-Schnittstelle, die Soundkarte oder andere systemrelevante Parameter betreffen. Die Einstellungen sollten aber nur dann verändert werden, wenn Probleme auftreten.



- **Externes MIDI-Keyboard / Externe MIDI-Ausgabe**

In den oberen beiden Feldern können die Einstellungen für MIDI-Input (links) und MIDI-Output (rechts) vorgenommen werden. Der MIDI-Input kann mit jedem Gerät verbunden werden, das einen Strom von MIDI-Daten erzeugt, also beispielsweise mit einem Keyboard oder mit einem Software-Sequencer. Die MIDI-Output-Einheit kann mit jedem klangerzeugenden MIDI-Gerät verbunden werden, also beispielsweise mit einem elektronischen Keyboard oder einem Software-Synthesizer. Bitte beachten Sie, dass das Gerät sogenannte „pitch-bend“-Befehle unterstützen muss (siehe unten).

In beiden Fällen ist es am einfachsten, den „Automatischen Modus“ zu wählen, in dem sich die Anwendung automatisch mit dem jeweils zuletzt angeschlossenen MIDI-Gerät verbindet. Alternativ kann man den automatischen Modus abwählen

und die Verbindung per Hand in der darunter befindlichen Auswahlbox vornehmen. Der Name des gerade verbundenen MIDI-Geräts wird dabei oben im Feld in blauer Schrift angezeigt.

Für den MIDI-Output ist außerdem die Nummer des Instruments gemäß der MIDI-Norm anzugeben. Die Instrumente unterscheiden sich von Gerät zu Gerät, aber ‚1‘ steht meistens für einen Konzertflügel. Beachten Sie bitte auch, dass manche Computer auch über eingebaute virtuelle MIDI-Schnittstellen verfügen (wie zum Beispiel „Midi through 14:0“), die bis auf Weiterleitung keine eigene Funktion besitzen.

- **Audio-Einstellungen**

Bitte beachten Sie, dass Änderungen in diesem Feld erst dann übernommen, wenn Sie die Schaltfläche „Änderungen anwenden“ betätigen. Mit „Reset“ können die Standard-Einstellungen wiederhergestellt werden.

Der Name des aktuell aktiven Audiotreibers wird in diesem Dialogfeld ganz oben in blauer Schrift angezeigt. Normalerweise verbindet sich die Anwendung mit dem Standard-Audiosystem des Computers (Lautsprecher bzw. Kopfhörer). Wenn Sie die Anwendung mit einem bestimmten Gerät verbinden wollen (zum Beispiel mit einem Bluetooth-Gerät), können Sie den entsprechenden Eintrag in der Liste auswählen. Beachten Sie, dass Bluetooth-Geräte oft eine sehr hohe Latenz (Verzögerung) aufweisen.



Just Intonation arbeitet mit einer festen Abtastrate von 44.100 Hz. Bitte ändern Sie diesen Wert nicht, da Sie sonst alles in einer falschen Tonhöhe hören würden.

Die beiden letzten Optionen, die Puffergröße und die Paketgröße, sollten Sie nur dann modifizieren, wenn ernsthafte Probleme mit der Audioausgabe auftreten, wenn Sie also beispielsweise nichts hören oder nur Bruchstücke hörbar sind. Dazu muss man wissen, dass die Anwendung den Klang nicht kontinuierlich, sondern in kleinen Paketen generiert. Diese Pakete werden in einem Puffer in der Soundkarte des Computers zwischengespeichert, um dort in Realzeit verarbeitet zu werden. Dieser Mechanismus führt zwangsläufig zu einer kleinen Verzögerung, der sogenannten Latenz. Darüber hinaus kann es in bestimmten Situationen zu einem

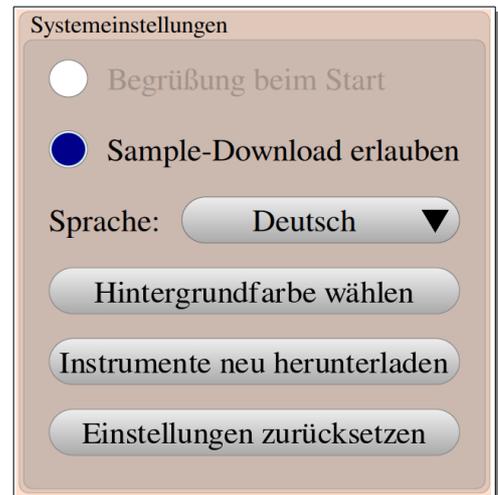
„buffer-underflow“ kommen, wodurch ein unangenehmer ruckelnder Klang entsteht. Wenn solche Probleme bei Ihnen auftreten sollten, können Sie versuchen, mit diesen Parametern zu experimentieren. Die Puffergröße ist die Zwischenspeichergröße in der Soundkarte, während die Paketgröße die minimale von der Anwendung gelieferte Datenmenge festlegt.

- **Systemeinstellungen**

Hier können Sie einstellen, ob Sie zum Beispiel eine Begrüßung beim Start der Anwendung sehen wollen. Sollten Sie anfangs einen Internetzugriff abgelehnt haben, so dass das Herunterladen von Samples unmöglich ist, können Sie diese Entscheidung hier durch Markierung der entsprechenden Schaltfläche rückgängig machen.

Unser Entwicklerteam konnte sich nicht auf eine Hintergrundfarbe der Anwendung einigen. Deshalb ist jetzt jedem Wochentag eine eigene Hintergrundfarbe zugeordnet. Wenn Ihnen das auf die Nerven geht und Sie Ihre eigene Lieblingsfarbe auswählen wollen, können Sie das mit dem entsprechenden Dialog tun.

Wenn die Anwendung aus irgendwelchen Gründen die Samples der Musikinstrumente nicht laden konnte, können Sie einen erneuten Download durch Betätigung der entsprechenden Taste erzwingen. Wenn sich die Anwendung auch sonst ungewöhnlich verhält, können Sie ggf. auch die Standardeinstellungen zurücksetzen.





Umgang mit der Software

Musik in reiner Stimmung hören

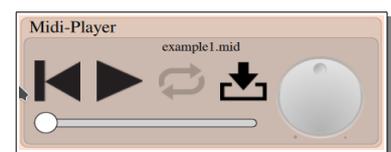
Beispiele anhören

Just Intonation enthält bereits mehrere eingebaute MIDI-Dateien, die Sie sich als Beispiele anhören können. Dazu betätigen Sie die entsprechende Schaltfläche, um zwischen „Play“ und „Pause“ hin und her zu schalten, oder drücken Sie einfach die Leertaste. Wenn Sie das Beispiel noch vor seinem Ende unterbrechen, wird automatisch das nächste Beispiel geladen. Der MIDI-Player im Expertenmodus stellt diese Funktionalität ebenfalls zur Verfügung.



Eigene MIDI-Dateien abspielen

Auf einem Computer können MIDI-Dateien mit dem MIDI-Player geladen und wiedergegeben werden. Ebenfalls ist es möglich, einen Dateimanager zu öffnen und die MIDI-Datei im einfachen Modus auf den Beispielknopf oder im Expertenmodus auf den MIDI-Player zu ziehen und dort abzulegen. Der Name der jeweils aktiven Datei wird ganz oben im MIDI-Player angezeigt.



Um eine kurze MIDI-Datei wiederholt zu hören, können Sie die Wiederholungs-Schaltfläche aktivieren. Der runde Regler dient zur Einstellung des Tempos.

Auf mobilen Geräten öffnen Sie zunächst einen Dateimanager und suchen dort nach der zu öffnenden MIDI-Datei. Wenn Sie auf die Datei tippen, sollte normalerweise eine Auswahl von Anwendungen gezeigt werden, mit der diese Datei geöffnet werden kann, bei der *Just Intonation* hoffentlich dabei ist.

Den Unterschied zwischen gleichtemperierter und reiner Stimmung erkennen

Um den Unterschied zwischen der gleichstufigen und reinen Stimmung zu hören, schalten Sie an besten den entsprechenden Schalter im einfachen Modus ein und aus. Sie sollten zunächst mit einem langsamen Musikstück beginnen, das aus einfachen Akkorden besteht, oder öffnen Sie das Touchscreen-Keyboard (s.u.) und spielen Sie dort selbst einen Dur-Dreiklang. Sie werden feststellen, dass es in der gleichtemperierten Stimmung zu Schwebungen kommt, die in der reinen Stimmung nicht vorhanden sind. Achten Sie darauf, dass sich einige Intervalle wie z.B. Quinten und Quarten beim Umschalten kaum ändern, während andere Intervalle wie z.B. Terzen stark variieren.

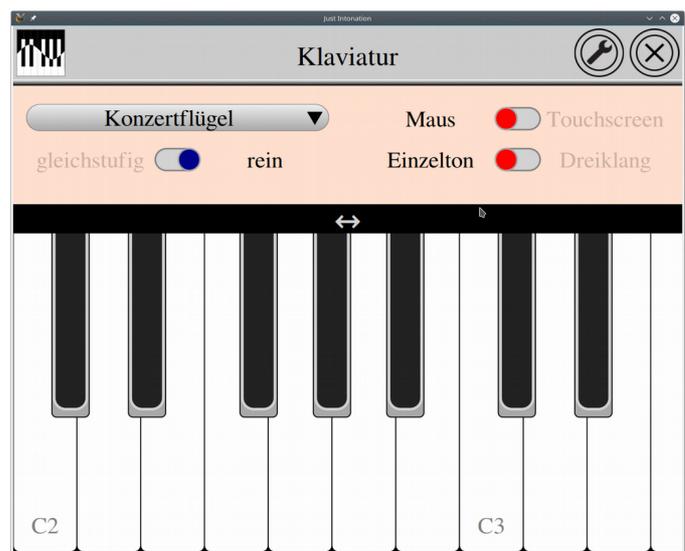


Musik spielen

Auf dem Touchscreen spielen

Wenn Ihnen kein MIDI-Keyboard zur Verfügung steht, können Sie stattdessen das eingebaute Touchscreen-Keyboard benutzen. Diese Klaviatur funktioniert besonders gut auf Tablets. Da auf dem Bildschirm nur ein Teil der Tastatur zu sehen ist, kann man diese mit einer horizontalen Wischgeste im oberen Teil der Tastatur hin und her schieben.

Sie können zwischen dem „Maus“-Modus, in den die Tasten durch Mausclicks ein- und ausgeschaltet werden, und dem „Touchscreen“-Modus wählen. Außerdem besteht die Möglichkeit, mit einer einzelnen Taste einen Dur-Dreiklang zu spielen. Spielen Sie einen solchen Dreiklang und schalten Sie zwischen gleichschwebender und reiner Stimmung um, um den Unterschied zu erkennen.



Externes MIDI-Keyboard anschließen

Wenn Sie auf einem Keyboard oder einem elektronischen Klavier in reiner Stimmung spielen möchten, schließen Sie das Gerät einfach per USB an Ihren Computer an. Im Regelfall sollte das Gerät automatisch erkannt werden, sodass sie direkt

spielen können. Die automatische Erkennung kann im Einstellungsdialog überprüft werden, wo der Name des Geräts in blauer Schrift angezeigt wird. Sollte das Gerät nicht ordnungsgemäß erkannt werden, kann man die automatische Erkennung abschalten und die zur Verfügung stehenden Gerät aus einer Liste auswählen.¹¹



USB-Midi-Geräte können auch mit zahlreichen Mobilgeräten verbunden werden. Bei Android muss das Gerät

dazu OTG-fähig sein („on the go“), als über einen bidirektionalen USB Anschluss verfügen, und man benötigt außerdem einen speziellen OTG-Adapter. Auf ähnliche Weise ist es möglich, iPhones und iPads über einen speziellen „lightening-to-USB“-Adapter mit einem Keyboard zu verbinden. Das Mobilgerät sollte dabei das angeschlossene Keyboard sofort erkennen.

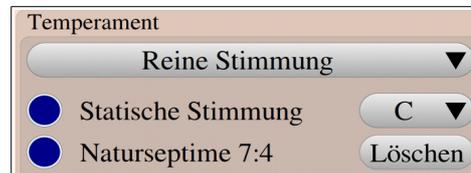


11 Sollte Ihr Gerät nicht in der Liste erscheinen, kann das auch an ihrem Computer liegen. In diesem Fall empfehlen wir, zunächst eine andere Anwendung zu installieren (zum Beispiel Sequencer), um zu überprüfen ob hier das Gerät korrekt erkannt wird.

Experimentieren mit verschiedenen Stimmungen

Statisches und dynamisches Stimmen miteinander vergleichen

Wie bereits dargestellt ist die reine Intonation als statische Stimmung unbrauchbar, da sie nur in einer einzigen Tonart eingesetzt werden kann und sich in den anderen Tonarten verstimmt anhört. Um sich davon zu überzeugen, können Sie die Option „Statische Stimmung“ aktivieren und rechts davon die entsprechende Bezugstonart angeben. Wenn Sie z.B. die statische Reine Stimmung in Bezug auf C gewählt haben, sollten sich Akkorde in C-Dur rein anhören, während sich so gut wie alle anderen Akkorde verstimmt anhören.



Verschiedene Temperamente miteinander vergleichen

Die gleichstufige und die reine Stimmung sind extreme Beispiele eines ganzen Spektrums unzähliger vieler Stimmungen, die in der Vergangenheit vorgeschlagen worden sind. Im Programm sind neben der reinen und gleichtemperierten auch die Pythagoreische und die $\frac{1}{4}$ -Komma-mitteltönige Stimmung auswählbar. Alle vier Stimmungen können sowohl statisch als auch dynamisch gestimmt werden. Wenn Sie spezielle Stimmungen ausprobieren möchten, können Sie für jedes Intervall benutzerdefinierte Cent-Werte relativ zur gleichtemperierten Stimmung angeben.

Einfluss der Elastizitätsparameter

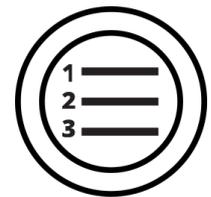
Wie eingangs erwähnt, temperiert der Algorithmus komplexe Akkorde, die nicht auf kohärente Weise mit rationalen Frequenzverhältnissen gestimmt werden können. Bei Berechnung eines solchen temperierten Kompromisses könnten im Prinzip alle Intervalle mit dem gleichen Gewicht eingehen. Allerdings hängt die Toleranz der menschlichen Klangwahrnehmung gegenüber einer Verstimmung vom jeweiligen Intervall ab. So werden selbst kleine Verstimnungen einer Quinte leicht erkannt und als unangenehm wahrgenommen, während eine Verstimmung einer Sekunde bei gleicher



Größenordnung kaum wahrgenommen wird. Der Algorithmus macht sich diese spezifische Wahrnehmung zunutze, indem er den jeweiligen Intervallen unterschiedliche „Elastizitäten“ zuordnet. Die Elastizitätswerte werden dabei durch die Position der horizontalen Schieberegler bestimmt, die auf bestimmte Werte voreingestellt sind. Im Expertenmodus können Sie ausprobieren, wie das Stimmverfahren auf eine Änderung dieser Werte reagiert. Wenn Sie zu der Schlussfolgerung gelangen, dass die Schieberegler anders voreingestellt werden sollten, lassen Sie es uns bitte wissen.

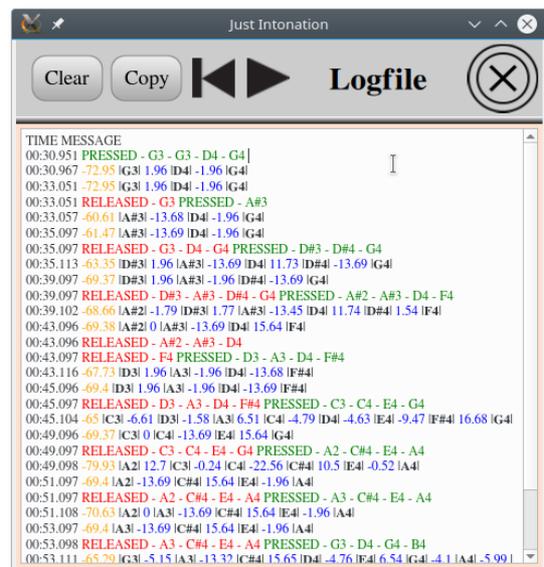
Analyse der Intervallgrößen und der Tonhöhendrift

Zur quantitativen Analyse des jeweiligen Stimmverfahrens besteht die Möglichkeit, eine Log-Datei ausgeben zu lassen. Gehen Sie dazu in den Expertenmodus und betätigen Sie die rechts gezeigte Schaltfläche in der Kopfleiste.



Daraufhin öffnet sich ein Fenster, in dem die Stimmvorgänge protokolliert werden. Spielen Sie dazu einfach auf dem MIDI-Keyboard oder starten Sie eines der MIDI-Beispiele oder Ihre eigene MIDI-Datei.

Sie können Teile der Log-Datei auf gewohnte Weise markieren, in die Zwischenablage kopieren und von dort aus in einem anderen Texteditor einfügen, bearbeiten und ausdrucken. Wenn Sie die gesamte Log-Datei in die Zwischenablage kopieren möchten, betätigen Sie die entsprechende Schaltfläche.



Eine typische Ausgabe sieht folgendermaßen aus:

```
00:30.951 PRESSED - G3 - D4 - G4
00:30.967 -72.95 |G3| 1.96 |D4| -1.96 |G4|
00:33.051 -72.95 |G3| 1.96 |D4| -1.96 |G4|
00:33.051 RELEASED - G3 PRESSED - A#3
00:33.057 -60.61 |A#3| -13.68 |D4| -1.96 |G4|
00:35.097 -61.47 |A#3| -13.69 |D4| -1.96 |G4|
00:35.097 RELEASED - G3 - D4 - G4 PRESSED - D#3 - D#4 - G4
```

Dabei haben die Einträge folgende Bedeutung:

- Jede Zeile beginnt mit der Systemzeit des Ereignisses im Format `min:sec.msec`.

- **Rote** bzw. **grüne** Einträge protokollieren Veränderungen der gedrückten Tasten.
- Zwischen Veränderungen der Tastenkonfiguration wird jeweils das erste und das letzte Stimmereignis protokolliert. Dazwischen finden etwa alle 20ms viele weitere Stimmereignisse statt, in denen die Tonhöhen langsam angepasst werden und die aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht protokolliert werden.
- Jedes Stimmereignis beginnt mit einer orangen Zahl, welche die **Tonhöhe des tiefsten Tons** relativ zur gleichstufigen Stimmung bei 440 Hz in Cent angibt und sich aus der global eingestellten Tonhöhe plus Harmoniefortschreitung ergibt. Die schwarz markierten Angaben benennen die gerade **hörbaren Töne**. Zwischen diesen Tönen befinden sich die blau markierten **Intervallgrößen** gemessen in Cent relativ zur gleichstufigen Stimmung.

Anschluss eines externen elektronischen Klangerzeugers

Ab Version 1.2 ist es möglich, nicht nur die internen Instrumente, sondern auch ein externes MIDI-Gerät zur Klangerzeugung einzusetzen. Bitte beachten Sie, dass dabei vorausgesetzt wird, dass das MIDI-Gerät sogenannte „pitch-bend“-Befehle ausführen kann. Wenn Sie Probleme haben, kontaktieren Sie uns bitte.

Hintergrund: Die MIDI-Norm, die bereits seit 1982 als Standard benutzt wird, ist nicht für ein mikrotonales Stimmen einzelner Töne ausgelegt worden. Die einzige Möglichkeit, mit der die Tonhöhe kontinuierlich modifiziert werden kann, bietet der sogenannte „pitch-bend“-Befehl, der dem Nutzer meistens bei Stage-Keyboards und Synthesizern in der Form eines „Pitch-bend“-Rads begegnet. Mit dem „Pitch-bend“-Rad kann die Tonlage kontinuierlich eingestellt werden, allerdings nur alle Töne gleichzeitig, womit die gleichtemperierte Stimmung erhalten bleibt. Allerdings kann man mit MIDI bis zu 15 Instrumente parallel ansteuern, deren „pitch-bend“ jeweils individuell eingestellt werden kann. *Just Intonation* reorganisiert den MIDI-Datenstrom derart, dass jeder neu angeschlagenen Taste ein neues (jedoch stets gleichartiges) Instrument zugeordnet wird. Mit diesem Trick ist es möglich, auf einem konventionellen Keyboard oder Synthesizer in reiner Stimmung zu spielen, vorausgesetzt dass das Gerät die dafür notwendigen MIDI-Befehle korrekt interpretiert. Die Reorganisation hat allerdings den Nachteil, dass nur 15 Tasten gleichzeitig angeschlagen werden können, was aber im Kontext dieser Anwendung ausreichend ist.

Als externe klangerzeugende Geräte können Hardware-MIDI-Geräte wie z.B. elektronische Klaviere und Keyboards per USB verbunden werden. Es ist aber auch möglich, klangerzeugende Programme wie z.B. Software-Synthesizer mit *Just*

Intonation zu verbinden. Einer der großen Vorteile externer Geräte ist die geringe Latenz. Allerdings findet die Tonerzeugung nun nicht mehr intern in der Anwendung, sondern im externen Gerät statt.



Am einfachsten ist es, zur Herstellung einer Verbindung den automatischen Modus zu nutzen, in dem sich Just Intonation automatisch mit dem zuletzt angeschlossenen MIDI-Gerät verbindet. Dabei wird der Name des verbundenen Geräts oben in blauer Schrift angezeigt. Wenn der Name nicht korrekt ist, sollte der automatische Modus deselektiert und das Gerät manuell ausgesucht werden. Darüber hinaus muss die Nummer des zu spielenden Instruments entsprechend der MIDI-Norm angegeben werden. Dabei stehen 0 und 1 normalerweise für Klavierklänge.

Um die Funktionsfähigkeit des externen Geräts zu überprüfen, gehen Sie zunächst in den einfachen Modus, wählen als Instrument den Eintrag „Externes Gerät“ aus und starten Sie die Beispielklänge links unten. Das Gerät sollte nun MIDI-Signale empfangen und das Beispiel wiedergeben. Als nächstes gehen Sie in den Expertenmodus und heben dort die Grundfrequenz an, z.B. von 440 Hz auf 450 Hz. Achten Sie darauf, ob die Tonhöhe des Geräts dabei ansteigt. Wenn das nicht der Fall ist, ist Ihr Gerät für mikrotonale Zwecke ungeeignet, da es die MIDI „Pitch-Bend“-Befehle nicht versteht.

Gehen Sie dann mit der Tonhöhe auf den ursprünglichen Wert zurück und spielen Sie im einfachen Modus Dur-Dreiklänge, wobei Sie zwischen reiner und gleichstufiger Stimmung hin und her schalten. Dabei sollte ein Unterschied klar erkennbar sein.

Bidirektionaler Betrieb

Es ist außerdem möglich, ein externes Keyboard gleichzeitig sowohl für MIDI-Eingabe als auch für MIDI-Ausgabe zu benutzen. Im Idealfall können Sie einfach Ihr Handy an Ihr Keyboard per USB anschließen, die App starten, als Instrument „Externes Gerät“ auswählen und auf Ihrem Keyboard aus dem Stand heraus in reiner Stimmung spielen.



Yamaha PSR-E443 mit einem Android-Handy

Normalerweise werden in einem Keyboard die von der Klaviatur kommenden Daten direkt an die klangerzeugende Einheit (Sampler) weitergeleitet. Um mikrotonal in reiner Stimmung spielen zu können, muss dieser Datenstrom unterbrochen und über das Handy bzw. den Computer umgeleitet werden. Dazu ist es erforderlich, dass Ihr Keyboard den MIDI-Befehl „Local Control on/off“ versteht und richtig umsetzt. Wenn das nicht funktioniert, werden Sie unangenehme Schwebungen zwischen der direkt weitergeleiteten gleichstufigen Stimmung und der von *Just Intonation* berechneten reinen Stimmung hören.

Häufig gestellte Fragen (FAQ)

Ich kann keinen Unterschied zwischen reiner und gleichstufiger Stimmung wahrnehmen.

Die Fähigkeit, diese Unterschiede zu erkennen, variiert stark von Mensch zu Mensch und hängt außerdem von der Wiedergabequalität ihres Geräts ab. Um den Unterschied klar hören zu können, sollten Sie einen Kopfhörer in ungestörter Umgebung benutzen. Beachten Sie auch, dass die Intervalle sehr unterschiedlich auf einen Wechsel zwischen reiner und gleichstufige Stimmung reagieren. Während sich Quarten und Quinten kaum verändern, ist der Unterschied bei Terzen besonders ausgeprägt. Wenn sie als Instrument den eingebauten künstlichen Klang auswählen und einen Dur-Dreiklang erklingen lassen, sollte der Unterschied bereits klar erkennbar sein. Versuchen Sie dann, diesen Unterschied auch bei anderen Instrumenten zu erkennen.

Es fehlen Instrumente in der Auswahlliste

Die Auswahlliste für Instrumente sollte die Einträge „Künstlicher Klang“, „Konzertflügel“, „Orgel“, „Cembalo“ und „Externes Gerät“ zeigen. Sollten Instrumente fehlen, so sind die entsprechenden Samples nicht ordnungsgemäß heruntergeladen worden. Verbinden Sie Ihr Gerät mit dem Internet über eine schnelle Internetverbindung (WLAN für mobile Geräte), gehen Sie in den Einstellungsdialog und drücken Sie dort die Taste „Instrumente neu laden“. Damit sollte das Problem behoben werden.

Die Töne erklingen nach dem Tastenanschlag mit großer Verzögerung

Diese sogenannte Latenz hängt vom Audio-Treiber und der verwendeten Hardware ab. Apple-Produkte sind für ihre geringe Latenz bekannt, während die Latenz von Linux- und Windows-Betriebssystemen zu einem echten Problem werden kann. *Just Intonation* benutzt die native Audio-Schnittstelle des Betriebssystems, d.h. Sie können zwar in der Anwendung die Puffer- und Paketgröße einstellen, aber davon abgesehen gibt es kaum Möglichkeiten, die Latenz zu verringern. Allerdings kann man andere Audio-Treiber (sogenannte ASIO-Treiber) einsetzen. Für entsprechende Vorschläge wären wir Ihnen dankbar.

Danksagung

Wir danken allen, die uns bei der Entwicklung der Software tatkräftig unterstützt haben, insbesondere **Florian Frank, Thomas Herwig, Herbert Kraus** und **Sophia Sandler**.

Die Verbesserungen ab Version 1.3.0 wurden maßgeblich von **Prof. Ross W. Duffin** (CWRU, Cleveland, Ohio) angeregt, der das Verhalten des Stimmalgorithmus sehr genau untersucht hat und wofür sehr dankbar sind. Wir möchten uns außerdem bei der **Hochschule für Musik in Würzburg** für die Unterstützung und den freien Zugang zu Instrumenten bedanken.

Wir danken außerdem **Prof. Dr. U. Konrad** und dem Institut für für Musikforschung für den Zugang zur Orgel der Neubaukirche in Würzburg.

Besonderen Dank gilt **Ilja Rausch**, der die Anwendung in die russische Sprache übersetzt hat.