

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
30. August 2007 (30.08.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/096035 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G10H 1/00 (2006.01) **G10G 1/02** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/000560

(22) Internationales Anmeldedatum:
23. Januar 2007 (23.01.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2006 008 260.5
22. Februar 2006 (22.02.2006) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Hansastrasse 27c, 80686 München (DE).

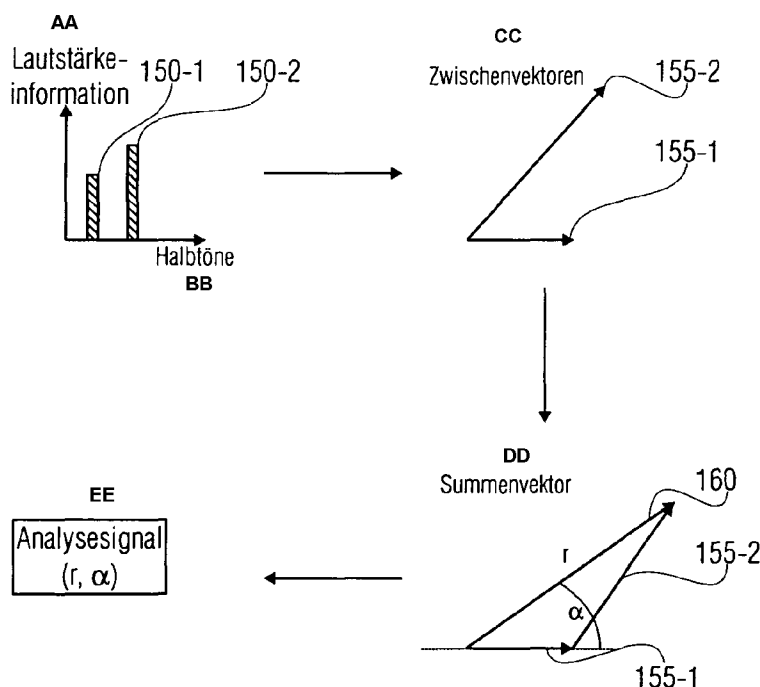
(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **GATZSCHE, Gabriel** [DE/DE]; Kirchberg 6, 98693 Martinroda (DE). **GATZSCHE, David** [DE/DE]; Heldrunger Strasse 21, 99427 Weimar (DE). **BECKINGER, Michael** [DE/DE]; Moritzstrasse 20b, 99084 Erfurt (DE). **MELCHIOR, Frank** [DE/DE]; Oehrenstöckerstrasse 3, 98693 Ilmenau (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR ANALYSING AUDIO DATA

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR ANALYSE EINES AUDIODATUMS



AA ... VOLUME INFORMATION
BB ... SEMITONES
CC ... INTERMEDIATE VECTORS
DD ... SUM VECTOR
EE ... ANALYSIS SIGNAL

(57) Abstract: The invention relates to a device and a method for analysing audio data. Said device has a semitone analysis unit, which is designed to analyse the audio data with respect to a volume information distribution across a set of semitones and a vector calculation unit, which, based on the volume information distribution or a distribution derived from said volume information distribution that has a definition set based on the set of semitones, is designed to calculate a sum vector via two-dimensional intermediate vectors for each semitone or each element of the definition set and to emit an analysis signal based on said sum vector.

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Analyse eines Audiodatums beschrieben, die eine Halbtonanalyseeinrichtung, die ausgebildet ist, um das Audiodatum bezüglich einer Lautstärkeinformationsverteilung über einer Menge von Halbtönen zu analysieren, und eine Vektorberechnungseinrichtung aufweist, die ausgebildet ist, um basierend auf der Lautstärkeinformationsverteilung

oder einer aus der Lautstärkeinformationsverteilung

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2007/096035 A1



(74) **Anwälte:** SCHENK, Markus usw.; SCHOPPE, ZIMMERMANN, STÖCKELER & ZINKLER, Postfach 246, 82043 Pullach Bei München (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Vorrichtung und Verfahren zur Analyse eines Audiodatums

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Analyse eines Audiodatums, insbesondere auf eine Vorrichtung, die im Zusammenhang beispielsweise einer Anzeigevorrichtung, einer Begleitvorrichtung oder einer anderen Auswertungsvorrichtung eingesetzt werden kann, um beispielsweise um eine schnellere und einfachere Bestimmung einer Tonart des Tonartwechsels, eines Akkordes oder eines Akkordwechsels zu ermöglichen.

Beim Musizieren, aber auch bei anderen Beschäftigungen mit einem Musikstück oder einer bestehenden Akkordfolge, ist eine Analyse des bestehenden oder erklingenden Musikstücks in vielen Situationen notwendig, um beispielsweise ein Improvisieren über das bestehende Musikstück, also einem kreativen Erschaffen harmonisch und konsonant klingender Melodien, oder einem Begleiten des bestehenden Musikstücks, also ein Erschaffen einer zu der Melodie passenden, tendenziell untermalender Akkordfolge und/oder Einzeltonfolge notwendig.

Dies setzt häufig ein Mindestmaß an Erfahrung im Umgang mit Musik bei einem Menschen voraus, die häufig nur durch eine mehrjährige Beschäftigung mit Musik bzw. einem Musikinstrument erlernt werden kann. Darüber hinaus erfordert eine entsprechende Analyse von einem Menschen häufig auch eine bestimmte musikalische Veranlagung, die im Falle sehr komplexer Musikstücke zum Teil sogar ein absolutes Gehör notwendig machen kann. Dies schließt jedoch sehr viele Menschen aus, denen das notwendige musiktheoretische Hintergrundwissen, eine ausreichende Erfahrung im Umgang mit Musik bzw. einem Musikinstrument oder eine entsprechende Veranlagung fehlt, aus.

In der Literatur sind viele Hilfsmittel und Lernhilfen zum Erlernen bzw. zum Auffinden von Akkorden, Harmonien und Tonarten bekannt. Bei diesen handelt es sich häufig um Schablonen, Scheiben oder anderen Objekten, insbesondere mechanisch miteinander verbundene, verschiebbare oder drehbare Schablonen, auf denen musiktheoretische Zusammenhänge dargestellt sind. Solche Hilfsmittel und Lernhilfen sind beispielsweise in den Schriften DE 8005260 U1, DE 8902959 U1, DE 3744255 A1, US 5709552, DE 3690188 T1, US 2002/0178896 A1, DE 4002361 A1, DE 19831409 A1, DE 19859303 A1, DE 29801154 U1 und DE 20301012 U1 beschrieben. Im Allgemeinen ist auf eine der Scheiben oder der betreffenden Objekte eine Aneinanderreihung von Tönen aufgetragen, die im Allgemeinen entweder der chromatischen Tonleiter, die aus einer Folge von zwölf Halbtönen und damit allen verfügbaren Tönen einer temperierten Stimmung besteht, oder des Quintenzirkels entspricht, bei dem also ein Tonabstand zweier benachbarter Töne einer Quinte entspricht (beispielsweise C - G oder F - C). Die DE 8005260 zeigt ein Arbeitsgerät zum Auffinden von Akkorden, Harmonien und Tonarten mit einer Anordnung in einem Terzabstand.

Die Gebrauchsmusterschrift DE 29512911 U1 beschreibt ein Lehr- und Lernmittel zur Synthese und Analyse musiktheoretischer Zusammenhänge mit mehreren unterschiedlichen Schablonen und wenigstens zwölf mit Tonbezeichnungen versehener Spielsteine.

Die europäische Patentschrift EP 0452347 B1 bezieht sich auf eine universelle Bedieneinheit für ein elektronisches Musikinstrument mit einer Anzahl von Noten-Auswählern, von denen jeder bei Auswahl einer Note ein Noten-Auswahlsignal und bei Abfall einer Note ein Noten-Abwahlsignal liefert, mit der Anzahl von Noten-Auswählern gekoppelte Noten-Anschalter zum Liefern von jedem Noten-Auswähler zugeordneter, notenkennzeichnender Informationen und zum Liefern jeweils eines von dem Noten-Auswahlsignal ausgelösten Noten-Anschaltsignals, das die entsprechenden notenkenn-

zeichnenden Informationen umfasst, einer Speichereinrichtung zum Speichern der ausgelöst vom Noten-Auswahlsignal gelieferten notenkennzeichnenden Informationen, an die Noten-Anschalter gekoppelte Mittel zum Ändern der notenkennzeichnenden Informationen und an die Anzahl von Noten-Auswählern sowie an die Speichereinrichtung gekoppelte Noten-Abschalter zum Liefern eines von dem Noten-Abwahlsignal ausgelösten Noten-Abschaltsignals, das die bei Lieferung des Noten-Auswahlsignals gespeicherte notenkennzeichnende Information umfasst.

Die Patentschrift DE 4216349 C2 beschreibt ein elektronisches Musikinstrument mit einer Melodie- und einer Begleit-tastatur. Das beschriebene elektronische Musikinstrument hat eine Melodie-Tastatur, deren Melodie-Tasten Schalter mit zwei Schaltstufen umfassen, wobei den ersten Schaltstufen diejenigen Töne, die den Untertasten, und den zweiten Schalterstufen diejenigen Töne, die den Obertasten einer Klaviatur entsprechend zugeordnet sind, und eine Begleit-Tastatur, die Begleit-Tasten aufweist, bei deren Betätigung eine automatische Akkordbegleitung aufrufbar ist, wobei die Begleit-Tasten jeweils als Schalter mit mindestens zwei Schaltstufen ausgebildet sind, denen unterschiedliche Begleitakkorde zugeordnet sind. Eine Bedienung des beschriebenen elektronischen Musikinstruments erfordert zwar nicht die Kenntnis der Notenschrift, erfordert jedoch aufgrund der beschriebenen Anlehnung an eine Klaviatur einen musiktheoretisch vorgebildeten Bediener, da insbesondere bestimmte Kombinationen von einzelnen Tönen und Akkorden, wie es gerade zu pädagogischen Zwecken notwendig ist, nahe liegt. Insbesondere beschreibt das Dokument ein Musikinstrument mit einem Ein-Finger-Begleit-System, das ein Benutzer manuell bedienen kann, um einen Begleitakkord zu erzeugen.

35

Die Patentschrift DE 2857808 C3 beschreibt ein elektronisches Musikinstrument kombiniert mit einer elektronischen Uhr. Die Erfindung betrifft ein elektronisches Musikinstru-

ment, bei dem über Eingabe- und Speichermittel beliebige Tonfolgen und Musikstücke eingebbar und wieder abrufbar sind. Das beschriebene elektronische Musikinstrument ermöglicht somit nur eine Eingabe mit einer anschließenden
5 Speicherung einer Tonfolge sowie eine Wiedergabe der gespeicherten Tonfolge über eine Tongeneratorschaltung, um die gespeicherte Tonfolge in Form einer sequentiellen akustischen Darbietung wiederzugeben. Nachteilig an dem beschriebenen elektronischen Musikinstrument ist insbesondere, dass die Eingabe bzw. die „Programmierung“ der Ton-
10 folge über eine um einige Zusatztasten erweiterten Zehner-tastatur erfolgt. Insbesondere erfordert das beschriebene elektronische Musikinstrument auch ein gewisses Mindestmaß an musiktheoretischem Vorwissen, da sonst eine Programmie-
15 rung des Musikinstruments kaum durchführbar ist.

Die europäische Patentschrift EP 0834167 B1 bezieht sich auf ein virtuelles Musikinstrument mit einer neuen Eingabe-
vorrichtung. Genauer gesagt bezieht sich die genannte
20 Patentschrift auf ein virtuelles Musikinstrument mit einem Handzubehörteil eines Typs, der mit einem Musikinstrument in Kontakt gebracht werden soll, um dieses Instrument zu spielen, wobei das genannte Handzubehörteil einen Schalter aufweist, der als Reaktion darauf, dass das genannte Hand-
25 zubehörteil von einer der genannten Handzubehörteil halten-den Person veranlasst wird, gegen ein anderes Objekt zu schlagen, ein Aktivierungssignal erzeugt. Das genannte Aktivierungssignal wird von einem Digitalprozessor empfan-
gen, der wiederum ein Steuersignal erzeugt, das einen
30 Synthesizer dazu veranlasst, eine Note zu erzeugen, die durch eine gewählte Notendatenstruktur repräsentiert wird. Insbesondere beschreibt die Patentschrift ein virtuelles Musikinstrument, bei dem das genannte Handzubehörteil ein Gitarrenplektrum ist, und bei dem ein Benutzer nur inner-
35 halb einer vorgegebenen Menge von Tönen diese über den Synthesizer erklingen lassen kann.

Die europäische Patentschrift EP 0632427 B1 sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Eingabe von Musikdaten. Genauer gesagt bezieht sich die genannte Patentschrift auf eine Musikdateneingabevorrichtung, die eine Eingabeaufnahmeeinrichtung zum Aufnehmen einer handschriftlichen Eingabe darauf, eine Positionserfassungseinrichtung zum Erfassen einer Position auf der Eingabeaufnahmeeinrichtung, wo die handschriftliche Eingabe ausgeführt wird, um Tonhöhendaten zu erhalten, die für eine Tonhöhe einer Musiknote repräsentativ sind, eine Eingabeerkennungseinrichtung zum Erkennen der handschriftlichen Eingabe, die auf der Eingabeaufnahmeeinrichtung ausgeführt wird, wobei die Eingabeerkennungseinrichtung eine Einrichtung aufweist zum Erfassen der Anzahl der Drückvorgänge, die auf der Eingabeaufnahmeeinrichtung ausgeführt werden, oder zum Erfassen einer Zeitdauer, in der auf die Eingabeaufnahmeeinrichtung gedrückt wird, oder zum Erfassen der Intensität des Drucks, der auf die Eingabeaufnahmeeinrichtung während der handschriftlichen Eingabe ausgeübt wird, oder eine Zahlenerfassungseinrichtung aufweist, um eine auf die Eingabeaufnahmeeinrichtung geschriebene Zahl zu erfassen, oder eine Linienerfassungseinrichtung, um die Länge einer Linie zu erfassen, die auf die Eingabeaufnahmeeinrichtung gezeichnet wird, eine Zeitbezeichnungseinrichtung zum Bezeichnen von Zeitdaten, die für die Länge eines Musiktons repräsentativ sind, auf der Grundlage der erfassten Anzahl der Drückvorgänge oder der erfassten Zeitdauer oder der erfassten Intensität der Drückvorgänge oder der erfassten Zahl oder der erfassten Länge einer Linie, die von der Eingabeerkennungsvorrichtung erkannt wird, und eine Musiktoneerzeugungseinrichtung zum Erkennen von Musiktondaten auf der Grundlage der Tonhöhendaten umfasst, die von der Positionserfassungseinrichtung erhalten werden, und der Zeitdaten, die von der Zeitbezeichnungseinrichtung erhalten werden. Insbesondere beschreibt die genannte Patentschrift eine Musikdateneingabevorrichtung mit einer LCD-Einheit (LCD = liquid crystal display = Flüssigkeitskristallanzeige) und ein auf dieser angeordnetes Berührungsfeld, über das mit Hilfe eines

Stiftes in ein Notensystem Noten eingetragen werden können. Die beschriebene Musikdateneingabevorrichtung bezieht sich daher auf Menschen mit einem hinreichend hohen Kenntnisstand musiktheoretischer Zusammenhänge.

5

Die Patentschrift US 5415071 bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erzeugen von Beziehungen zwischen musikalischen Noten. Hierbei wird eine Anordnung versetzte Linien oder Zeilen von Symbolen beschrieben, wobei jedes
10 Symbol eine musikalische Note darstellt. Jede Linie umfasst eine wiederholte Serie von zwölf Symbolen, die eine musikalische Serie von Halbtönen bildet, die auch als chromatische Tonleiter bekannt ist. Hierbei ist jede Linie gegenüber den angrenzenden Linien so versetzt, dass Gruppen von
15 Symbolen, die die gleiche musikalische Beziehung darstellen, also beispielsweise Intervalle Tonleitern, Akkorde usw., gleiche visuell erkennbare Konfigurationen bilden, wie beispielsweise diagonale Konfigurationen oder vertikale Konfigurationen an bestimmten Orten in der Anordnung. In
20 einem Ausführungsbeispiel kann ein solches Gerät, das eine solche Anordnung umfasst, als Lernhilfe verwendet werden, wobei die Lernhilfe zwei überlappende Komponenten aufweist, die gegeneinander verschiebbar sind. Darüber hinaus beschreibt die Patentschrift eine Anordnung der Kontaktflächen
25 eines Keyboards bzw. einer Klaviatur eines Musikinstruments mit einer Klaviatur oder ein Griffbrett eines musikalischen Saiteninstruments, die in Übereinstimmung mit der Anordnung arrangiert sind. Die Patentschrift beschreibt so eine Klaviatur mit in Form konzentrischer Kreise angeordneter Tasten.
30

Ausgehend von diesem Stand der Technik besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, eine Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums zu schaffen, die eine schnellere
35 und effizientere Analyse eines Audiodatums ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1, ein Verfahren gemäß Anspruch 22 oder ein Computer-Programm-Produkt gemäß Anspruch 23 gelöst.

- 5 Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums umfasst eine Halbtonanalyseeinrichtung, die ausgebildet ist, um das Audiodatum bezüglich einer Lautstärkeinformationsverteilung über einer Menge von Halbtönen zu analysieren, und einer Vektorberechnungseinrichtung, die ausgebildet ist, um basierend auf der Lautstärkeinformationsverteilung oder einer aus der Lautstärkeinformationsverteilung abgeleiteten Verteilung, die eine auf der Menge von Halbtönen basierende Definitionsmenge aufweist, für jeden Halbton oder jedes Element der Definitionsmenge einen Summenvektor über zweidimensionalen Zwischenvektoren für jeden Halbton oder jedes Element der Definitionsmenge zu berechnen und ein auf dem Summenvektor basierendes Analysesignal auszugeben.
- 10
- 15
- 20 Der vorliegenden Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass eine schnellere und effizientere Analyse eines Audiodatums, beispielsweise bezüglich einer Bestimmung einer Tonart, eines Tonartwechsels, eines Akkordes, eines Akkordwechsels und anderer musiktheoretischer Zusammenhänge, dadurch ermöglicht wird, dass das Audiodatum über einer Menge von Halbtönen bezüglich einer Lautstärkeinformationsverteilung analysiert wird und basierend auf der Lautstärkeinformationsverteilung oder eine aus der Lautstärkeinformationsverteilung abgeleiteten Verteilung ein Summenvektor berechnet und als Analysesignal ausgegeben wird. Durch die Berechnung des Summenvektors, also einer Abbildung der Lautstärkeinformationsverteilung auf den zweidimensionalen Summenvektor, werden wesentliche Informationen bezüglich eines von vielen Menschen als harmonisch bzw. konsonant empfundenen Musikstücks, das in Form des Audiodatums vorliegt, gewonnen. Besonders vorteilhaft hieran ist, dass durch die Berechnung des zweidimensionalen Summenvektors auch aus einem sehr komplexen Audiodatum signifikante und
- 25
- 30
- 35

damit relevante Informationen aus dem Audiodatum extrahiert und damit dieses analysiert werden kann. Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums ist somit in der Lage, wesentliche Informationen aus dem Audiodatum zu extrahieren und in Form des Analysesignals bereitzustellen.

Ein wesentlicher Vorteil besteht darin, dass die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums, eine geeignete Auslegung vorausgesetzt, die Analyse in „Echtzeit“ auf Basis eines momentanen Wertes des Audiodatums durchführen kann. Einschränkungen an die Möglichkeit einer instantanen bzw. unmittelbaren Berechnung des Summenvektors stellt im Wesentlichen die Halbtonanalyseeinrichtung, die zur Analyse der Lautstärkeinformationsverteilung aufgrund der physikalischen Eigenschaften von Schallwellen eine gewisse Zeit benötigt, wenn das Audiodatum analoge oder digitale Audiosignale umfasst. Umfasst hingegen das Audiodatum Notenfolgensignale, also etwa analoge oder digitale Steuersignale für einen Klangerzeuger (z.B. Midi-Signale), so kann die Halbtonanalyseeinrichtung eine entsprechende Analyse quasi-instantan durchführen.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Vektorberechnungseinrichtung ausgebildet sein kann, um die Berechnung der zweidimensionalen Zwischenvektoren durch eine Gewichtung der den jeweiligen Halbtönen bzw. den jeweiligen Elementen der Definitionsmenge zugeordneten Einheitsvektoren mit der Lautstärkeinformationsverteilung oder der aus derselben abgeleiteten Verteilung durchzuführen. Hierdurch kann die Berechnung signifikant beschleunigt werden. Darüber hinaus kann als weiterer Vorteil die Halbtonanalyseeinrichtung das Audiodatum bezüglich der Lautstärkeinformationsverteilung unter Berücksichtigung einer frequenzabhängigen Gewichtungsfunktion analysieren, so dass eine Unterscheidung der Wahrnehmung der Konsonanz bzw. Harmonie bezüglich der Frequenz, insbesondere bezüglich einer Oktavlage, zu berücksichtigen. Hierdurch ist es möglich, gehörsspezifische Eigenschaften zu berücksichtigen, beispielsweise

se zu berücksichtigen, dass ein C-Dur-Akkord in unterschiedlichen Oktavierungen bzw. Oktavlagen als unterschiedlich angenehm empfunden wird.

5 Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Berechnung weiter beschleunigt werden kann, indem die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums ferner eine Tonigkeitsanalyseeinrichtung aufweist, die ausgehend von der Lautstärkeinformationsverteilung eine Tonigkeitslaut-
10 stärkeinformationsverteilung bildet und gleichzeitig die Menge der Halbtöne auf eine Menge von Tonigkeiten als Definitionsmenge der Tonigkeitslautstärkeinformationsverteilung abbildet. Hierbei versteht man unter einer Tonigkeit die Angabe eines Tons unter Vernachlässigung der
15 Oktave, der dieser Ton angehört. Mit anderen Worten kann ein Ton dadurch identifiziert werden, dass seine Tonigkeit (z. B. C) und die zugehörige Oktavierung bzw. Oktavlage festgelegt wird. So weisen beispielsweise die Töne C, C', C'', C''', ... die Tonigkeit C auf.

20 Ein besonderer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass die Vektorberechnungseinrichtung so ausgebildet werden kann, dass die den Tonigkeiten, den Halbtönen oder den Elementen der Definitionsmenge zugeordneten Einheits-
25 vektoren bezüglich einer Vorzugsrichtung einen Winkelwert aufweisen, so dass der zweidimensionale Summenvektor im Rahmen einer als „Terzkreis“ oder im Rahmen einer als „Symmetriemodell“ bezeichneten Anordnung von Tonigkeiten verwendet werden kann, um musiktheoretische Zusammenhänge
30 besonders effizient und einfach darstellen zu können.

Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass die Halbtonanalyseeinrichtung das Audiodatum bezüglich einer Vielzahl unterschiedlicher Lautstärkeinfor-
35 mationsverteilungen analysieren kann. So kann die Lautstärkeinformationsverteilung Informationen bezüglich einer Amplitude, einer Intensität, einer Lautstärke, einer gehör- angepassten Lautstärke oder einer anderen Lautstärkeinfor-

mation aufweisen. Hierdurch kann abhängig von den anwendungsspezifischen Gegebenheiten die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums dieses bezüglich verschiedener, anwendungsangepasster Lautstärkeinformationen analysieren und so eine besonders effiziente Analyse ermöglichen.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die erfindungsgemäße Vorrichtung im Falle, dass das Audiodatum einen zeitlichen Verlauf aufweist, auch ein Analysesignal ausgeben kann, das einen zeitlichen Verlauf aufweist. Hierdurch ist beispielsweise eine Analyse eines Musikstücks in Echtzeit möglich, so dass das Analysesignal zur Ansteuerung weiterer Vorrichtungen bzw. nach Anzeige auf einer Anzeigevorrichtung einem Menschen während des Verlaufs eines Musikstücks Informationen bezüglich musiktheoretischer Daten des Stücks zur Verfügung stellen kann.

Hierbei kann der erfindungsgemäßen Vorrichtung das Audiodatum in verschiedenen Formen bereitgestellt werden. So ist es möglich, das Audiodatum in Form eines Mikrophonsignals, eines Line-Signals, eines analogen Audiosignals, eines digitalen Audiosignals, eines Midi-Signals, eines Notensignals, eines Notenfolgensignals eines analogen Steuersignals zur Steuerung eines Klangerzeugers oder eines digitalen Steuersignals zur Steuerung eines Klangerzeugers bereitzustellen, so dass die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums im Rahmen vieler Applikationen eingesetzt werden kann, was einen weiteren erheblichen Vorteil darstellt.

Wie die Ausführungsbeispiele zeigen werden, kann so die erfindungsgemäße Vorrichtung beispielsweise im Rahmen eines Begleitsystems eingesetzt werden, das neben der erfindungsgemäßen Vorrichtung eine Begleitvorrichtung umfasst, die mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums so gekoppelt und ausgebildet ist, dass die Begleitvorrichtung das Analysesignal empfangen und basie-

rend auf dem Analysesignal ein entsprechendes Notensignal bereitstellen kann. So kann beispielsweise die Begleitvorrichtung des Begleitsystems so ausgebildet sein, dass basierend auf dem Analysesignal diese einen Akkord und/oder
5 eine diatonische Tonleiter bestimmt und basierend auf dem bestimmten Akkord bzw. der bestimmten diatonischen Tonleiter bzw. beiden entsprechende die Notensignale bereitstellt. Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann also in ein Begleitsystem integriert werden, das eine sehr flexible,
10 automatische und effiziente Bereitstellung eines Notensignals zur Begleitung des dem Audiodatum zugrundeliegenden Musikstücks ermöglicht. Ein wesentlicher Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht somit darin, dass die erfindungsgemäße Vorrichtung in ein Begleitsystem integriert
15 werden kann, das die vorgenannten Eigenschaften aufweist.

Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass die erfindungsgemäße Vorrichtung in ein Messsystem integriert werden kann, das ferner eine Anzeigevorrichtung aufweist, die mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung gekoppelt ist, um das Analysesignal zu empfangen, und ausgebildet ist, um basierend auf einem Winkel des Summenvektors ein dieses anzeigendes Ausgabesignal bereitzustellen. Verfügt beispielsweise die Ausgabevorrichtung über ein
20 Ausgabefeld mit einer Ausgabefeldmitte und einer Ausgabefeldvorzugsrichtung, so kann die Anzeigevorrichtung auf dem Ausgabefeld eine Ausgabefeldradialrichtung basierend auf dem Winkel des Summenvektors hervorheben. Hierdurch ergibt sich der Vorteil, dass das den Summenvektor repräsentierende Analysesignal geometrisch auf dem Ausgabefeld wiedergegeben werden kann, und dass dadurch einem Menschen das Analysesignal besonders leicht verständlich dargebracht werden kann.

35 Dieser Vorteil verstärkt sich insbesondere dann, wenn das Ausgabefeld und die Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums eine geometrische Anordnung von Tonigkeiten verwenden, wie sie in dem zuvor genannten Terzkreis oder Symmetriemo-

dell auftreten. Hierdurch kann einem Benutzer des Messsystems die musiktheoretische Bedeutung des Analysesignals noch effizienter nähergebracht werden.

5 Darüber hinaus ist es möglich, auf der Anzeigevorrichtung nicht nur den Winkel des Summenvektors darzustellen, sondern auch eine Länge desselben, die beispielsweise ein Schätzmaß für den tonalen Kontext bzw. die Definiertheit der Tonart oder der Konsonanz bzw. Dissonanz oder des
10 aktuellen Akkords anzeigt, was einen erheblichen Vorteil darstellt.

Darüber hinaus kann die erfindungsgemäße Vorrichtung auch im Rahmen eines Detektionssystems eingesetzt werden, das
15 neben der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums auch eine Integratorvorrichtung und eine Auswertungsvorrichtung aufweist, die eine automatische Detektion eines Akkordwechsels bzw. eines Tonartwechsels ermöglicht.

20

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend Bezug nehmend auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

25 Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums;

Fig. 2 eine graphische Illustration des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Analyse eines Audiodatums;
30

Fig. 3A ein schematisches Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Begleitsystems;

35 Fig. 3B ein schematisches Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Messsystems;

- Fig. 3C ein Ausführungsbeispiel einer Darstellung eines
Ausgabefeldes des Messsystems (Symmetriemodell);
- Fig. 3D ein Ausführungsbeispiel einer Darstellung eines
5 Ausgabefeldes des Messsystems (Terzkreis);
- Fig. 3E ein schematisches Blockschaltbild eines Detekti-
onssystems;
- 10 Fig. 4A eine schematische Darstellung eines auf eine
Gerade abgebildeten Winkelbereichs mit einer Zu-
ordnung von Tonigkeiten (Tonraum) und einem Ein-
gabewinkelbereich;
- 15 Fig. 4B eine schematische Darstellung eines auf eine
Gerade abgebildeten Winkelbereichs mit einer Zu-
ordnung von Tonigkeiten und einem Eingabewinkel
oder einem Eingabewinkelbereich;
- 20 Fig. 4C eine schematische Darstellung eines auf eine
Gerade abgebildeten Winkelbereichs mit einer Zu-
ordnung von Tonigkeiten und dreier ineinander ü-
berführter Eingabewinkelbereiche;
- 25 Fig. 4D eine schematische Darstellung eines auf eine
Gerade abgebildeten Winkelbereichs mit einer Zu-
ordnung von Tonigkeiten und einem Eingabewinkel-
bereich mit einer zunehmenden Größe;
- 30 Fig. 4E eine schematische Darstellung eines auf eine
Gerade abgebildeten Winkelbereichs mit einer Zu-
ordnung von Tonigkeiten und zweier Eingabewinkel-
bereiche;
- 35 Fig. 5A eine schematische Darstellung eines auf eine
Gerade abgebildeten Winkelbereichs mit einer Zu-
ordnung von Tonigkeiten und einem mit einer Se-

lektionsgewichtungsfunktion gewichteten Eingabewinkelbereich;

- 5 Fig. 5B eine schematische Darstellung eines auf eine Gerade abgebildeten Winkelbereichs mit einer Zuordnung von Tonigkeiten und einer räumlichen, z.B. wie in unserem Beispiel winkelabhängigen Tonverteilungsfunktion;
- 10 Fig. 5C eine schematische Darstellung dreier räumlicher Tonverteilungsfunktionen;
- 15 Fig. 6A eine schematische Darstellung eines auf eine Gerade abgebildeten Winkelbereichs mit einer Hervorhebung eines einer Tonigkeit zugeordneten Winkels;
- 20 Fig. 6B eine schematische Darstellung eines auf eine Gerade abgebildeten Winkelbereichs mit einer Zuordnung von Tonigkeiten und einer Hervorhebung dreier konsonant bzw. harmonisch klingender Tonigkeiten;
- 25 Fig. 6C eine schematische Darstellung eines auf eine Gerade abgebildeten Winkelbereichs mit einer Zuordnung von Tonigkeiten und einer Hervorhebung zweier wenig harmonisch klingender Tonigkeiten;
- 30 Fig. 6D eine schematische Darstellung eines auf eine Gerade abgebildeten Winkelbereichs mit einer Zuordnung von Tonigkeiten, dreier harmonisch klingender Tonigkeiten zugeordneter Winkel und zweier hervorgehobener Winkelbereiche;
- 35 Fig. 7 eine Darstellung des Symmetriemodells bzw. des Kadenzkreises am Beispiel der diatonischen Tonleiter C-Dur bzw. a-Moll;

- Fig. 8 eine Darstellung des Terzkreises;
- Fig. 9 eine Darstellung der diatonischen Tonart C-Dur bzw. a-Moll im Terzkreis;
- 5 Fig. 10 eine Darstellung der gemeinsamen Tonigkeiten zweier benachbarter Tonarten am Terzkreis;
- 10 Fig. 11 eine Darstellung musiktheoretischer Zusammenhänge am Terzkreis;
- Fig. 12 eine Darstellung der musiktheoretischen Verwandtschaftsbeziehungen zwischen Tonarten am Terz-
- 15 kreis;
- Fig. 13 eine Darstellung zweier benachbarter Tonarten bei einer chromatischen Anordnung der Tonigkeiten (links) und einer dem Terzkreis entsprechenden Anordnung der Tonigkeiten (rechts);
- 20 Fig. 14 eine Darstellung des Prinzips der sechsfachen Tonverwertung am Beispiel der Tonigkeit C im Terzkreis;
- 25 Fig. 15 eine Darstellung des Verlaufs einer Länge des Terzkreis-Summenvektors für verschiedene Tonigkeitskombinationen;
- Fig. 16 eine Darstellung des Verlaufs eines Winkels des Terzkreis-Summenvektors über der Zeit für die
- 30 ersten zehn Sekunden von Bachs Brandenburgischem Konzert (Nr. 1, Allegro);
- Fig. 17 eine Darstellung des Verlaufs eines Winkels des Symmetriekreis-Summenvektors für verschiedene
- 35 Dreiklänge;

- Fig. 18 eine Darstellung des Verlaufs der Länge eines Symmetriekreis-Summenvektors für verschiedene Intervalle;
- 5 Fig. 19 eine Darstellung zweier Verläufe der Länge von Terzkreis-Summenvektoren für verschiedene Intervalle;
- 10 Fig. 20 eine Darstellung zweier Verläufe der Länge des Symmetriekreis-Summenvektors für verschiedene Akkordvarianten bzw. Tonkombinationen;
- 15 Fig. 21 eine Darstellung des Verlaufs einer psychometrischen Untersuchung zur Bewertung des Konsonanzempfindens mit Bezug auf das Symmetriemodell;
- 20 Fig. 22 ein schematisches Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Erzeugen eines Notensignals und einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Ausgeben von einem eine Tonigkeit anzeigenden Ausgabesignal;
- 25 Fig. 23 eine Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Bedieneinrichtung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Erzeugen eines Notensignals;
- 30 Fig. 24A eine Darstellung von vier Ausführungsbeispielen bis 24D von Eingabeeinrichtungen zur Definition eines Startwinkels;
- 35 Fig. 25A eine Darstellung dreier Ausführungsbeispiele einer Bedieneinrichtung zur Definition eines Öffnungswinkels; bis 25C
- Fig. 26 eine Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Bedieneinrichtung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Erzeugen eines Notensignals und ei-

ner Vorrichtung zur Ausgabe von einem eine Tonigkeit anzeigenden Ausgabesignal (HarmonyPad); und

5 Fig. 27 ein schematisches Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums.

10 Bezug nehmend auf die Fig. 1 - 27 wird nun ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums beschrieben. Hierbei werden in den Fig. 1 bis 27 für Elemente mit gleichen oder ähnlichen funktionalen Eigenschaften gleiche Bezugszeichen verwendet, wobei die entsprechenden Ausführungen und Erläuterungen somit jeweils aufeinander anwendbar und austauschbar sind.

15 Die vorliegende Anmeldung ist wie folgt gegliedert: Zunächst wird anhand eines Ausführungsbeispiels der grundsätzliche Aufbau und die grundsätzliche Funktionsweise einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums und dreier Systeme, die die erfindungsgemäße Vorrichtung umfassen, erläutert. Anschließend wird die Synthese und die Analyse von Tonkombinationen näher erläutert, bevor eine Einführung in zwei unterschiedliche Positionierungsvarianten gegeben wird. Hieran schließt sich
25 eine mathematische Modellbeschreibung, die zum weiteren Verständnis der vorliegenden Erfindung zweckdienlich ist, an. Anschließend wird eine symmetriemodellbasierte und eine terzkreisbasierte Harmonieanalyse erläutert, bevor weitere Ausführungsbeispiele erläutert und diskutiert werden.

30 Fig. 1 zeigt ein schematisches Blockschaltbild eines ersten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 100 zur Analyse eines Audiodatums. Die Vorrichtung 100 weist eine Halbtonanalyseeinrichtung 110, die mit einer Vektorberechnungseinrichtung 120 gekoppelt ist, um der Vektorberechnungseinrichtung 120 ein Analysesignal bereitzustellen, auf. Die Halbtonanalyseeinrichtung ist mit einem Eingangsanschluss 130 gekoppelt, um das Audiodatum zu

empfangen. Darüber hinaus ist die Vektorberechnungseinrichtung 120 mit einem Ausgangsanschluss 140 gekoppelt, an dem die Vektorberechnungseinrichtung 120 ein Analysesignal einer nicht in Fig. 1 gezeigten externen Komponente bereitstellt.

Wird der Halbtonanalyseeinrichtung 110 ein Audiodatum an dem Eingangsanschluss 130 bereitgestellt, so analysiert die Halbtonanalyseeinrichtung 110 das Audiodatum bezüglich einer Lautstärkeinformationsverteilung über eine Menge von Halbtönen und stellt diese oder optional eine daraus abgeleitete Verteilung der Vektorberechnungseinrichtung 120 zur Verfügung. Die Vektorberechnungseinrichtung 120 berechnet nun basierend auf der Lautstärkeinformationsverteilung oder der von der Lautstärkeinformationsverteilung abgeleiteten Verteilung für jeden Halbton oder jedes Element einer Definitionsmenge, über die abgeleitete Verteilung bestimmt wurde, einen zweidimensionalen Zwischenvektor. Anschließend berechnet die Vektorberechnungseinrichtung 120 basierend auf den zweidimensionalen Zwischenvektoren einen Summenvektor und gibt diesen als Analysesignal an dem Ausgangsanschluss 140 aus.

Um dies näher zu erläutern, ist in Fig. 2 das erfindungsgemäße Verfahren zur Analyse eines Audiodatums und die Arbeitsweise bzw. das Vorgehen zur Analyse eines Audiodatums durch die erfindungsgemäße Vorrichtung 100 graphisch illustriert. Ausgehend von einem Audiodatum analysiert die Halbtonanalyseeinrichtung 110 dieses über einer Menge von Halbtönen und erhält so eine Lautstärkeinformationsverteilung, die beispielhaft in Fig. 2 oben links gezeigt ist. Die dort gezeigte Lautstärkeinformationsverteilung weist zwei Beiträge 150-1 und 150-2 auf, die zwei unterschiedlichen Halbtönen zugeordnet sind. Bei dem in Fig. 2 skizzierten Beispiel übermittelt die Halbtonanalyseeinrichtung 110 der Vektorberechnungseinrichtung 120 die Lautstärkeinformationsverteilung, woraufhin die Vektorberechnungseinrichtung 120 für jeden Halbton einen zweidimensionalen Zwischenvek-

tor basierend auf der Lautstärkeinformationsverteilung berechnet. Genauer gesagt berechnet die Vektorberechnungseinrichtung 120 für den Beitrag 150-1 einen Zwischenvektor 155-1 und für den Beitrag 150-2 einen Zwischenvektor 155-2, die beide in Fig. 2 rechts oben gezeigt sind. Anschließend berechnet die Vektorberechnungseinrichtung 120 basierend auf den beiden Zwischenvektoren 155-1 und 155-2 einen Summenvektor 160, der bezogen auf eine Vorzugsrichtung einen Winkel α und eine Länge r aufweist. Der Schritt des Berechnens des Summenvektors 160 ist in Fig. 2 rechts unten illustriert. Die Vektorberechnungseinrichtung 120 erzeugt dann ein Analysesignal basierend auf dem Summenvektor 160 und gibt dieses an dem Ausgangsanschluss 140 aus. Das Analysesignal kann so beispielsweise Informationen bezüglich der Länge r und des Winkels α des Summenvektors aufweisen.

Je nach konkreter Ausgestaltung der Vorrichtung 100 zur Analyse eines Audiodatums kann die Halbtonanalyseeinrichtung 110 unterschiedlich aufgebaut sein. Entscheidend ist hierbei, in welcher Form das Audiodatum vorliegt. Handelt es sich bei dem Audiodatum beispielsweise um ein Notenfolgensignal bzw. Steuersignal, also um ein Signal, das beispielsweise einem Klangerzeuger anzeigt, welche Note bzw. welchen Ton dieser zu spielen hat, so kann die Halbtonanalyseeinrichtung 110 der Vorrichtung 100 zur Analyse eines Audiodatums die betreffenden Notenfolgensignale in einem Speicher ablegen. Die Halbtonanalyseeinrichtung 110 kann beispielsweise dann auf Basis der in dem Speicher abgelegten Notenfolgensignale alle Notenfolgensignale, die zu einem bestimmten Halbton gehören, zusammenstellen oder „aufsummieren“, um sie anschließend als Lautstärkeinformationsverteilung der Vektorberechnungseinrichtung 120 bereitzustellen. Hierbei kann, je nach konkreter Ausgestaltung der Halbtonanalyseeinrichtung 110, die Lautstärkeinformationsverteilung entsprechend einer Anzahl von Notenfolgensignalen, die zu einem bestimmten Halbton gehören, gewichtet werden. Weisen die Notenfolgensignale Lautstärke-

informationen auf, beispielsweise in Form von Anschlags-
Werten oder anderen Lautstärke anzeigenden Daten, so kann
die Halbtonanalyseeinrichtung 110 durch ein Zusammenstellen
der entsprechenden Notenfolgensignale die Lautstärkeinfor-
mationsverteilung über der Menge der Halbtöne gewinnen.
5 Beispiele für Notenfolgensignale stellen beispielsweise
Midi-Signale (Midi = musical instrument digital interface =
digitale Schnittstelle für Musikinstrumente) oder andere
digitale oder analoge Steuersignale für Klangerzeuger dar.

10

Wird der erfindungsgemäßen Vorrichtung 100 zur Analyse
eines Audiodatums hingegen ein analoges oder ein digitales
Audiosignal bereitgestellt, so kann es notwendig sein, dass
die Halbtonanalyseeinrichtung 110 gegebenenfalls bezüglich
15 einer Frequenzzusammensetzung analysieren muss, um die
Lautstärkeinformationsverteilung über der Menge der Halbtö-
ne zu erzielen. Im Falle digitaler Audiosignale als Audio-
datum kann eine solche Analyse beispielsweise mit Hilfe
einer sogenannten Constant-Q-Transformation erfolgen. Im
20 Rahmen einer Constant-Q-Transformation wird das eingehende
Audiosignal durch eine Mehrzahl von Bandpassfiltern, die
jeweils durch eine zentrale Frequenz und eine Bandbreite
charakterisiert sind, analysiert. Hierbei wird die zentrale
Frequenz eines Bandpassfilters entsprechend der Frequenz
25 bzw. Grundfrequenz eines Tons verwendet. Die Grundfrequenz
eines Tons (z. B. 440 Hz für den Ton A') stimmt in diesem
Fall mit der zentralen Frequenz des Bandpassfilters über-
ein, der für eine Analyse des Audiodatums bezüglich dieses
Tons bzw. Halbtons zuständig ist. Die Bandbreite der Filter
30 entspricht hierbei dem Abstand zweier Töne in der Frequenz-
domäne, so dass der Quotient der zentralen Frequenz und der
Bandbreite eines jeden Filters konstant ist. Dieser Tatsa-
che trägt auch die Bezeichnung der Constant-Q-
Transformation Rechnung, da der Buchstabe Q hier für Quo-
35 tient steht. Beispiele für digitale Audiosignale stellen
PCM-Signale (PCM = pulse code modulation) dar, wie sie
beispielsweise im Zusammenhang mit CDs verwendet werden. Je
nachdem, welche digitalen Audiosignale verwendet werden,

kann eine weitere Konvertierung in PCM-Signale oder andere digitale Audiosignale notwendig sein. Ein Beispiel hierfür stellt beispielsweise ein MP3-codiertes Audiosignal dar.

5 Im Falle analoger Audiosignale als Audiodatum kann beispielsweise eine Konvertierung bzw. Abtastung der analogen Audiosignale in ein digitales Audiosignal notwendig sein, bevor eine entsprechende Constant-Q-Transformation durchgeführt werden kann. Die Abtastung eines solchen analogen
10 Audiosignals kann beispielsweise mit Hilfe eines Analog/Digital-Wandlers (ADC; ADC = analog/digital converter) durchgeführt werden. Beispiele für analoge Audiosignale stellen analoge Mikrophonsignale, analoge Kopfhörersignale oder Line-Signale dar, wie sie beispielsweise im Bereich
15 von Stereoanlagen verwendet werden.

Optional kann zwischen die Halbtonanalyseeinrichtung 110 und die Vektorberechnungseinrichtung 120 eine Tonigkeitsanalyseeinrichtung gekoppelt werden, die auf Basis der
20 Lautstärkeinformationsverteilung über der Menge der Halbtöne eine Tonigkeitslautstärkeinformationsverteilung über der Menge der Tonigkeiten als Definitionsmenge berechnet. Wie bereits erläutert wurde, versteht man unter einer Tonigkeit hierbei eine Information bezüglich eines Tons unter Ver-
25 nachlässigung der Oktave, zu der der Ton gehört. Anders ausgedrückt wird ein Ton durch Angabe der Tonigkeit und der Oktavierung, also der Angabe, zu welcher Oktave der Ton gehört, bestimmt. So weisen beispielsweise die Töne C, C', C'', C''', ... die Tonigkeit C auf. Auf dem Klavier sind so
30 zwölf Tonigkeiten definiert: D, Dis, E, F, Fis, G, Gis, a, Ais, (B bzw. H), C und Cis.

Die Halbtonanalyseeinrichtung 110 kann darüber hinaus bei der Bestimmung der Lautstärkeinformationsverteilung eine
35 frequenzabhängige Gewichtungsfunktion $g(f)$ berücksichtigen, welche die analysierten Halbtöne in Abhängigkeit von ihrer Tonhöhe bzw. ihrer Frequenz bzw. ihrer Grundfrequenz f gewichtet. Durch Berücksichtigung der Gewichtungsfunktion

g(f) ist es möglich, zu berücksichtigen, wie unterschiedlich groß der Einfluss zweier Töne bzw. Halbtöne gleicher Tonigkeit aber unterschiedlicher Frequenz, und damit unterschiedlicher Oktaven, auf die Wahrnehmung der Harmonie im Falle eines Mehrklangs ist.

Die Vektorberechnungseinrichtung 120 kann beispielsweise so ausgeführt sein, dass jedem Halbton oder jeder Tonigkeit ein zweidimensionaler Einheitsvektor zugeordnet ist, der mit der zugehörigen Komponente der Lautstärkeinformationsverteilung bzw. der aus der Lautstärkeinformationsverteilung abgeleiteten Verteilung gewichtet bzw. multipliziert wird. Die Vektorberechnungseinrichtung 120 kann dies beispielsweise auf Basis kartesischer Koordinaten mit Hilfe eines entsprechenden Rechenwerks erledigen. Ebenso kann die anschließende Berechnung des Summenvektors 160 auf Basis der Zwischenvektoren mit Hilfe eines (digitalen) Rechenwerks auf Basis kartesischer Koordinaten erfolgen. Je nach Ausführung der erfindungsgemäßen Vorrichtung 100 zur Analyse eines Audiodatums kann das Analysesignal die Länge r und den Winkel α des Summenvektors bezogen auf eine Vorzugsrichtung in Form eines digitalen Datenpakets umfassen.

Fig. 3A zeigt ein Begleitsystem 170, das eine erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums 100 umfasst. Das Audiodatum wird dem Begleitsystem 170 und damit der Vorrichtung 100 an einem Begleitsystemeingangsanschluss 175 zur Verfügung gestellt. Das Begleitsystem 170 umfasst darüber hinaus eine Begleitvorrichtung 180, die mit der Vorrichtung 100 zur Analyse eines Audiodatums so gekoppelt ist, dass die Begleitvorrichtung das von der Vorrichtung 100 ausgegebene Analysesignal empfängt. Auf Basis des Analysesignals kann die Begleitvorrichtung 180 je nach Auslegung beispielsweise die momentan gespielte Tonart und/oder den momentan gespielten Akkord identifizieren. Auf Basis dieser Informationen kann die Begleitvorrichtung 180 ihrerseits entsprechende Notensignale erzeugen und an dem Begleitsystemausgang 185 ausgeben. An den Begleitsystemaus-

gang 185 kann ein in Fig. 3A nicht gezeigter Klangerzeuger angeschlossen werden, der Notensignale des Begleitsystems 170 in hörbare Signale umwandeln kann.

- 5 Die Begleitvorrichtung 180 kann beispielsweise so ausgelegt sein, dass sie aufgrund einer Abbildungsfunktion, die den Winkel α des Summenvektors 160 mit einer Menge von Notensignalen verknüpft, die an dem Begleitsystemausgang 185 ausgegeben werden. Ein Beispiel für die Bestimmung eines
- 10 Akkordes bzw. des tonalen Kontextes wird im Zusammenhang mit Fig. 7 näher erläutert. Wie bereits im Zusammenhang mit den Fig. 1 und 2 erläutert wurde, kann das Audiodatum, das dem Begleitsystem 170 an dem Begleitsystemeingang 175 bereitgestellt wird, ein Notenfolgensignal oder auch ein
- 15 analoges oder digitales Audiosignal darstellen. Die im Zusammenhang mit den Fig. 1 und 2 gemachten Erläuterungen bezüglich der Vorrichtung 100 können daher auch auf das in Fig. 3A gezeigte Begleitsystem 170 übertragen werden.
- 20 Optional kann darüber hinaus das Begleitsystem 170 um eine Melodieerfassungseinrichtung und eine Melodieerzeugungseinrichtung, die miteinander gekoppelt sind, erweitert werden. Die Melodieerfassungseinrichtung erfasst ein Melodiesignal, bei dem es sich beispielsweise um das Audiodatum, das der
- 25 Vorrichtung 100 zugeführt wird, aber auch um ein anderes Audiosignal handeln, analysiert dieses bezüglich einer Lautstärkeinformationsverteilung über einer Menge von Halbtönen und stellt der Melodieerzeugungseinrichtung dies als Melodieerfassungssignal bereit. Die Melodieerzeugungseinrichtung erzeugt ihrerseits auf Basis des Melodieerfassungssignals ein Melodienotensignal, das beispielsweise
- 30 einem optionalen Klangerzeuger zugeführt werden kann.

Der Melodieerfassungseinrichtung kann so beispielsweise

35 über einen geeigneten Eingang ein Melodieaudiodatum, beispielsweise Gesang über einen Mikrofoneingang oder ein anderes digitales oder analoges Audiosignal, bereitgestellt werden, das die Melodieerfassungseinrichtung analysiert.

Auf Basis des Ergebnisses der Melodieerfassungseinrichtung kann die Melodieerzeugungseinrichtung ein Melodienotensignal erzeugen, das beispielsweise einem Klangerzeuger bereitgestellt werden kann, so dass dieser die eingesogene Melodie nachspielen kann. Hierdurch ist das Begleitsystem 170 in der Lage, gleichzeitig beispielsweise eine eingesogene Melodie nachzuspielen und zeitgleich zu begleiten.

Fig. 3B zeigt ein Messsystem 190, das eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums und eine Anzeigevorrichtung 195 umfasst, die miteinander gekoppelt sind. Das Messsystem 190 weist darüber hinaus einen Messsignaleingang 200 auf, der mit dem Eingangsanschluss der erfindungsgemäßen Vorrichtung 100 übereinstimmt. Wie bereits im Zusammenhang mit den Fig. 1 und 2 erläutert wurde, kann es sich bei dem Audiodatum sowohl um ein Notenfolgensignal als auch um ein analoges oder digitales Audiosignal handeln. Die erfindungsgemäße Vorrichtung 100 zur Analyse des Audiodatums gibt ein entsprechendes Analysesignal aus, das der Anzeigevorrichtung 195 bereitgestellt wird. Die Anzeigevorrichtung 195 kann dann einem Benutzer das Analysesignal beispielsweise in graphisch aufbereiteter Form optisch anzeigen.

Fig. 3C zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Anzeigevorrichtung 195. Die Anzeigevorrichtung 195 weist eine Anzeigesteuereinrichtung 205 auf, die mit einem Ausgabefeld 210 gekoppelt ist. Die Anzeigesteuereinrichtung 205 empfängt hierbei von der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums das Analysesignal.

Das Ausgabefeld 210 kann beispielsweise ein LCD-Display (LCD = liquid crystal display = Flüssigkristallanzeige), einen Bildschirm oder eine andere optische Anzeigefläche, etwa in Form eines in einer Matrix angeordneten Feldes von Leuchtdioden (LED; LED = light emitting diode), umfassen. Ebenso kann das Ausgabefeld 210 ein TFT-Display (TFT = thin film transistor = Dünnschichttransistor), einen Bild-

schirm oder ein anderes pixelorientiertes Anzeigefeld umfassen. Je nach konkreter Ausgestaltung des Ausgabefeldes 210 kann die Anzeigesteuereinrichtung 205 das Ausgabefeld 210 so ansteuern, dass ausgehend von einem zentralen Punkt 215 eine beliebige Ausgabefeldradialrichtung optisch hervorgehoben werden kann. Im Falle eines in einer Matrix angeordneten Feldes von Leuchtdioden kann dies beispielsweise dadurch realisiert werden, dass ausgehend von einer dem zentralen Punkt 215 zugeordneten Leuchtdiode eine Mehrzahl von Leuchtdioden von der Anzeigesteuereinrichtung 205 angesteuert wird, die in einer geraden Linie von dem zentralen Punkt 215 ausgehen.

Im Falle eines Ausgabefeldes, das eine komplexere Darstellung ermöglicht, etwa eines TFT-Displays oder eines LCD-Displays, kann die Anzeigesteuereinrichtung 205 ausgelegt sein, komplexere Muster darzustellen. In diesem Fall kann nicht nur eine Ausgabefeldradialrichtung hervorgehoben werden, sondern es können kompliziertere Muster dargestellt werden. So bietet es sich an, in diesem Fall eine Anordnung von Tonigkeiten bzw. Tönen auf dem Display 210 darzustellen, in deren Zusammenhang der Summenvektor, der von der erfindungsgemäßen Vorrichtung 100 in Form des Analysesignals geliefert wird, einem Betrachter des Messsystems 190 nähergebracht werden soll.

In Fig. 3C ist zu diesem Zweck eine als Symmetriemodell bzw. Symmetriekreis bzw. Kadenzkreis bezeichnete Anordnung 217 auf dem Ausgabefeld 210 dargestellt. Die genaue Anordnung der Tonigkeiten im Symmetriemodell 217 wird im Zusammenhang mit Fig. 7 näher erläutert.

Unabhängig von der konkreten Ausgestaltung des Ausgabefeldes 210 steuert die Anzeigesteuereinrichtung 205 das Ausgabefeld 210 so an, dass ausgehend von dem zentralen Punkt 215 der Summenvektor in Form einer Ausgabefeldradialrichtung oder eines komplizierteren Musters dargestellt wird. In Fig. 3C ist dies anhand des Pfeils 220 illustriert. Die

Anzeigesteuereinrichtung 205 steuert hierbei das Ausgabefeld 210 so an, dass der Pfeil 220 unter einem Winkel bezogen auf eine Vorzugsrichtung des Ausgabefeldes 210 erscheint, der von dem Winkel des Summenvektors abhängt.

5 Vorzugsweise sind hierbei die Anzeigevorrichtung 195 und die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums 100 so aufeinander abgestimmt, dass die Winkel der Zwischenvektoren, die verschiedenen Halbtönen oder den Elementen der Definitionsmenge zugeordnet sind, und die

10 Winkel, unter denen verschiedene Tonigkeiten auf dem Ausgabefeld 210 dargestellt werden (z. B. das Symmetriemodell 217), durch eine einfache Abbildung ineinander überführt werden können. Vorzugsweise handelt es sich bei dieser Abbildung um eine lineare Abbildung, also beispielsweise um

15 die Identität. Mit anderen Worten sind die erfindungsgemäße Vorrichtung 100 und die Anzeigevorrichtung 195 so aufeinander abgestimmt, dass eine 1:1-Zuordnung der den verschiedenen Tonigkeiten bzw. den verschiedenen Elementen der Definitionsmenge zugeordneten Winkeln der Zwischenvektoren und

20 den Richtungen, unter denen die verschiedenen Tonigkeiten auf dem Ausgabefeld 210 erscheinen, gegeben ist. Auf dem Ausgabefeld 210 kann somit beispielsweise das Symmetriemodell 217 und der den Summenvektor anzeigende Pfeil 220 so dargestellt werden, dass die Ausgabe auf dem Ausgabefeld

25 das Symmetriemodell räumlich nachbildet. Hierbei wird im Rahmen der vorliegenden Anmeldung unter „räumlich nachbilden“ eine Anordnung verstanden, bei der Elemente einer Anordnung, also beispielsweise Eingabeeinrichtungen, Ausgabefeldradialrichtungen und Ausgabebereiche, bezogen auf

30 einen zentralen Punkt so angeordnet sind, dass Elemente, die einer bestimmten Tonigkeit zugeordnet sind, unter einem solchen Winkel angeordnet sind, dass diese auch in einem Tonraum unter diesem Winkel erscheinen.

35 Optional kann über die Länge des dargestellten Pfeils 220 auch die Länge des Summenvektors dargestellt werden. Die Länge des Pfeils 220 und die Länge des Summenvektors können hierbei über eine Funktion miteinander verknüpft werden,

die beispielsweise im Rahmen der Anzeigesteuereinrichtung
205 implementiert sein kann. Hierbei sind nahezu beliebige
Funktionen denkbar. So kann eine einfache lineare Zuordnung
ebenso erfolgen, wie beispielsweise eine logarithmische,
5 eine quadratische oder eine andere, gegebenenfalls kompli-
ziertere Abbildung der Länge des Summenvektors auf die
Länge des dargestellten Pfeils 220.

Fig. 3D zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel einer mögli-
10 chen Darstellung auf dem Ausgabefeld 210. Im Unterschied zu
dem in Fig. 3C gezeigten Ausgabefeld 210 ist auf dem in
Fig. 3D gezeigten Ausgabefeld 210 nicht das Symmetriemodell
217, sondern eine Anordnung von Tonigkeiten dargestellt,
die als Terzkreis 217' bezeichnet wird. Das Symmetriemodell
15 wird im Zusammenhang mit den Fig. 8 - 14 näher erläutert,
weshalb an dieser Stelle auf die entsprechenden Abschnitte
im Rahmen der vorliegenden Anmeldung verwiesen wird.

Bei der Notation der Tonigkeiten wird zwischen großge-
20 schriebenen und kleingeschriebenen Tonigkeiten im Rahmen
der vorliegenden Anmeldung meist unterschieden. Wird eine
Tonigkeit mit einem großen Buchstaben bezeichnet, wie
beispielsweise C oder F, so erklingt, wenn die betreffende
Tonigkeit und die zwei Tonigkeiten, die sich im Uhrzeiger-
25 sinn an die betreffende Tonigkeit anschließen, der entspre-
chende Dur-Dreiklang. Im Falle des C bedeutet dies, dass
die Tonigkeiten C - e - G einen C-Dur-Dreiklang beispiels-
weise darstellen. Entsprechend stellen die drei Tonigkeiten
F, a und C zusammen einen F-Dur-Dreiklang dar. Tonigkeiten,
30 die mit kleinen Buchstaben bezeichnet sind, stellen ent-
sprechend Moll-Dreiklänge dar. Ein Beispiel hierfür stellt
beispielsweise der d-Moll-Dreiklang dar, der die Tonigkei-
ten d, F und a umfasst. Eine Sonderstellung nimmt der mit
h0 bezeichnete Dreiklang ein, bei dem es sich um den ver-
minderten Dreiklang h0 handelt, wenn, ausgehend von der
35 Tonigkeit h0, die beiden im Uhrzeigersinn nächsten Tonig-
keiten miterklingen. Hierbei handelt es sich also um den

Dreiklang h - d - F, der aus einer Abfolge zweier kleiner Terzabstände besteht.

Grundsätzlich ist es auch möglich, dass es sich bei dem
5 Ausgabefeld 210 nicht um einen Bildschirm oder ein bild-
schirmartiges Ausgabefeld handelt, das auf optischen Wege
Informationen an einen Betrachter weitergibt, sondern dass
es sich hierbei beispielsweise um ein mechanisches Ausgabe-
feld handelt, bei dem einzelne Ausgabefeldradialrichtungen,
10 Ausgabefeldbereiche oder Teile des Ausgabefeldes mechanisch
hervorgehoben werden können. Denkbar ist in diesem Zusam-
menhang, dass eine solche Hervorhebung durch eine mechani-
sche Vibration oder auch durch ein Anheben oder Absenken
eines bestimmten Bereichs erfolgen kann. Hierdurch ist es
15 möglich, auch sehbehinderten Menschen eine entsprechende
Darstellung anzubieten.

Optional kann die Anzeigesteuereinrichtung 205 darüber
hinaus auch ausgelegt sein, um eine Ausgabefeldradialrich-
20 tung des Ausgabefeldes 210 oder einen Bereich des Ausgabe-
feldes 210 hervorzuheben, der einer Tonigkeit des Symmet-
riemodells 217 oder des Terzkreises 217' zugeordnet ist,
wenn ein entsprechendes Signal der Anzeigesteuereinrichtung
205 übermittelt wird.

25 Selbstverständlich können auf dem Ausgabefeld 210 auch
andere Anordnungen von Tonigkeiten oder Halbtönen darge-
stellt werden. Besonders sinnvoll sind in diesem Zusammen-
hang Anordnungen von Tonigkeiten, bei denen benachbarten
30 Winkeln Tonigkeiten zugeordneten sind, denen besondere
musiktheoretische Zusammenhänge zugrunde liegen. Die Wahl
einer konkreten Ausgabefeldvorzugsrichtung stellt hierbei
keine Einschränkung an den Begriff „benachbarter Winkel“
oder „unmittelbar benachbarter Winkel“ dar. Daher kann
35 beispielsweise ein Winkel, dem eine Tonigkeit zugeordnet
ist und der bei einem Winkelwert von 359° liegt, unmittel-
bar benachbart zu einem anderen Winkel liegen, dem eine

Tonigkeit zugeordnet ist und der bei einem Winkelwert von 1° liegt.

Fig. 3E zeigt ein Detektionssystem 230, das neben der
5 erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums
100 auch eine Integratoreinrichtung 240 und eine Auswer-
tungsvorrichtung 250 umfasst. Der Integratoreinrichtung 240
wird an einem Eingang ein zeitabhängiges Audioeingangssig-
nal bereitgestellt, das die Integratoreinrichtung 240
10 zeitlich integriert und als aufbereitetes Audiodatum der
erfindungsgemäßen Vorrichtung 100 an einem Ausgang bereit-
stellt.

Handelt es sich bei dem zeitabhängigen Audioeingangssignal
15 um ein Notenfolgesignal, also etwa ein Midi-Signal, so
kann die Integratoreinrichtung 240 so ausgebildet sein,
dass die Zahl der einen Ton betreffenden Anteile des Noten-
folgesignals aufaddiert werden. Hierbei kann eine Gewich-
tung die Lautstärkeinformation, die das Notenfolgesignal
20 eventuell umfasst, genauso wie andere Gewichtungsfaktoren
berücksichtigt werden. Weiterhin kann beispielsweise die
Integratoreinrichtung 240 das „Alter“ eines Notenfolgesig-
nals berücksichtigen, also eine Zeitdifferenz zwischen
einem Eintreffen eines Notenfolgesignals und eines aktuel-
25 len Zeitindex. Die Integratoreinrichtung 240 kann in diesem
Fall der erfindungsgemäßen Vorrichtung 100 das Audiodatum
in Form eines weiteren Notenfolgesignals bereitstellen.

Handelt es sich bei dem zeitabhängigen Audioeingangssignal
30 um ein analoges oder digitales Audiosignal, also etwa um
ein analoges Mikrophonsignal, so kann es ratsam sein, in
die Integratoreinrichtung 240 eine Halbtonanalyseeinrich-
tung zu integrieren, wie sie bereits im Zusammenhang mit
Fig. 1 und 2 erläutert wurde. In diesem Fall kann es also
35 ratsam sein, gegebenenfalls das zeitabhängige Audioein-
gangssignal mittels eines Analog/Digital-Wandlers abzutas-
ten und mittels einer Constant-Q-Transformation bezüglich
der Menge der Halbtöne zu analysieren. Auch in diesem Fall

kann die Integratoreinrichtung 240 der erfindungsgemäßen Vorrichtung 100 das Audiodatum in Form eines weiteren Notenfolgesignals bereitstellen, indem beispielsweise die Integratoreinrichtung 240 basierend auf einer Analyse
5 mittels Constant-Q-Transformation entsprechende Midi-Signale erzeugt und der erfindungsgemäßen Vorrichtung ausgibt.

Hinter die erfindungsgemäße Vorrichtung 100 zur Analyse ist
10 die Auswertungsvorrichtung 250 geschaltet, die das Analysesignal von der Vorrichtung 100 empfängt. Das Analysesignal der Vorrichtung 100 umfasst in diesem Fall vorzugsweise die Länge des Summenvektors.

15 Ist die Integratoreinrichtung 240 so ausgebildet, dass sie der Vorrichtung 100 beispielsweise in regelmäßigen Abständen das zeitabhängige Audioeingangssignal zeitlich integriert als Audiodatum bereitstellt, und führt darüber hinaus die Vorrichtung 100 beispielsweise zeitlich regelmäßig mit
20 einer vorbestimmten Frequenz die Analyse durch und gibt entsprechend jeweils das Analysesignal aus, so kann die Auswertungsvorrichtung 250 auf Basis der eingehenden Analysesignale einen zeitlichen Verlauf der Länge des Summenvektors bestimmen, analysieren und, wenn der zeitliche Verlauf
25 der Länge des Summenvektors ein Maximum oder ein Minimum aufweist, ein Detektionssignal an einem Ausgang des Detektionssystems 230 ausgeben. Hierdurch ist das Detektionssystem 230 in der Lage, beispielsweise einen Akkordwechsel oder einen Tonartwechsel zu detektieren. Genaueres zu
30 diesem Thema wird im weiteren Verlauf der vorliegenden Anmeldung erläutert.

Optional kann der Integratoreinrichtung 240 auch das Detektionssignal der Auswertungsvorrichtung 250 zugeführt werden, wie dies die in Fig. 3E gestrichelt gezeichnete Verbindung zwischen dem Ausgang der Auswertungsvorrichtung 250
35 und der Integratoreinrichtung 240 zeigt. Hierdurch ist es möglich, eine geeignete Auslegung der Integratoreinrichtung

240 vorausgesetzt, diese in einen ursprünglichen Zustand zurückzusetzen, also einen Neustart durchzuführen, so dass dem der erfindungsgemäßen Vorrichtung 100 bereitgestellten Audiodatum keine Anteile des zeitabhängigen Audioeingangssignals zugrunde liegen, die vor einem bestimmten Zeitpunkt, beispielsweise dem des Neustarts, eingegangene zeitabhängige Audioeingangssignalen zugrunde liegen. Hierdurch kann, nachdem ein Akkordwechsel oder ein Tonartwechsel detektiert und eine entsprechende Ausgabe des Detektionssignals erfolgt ist, optional das Detektionssystem in einen ursprünglichen Zustand zurückversetzt werden, so dass eine erneute Detektion durchgeführt werden kann, ohne dass „ältere“ zeitabhängige Audioeingangssignale das Ergebnis der Detektion beeinflussen.

Alternativ kann das Detektionssystem auch so realisiert werden, dass die Integratoreinrichtung 240 zwischen die Halbtonanalyseeinrichtung 110 und die Vektorberechnungseinrichtung 120 geschaltet wird. Mit anderen Worten kann das Detektionssystem auch so ausgeführt sein, dass die Integratoreinrichtung 240 als optionale Komponente der erfindungsgemäßen Vorrichtung 100 ausgeführt wird. In diesem Fall kann die Integratoreinrichtung 240 so ausgeführt werden, dass diese auf Basis der Lautstärkeinformationsverteilung eine aus dieser abgeleiteten Verteilung der Vektorberechnungseinrichtung oder einer nachgeschalteten Tonigkeitsberechnungseinrichtung zur Verfügung stellt.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung stellt ein Tonartbestimmungssystem dar, das neben einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums eine Tonartbestimmungseinrichtung aufweist, die mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung gekoppelt ist. Die Tonartbestimmungseinrichtung empfängt von der erfindungsgemäßen Vorrichtung das Analysesignal und analysiert basierend auf dem in dem Analysesignal umfassten Winkel des Summenvektors die momentane Tonart oder alternativ den momentanen Akkord. Die Tonartbestimmungseinrichtung kann dies beispielsweise

auf Basis einer Tonartzuordnungsfunktion, die den Winkel des Summenvektors einer Tonart oder einem Akkord zuordnet, durchführen. Genauere Erläuterungen hierzu werden im weiteren Verlauf der vorliegenden Anmeldung im Zusammenhang des dem „Symmetriemodell“, dem „Terzkreis“ und ihrer mathematischen Beschreibung gegeben. Optional kann darüber hinaus die Tonartbestimmungseinrichtung ebenfalls auf Basis des Analysesignals ein Schätzmaß für die Zuverlässigkeit der Analyse liefern. Hierbei wird die Länge des Summenvektors, die ebenfalls in dem Analysesignal umfasst ist, als Basis herangezogen. Hierbei kann das Schätzmaß auf Basis einer weiteren funktionalen Zuordnung, die einem Längenwert des Summenvektors einen bestimmten Schätzmaßwert zuordnet. Diese weitere funktionale Zuordnung kann eine einfache lineare Abbildung, eine Stufenfunktion oder eine kompliziertere Funktion umfassen. Die Tonartbestimmungseinrichtung gibt die Tonart und gegebenenfalls das Schätzmaß als Tonartsignal an einem Ausgang aus, das an einer optionalen Anzeigevorrichtung beispielsweise ausgegeben werden kann.

Die chromatische Tonleiter besteht aus einer Folge von zwölf Halbtönen, die jeweils einen Tonabstand von einer kleinen Sekunde aufweisen. Mit anderen Worten umfasst die chromatische Tonleiter zwölf Halbtöne, die zu einer Oktave gehören. Jedem Ton und Halbton ist daher eine Frequenz einer Schallwelle oder einer anderen mechanischen Schwingung zugeordnet. Aufgrund der in der abendländischen Musik üblichen Einteilung des hörbaren Spektrums in Oktaven mit jeweils genau zwölf Halbtönen kann so jeder Ton und Halbton einer bestimmten Oktave und innerhalb einer Oktave einer bestimmten Tonigkeit zugeordnet werden. Mit anderen Worten bedeutet dies, dass ein Halbton eindeutig durch die Oktave und seine Tonigkeit bestimmt ist.

Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass man von einer Tonigkeit spricht, wenn bei einem Ton vernachlässigt wird, zu welcher Oktave er gehört. In der abendländischen Musik und ihren Instrumenten, also beispielsweise dem Klavier, sind

somit die zwölf Tonigkeiten D, Dis, E, F, Fis, G, Gis, A, Ais, B bzw. H, C und Cis definiert, wobei der Übersichtlichkeit halber eine Angabe enharmonischer Verwechslungen an dieser Stelle nicht erfolgt.

5

In der Musik bezeichnet eine Prime oder ein Primabstand einen Tonabstand von einem Halbton, wobei der Startton und der Endton mitgezählt werden. Mit anderen Worten weisen zwei Töne in einem Primabstand die gleiche Frequenz bzw. Grundfrequenz auf (Frequenzverhältnis der Töne 1:1), so dass es sich um den gleichen Ton handelt. Unter einer kleinen Sekunde oder unter einem kleinen Sekundenabstand wird in der Musik ein Tonabstand zweier Halbtöne verstanden, wobei auch hier wiederum die beiden Töne, die das Intervall bilden, mitgezählt werden. Entsprechend wird unter einer kleinen Terz bzw. einem kleinen Terzabstand ein Tonabstand von vier Halbtönen, unter einer großen Terz bzw. einem großen Terzabstand ein Intervall mit fünf Halbtonschritten und unter einer Quinte bzw. einem Quintabstand ein Intervall mit acht Halbtönen verstanden, wobei jeweils die beiden Töne, die das Intervall bilden, mitgezählt werden.

Bei der Notation der Tonigkeiten wird im Rahmen der vorliegenden Anmeldung häufig zwischen großgeschriebenen und kleingeschriebenen Tonigkeiten unterschieden. Wird eine Tonigkeit mit einem großen Buchstaben bezeichnet, beispielsweise C oder F, so deutet dies an, dass die betreffende Tonigkeit der Grundton eines entsprechenden Dur-Dreiklangs darstellt, also im Fall oben einen C-Dur-Dreiklang oder F-Dur-Dreiklang. Entsprechend werden Tonigkeiten im Rahmen der vorliegenden Anmeldung, die einen Grundton eines Mol-Dreiklangs darstellen mit kleinen Buchstaben bezeichnet. Ein Beispiel hierfür stellt der a-Moll-Dreiklang dar.

Um ein besseres Verständnis der im weiteren Verlauf der vorliegenden Anmeldung geschilderten Ausführungsbeispiele

zu ermöglichen, wird nun zunächst die Synthese sinnvoll klingender Tonkombinationen beleuchtet, bevor in weiteren Abschnitten die Analyse von Tonkombinationen, die Positionierungsvarianten von Basistönen im Tonraum, die mathematische Modellbeschreibung und die symmetriemodellbasierte und
5 terzkreisbasierte Harmonieanalyse beschrieben wird.

Synthese sinnvoll klingender Tonkombinationen

10

Das Grundprinzip, das hinter allen in diesem Dokument vorgeschlagenen Ausführungsbeispielen steht, ist folgendes: In einem sogenannten Tonraum werden Basistöne bzw. Tonigkeiten so platziert, dass benachbarte Töne bzw. Tonigkeiten
15 sinnvoll klingende Tonkombinationen ergeben. Hierbei wird im Rahmen der vorliegenden Anmeldung im Allgemeinen immer eine oval/kreisförmige Anordnung der Basistöne zugrundegelegt. Hierbei wird im Rahmen der vorliegenden Anmeldung unter einer oval/kreisförmigen Anordnung eine Anordnung
20 verstanden, bei der bezogen auf einen zentralen Punkt die Elemente der Anordnung, hier also die Ausgabebereiche, unter einer Mehrzahl von Winkeln bezogen auf eine Nullrichtung oder eine Vorzugsrichtung mit einem von dem Winkel abhängigen Radius angeordnet sind. Eine Differenz zwischen
25 einem maximal auftretenden Radius und einem minimal auftretenden Radius unterscheidet sich hierbei typischerweise von einem mittleren Radius um weniger als 70 % und vorzugsweise um weniger als 25 %. Aufgrund dieser Platzierung ist es möglich, harmonisch klingende Musik durch die Auswahl eines
30 geeigneten Ebenenausschnitts oder Raumausschnitts zu kreieren. Aufgrund der Anordnung der Basistöne in einer oval/kreisförmigen Anordnung umfasst der Ebenenausschnitt bzw. Raumausschnitt wenigstens einen Eingabewinkel oder einen Eingabewinkelbereich. Der gewählte Raumausschnitt
35 kann stufenlos oder sprunghaft in seiner Ausdehnung und in seinem Schwerpunkt, also seiner Lage, verändert werden. Darüber hinaus ist es möglich, den gewählten Raumausschnitt mit einer Selektionsgewichtungsfunktion zu belegen. Die

Selektionsgewichtungsfunktion ermöglicht es zu definieren, mit welcher relativen Lautstärke die durch den Raumausschnitt erfassten Basistöne bzw. Tonigkeiten gespielt werden sollen. An diskreten Positionen des Tonraums werden
5 also Basistöne platziert.

Was geschieht aber mit den Positionen dazwischen? Welche Töne erklingen, wenn ein Raumausschnitt gewählt wurde, der zwischen zwei diskreten Basistönen liegt? Um dieses Problem
10 zu lösen, wird zusätzlich zur Selektionsgewichtungsfunktion eine räumliche Tonverteilungsfunktion definiert. Jeder im Tonraum platzierte Basiston bzw. Tonigkeit besitzt eine solche Funktion, die in diesem Fall als räumliche Einzeltonverteilungsfunktion bezeichnet wird. Durch Einführen der
15 räumlichen Tonverteilungsfunktion bzw. der räumlichen Einzeltonverteilungsfunktionen, wobei jeder Tonigkeit bzw. jedem Basiston eine entsprechende räumliche Einzeltonverteilungsfunktion zugeordnet ist, so dass sich die räumliche Tonverteilungsfunktion als Überlagerung (z. B. durch Addition unter Berücksichtigung der Tonigkeiten) der räumlichen Einzeltonverteilungsfunktionen ergibt. Die räumliche Tonverteilungsfunktion sorgt also dafür, dass ein Ton nicht nur einen unendlichen kleinen diskreten Punkt bzw. im Falle eines oval/kreisförmigen Tonraums einen einzigen Winkel
20 einnimmt, sondern einen Raumausschnitt bzw. endlichen Winkelbereich. Die durch zwei Basistöne eingenommenen Raumausschnitte können hierbei überlappen. Es kann somit auch einem Winkel mehr als eine Tonigkeit, insbesondere zwei Tonigkeiten, zugeordnet sein. Die hier vorgestellten
25 Prinzipien bieten somit völlig neuartige Möglichkeiten in der Gestaltung polyphoner Audiosignale, wie dies anhand der Beschreibung der Ausführungsbeispiele im weiteren Verlauf der vorliegenden Anmeldung deutlich werden wird.

30 Möglichkeiten, die diese Anordnung von Basistönen in dem Tonraum bietet, werden im weiteren Verlauf an den Fig. 4 und 5 näher erläutert.

35

Fig. 4A zeigt so eine schematische Darstellung eines auf eine Gerade abgebildeten Winkelbereichs mit einer Zuordnung von Tonigkeiten, wobei hier der Einfachheit halber die Tonigkeiten nicht mit großen und kleinen Buchstaben bezeichnet sind, um die zugehörige Klangfarbe (Moll-Dreiklang oder Dur-Dreiklang) näher zu spezifizieren. Die Pfeilrichtung gibt hierbei die Richtung größer werdender Winkel bzw. den Uhrzeigersinn an. In Fig. 4A sind also die Basistöne G, B bzw. H, D, F, A und C im eindimensionalen Tonraum platziert. Weiterhin ist ein Raumausschnitt 300a ausgewählt, der die Töne des d-Moll-Akkordes (D - F - A) aufweist. Ein angeschlossener Klangerzeuger würde also einen d-Moll-Akkord spielen. Durch Auswahl des Raumausschnittes 300a würde also so ein d-Moll-Akkord erzeugt.

In Fig. 4B ist der Tonraum, der in Fig. 4A bereits gezeigt war, erneut dargestellt. Im Unterschied zu Fig. 4A ist in Fig. 4B jedoch ein Raumausschnitt 300b gezeigt, der im Vergleich zu dem Raumausschnitt 300a sehr klein ist. Der Raumausschnitt 300b weist eine Ausdehnung auf, die fast verschwindet bzw. null ist, was einer Auswahl eines einzelnen Winkels, also eines einzigen Eingabewinkels entsprechen würde. Der Raumausschnitt 300b liegt direkt auf einem Basiston, nämlich dem Basiston D. Ein angeschlossener Klangerzeuger würde jetzt einen Einzelton D spielen.

In Fig. 4C ist wiederum der bereits in Fig. 4A gezeigte Raumausschnitt dargestellt. Fig. 4C zeigt, wie der Raumausschnitt 300b, der bereits in Fig. 4B gezeigt wurde, von der Position des Basistons D kontinuierlich über eine Position eines Raumausschnitts 300c in einer Mittenposition zwischen den Basiston D und den Basiston F bewegt wird, so dass der Raumausschnitt 300b am Ende seiner Bewegung in einen Raumausschnitt 300d übergegangen ist. Ein angeschlossener Klangerzeuger würde entsprechend der Position des Raumausschnittes 300b, 300c oder 300d den erklingenden Ton D lautstärkemäßig ausblenden und den Ton F lautstärkemäßig einblenden, wenn entsprechende Lautstärkeinformationen

berücksichtigt werden. Details in Bezug auf das Einblenden und Ausblenden von Tönen wird durch die Selektionsgewichtungsfunktion und die räumliche Tonverteilungsfunktion ermöglicht, die weiter unten näher erläutert werden. Während also Fig. 4B eine Erzeugung eines Einzeltons zeigt, zeigt Fig. 4C ein Überblenden zwischen benachbarten Basis-

In Fig. 4D ist ein Beispiel für eine Überblendung zwischen einem Einzelton und einem Akkord dargestellt. So ist in Fig. 4D wiederum der bereits in Fig. 4A gezeigte Tonraum dargestellt. In diesem Fall wird der gewählte Raumausschnitt ausgehend von dem Raumausschnitt 300b aus Fig. 4B kontinuierlich auf eine Breite eines Dreiklangs ausgedehnt, was einem Raumausschnitt 300e entspricht. Ein angeschlossener Tonerzeuger würde anfangs wiederum nur den Ton D spielen. Anschließend würde während der Ausdehnung des ausgewählten Raumausschnittes langsam der Ton F hinzugeblendet und dann anschließend der Ton A. Hierdurch würde der Ton D stufenlos in einen d-Moll-Dreiklang „konvertiert“.

In Fig. 4E wird ein Überblenden zwischen unterschiedlichen Akkorden illustriert. Fig. 4E zeigt so, wie der Raumausschnitt 300e aus Fig. 4D kontinuierlich so verschoben wird, dass dieser in einen neuen Raumausschnitt 300f übergeht. Der Raumausschnitt 300f beginnt danach nicht mehr mit dem Ton D, sondern mit dem Ton F. Ein angeschlossener Tonerzeuger würde also anfangs einen d-Moll-Akkord spielen und diesen anschließend stufenlos in einen F-Dur-Akkord überblenden.

In Fig. 5A ist der Effekt einer Selektionsgewichtungsfunktion illustriert. So zeigt Fig. 5A wiederum den bereits aus Fig. 4A bekannten Tonraum. In Fig. 5A umfasst der gewählte Raumausschnitt die Töne D, F, A und C. Ohne Einführung einer Selektionsgewichtungsfunktion würde ein angeschlossener Klangerzeuger einen d-Moll-7-Akkord spielen, bei dem alle Töne die gleiche Lautstärke besitzen. Durch Einführung

einer Selektionsgewichtungsfunktion 305, wie sie ebenfalls in Fig. 5A dargestellt ist, kann die Lautstärke eines jeden Tons angepasst werden. In diesem Beispiel ist die Selektionsgewichtungsfunktion 305 so gewählt, dass eine Betonung auf dem Grundton D und der Terz F des Akkordes liegt und dass die Quinte A und die Septime C mit einer verringerten Lautstärke gespielt werden.

In Fig. 5B ist der Einfluss einer räumlichen Tonverteilungsfunktion illustriert. So zeigt Fig. 5B wiederum den bereits in Fig. 4A gezeigten Tonraum. Jedem Basiston bzw. jeder Tonigkeit ist in diesem Beispiel jedoch eine räumliche Tonverteilungsfunktion 310-C, 310-A, 310-F, 310-D, 310-B und 310-G zugeordnet. Dadurch ist jeder Basiston nicht nur einer diskreten Stelle bzw. einem einzigen Winkel zugeordnet, sondern auch in einer gewissen Umgebung um den Basiston herum definiert. Hierbei ist bei dem in Fig. 5B gezeigten Beispiel jedem Basiston eine glockenförmige räumliche Einzeltonverteilungsfunktion zugewiesen.

In Fig. 5C sind drei Beispiele für unterschiedliche Raumverteilungsfunktionen bzw. räumliche Tonverteilungsfunktionen dargestellt. Genauer gesagt zeigt Fig. 5C drei Beispiele von räumlichen Einzeltonverteilungsfunktionen, die ihren jeweiligen Basistönen bzw. Tonigkeiten zugeordnet eingezeichnet sind. In Fig. 5C sind links zwei glockenförmige Einzeltonverteilungsfunktionen 310-C, 310-E in einem Tonraum dargestellt, der nur die beiden Basistöne bzw. Tonigkeiten C und E umfasst. Die beiden räumlichen Einzeltonverteilungsfunktionen 310-C und 310-E weisen bei ihren jeweiligen Basistönen bzw. Tonigkeiten C und E eine maximale Lautstärkeinformation in Form einer Intensität auf. Ausgehend von den Basistönen C und E fallen die Lautstärkeinformationen rasch ab. In einem Bereich des Tonraums, der zwischen den beiden Basistönen C und E liegt, überlappen die beiden räumlichen Einzeltonverteilungsfunktionen, so dass eine erfindungsgemäße Vorrichtung zum Erzeugen eines Notensignals Notensignale erzeugen würde, die beiden Tonig-

keiten entsprechen, wenn beispielsweise der Eingabewinkel in diesem Bereich des Tonraums liegt.

Die mittlere Teilabbildung von Fig. 5C zeigt eine weitere
5 Möglichkeit einer räumlichen Einzeltonverteilungsfunktion. In dieser Teilabbildung sind über dem gleichen Tonraum, wie er auch in Fig. 5C links gezeigt ist, zwei rechteckigförmige räumliche Einzeltonverteilungsfunktionen 310'-C und 310'-E gezeigt. Die beiden räumlichen Einzeltonverteilungsfunktionen 310'-C, 310'-E erstrecken sich jeweils ausgehend
10 von dem ihnen zugeordneten Basiston C und E zu beiden Seiten über einen Winkelbereich bzw. Raumbereich, der einem halben Abstand zweier benachbarter Basistöne in dem Tonraum entspricht. Innerhalb dieser Raumbereiche ist die Lautstärkeinformation in Form der Intensität in diesem Beispiel
15 konstant. Darüber hinaus überlappen im Unterschied zu dem links in Fig. 5C gezeigten Beispiel die beiden räumlichen Einzeltonverteilungsfunktionen 310'-C und 310'-E nicht.

20 In Fig. 5C ist rechts ein drittes Beispiel zweier räumlicher Einzeltonverteilungsfunktionen 310''-C und 310''-E über dem bereits links in Fig. 5C gezeigten Tonraum dargestellt. Im Unterschied zu den beiden räumlichen Einzeltonverteilungsfunktionen 310'-C, 310'-E sind die Winkelbereiche bzw. Raumbereiche, in denen die beiden räumlichen Einzeltonverteilungsfunktionen 310''-C und 310''-E eine von Null verschiedene Lautstärkeinformation aufweisen, deutlich
25 reduziert. Aber auch hier sind diese beiden räumlichen Einzeltonverteilungsfunktionen rechteckig, so dass unabhängig von der genauen Position innerhalb des Raumbereichs, in dem die beiden räumlichen Einzeltonverteilungsfunktionen eine von Null verschiedene Lautstärkeinformation aufweisen, diese immer konstant ist.

35 Ist nun ein Klangerzeuger angeschlossen, und wird als Eingabewinkelbereich ein sehr schmaler Raumausschnitt oder auch ein einzelner Eingabewinkel jeweils ausgehend von dem Basiston C von links nach rechts zu dem Basiston E verscho-

ben, wird klanglich folgendes passieren: In dem links in Fig. 5C gezeigten Fall würde eine weiche Überblendung zwischen den Tönen C und E stattfinden. Während der eine Ton ausgeblendet wird, wird der andere langsam eingeblendet. In dem in der Mitte von Fig. 5C gezeigten Fall wird eine Zeit lang der Ton C erklingen. Plötzlich wird der Ton C verstummen und der Ton E erklingen. In dem rechts in Fig. 5C gezeigten Fall wird der Ton C eine kurze Zeit erklingen, während der Eingabewinkel bzw. der sehr kleine Eingabewinkelbereich sich innerhalb des Raumbereichs befindet, in dem die räumliche Einzeltonverteilungsfunktion 310''-C eine von Null verschiedene Lautstärkeinformation aufweist. Im Anschluss hieran, wenn also der Eingabewinkel bzw. der sehr kleine Eingabewinkelbereich diesen Bereich verlassen hat, würde der angeschlossene Klangerzeuger keinen Ton erzeugen, so dass in diesem Fall Stille herrscht. Erreicht anschließend der Eingabewinkel oder auch der sehr kleine Eingabewinkelbereich den Raumbereich, in dem die räumliche Einzeltonverteilungsfunktion 300''-E eine von Null verschiedene Lautstärkeinformation aufweist, so wird der Ton E erklingen.

Im Zusammenhang mit Fig. 5C bietet es sich an, darauf hinzuweisen, dass die beiden Tonigkeiten C und E, die in Fig. 5C dargestellt sind, einen kleinsten Tonabstand aufweisen, der einem großen Terzabstand entspricht. Prinzipiell weisen die beiden Tonigkeiten C und E auch andere, größere Tonabstände als den einer großen Terz auf. Dies liegt daran, dass Basistöne bzw. Tonigkeiten keine Angaben bezüglich der Oktavierung bzw. Oktavlage aufweisen. Aus diesem Grund weisen die beiden Tonigkeiten C und E beispielsweise auch einen Tonabstand einer kleinen Sechste auf, der jedoch größer ist als der kleinste Tonabstand, der einer großen Terz entspricht.

35

Der Öffnungswinkel des Symmetriekreises bzw. des selektierten Raumausschnittes kann auch als „Jazz-Faktor“ interpretiert werden. Je größer der Winkel ist, desto mehr jazzty-

pische Töne erklingen bzw. kommen hinzu. Dazu gehören die 7er-Akkorde, die 7-9er-Akkorde und die 7-9-13er-Akkorde.

5 Analyse vorhandener Tonkombinationen

Im Folgenden wird das Grundprinzip zur Analyse von einer Tonkombination näher erläutert. Das in den letzten Abschnitten beschriebene Prinzip zur Synthese sinnvoller Klangkombinationen kann umgekehrt werden, um bestehende Klangkombinationen zu analysieren. Genauso wie bei der Synthese müssen in einem ersten Schritt Basistöne in einer Art und Weise im Tonraum positioniert werden, dass benachbarte Basistöne sinnvolle Klangkombinationen ergeben. Der so erzeugte Tonraum wird jedoch jetzt nicht dazu verwendet, um zu erzeugende Töne zu bestimmen, sondern um gegebenenfalls bereits vorhandene Töne darzustellen und zu analysieren. Dadurch ist es möglich, zu untersuchen, ob eine vorhandene Tonkombination entsprechend der in Form des Tonraums bestehenden Definition „sinnvoll“ ist oder nicht. Ist eine Tonkombination sinnvoll, dann werden die Basistöne dieser Tonkombination in räumlich benachbarten Bereichen dargestellt. Ist eine Tonkombination weniger sinnvoll, dann werden die Basistöne in entfernten Bereichen dargestellt. Der Vorteil dieses Prinzips ist, dass die Begriffe „sinnvolle Tonkombination“ und die Begriffe „sinnlose Tonkombination“ nicht starr sind, sondern durch eine Umorganisation der Basistöne im Tonraum neu definiert werden können.

In den Fig. 3C und 3D ist jeweils auf dem Ausgabefeld 210 ein Tonraum räumlich nachgebildet, der eine Einschätzung der „Sinnhaftigkeit“ einer Tonkombination ermöglicht. Auf dem Ausgabefeld 210 ist bei den in Fig. 3C und 3D dargestellten Beispielen das Symmetriemodell 217 bzw. der Terzkreis 217' räumlich nachgebildet. Wie die Fig. 3C und 3D bereits gezeigt haben, werden im Rahmen des Symmetriemodells 217 bzw. des Terzkreises 217' die Tonigkeiten oval/kreisförmig angeordnet. Hierbei wird im Rahmen der

vorliegenden Anmeldung unter einer oval/kreisförmigen Anordnung eine Anordnung verstanden, bei der bezogen auf einen zentralen Punkt die Elemente der Anordnung, hier also die Ausgabebereiche, unter einer Mehrzahl von Winkeln bezogen auf eine Nullrichtung oder eine Vorzugsrichtung mit einem von dem Winkel abhängigen Radius angeordnet sind. Eine Differenz zwischen einem maximal auftretenden Radius und einem minimal auftretenden Radius unterscheidet sich hierbei typischerweise von einem mittleren Radius um weniger als 70 % und vorzugsweise um weniger als 25 %.

Fig. 6 zeigt vier Beispiele für eine Darstellung von Tonigkeiten auf einem Ausgabefeld 210, wie es in Fig. 3C und 3D gezeigt ist. Hierbei ist zur Vereinfachung der Darstellung die oval/kreisförmige Anordnung der Ausgabefeldradialrichtung bzw. der Ausgabebereiche zu einer geraden Linie „aufgebogen“ worden. Die oval/kreisförmige Anordnung der Ausgabefeldradialrichtungen bzw. der zugrundeliegende Winkelbereich ist also auf eine Gerade abgebildet worden. Hierdurch ist eine kompaktere Darstellung des Ausgabefeldes 210 mit verschiedenen angezeigten Tönen, Tonkombinationen und Klangkombinationen möglich. Die in den Fig. 6A - 6D eingezeichneten Pfeile geben hierbei wiederum die Richtung wachsender Winkel bzw. den Uhrzeigersinn an. In den Fig. 6A - 6D ist so ein Tonraum, der die Tonigkeiten G, B bzw. H, D, F und A umfasst, dargestellt.

Fig. 6A zeigt den Fall, wenn der Anzeigesteuereinrichtung 205 ein Erklängen eines Tons mit einer Tonigkeit D angezeigt wird. In diesem Fall steuert die Anzeigesteuereinrichtung 205 das Ausgabefeld 210 so an, dass der dem Ton entsprechende Basiston (bzw. Tonigkeit) in dem Tonraum des Ausgabefeldes 210 markiert wird, wenn also der entsprechende Ton erklingt. In dem in Fig. 6A gezeigten Beispiel erscheint auf dem Ausgabefeld 210 eine Markierung bzw. eine Hervorhebung 320-D, bei der es sich beispielsweise um ein optisches Signal, also um ein Aufleuchten eines entsprechenden Bereichs des Ausgabefeldes 210, handelt. In dem in

Fig. 6A gezeigten Beispiel erklingt also der Ton D, der dann auf dem Ausgabefeld 210 dargestellt wird.

Fig. 6B zeigt den Fall, dass gleichzeitig mehrere Töne
5 erklingen, die eine sinnvolle Tonkombination ergeben. In diesem Fall werden in dem Tonraum, der auf dem Ausgabefeld 210 dargestellt wird, benachbarte Basistöne markiert bzw. hervorgehoben. Hieraus kann man ableiten, dass die räumliche Konzentriertheit aktiver Basistöne bzw. Tonigkeiten im
10 Tonraum ein Maß für die Sinnhaftigkeit, d. h. also für die wahrgenommene Konsonanz ist. Konkret illustriert Fig. 6B dies anhand eines d-Moll-Akkords, der einer sinnvollen Tonkombination entspricht. In diesem Fall wird bei einem
15 Erklingen des entsprechenden Akkords in dem Tonraum, also auf dem Ausgabefeld 210, die Basistöne D, F und A durch entsprechende Markierungen bzw. Hervorhebungen 320-D, 320-F und 320-A hervorgehoben.

Erklingen gleichzeitig eine weniger sinnvolle Tonkombination
20 on ergebende Töne, so liegen die entsprechenden Basistöne im Tonraum und damit auf dem Ausgabefeld, das den Tonraum räumlich nachbildet, sehr weit auseinander. Daraus kann man ableiten, dass die räumliche Ausgedehntheit aktiver Basistöne im Tonraum ein Maß für die Sinnlosigkeit, d. h. für
25 die wahrgenommene Dissonanz, ist. In dem in Fig. 6C gezeigten Beispiel erklingen die Töne G und A, es wird also der Anzeigesteuereinrichtung 205 ein entsprechendes Ansteuerungssignal zur Verfügung gestellt, so dass auf dem Ausgabefeld 210 die zugehörigen Basistöne G und A durch die
30 Markierungen bzw. Hervorhebungen 320-G und 320-A markiert werden. Das von diesen Töne erzeugte Intervall ist eine Sekunde, welche im Allgemeinen als relativ dissonant klingend empfunden wird. Fig. 6C zeigt also eine Markierung des Tonraums auf dem Ausgabefeld 210 bei Erklingen einer wenig
35 sinnvollen Tonkombination, genauer gesagt einer Sekunde.

Bei mehreren erklingenden Tönen ist es möglich, nicht nur die zugehörigen Basistöne zu markieren, sondern auch auf

dem Ausgabefeld 210 einen entsprechenden Bereich, der die erklingenden Töne umfasst, und einen Schwerpunkt aller erklingenden Töne im Tonraum zu berechnen und durch eine entsprechende Markierung darzustellen. Eine solche Berechnung ist mit Hilfe des weiter unten mathematisch näher erläuterten Summenvektors möglich, der in dem Analysesignal umfasst ist. Der Schwerpunkt wiederum ermöglicht es, die Klangfarbe komplizierter Tonkombinationen abzuschätzen, wie dies im weiteren Verlauf der Anmeldung näher erläutert wird.

Fig. 6D zeigt ein Beispiel für eine Anzeige auf einem entsprechenden Ausgabefeld 210 für einen d-Moll-Akkord. So werden bei dem in Fig. 6D gezeigten Beispiel nicht nur die Basistöne D, F und A durch die bereits in Fig. 6B gezeigten Markierungen 320-D, 320-F und 320-A markiert, sondern es wird vielmehr auch ein Bereich 325 angezeigt, der die erklingenden Basistöne bzw. ihre Markierungen umfasst. Darüber hinaus wird ebenfalls durch eine zusätzliche Markierung 330 die Lage des Schwerpunkts dargestellt.

Positionierungsvarianten von Basistönen im Tonraum

Was ist eine „sinnvolle Tonkombination“ und was ist eine „sinnlose Tonkombination“? Es gibt keine pauschale Antwort auf diese Frage. Was wir als sinnvoll und was wir als sinnlos bewerten oder was wir als konsonant bzw. als dissonant empfinden, ist stark von subjektiven Faktoren wie Geschmack, Kultur, Bildung usw. abhängig und kann von Mensch zu Mensch variieren. Genauso wenig, wie eine umfassende Antwort auf die anfangs gestellte Frage gegeben werden kann, ist es möglich, eine Anordnung von Basistönen im Tonraum zu finden, die für alle Menschen und für alle Musikstile gültige Aussagen liefert. Jedoch ist es möglich, Positionierungsvarianten zu finden, mit deren Hilfe man Aussagen über tonale Zusammenhänge und wahrgenommene Klangempfindungen treffen kann, die für eine große Menge von Menschen gültig sind. Mit dem Terzkreis und dem Symmetriemodell werden in den nachfolgenden Abschnitten zwei Systeme erläutert, die genau dies ermöglichen.

20

Das Symmetriemodell

Das Symmetriemodell ermöglicht, viele tonale Zusammenhänge für Musikstücke zu definieren bzw. zu analysieren, die der klassischen Durkadenz folgen. Die technische Ausnutzung des Symmetriemodells ist neuartig. Die Erläuterungen in diesem Abschnitt erfolgen am Beispiel der C-Dur-Tonleiter und können auf jede andere Dur-Tonleiter übertragen werden. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Hauptalleinstellungsmerkmale des Symmetriemodells

1. die Auswahl der abgebildeten Töne,
- 35 2. die Reihenfolge und
3. die symmetrische Anordnung dieser Töne um die Symmetrieachse ist.

Fig. 7 zeigt eine graphische Darstellung des Symmetriemodells in Form des sogenannten Kadenzkreises für die C-Dur-Tonleiter bzw. für die a-Moll-Tonleiter. Im Rahmen der vorliegenden Anmeldung werden die Bezeichnung „Symmetriemodell“ und „Kadenzkreis“ zum Teil synonym verwendet. Das Symmetriemodell positioniert die sieben Töne der diatonischen Tonleiter bzw. die sieben Tonigkeiten der diatonischen Tonleiter 305-D, 350-F, 350-A, 350-C, 350-E, 350-G und 350-B auf einem Kreis oder einer oval/kreisförmigen Anordnung. Neuartig ist hierbei vor allem die Reihenfolge der Töne auf dem Kreis. Die Töne bzw. Tonigkeiten sind nicht in gleichen Abständen, sondern - angefangen bei dem zweiten Ton 350-D der Tonleiter, also dem Ton D - abwechselnd in kleinen und großen Terzen unter einem definierten Winkel auf dem Kreis positioniert.

Ein zweites, sehr wesentliches Merkmal ist die symmetrische Anordnung der Töne um eine gedachte Symmetrieachse 360. Die Symmetrieachse 360 verläuft genau durch den Ort 350-D des zweiten Tons der Tonleiter (D), weshalb dieser auch als Symmetrieton bezeichnet wird. Die restlichen bzw. weiteren Töne der Tonleiter werden symmetrisch links und rechts um den Symmetrieton 350-D positioniert.

Ist die Reihenfolge und die Symmetrie der Töne gewahrt, dann bleiben noch verschiedene Möglichkeiten, die genaue Position der Basistöne festzulegen. Eine Möglichkeit, die im Rahmen des Symmetriemodells verwendet wird, ist, die Töne entsprechend ihrem Tonabstand auf dem Kreis zu positionieren. Dazu wird der Kreis in 24 Segmente 370 mit einem Öffnungswinkel des Segments von $360^\circ/24 = 15^\circ$ eingeteilt. Jedes Segment 370 entspricht einem Halbtonintervall, wie dies auch in Fig. 7 eingezeichnet ist. Da eine kleine Terz drei Halbtönen und eine große Terz vier Halbtönen entspricht, werden zwei eine kleine Terz bildende Töne in einem Abstand von drei Segmenten 370 und zwei eine große Terz bildende Töne in einem Abstand von vier Segmenten 370

positioniert. Einem kleinen Terzabstand wird daher im Symmetriemodell ein Winkelabstand von $3 \cdot 15^\circ = 45^\circ$ zugeordnet, während einem großen Terzabstand analog ein Winkelabstand von $4 \cdot 15^\circ = 60^\circ$ zugeordnet wird.

5

In Fig. 7 ist ein Beispiel für eine solche kleine Terz 380 zwischen den beiden Tönen E und G, sowie ein Beispiel für eine große Terz 385 zwischen den beiden Tönen G und B eingezeichnet. Fig. 7 zeigt somit insgesamt die Anordnung der Basistöne im Tonraum gemäß dem Symmetriemodell. Die Töne sind - wie bereits erwähnt - symmetrisch um die durch den Symmetrieton D 350-D verlaufende Symmetrieachse 360 positioniert. Die Symmetrie ergibt sich aus den Tonabständen der Basistöne.

15

Die Töne bzw. Tonigkeiten 350-E bis 350-C sind also bezüglich des Winkels nicht äquidistant auf einem Kreis verteilt. Sie sind vielmehr bezogen auf den jeweils kleinsten Tonabstand zu ihrem Nachbarton bzw. zu ihrer Nachbartonigkeit entsprechend beabstandet. Da, wie erläutert wurde, das Symmetriemodell auf einer Unterteilung des Kreises in 24 Segmente 370 aufbaut, kann ein Winkel, der einer bestimmten Tonigkeit bzw. einem bestimmten Ton zugeordnet ist, durch Einführen eines Bezeichners n' erfolgen. Der Bezeichner n' ist eine ganze Zahl aus der Menge der Zahlen {2, 5, 9, 12, 15, 19, 22} und bezeichnet den Winkel, unter dem eine bestimmte Tonigkeit erscheint, gemäß der linearen Abbildung

25

$$\alpha_T = n' \cdot 2\pi/24 \bmod 2\pi$$

30

wobei α_T den Winkel einer Tonigkeit im Bogenmaß in Abhängigkeit von dem Bezeichner n' , der Tonigkeit darstellt und π die Kreiszahl ist. Eine genaue Zuordnung der Tonigkeiten T , der Bezeichner n' , der Winkel im Gradmaß und der Winkel um Bogenmaß ist in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt:

35

Tonigkeit T	E	G	B bzw. H	D	F	A	C
n'	2	5	9	12	15	19	22
Winkel	30°	75°	135°	180°	225°	285°	330°
Winkel/2 π	1/12	5/24	3/8	1/2	5/8	19/24	11/12

Durch eine einfache Erweiterung des Bezeichners n' , kann dieser den Winkel α_T der Tonigkeiten nicht nur bezüglich einer Oktave darstellen, sondern ermöglicht auch eine

5 Darstellung aller Töne der entsprechenden Dur-Tonleiter. Hierbei ist für jede Oktave der Bezeichner n' um 24 zu erhöhen oder zu erniedrigen. Weist beispielsweise definito-

risch der Ton C' , einen Bezeichner $n' = 22$ auf, so würde in diesem Fall der Ton C'' einen Bezeichner $n' = 46$ und der

10 Ton C einen Bezeichner $n' = -2$ aufweisen.

Hierbei wird unter einem Tonikabereich ein Bereich des in Fig. 7 dargestellten Symmetriemodells verstanden, der die vier Tonigkeiten A (350-A), C (350-C), E (350-E) und G

15 (350-G) umfasst, sich also im Bereich des tonalen Zentrums 390 befindet. Ein als Dominantbereich bezeichneter Bereich erstreckt sich bei der in Fig. 7 gewählten Darstellung als Symmetriemodell ausgehend von dem tonalen Zentrum 390 im

Uhrzeigersinn bis etwa in den Bereich des Symmetrietons D (350-D). Der Dominantbereich umfasst die vier Tonigkeiten E

20 (350-E), G (350-G), B bzw. H (350-H) und D (350-D). Entsprechend erstreckt sich ein als Subdominantbereich bezeichneter Bereich ausgehend von dem tonalen Zentrum 390 gegen den Uhrzeigersinn ebenfalls bis zu dem Symmetrieton D

25 (350-D), wobei dieser die Tonigkeiten C (350-C), A (350-A), F (350-F) und D (350-D) umfasst. Nähere Erläuterungen hierzu und zu der Bedeutung des Tonikabereichs, des Subdominantbereichs und des Dominantbereichs sind in der Diplomarbeit von David Gatzsche mit dem Titel „Visualisierung musikalischer Parameter in der Musiktheorie“ (Diplomarbeit der

30 Hochschule für Musik Franz Liszt, Weimar 2004) enthalten.

Aus dem Symmetriemodell ergeben sich viele sinnvolle tonale Zusammenhänge, die zum einen für die Synthese und zum anderen für die Analyse von Audio- und Toninformationen eingesetzt werden können. Im Folgenden werden einige dieser
5 Zusammenhänge aufgelistet:

1. Dissonant klingende Tonkombinationen sind durch weit entfernt positionierte Basistöne repräsentiert, konsonant klingende Tonkombinationen durch geometrisch benachbarte Basistöne. Je weiter zwei Basistöne voneinander entfernt positioniert sind, desto dissonanter klingt die von ihnen erzeugte Tonkombination.
10
2. Sämtliche mit den Tönen einer diatonischen Dur-Tonleiter erzeugbaren Terzintervalle, Dur- und Mollakkorde, Septakkorde, 7-9er-Akkorde und verminderte Akkorde werden durch benachbart positionierte Basistöne dargestellt. Dies ergibt sich vor allem aus der Reihenfolge der Töne und durch ihre kreisförmige Anordnung.
15
20
3. Das Modell spiegelt funktionstheoretische bzw. musikttheoretische Zusammenhänge geometrisch wieder. Zum einen sind die Grundtöne von Dur-Akkorden und parallelen Moll-Akkorden geometrisch direkt benachbart. Zum anderen sind die Töne von Tonika-Akkorden (a-Moll und C-Dur) bezogen auf die Symmetrieachse 360 mittig positioniert, die von Subdominant-Akkorden (F-Dur und d-Moll) auf der einen Seite z.B. links der Symmetrieachse 360 und die von Dominant-Akkorden (G-Dur und e-Moll) auf der anderen Seite (z.B. rechts) der Symmetrieachse 360 angeordnet.
25
30
4. Töne, die im Kontext einer Durtonart ein großes Auflösungsbestreben besitzen, wie z. B. der auch als Leitton bezeichnete Ton B bzw. H oder der vierte Ton der Tonleiter (F), sind geometrisch auf dem Symmetriekreis entfernt von einem als tonalem Zentrum bezeichneten
35

Punkt 390, dem Tonikabereich, positioniert. Töne, die ein kleines Auflösungsbestreben besitzen, sind in der Nähe des tonalen Zentrums 390 positioniert.

- 5 5. Aus dem Symmetriemodell lässt sich Riemanns Prinzip der sechsfachen Tonvertretung einfach ableiten, das in Hugo Riemanns Veröffentlichung „Ideen zu einer 'Lehre von den Tonvorstellungen'“, Jahrbuch der Musikbibliothek Peters, Jahrgang 21/22 (1914/15), S.11 beschrieben wird. Nach diesem Prinzip kann jeder Ton Grundton, 10 Terz und Quinte sowohl eines Dur-Akkordes als auch eines Moll-Akkordes sein. Aus dem Symmetriemodell gehen für jeden Ton drei dieser sechs Möglichkeiten hervor. So kann beispielsweise der Ton C Bestandteil der Dreiklänge F-A-C, A-C-F und C-E-G sein. 15
6. An dem Punkt, wo der Kreis sich schließt, also bei dem Symmetrieton D 350-D, gibt es weder einen Moll-Akkord noch einen Dur-Akkord, sondern einen verminderten 20 Dreiklang, der aus zwei kleinen Terzen aufgebaut ist. Dieser Akkord ist der einzige Akkord, der in dem Kadenzkreis bzw. dem Symmetriemodell in Fig. 7 aus zwei gleichen Intervallen besteht. Dieser Akkord enthält in der Mitte den Symmetrieton 350-D und ist somit in sich 25 als gebildet symmetrisch, weshalb er im Rahmen des Symmetriemodells auch als Symmetrieakkord bezeichnet wird.

Das Symmetriemodell bzw. der Kadenzkreis wird in der oben 30 zitierten Diplomarbeit von David Gatzsche näher beschrieben, erläutert und musiktheoretisch erörtert.

Mit anderen Worten ermöglicht das Symmetriemodell gegenüber der diatonischen Tonleiter ein spielerischeres und damit 35 pädagogisch wertvolleres Heranführen an musiktheoretische Prinzipien, die im Folgenden noch einmal zusammengefasst und erläutert werden sollen. Hierbei liegt das Hauptaugenmerk auf der Vermittlung musiktheoretischen Wissens an

Kinder. Pädagogisch-musiktheoretische Prinzipien sind in der Regel sehr undurchsichtig. Wie die Beschreibung dieses Ausführungsbeispiels zeigen wird, stellt das hier beschriebene Musikinstrument für Kleinkinder eine solche Eingabemethode dar, die so einfach ist, dass selbst Kleinkinder oder stark behinderte Personen musikalisch kreativ sein können.

Jetzt besteht die Frage: Warum gibt es genau sieben Tonigkeiten? Die Antwort ist folgende: Die in abendländischen Breitengraden gebräuchlichste Tonleiter ist die sogenannte diatonische Tonleiter. Diese Tonleiter verfügt über sieben Töne. Auf dem Klavier entsprechen sieben benachbarte weiße Tasten exakt der diatonischen Tonleiter für C-Dur bzw. a-Moll. Eine wesentliche Neuerung des Symmetriemodells besteht in der Anordnung der Tonigkeiten:

Auf dem Klavier sind die Tontasten in Halbtonschritten und Ganztonschritten angeordnet. Dadurch ergibt sich die Tonreihenfolge bzw. Tonigkeitsreihenfolge C-D-E-F-G-A-(B bzw. h)-C. Im Symmetriemodell sind die Tonigkeiten jedoch in Terzabständen angeordnet: Begonnen bei dem Ton D wechseln sich immer kleine und große Terzen ab. Dadurch ergibt sich folgende Tonreihenfolge bzw. Tonigkeitsreihenfolge: D-F-A-C-E-G-(B bzw. H)-D.

Die Tonigkeiten sind nicht wie beim Klavier auf einer Linie angeordnet, sondern auf einem Kreis, nämlich dem Symmetriekreis des Symmetriemodells. Grundsätzlich sind hier auch andere oval/kreisförmige Anordnungen, wie sie in den einführnden Abschnitten der vorliegenden Anmeldung definiert wurden, denkbar. Der Kreis weist einen Kreismittelpunkt auf. Durch den Kreismittelpunkt geht eine vertikal verlaufende, gedachte Achse, die im Folgenden als Symmetrieachse 360 bezeichnet wird. Mit Hilfe der Symmetrieachse 360 kann jede Tonigkeit 350-C bis 350-A durch einen Winkel α zwischen der Symmetrieachse 360 und einer Verbindungslinie zwischen der betreffenden Tonigkeit und dem Kreismittelpunkt repräsentiert werden.

Die weißen Tasten auf dem Klavier sind gleich breit, egal ob zwei benachbarte Tasten einen Ganztonschritt oder einen Halbtonschritt repräsentieren. Bei dem Symmetriemodell werden die Tonigkeiten nicht in gleichen Abständen bzw. aufgrund der oval/kreisförmigen Anordnung in gleichen Winkeln angeordnet, sondern in einem (Winkel-) Abstand, der dem Tonabstand bzw. Tonsprung zwischen den beiden Tonigkeiten entspricht. Das heißt, dass zwei benachbarte Tonigkeiten, denen ein (kleinster) Tonabstand einer großen Terz entspricht, auf dem Kreis bzw. dem Symmetriekreis weiter voneinander entfernt angeordnet sind als zwei Tonigkeiten, denen ein (kleinster) Tonabstand zugeordnet ist, der einer kleinen Terz entspricht. Somit repräsentieren die Abstände der einzelnen Tonigkeiten zueinander den (kleinsten) Tonabstand der zugeordneten Töne bzw. Tonigkeiten.

Die genaue Anordnung bzw. Positionierung der Tonigkeiten wird folgendermaßen berechnet: Zunächst wird der Symmetriekreis in 24 Segmente unterteilt, die insgesamt also zwei Oktaven entsprechen. Jedes dieser Segmente repräsentiert einen Halbtonschritt. Der Öffnungswinkel eines solchen Halbtonsegmentes beträgt demnach $360^\circ/24 = 15^\circ$. Eine große Terz entspricht vier Halbtönen, eine kleine Terz entsprechend drei Halbtönen. Dadurch ergeben sich folgende Abstände auf dem Kreis: Wenn der tonale Abstand, also der (kleinste) Tonabstand, zwischen zwei benachbarten Tonigkeiten eine große Terz ist, dann beträgt der von den beiden Tonigkeiten aufgespannte Winkel $4 \cdot 15^\circ = 60^\circ$. Beträgt der tonale Abstand zweier benachbarter Tonigkeiten eine kleine Terz, dann beträgt der Abstand $3 \cdot 15^\circ = 45^\circ$.

Die Tonigkeiten werden anschließend folgendermaßen auf dem Kreis angeordnet bzw. positioniert: Die Tonigkeit 350-D, die der Tonigkeit D entspricht, wird unten auf dem Kreis mittig angeordnet, also unter einem Winkel $\alpha = 180^\circ$ bezogen auf den Kreismittelpunkt und eine Nullrichtung, die in Fig. 7 senkrecht nach oben verläuft. Davon entfernen sich die

anderen Töne sowohl nach links, also im Uhrzeigersinn, als auch nach rechts, also gegen den Uhrzeigersinn, symmetrisch. Die nachfolgende Tabelle zeigt so ein Beispiel für die genauen Winkel der Tonigkeiten 350-C bis 350-A. Es ist
 5 jedoch wichtig an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass auch eine abweichende Verteilung bezüglich der Winkel möglich ist.

Tonigkeiten	Winkel α	Bezugszeichen
E	+030°	350-E
G	+075°	350-G
B	+135°	350-B
D	$\pm 180^\circ$	350-D
F	-135°	350-F
A	-075°	350-A
C	-030°	350-C

10

Um die Anordnung der Tonigkeiten 350-C bis 350-A besser zu veranschaulichen, sind eine Mehrzahl punktierter Orientierungslinien ausgehend von dem Kreismittelpunkt in Fig. 7 eingezeichnet.

15

Der Ton D (350-D) wird deshalb als Symmetrieton bezeichnet, da er der einzige Ton ist, der genau auf der Symmetrieachse 360 liegt, und weil alle anderen Töne der Tonleiter spiegelsymmetrisch um diesen Ton angeordnet sind. Gegenüber dem
 20 Symmetrieton liegt das tonale Zentrum 390 ($D \hat{=} 0^\circ$). Dies wird so bezeichnet, weil gebräuchliche Melodien in abendländischen Breitengraden meist mit Tönen beginnen und enden, die in der Nähe des tonalen Zentrums liegen.

25 Durch die zuvor beschriebene Anordnung der Tonigkeiten 350-C bis 350-A erschließt sich implizit eine Reihe von musiktheoretischen Zusammenhängen, die momentan noch mühsam erlernt werden müssen. Das Symmetriemodell eignet sich gerade auch für Kleinkinder, da es eine Verknüpfung geomet-

rischer Positionen und tonaler Zusammenhänge erlaubt. Dadurch hat es das Kind später wesentlich einfacher, musikttheoretische Zusammenhänge zu erfassen.

- 5 In den folgenden Abschnitten wird eine Darstellung von musikttheoretischen bzw. tonalen Zusammenhängen zusammengefasst bzw. wiederholt, die durch das Symmetriemodell vermittelt werden.
- 10 1. Ein Kind kann konsonante und dissonant klingende Tonkombinationen zuordnen. Dissonant klingende Tonkombinationen sind durch auf weit entfernt positionierte Tonigkeitskombinationen charakterisiert. Benachbarte Tonigkeiten ergeben hingegen konsonant klingende Ton-
- 15 kombinationen. Je weiter zwei Tonigkeiten voneinander entfernt sind, desto dissonant klingt die von ihnen repräsentierte Tonkombination.
- 20 2. Ein Kind lernt den Aufbau der gebräuchlichsten Dur-Akkorde und Moll-Akkorde. Eine Auswahl von Tönen, Akkorden und Harmonien sind im Folgenden angegeben: Eine einzelne Tonigkeit repräsentiert einen einzelnen Ton der Tonleiter. Zwei benachbarte Tonigkeiten repräsentieren eine Terz. Drei benachbarte Töne repräsentieren einen Dur-, Moll- oder verminderten Dreiklang. Vier
- 25 benachbarte Tönen stellen einen Septakkord dar. Fünf benachbarte Tonigkeiten stellen einen 7-9er-Akkord dar. Ein Kind kann dadurch den Aufbau von Dreiklängen und Vierklängen ganz einfach erlernen.
- 30 3. Das Kind lernt spielend Dur-Akkorde und parallele Moll-Akkorde einander zuzuordnen. Dies ist dadurch möglich, weil die Tonigkeiten des Dur-Akkordes und seines parallelen Moll-Akkordes benachbart auf dem
- 35 Symmetriekreis angeordnet sind (Beispiel: C-Dur-Akkord: C-E-G und paralleler a-Moll-Akkord: A-C-E).

4. Das Kind lernt automatisch die gemeinsamen Töne unterschiedlicher Akkorde kennen. Zum Beispiel haben der a-Moll-Akkord und der C-Dur-Akkord die zwei gemeinsame Tonigkeiten C und E. Auf dem Symmetriekreis sind diese gemeinsamen Töne durch dieselben Tonigkeiten repräsentiert. Das Kind lernt weiterhin automatisch, aus welchen Akkorden sich Mischakkorde zusammensetzen. Beispielsweise wird der a-Moll-7-Akkord aus den Akkorden a-Moll und C-Dur zusammengesetzt.
5. Das Kind lernt dabei auch funktionstheoretische bzw. musiktheoretische Zusammenhänge: Die Tonigkeiten von Tonikaakkorden (a-Moll und C-Dur) sind mittig angeordnet, die von Subdominantakkorden (F-Dur und d-Moll) links und die von Dominantakkorden (G-Dur und e-Moll) sind rechts des tonalen Zentrums 390 angeordnet.
6. Das Kind kann ein Empfinden erlernen, welche Töne bei gegebener Dur- bzw. Molltonart ein großes Auflösungsbestreben und welche Töne ein kleines Auflösungsbestreben besitzen. Die Töne, die ein kleines Auflösungsbestreben besitzen, sind in der Nähe des tonalen Zentrums 390 angeordnet, Töne die ein großes Auflösungsbestreben besitzen, sind sehr weit weg von dem tonalen Zentrum 390 auf dem Symmetriekreis platziert. Dazu ein Beispiel: Spielt man eine Melodie auf der C-Dur-Tonleiter und endet auf dem Ton h, so empfinden wir in der Regel, dass das Stück weitergehen muss, nämlich zum C bzw. der Terz C-E hin. Dieses Empfinden wird als Auflösungsbestreben bezeichnet.
7. Das Kind kann sehr einfach ableiten, mit welchen Akkorden es einen gegebenen Ton bei gegebener Tonart begleiten kann. Dazu muss es lediglich benachbarte Tonigkeiten auswählen, die den gegebenen Ton aufweisen. Ist z. B. der Ton C gegeben, dann kann das Kind diesen Ton mit den Tönen C-E-G (benachbart), A-C-E (benachbart), F-A-C (benachbart) oder D-F-A-C (benachbart)

begleiten. Früher musste sich das Kind diese Varianten noch mühsam einprägen. Jetzt kann es sich die erlaubten Akkorde selber durch einfache geometrische Zusammenhänge herleiten, was einen signifikanten Vorteil des Symmetriekreises darstellt.

8. Das Kind kann an dem Symmetriekreis leicht ablesen, wie zu einer bestimmten Dur-Tonart bzw. einem bestimmten Dur-Akkord der parallele Moll-Akkord bzw. die parallele Moll-Tonart heißt. Das Kind muss jetzt wissen, dass der Grundton der parallelen Moll-Tonart im Symmetriemodell (und im später erläuterten Terzkreis) direkt links, also entgegen dem Uhrzeigersinn, neben dem Grundton der Dur-Tonart platziert ist. Das Kind kann so die entsprechende Moll-Tonart herausfinden.

Da Kinder im Allgemeinen noch keine Notennamen kennen und auch eine Beschriftung der Tonigkeiten 350-C bis 350A nicht lesen können, bietet es sich an, die Tonigkeiten optional mit einer Farbgebung und/oder mit Symbolen zu versehen. Eine mögliche Farbgebung ist in der oben genannten Diplomarbeit von David Gatzsche erläutert. Hierbei wird dem Tonikabereich, der die Tonigkeiten C und E umfasst, die Farbe Gelb zugeordnet. Dem Dominantbereich, der die Tonigkeiten G und B umfasst, Rot oder Orange zugeordnet. Dem Subdominantbereich, der die Tonigkeiten A und F umfasst, wird Blau zugeordnet, während dem Bereich, der die Tonigkeit D umfasst, als Farbe Violett zugeordnet wird.

Diese Farbgebung orientiert sich an einem „Wärmeempfinden“, wobei dem Subdominantbereich bläuliche Farben zugeordnet werden, da dieser mit „Kälte“ in Verbindung gebracht wird. Dem Dominantbereich sind hierbei rötliche Töne zugeordnet, da dieser mit „Wärme“ assoziiert wird. Dem Tonikabereich wird als „neutralem Bereich“ die Farbe Gelb zugeordnet, während dem Bereich, in dem der Subdominantbereich und der Dominantbereich aneinander stoßen, Violett zugeordnet wird. In Bereichen zwischen dem Tonikabereich und dem Subdomi-

nantbereich, zwischen dem Tonikabereich und dem Dominantbereich und dem Bereich zwischen dem Subdominantbereich und dem Dominantbereich werden hierbei die sich ergebenden Mischfarben zugeordnet. Darüber hinaus können die Tonigkeiten, abweichend von der Darstellung in Fig. 7, mit Symbolen versehen werden, die Dur-Dreiklänge oder Moll-Dreiklänge sowie den verminderten Dreiklang symbolisieren. Eine Möglichkeit stellt die bereits erläuterte Verwendung von großen und kleinen Buchstaben dar.

10

Der Terzkreis

So wie das Symmetriemodell Zusammenhänge innerhalb einer diatonischen Tonart abbildet, stellt der Terzkreis tonarübergreifende Zusammenhänge dar, wie es in Fig. 8 dargestellt ist. Der Terzkreis bildet nicht nur die sieben Töne einer diatonischen Tonleiter im Tonraum ab, sondern alle zwölf Töne der chromatischen Tonleiter oval/kreisförmig bzw. in einer sich schließenden Anordnung. Weiterhin erscheint jeder Basiston nicht nur einmal, sondern zweimal im Terzkreis. Der Terzkreis enthält deshalb 24 Töne bzw. Tonigkeiten. Die Reihenfolge der Töne entspricht im Wesentlichen der Tonreihenfolge des Symmetriemodells. Die Töne sind in Terzabständen und zwar abwechselnd in kleinen und großen Terzen angeordnet. Während es beim Symmetriemodell an der Stelle des verminderten Akkordes, also bei dem Symmetrieton 350-D, eine Unstetigkeitsstelle gibt, ist eine solche Unstetigkeitsstelle im Terzkreis nicht zu finden. Im Unterschied zu dem Symmetriemodell wird jedoch bei dem Terzkreis nicht zwischen einem großen Terzabstand und einem kleinen Terzabstand unterschieden. Vielmehr werden die 24 Tonigkeiten auf dem Terzkreis bezüglich ihres Winkels äquidistant, also mit einem Abstand bezogen auf einen Winkel von $360^\circ/24 = 15^\circ$ verteilt. Durch diese Anordnung der Basistöne im Tonraum gemäß dem Terzkreis erschließen sich eine Reihe von musiktheoretischen Zusammenhängen, die im Folgenden erläutert werden.

Fig. 9 zeigt einen Ausschnitt des in Fig. 8 gezeigten Terzkreises. Diatonische Tonarten wie beispielsweise C-Dur oder a-Moll werden im Terzkreis durch ein einziges zusammenhängendes Kreissegment dargestellt bzw. abgebildet. Als
5 Beispiel zeigt Fig. 9 ein solches Kreissegment 400, das der Tonart C-Dur bzw. a-Moll entspricht. Das Kreissegment 400 ist zu beiden Seiten durch den Symmetrieton D der Tonart begrenzt. Durch die Mitte des Kreissegmentes verläuft eine
10 Symmetrieachse 405. Nimmt man dieses Kreissegment 400 aus dem Terzkreis heraus und klappt es wie einen Fächer so weit auf, dass sich die beiden geraden Seiten berühren, so ergibt sich exakt das in den vorherigen Abschnitten beschriebene Symmetriemodell. Fig. 9 zeigt somit eine Dar-
15 stellung einer diatonischen Tonart im Terzkreis.

In Fig. 10 werden die Gemeinsamkeiten zweier benachbarter Tonarten illustriert. Zu diesem Zweck ist in Fig. 10 das schon in Fig. 9 gezeigte Kreissegment 400, das der Tonart
20 C-Dur bzw. a-Moll entspricht, zusammen mit einem weiteren Kreissegment 400' dargestellt, das der Tonart F-Dur entspricht. Benachbarte Tonarten wie C-Dur und F-Dur liegen also im Terzkreis direkt nebeneinander. Bei der in Fig. 10 gewählten Darstellung liegen gemeinsame Töne also in einem
25 durch überlappende Kreissegmente repräsentierten Bereich.

Fig. 11 illustriert an einem Ausschnitt des Terzkreises, dass die Symmetrieachse einer diatonischen Tonart, beispielsweise die Symmetrieachse 405 der Tonart C-Dur, genau
30 durch einen Schwerpunkt 410 des die Tonart repräsentierenden Kreissegmentes 400 verläuft. Mit anderen Worten liegt der Schwerpunkt 410 des Bereichs 400 einer diatonischen Tonart (in Fig. 11 der Tonart C-Dur) an der Stelle der Symmetrieachse 405. Aus diesem Grund ist es sinnvoll,
35 Tonarten wie C-Dur oder a-Moll nicht an der Stelle ihres Grundtones, also der Töne C bzw. a, zu repräsentieren, sondern an der Stelle ihrer Symmetrieachse 405.

Der Terzkreis eignet sich weiterhin hervorragend, um Verwandtschaftsbeziehungen zwischen Tonarten darzustellen. Verwandte Tonarten, d. h. Tonarten, die viele gemeinsame Töne besitzen bzw. aufweisen, sind im Terzkreis benachbart dargestellt. Tonarten, die sehr wenig miteinander zu tun haben, sind im Terzkreis weit entfernt positioniert. Ausgehend von der Symmetrieachse 405 der Tonart C-Dur bzw. a-Moll kann daher auch die Art und die Anzahl der zu einer Tonart gehörenden Anzahl von Vorzeichen leicht bestimmt werden. So ist beispielsweise in Fig. 11 auch eine Symmetrieachse 405' der Tonart F-Dur eingezeichnet, die in dem Terzkreis gegenüber der Symmetrieachse 405 um 30° gegen den Uhrzeigersinn gedreht ist. Die Tonarten C-Dur und F-Dur unterscheiden sich bezüglich der sieben Töne der zugrundeliegenden diatonischen Tonleiter nur geringfügig. Es wird nur der Ton b bzw. H durch den um eine kleinen Sekunde unterhalb liegenden Halbton ersetzt, so dass die Tonart F-Dur im Vergleich zu der Tonart C-Dur ein zusätzliches Vorzeichen (b) aufweist. Eine entsprechende Überlegung gilt auch für die Tonart G-Dur, die durch eine Symmetrieachse 405'' repräsentiert wird. Im Unterschied zu der Tonart F-Dur weist die Tonart G-Dur als Vorzeichen ein # auf. Entsprechend ist die Symmetrieachse 405''' für die Tonart G-Dur gegenüber der Symmetrieachse 405 für die Tonart C-Dur in dem Terzkreis um 30° im Uhrzeigersinn gedreht.

Diese Überlegung lässt sich für alle weiteren Tonarten durchführen, wie dies auch in Fig. 12 dargestellt ist. Somit belegen alle b-Tonarten die linke Hälfte des Kreises bzw. des Terzkreises. Diese Tonarten weisen alle ein negatives Vorzeichen (-) auf. Die Kreuztonarten, die ein positives Vorzeichen (+) aufweisen, belegen die rechte Hälfte 415' des Kreises bzw. Terzkreises. Gleichnamige Tonarten, wie etwa a-Moll und A-Dur, sind im Abstand von 90° im Terzkreis positioniert, wie dies ein Vergleich der Symmetrieachsen 405 und 405''' zeigt. Weiterhin illustriert der Terzkreis, dass Tonarten, die sehr wenig miteinander zu tun haben, weit voneinander entfernt positioniert sind. So sind

z. B. entgegengesetzte Tonarten, wie C-Dur mit der Symmetrieachse 405 und Fis-Dur mit einer Symmetrieachse 405'''' auch exakt entgegengesetzt, also in einem Winkelabstand von 180° positioniert. Fig. 12 zeigt somit, dass der Terzkreis
5 Verwandtschaftsbeziehungen zwischen Tonarten sehr gut abbilden kann.

Fig. 13 illustriert, dass im Gegensatz zu anderen Basistonanordnungen, wie z. B. einer chromatischen Anordnung, die
10 in Fig. 13 links dargestellt ist, gemeinsame Töne benachbarter Tonarten im Terzkreis lückenlos nebeneinander liegen, wie dies die Fig. 13 rechts illustriert. So ist in Fig. 13 auf der rechten Seite das zu der Tonart C-Dur gehörende Kreissegment 400 und das zu der Tonart F-Dur gehörende Kreissegment 400' dargestellt. Die Darstellung
15 auf der rechten Seite von Fig. 13 entspricht also der einer Terzanordnung bzw. der Terzkreisanordnung. Dieser Anordnung stellt Fig. 13 eine chromatische Basistonanordnung links gegenüber. Die einzelnen Segmente 400a - 400e, sowie die
20 Kreissegmente 400'a - 400'e entsprechen den Kreissegmenten 400 bzw. 400', wie sie in Fig. 13 rechts dargestellt sind. Fig. 13 zeigt somit, dass der Terzkreis im Vergleich zu einer chromatischen Basistonanordnung Verwandtschaftsbeziehungen zwischen benachbarten Tonarten signifikant besser
25 darstellt.

Fig. 14 zeigt, dass das Prinzip der sechsfachen Tonverwertung im Terzkreis perfekt abgebildet bzw. dargestellt wird. Fig. 14 zeigt am Beispiel des Tons bzw. der Tonigkeit C
30 Riemanns Prinzip von der sechsfachen Tonverwertung. Nach diesem Prinzip kann ein Ton Grundton, Terz und Quinte sowohl eines Moll-Akkordes als auch eines Dur-Akkordes sein. Der Ton bzw. die Tonigkeit C erscheint im Terzkreis an zwei Positionen 420, 420'. Genauer gesagt taucht der Ton
35 C in einem Dur-Kontext (C-Dur), was der Position 420 entspricht, und in einem Moll-Kontext (c-Moll), was der Position 420' entspricht, auf. Der Ton C ist hierbei Bestandteil der Akkorde f-Moll (Bereich 425), As-Dur (Bereich

425') und c-Moll (Bereich 425''). Des weiteren ist der Ton C Bestandteil der Akkorde F-Dur (Bereich 430), a-Moll (Bereich 430') und C-Dur (Bereich 430''). Damit spiegelt das Symmetriemodell Riemanns Prinzip von der sechsfachen Tonverwertung wider. Wie Fig. 14 zeigt, können diese Zusammenhänge sehr einfach aus dem Terzkreis hergeleitet werden. Es bleibt noch zu erwähnen, dass weiterhin die Grundtöne von Dur-Akkorden und parallelen Moll-Akkorden direkt nebeneinander liegen.

10

Eine weitere Positionierungsalternative für den Terzkreis und das Symmetriemodell (Symmetriekreis) besteht darin, den Terzkreis und/oder das Symmetriemodell jeweils um eine in den Figuren horizontal verlaufende Achse zu spiegeln, so dass im Falle des Symmetriemodells der Tonikabereich einer bestimmten (Dur-) Tonart unten zu liegen kommt, während der verminderte Bereich nach oben wandern würde. Dies würde verschiedene didaktische Vorteile bieten. Insbesondere ist es so möglich, eine Pendelanalogie zwischen einem (abendländischen) Musikstück und einer Beschreibung beispielsweise im Symmetriemodell durchzuführen. Ein (gedämpftes) Pendel wird in eine Richtung ausgelenkt, schwingt dann eine Weile und kommt dann irgendwann zur Ruhe. Je stärker das Pendel zu einer Seite ausgelenkt wird, desto stärker schwingt es ebenfalls in die andere Richtung.

Ein Pendel, das beispielsweise in einem Mittelpunkt des Symmetriemodells, wie es beispielsweise in Fig. 7 dargestellt ist, das jedoch um die horizontale Achse gespiegelt ist, aufgehängt ist, hängt anfangs nach unten ausgelenkt im Tonikabereich. Wird es zu einer Schwingung angeregt, beginnt es zu schwingen und endet nach einer Weile dann wieder im Tonikabereich. Je stärker hierbei das Pendel beispielsweise in den Subdominantbereich ausgelenkt wird, desto stärker schwingt es anschließend in den Dominantbereich. Viele harmonische Verläufe sehr populärer Akkordfolgen innerhalb der abendländischen Musik folgen hierbei dem Prinzip, dass auf Akkorde, die im Subdominantbereich posi-

tioniert sind, sehr oft Akkorde folgen, die entsprechend entgegengesetzt im Dominantbereich liegen. Auch beginnen und enden viele Lieder und Musikwerke im Tonikabereich, was die Analogie zu einem schwingenden Pendel, wie es oben
5 beschrieben ist, eindrucksvoll vervollständigt.

Auch wenn im Rahmen der vorliegenden Anmeldung der Terzkreis, wie er beispielsweise in Fig. 8 dargestellt ist, und das Symmetriemodell, wie es beispielsweise in Fig. 7 dargestellt ist, immer einheitlich beschrieben und dargestellt
10 sind, kann selbstverständlich auch eine horizontal und/oder vertikal gespiegelte Positionierungsvariante der Basistöne im Tonbereich verwendet werden. Darüber hinaus kann auch eine um einen beliebigen Winkel gedrehte Anordnung der
15 Basistöne und/oder eine um eine beliebige Achse in der Ebene gespiegelte Positionierungsvariante der Basistöne verwendet werden. Auch wenn die Darstellung der Ausführungsbeispiele im Rahmen der vorliegenden Anmeldung im Allgemeinen auf eine Anordnung der Basistöne im Symmetriemodell (vgl. Fig. 7) und dem Terzkreis (vgl. Fig. 8) basie-
20 ren, ist dies nicht als einschränkend zu verstehen. Gespiegelte oder gedrehte Basistonanordnungen können so beispielsweise im Rahmen einer Anzeigevorrichtung eines erfindungsgemäßen Systems, wie etwa einem Messsystem oder einem
25 System, zum Einsatz kommen.

Mathematische Modellbeschreibung

30 *Tonigkeit*

Wie bereits in den einführenden Abschnitten der vorliegenden Anmeldung erläutert wurde, spricht man von einer Tonigkeit, wenn bei einem Ton vernachlässigt werden kann, zu
35 welcher Oktave er gehört. Auf dem Klavier sind die zwölf Tonigkeiten D, Dis, E, F, Fis, G, Gis, A, Ais, B, C und Cis definiert, wobei bei dieser Aufzählung auf die Angabe enharmonischer Verwechslungen an dieser Stelle der Klarheit

wegen keinen Wert gelegt wurde. Jeder Tonigkeit t wird ein Grundindex m_t und ein erweiterter Index n_t zugeordnet. Der Grundindex m_t und der erweiterte Index n_t sind beides ganze Zahlen, wobei \mathbf{Z} die Menge der ganzen Zahlen darstellt. Es gilt:

$$0 \leq m_t \leq 11, \quad m_t \in \mathbf{Z} \quad (1)$$

$$-\infty < n_t < +\infty, \quad n_t \in \mathbf{Z} \quad (2)$$

10

Der Grundindex m_t ist eine einmalige bzw. eindeutige Durchnummerierung aller 12 Tonigkeiten. Der erweiterte Index n_t erfasst den Fakt, dass die Tonigkeiten logisch einen Kreis bilden bzw. periodisch angeordnet werden können, auf dem nach der letzten Tonigkeit wieder die erste Tonigkeit folgt. Deshalb ist es auch wünschenswert, dass man den erweiterten Index n_t unendlich weiterzählen kann. Jede Tonigkeit besitzt dadurch viele erweiterte Indizes. Mit Hilfe der nachfolgenden Rechenvorschriften lassen sich Grundindex und erweiterter Index in einander umrechnen:

20

$$n_t = m_t + k \cdot 12, \quad k \in \mathbf{Z} \quad (3)$$

$$m_t = [(n_t \bmod 12) + 12] \bmod 12 \quad (4)$$

25

Eine wichtige Frage ist, welche Tonigkeit t mit welchem Grundindex m_t versehen wird. Stand der Technik ist hierbei, den Ton bzw. die Tonigkeit C mit dem Grundindex $m_t = 0$ zu versehen, um den Fakt auszudrücken, dass dieser Ton der Grundton der einfachsten und vorzeichenlosen Tonart C-Dur ist. An dieser Stelle wird jedoch im Rahmen der vorliegenden Anmeldung eine andere Definition verwendet, die für die nachfolgenden Berechnungen zu einigen Vereinfachungen führt: Wir ordnen den Grundindex $m_t = 0$ nicht dem Ton C zu, sondern dem Ton D, weil der Ton D der Symmetrieton der vorzeichenlosen Tonart C-Dur ist und somit auch den geometrischen Schwerpunkt der Tonart im Terz- und Symmetriekreis bildet. Dadurch ergibt sich folgende Indexzuordnung bzw.

35

Zuordnung von Grundindizes m_t zu den Tonigkeiten t , die in der folgenden Tabelle 1 dargestellt ist. Es gilt:

Tonig- keit t	D	Dis	E	F	Fis	G	Gis	A	Ais	B	C	Cis
Grund- index m_t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

5

Terzkreis

Der Terzkreis besteht aus 24 Tönen im Abstand von großen und kleinen Terzen. Diese Töne werden als Realtöne r bezeichnet, weil sie tatsächlich erklingende Töne repräsentieren. Um die Realtöne r geometrisch auf dem Terzkreis platzieren zu können, ist eine Hinzunahme von Hilfstönen h erforderlich. Zwei benachbarte Hilfstöne haben einen Halbtonabstand (Sekunde) und besitzen ähnlich wie die Tonigkeiten einen Grundindex m_h und einen erweiterten Index n_h . Zwei benachbarte Hilfsströme weisen also die erweiterten Indizes n_h und (n_h+1) auf. Ähnlich zu dem vorhergehenden Abschnitt gilt:

20

$$-42 \leq m_h < +42 \quad (5)$$

$$-\infty < n_h < +\infty \quad (6)$$

Die Hilfstöne h werden dazu verwendet, um das hinter dem Terzkreis liegende, aus 84 Elementen bestehende Halbtonraster zu definieren: Der Grundindex m_h der Hilfstöne h läuft nicht wie bei den Tonigkeiten von 0 bis 11, sondern von -42 bis +41, wie Gleichung 5 zeigt. Hilfstöne, die zur Definition von Tonarten mit negativem Vorzeichen (b-Tonarten) beitragen, erhalten dadurch ein negatives Vorzeichen. Hilfstöne, die zur Definition von Tonarten mit positiven Vorzeichen (Kreuz-Tonarten bzw. #-Tonarten) beitragen, besitzen ein positives Vorzeichen. Der Grundindex m_h und

der erweiterte Index n_h können nach folgender Vorschrift ineinander umgerechnet werden:

$$n_h = f_1(m_h) = m_h + 84 \cdot k, \quad k \in \mathbf{Z} \quad (7)$$

$$m_h = f_2(n_h) = \left\{ 84 + \left[\left(n_h + \frac{84}{2} \right) \bmod 84 \right] \right\} \bmod 84 - \frac{84}{2} \quad (8)$$

Jedem Hilfston h mit dem erweiterten Index n_h wird eine Tonigkeit t mit dem erweiterten Index der Tonigkeit n_t zugeordnet. Durch die Definition aus Tabelle 1 ist keine Umrechnung der Index n_h und n_t ineinander nötig. Es gilt vielmehr für die Tonigkeit t eines Hilfstons h mit dem erweiterten Index n_h , dass der erweiterte Index n_t der Tonigkeit t mit dem erweiterten Index n_h des Hilfstons übereinstimmt. Es gilt also die Gleichung

$$n_t(n_h) = n_h \quad (8a)$$

Die Umrechnung des erweiterten Index n_t in den Grundindex m_t der Tonigkeiten t erfolgt dann nach Gleichung 4. Die nachfolgende Tabelle 2 zeigt beispielhaft die Zuordnung von Tonigkeiten t mit dem erweiterten Index n_t zu Hilfstönen h mit dem erweiterten Index n_h bzw. die umgekehrte Zuordnung:

n_h	-42	-41	...	0	...	40	41	42
$n_t = n_h$	-42	-41	...	0	...	40	41	42
$m_t = f_3(n_t)$	6	7	...	0	...	4	5	6
t	Gis	A	...	D	...	Fis	G	Gis

Geometrisch kann jeder Hilfston h mit dem erweiterten Index n_h auch als Vektor \vec{h}_{n_h} repräsentiert bzw. präsentiert werden. Dieser Vektor \vec{h}_{n_h} weist gegenüber einem Nullvektor einen Winkel α auf. Die Berechnung des Winkels α erfolgt dabei so, dass der Hilfston h mit dem erweiterten Index $n_h = 0$ den Winkel 0° erhält. Dem Hilfston h mit dem erweiterten Index $n_h = 0$ wird ein Vektor \vec{h}_0 zugeordnet. Der Vektor

\bar{h}_0 wird deshalb als Nullvektor bezeichnet. Dem Hilfston h mit dem erweiterten Index $n_h = 0$ ist somit die Tonigkeit bzw. der Ton D zugeordnet.

- 5 Neben dem Winkel α wird jedem Hilfston auch eine Länge bzw. ein Betrag zugeordnet, die im Folgenden auch als Energie s des Hilfstons bezeichnet wird. Mit anderen Worten findet sich die Energie s des Hilfstons h in Form des Betrags des Vektors \bar{h}_{n_h} wieder. Es gilt:
- 10

$$\bar{h}_{n_h} = s \cdot e^{j\alpha} = s \cdot e^{j2\pi \frac{n_h}{84}} \quad (9)$$

wobei das Formelzeichen j die imaginäre Einheit ist. Es gilt also

15

$$j = \sqrt{-1}, \quad j^2 = -1 \quad (9a)$$

- Neben den Hilfstönen h gibt es noch die Realtöne r . Die Realtöne sind die 24 tatsächlich auf dem Terzkreis vorhandenen Töne und bilden eine Untermenge der Menge der Hilfstöne M_h . Jeder Realton r ist entweder Grundton eines Dur-Akkordes (+) oder Grundton eines Moll-Akkordes (-). Aus diesem Grund kann die Menge der Realtöne M_r in eine Teilmenge M_{r+} und M_{r-} unterteilt werden. Es gilt:
- 20

25

$$M_{r\pm} := \{h_{n_h} | n_h = 7k \pm 2, k \in \mathbf{Z}\} \quad (10)$$

- Mit Hilfe der bisher gelegten mathematischen Grundlagen ist es auch möglich, Tongemische im Terzkreis zu repräsentieren. Jedem Realton r wird hierbei ein Vektor \bar{r} zugeordnet. Eine Summe zweier Realtöne r_a und r_b im Terzkreis lässt sich so durch die Summe der zu den beiden Realtönen r_a und r_b gehörenden Vektoren \bar{r}_a und \bar{r}_b realisieren. Das Ergebnis einer solchen Summation ist der sogenannte Summenvektor \bar{r}_{sum} , der auf den geometrischen Schwerpunkt der beiden Töne zeigt:
- 30
- 35

$$\vec{r}_{sum} = \vec{r}_a + \vec{r}_b \quad (11)$$

Jede Tonigkeit t findet sich auf dem Terzkreis in Form
 5 zweier Realtöne r wieder, nämlich einmal als Grundton eines
 Dur-Akkords r_{nr+} und als Grundton eines Moll-Akkords r_{nr-} .
 Gleichung 12 zeigt eine Rechenvorschrift, mit der zu einer
 gegebenen Tonigkeit t mit einem erweiterten Index n_t die
 zugehörigen Terzkreis-Realtöne r_{nr-} und r_{nr+} gefunden werden
 10 können.

$$n_{nr\pm} = f(n_t) = 7^2 n_t \pm 12 \quad (12)$$

Wir hatten gesagt, dass eine Menge von Realtönen im Terz-
 15 kreis durch einen Summenvektor \vec{r}_{sum} beschrieben werden
 kann. Weiterhin hatten wir festgestellt, dass jede Tonig-
 keit t sich in Form zweier Realtöne r_{nr-} und r_{nr+} im Terz-
 kreis wieder findet. Deshalb ist es möglich, eine Tonigkeit
 t mit einem erweiterten Index n_t durch einen Summenvektor

20

$$\vec{r}_{sum} = \vec{r}_{nr-} + \vec{r}_{nr+} \quad (12a)$$

im Terzkreis zu repräsentieren. Es gilt:

$$\begin{aligned} \vec{r}_{sum} &= \vec{r}_{nr-} + \vec{r}_{nr+} \\ &= e^{j2\pi \frac{nr-}{84}} + e^{j2\pi \frac{nr+}{84}} \\ &= e^{j2\pi \frac{7^2 n_t - 12}{84}} + e^{j2\pi \frac{7^2 n_t + 12}{84}} \\ &\approx 1.25 \cdot e^{j2\pi \frac{7^2 n_t}{84}} \end{aligned} \quad (13)$$

25

Der Faktor 1.25 ergibt sich für alle Tonigkeiten und kann
 deshalb vernachlässigt werden. Mit den Zusammenhängen aus
 Gleichung 13 ist es möglich, eine Menge von Tonigkeiten M_t

durch einen Terzkreissummenvektor \vec{r}_{sum} zu repräsentieren.
Es gilt:

$$\vec{r}_{\text{sum}} = f_4(M_t) = \sum \vec{r}_{\text{sum}_t} \text{ mit } \vec{r}_{\text{sum}_t} = s_{n_t} \cdot e^{j2\pi \frac{7^2 n_t}{84}}, n_t \in M_t \quad (14)$$

5

Aus dem Terzkreis-Summenvektor wiederum lässt sich die
Tonart bzw. die Vorzeichenzahl v und die Art der Vorzeichen
ableiten. Der Terzkreis-Summenvektor weist einen Winkel α
auf, der die Beziehung

10

$$\alpha = \frac{2\pi n_{h_{\text{sum}}}}{84} \quad (15a)$$

erfüllt, wobei $n_{h_{\text{sum}}}$ einen „erweiterter Index“ des zu dem
Summenvektor \vec{r}_{sum} darstellt. Es folgt:

15

$$n_{h_{\text{sum}}} = \frac{84\alpha}{2\pi} \quad (15b)$$

so dass für die Zahl der Vorzeichen v gilt:

20

$$v = \frac{n_{h_{\text{sum}}}}{7} = \frac{84\alpha}{14\pi} = \alpha \frac{6}{\pi} \quad (15c)$$

Interessant ist auch, dass der zu einer Tonigkeit t gehö-
rende Terzkreis-Summenvektor \vec{r}_{sum} identisch zu dem Symmet-
rievektor der durch die Tonigkeit repräsentierten Tonart
ist. So gilt beispielsweise für die Tonigkeit D:

25

$$\vec{r}_{\text{sum}}(t = D) = \vec{h}_0 \quad (15d)$$

30 *Symmetriekreis*

Die mathematische Beschreibung des Symmetriekreises erfolgt ähnlich zur Beschreibung des Terzkreises. Die nachfolgenden Ausführungen gelten nur für vorzeichenlose diatonische Tonarten wie C-Dur oder a-Moll. Um die folgenden Ausführungen auch für transponierte Versionen darstellen zu können, muss ein sogenannter Transpositionsfaktor τ eingeführt werden, um den Fakt zu erfassen, dass der Symmetriekreis auf eine bestimmte diatonische Tonart bezogen ist. Der Symmetriekreis bzw. der Kadenzkreis des Symmetriemodells enthält sieben Realtöne r_m im Abstand von kleinen und großen Terzen. Diese sind auf einem Halbtonraster bestehend aus 24 Hilfstönen h platziert. Jeder der Hilfstöne h besitzt ebenfalls einen Grundindex m_h und einen erweiterten Index n_h , mit Hilfe dessen ein Hilfston h auf dem Terzkreis eindeutig identifiziert werden kann. Es gilt:

$$-12 \leq m_h < +12 \quad (16)$$

$$-\infty < n_h < +\infty \quad (17)$$

20

Die Indizierung der Hilfstöne h im Terzkreis ist so gewählt, dass Hilfstöne h mit negativem Index, genauer gesagt mit negativem Grundindex m_h , zum Subdominantbereich gehören und Hilfstöne h mit positivem Index bzw. Grundindex m_h zum Dominantbereich. Ein betragsmäßig sehr kleiner Indexbetrag $|m_h|$, zeigt an, dass der Realton r nahe am Tonikabereich bzw. dem tonalen Zentrum ist. Der Betrag des Index $|m_h|$ ist ein Maß dafür, wie weit ein Ton vom Tonikabereich bzw. dem tonalen Zentrum entfernt ist. Damit lassen sich der Grundindex m_h und der erweiterter Index n_h nach folgender Vorschrift ineinander umrechnen:

30

$$n_h = f_5(m_h) = m_h + 24 \cdot k, \quad k \in \mathbf{Z}, \tau \in \mathbf{Z} \quad (18)$$

35

$$m_h = f_6(n_h) = \left\{ 24 + \left[\left(n_h + \frac{24}{2} \right) \bmod 24 \right] \right\} \bmod 24 - \frac{24}{2} \quad (19)$$

Die Zuordnung einer Tonigkeit t mit einem erweiterten Index n_t zu einem Hilfston h mit einem erweiterten Index n_h erfolgt in gleicher Art und Weise wie beim Terzkreis: Durch die gewählte Indizierung der Tonigkeiten nach Tabelle 1 ist
 5 keine Umrechnung der Indizes der Tonigkeiten n_t in die Indizes der Hilfstöne des Symmetriekreises n_h erforderlich. Es gilt:

$$n_h = n_t \quad (20)$$

10

Die Realtöne des Symmetriekreises r sind eine Untermenge der Hilfstöne. Die Realtöne des Symmetriekreises können in drei Gruppen eingeteilt werden: In Realtöne, die den Grundton eines

15

1. Dur-Akkords bilden (r_{n+}),
2. eines Moll-Akkords (r_{n-}) oder

20

3. eines verminderten Akkords (r_{n0})

bilden. Die Menge der Realtöne M_r ist folgendermaßen aufgebaut:

$$M_r := M_{r\pm} \cup M_{r0}$$

25

$$M_{r\pm} := \{h_n, n = 7k \pm 2, |k| \leq 1\} \quad (21)$$

$$M_{r0} := \{h_{12}\}$$

30

Jeder Hilfston h mit dem erweiterten Index n_h lässt sich auch als Vektor \bar{h}_{n_h} darstellen. Auch dieser Vektor \bar{h}_{n_h} weist einen Winkel α auf, der dabei so gewählt wird, dass der Symmetrieton der durch den Symmetriekreis repräsentierten Tonart h_0 den Winkel 0 erhält. Der Vektor \bar{h}_0 wird deshalb auch als Nullvektor bezeichnet. Auch in diesem Fall wird wiederum der Betrag bzw. die Länge des Vektors als

Energie s bezeichnet. Mit anderen Worten wird die Energie des Tones mit dem Formelzeichen s umschrieben:

$$\vec{h}_{nh} = s \cdot e^{j\alpha} = s \cdot e^{j2\pi \frac{nh}{24}} \quad (22)$$

5

Eine Menge gegebener Tonigkeiten M_t kann im Symmetriekreis ebenfalls durch einen Summenvektor \vec{r}_{sum} beschrieben werden. Der Symmetriekreis enthält nicht alle Töne, sondern nur die Töne der gewählten diatonischen Tonart. Möchte man eine Menge gegebener Tonigkeiten M_t auf dem Terzkreis repräsentieren, so muss man zunächst die Schnittmenge $M_t \cap M_r$ aus den gegebenen Tonigkeiten M_t und den auf dem Symmetriekreis vorhandenen Realtönen bzw. der Menge der auf dem Symmetriekreis vorhandenen Realtönen M_r bilden. Für diese Schnittmenge kann man anschließend den Summenvektor \vec{r}_{sum} bilden.

10
15

$$\vec{r}_{\text{sum}} = f_7(M_t) = \sum \vec{r}_n \text{ mit } \vec{r}_n = s_n \cdot e^{j2\pi \frac{n}{24}}, n \in M_t \cap M_r \quad (23)$$

20 **Symmetriemodellbasierte und terzkreisbasierte Harmonieanalyse**

Auf Basis der bisher gelegten Grundlagen, also der Synthese und Analyse sinnvoll klingender Tonkombinationen, der Einführung in verschiedene Tonräume (z. B. Symmetriemodell und Terzkreis) und der mathematischen Grundlagen zur Beschreibung der Tonräume und der daraus folgenden Summenvektoren, werden in den folgenden Abschnitten mögliche Einsatzszenarien für den Summenvektor beschrieben. Hierbei liegt das Hauptaugenmerk auf den Möglichkeiten, die der Summenvektor, wie er von der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums in Form des Analysesignals geliefert wird, bietet.

35 **Terzkreisbasierte Harmonieanalyse**

Mit Hilfe einer terzkreisbasierten Tonartanalyse, wie sie im folgenden Abschnitt näher erläutert wird, können wertvolle Informationen über inhaltliche Merkmale eines Audio- bzw. Tonsignals erhalten werden. Genauer gesagt kann nach Gleichung 13 eine beliebige Menge von Tonigkeiten in Form eines Summenvektors \vec{r}_{sum} zusammengefasst und beschrieben werden. Dieser liefert wertvolle Aufschlüsse über inhaltliche Merkmale des zugrundeliegenden Audio- bzw. Tonsignals.

Wie bereits im Zusammenhang mit Gleichung 15a - 15c erläutert wurde, zeigt der Winkel α des Summenvektors \vec{r}_{sum} an, in welcher Tonart sich ein Musikstück zu einem bestimmten Zeitpunkt befindet. So besitzt beispielsweise der Summenvektor für die Tonigkeiten der C-Dur-Tonleiter den Winkel $\alpha = 0$. Dies entspricht genau dem Punkt auf dem Terzkreis bzw. ist genau an der Stelle, an der sich der Symmetrieton und damit die Repräsentation der Tonart C-Dur befindet.

Der Betrag des Summenvektors $|\vec{r}_{\text{sum}}|$ ist darüber hinaus ein Schätzmaß, welches beschreibt, wie sicher es ist, dass eine bestimmte diatonische Tonart vorliegt bzw. wie definiert der tonale Kontext ist. Ist der Betrag sehr groß, dann ist es ziemlich sicher, dass die Tonigkeiten zu einer bestimmten Tonart gehören. Mit anderen Worten wächst mit steigendem Betrag des Summenvektors $|\vec{r}_{\text{sum}}|$ die Wahrscheinlichkeit, dass die Tonigkeiten zu einer bestimmten Tonart gehören. Ist der Betrag hingegen sehr klein, dann liegen entweder nur sehr wenige unterschiedliche Tonigkeiten vor, so dass die Tonart nicht sicher bestimmt werden kann, oder die Tonigkeiten gehören zu ganz unterschiedlichen Tonarten.

Fig. 15 zeigt ein Beispiel für die Definiertheit des tonalen Kontexts bei verschiedenen Tonkombinationen. Genauer gesagt zeigt Fig. 15 einen Verlauf 440 des Betrages des Summenvektors für verschiedene auf der Abszisse eingetragene Tonkombinationen bzw. Tonigkeitskombinationen. Der Betrag des Summenvektors $|\vec{r}_{\text{sum}}|$ wird so lange größer bzw. verharret im Wesentlichen bei seiner Länge, solange der

Menge von Tonigkeiten tonarteigene Tonigkeiten hinzugefügt werden. So wächst der Betrag des Summenvektors ausgehend von der einzelnen Tonigkeit C durch Hinzunehmen weiterer C-Dur-tonleitereigenen Tonigkeiten, bis dieser einen maximalen Wert bei einer Tonigkeitskombination CDEFGA erreicht. Ein Hinzunehmen der ebenfalls C-Dur-eigenen Tonigkeit B bzw. H resultiert nur in einer geringfügigen Abnahme. Das Hinzunehmen weiterer, tonartfremder Tonigkeiten bewirkt jedoch eine deutliche Abnahme des Betrages des Summenvektors. Der Betrag des Summenvektors nimmt also wieder ab, sobald tonartfremde Tonigkeiten hinzukommen. Das heißt, je größer der Betrag des Summenvektors ist, mit desto höherer Wahrscheinlichkeit kann man davon ausgehen, dass eine bestimmte Tonart vorliegt. Der Betrag des Summenvektors ist damit ein Maß für die Definiertheit des tonalen Kontextes.

Der Summenvektor liefert darüber hinaus Informationen über Tonartwechsel bzw. Modulationen: Eine Tonart nimmt auf dem Terzkreis einen Bereich von 24 Halbtonschritten ein. Dies entspricht einem Winkel von $4/7 \pi$. Bleibt ein Musikstück in den Grenzen einer diatonischen Tonart, so bewegt sich der Summenvektor \vec{r}_{sum} in einem Kreissegment, dass diesen Öffnungswinkel nicht überschreitet. Verlässt der Summenvektor \vec{r}_{sum} dagegen ein solches Kreissegment, dann liegt wahrscheinlich ein Tonartwechsel vor.

Fig. 16 zeigt so einen Verlauf des Winkels des Terzkreis-Summenvektors \vec{r}_{sum} bei einem Stück von Bach. Genauer gesagt zeigt Fig. 16 einen Verlauf 450 des Winkels des Summenvektors \vec{r}_{sum} für die ersten zehn Sekunden von Bachs Brandenburgischem Konzert Nr. 1, Allegro. Akkordwechsel und Tonartwechsel sind anhand größerer Winkeländerungen zu erkennen. Ein Beispiel hierfür stellt der Zeitpunkt, der mit einer gestrichelten Linien 455 gekennzeichnet ist, dar. Die durch einen Winkel repräsentierte Tonart kann mit Hilfe von den Gleichungen 15a - 15c ermittelt werden.

Der Summenvektor \vec{r}_{sum} ermöglicht es darüber hinaus, Analysefehler bei der Harmonieanalyse und der Tonartanalyse zu korrigieren. Modulationen in benachbarte Tonarten sind wahrscheinlicher als Modulationen in nicht benachbarte
5 Tonarten. Seltene kurzzeitige Ausreißer des Winkels des Terzkreis-Summenvektors zeigen an, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Analysefehler vorliegen muss.

Weiterhin ist es möglich, mit Hilfe des Summenvektors \vec{r}_{sum}
10 zwischen tonaler und nichttonaler Musik zu unterscheiden. Bei nichttonaler Musik ist der Betrag des Summenvektors sehr klein. Bei tonaler Musik dagegen wird er als Funktion der Zeit, wobei über die gesamte bereits verstrichene Spieldauer des Musikstücks integriert bzw. aufsummiert
15 wird, immer länger.

Wird darüber hinaus das der Analyse zugrundeliegende Audiosignal zeitlich solange aufintegriert, bis der Betrag des sich ergebenden Summenvektors ein Maximum aufweist, so
20 lässt dies auf einen Tonartwechsel schließen. Hierbei kann es notwendig sein, gegebenenfalls ein Kriterium an das Vorliegen eines Maximums „weich“ zu gestalten. Mit anderen Worten kann es hierbei durchaus zu kurzfristigen Schwankungen des Betrages bzw. der Länge des Summenvektors kommen,
25 die auf statistische Fluktuationen der auftretenden Halbtöne zurückzuführen sind, ohne dass ein Tonartwechsel vorgelegen hat. Entsprechend kann es ratsam sein, im Falle eines Detektionssystems, wie es Fig. 3E zeigt, im Rahmen der Auswertungsvorrichtung 250 ein entsprechendes korrigierendes Element etwa in Form eines über einen Zeitraum mitteln-
30 den Filterelements einzubringen.

Symmetriemodellbasierte Harmonieanalyse

35

Wie im letzten Abschnitt erläutert wurde, wird zur Analyse tonartübergreifender Zusammenhänge der Terzkreis bzw. die terzkreisbasierte Harmonieanalyse verwendet. Mit Hilfe des

Terzkreises kann so beispielsweise die zu einem Zeitpunkt verwendete Tonart aus einem Tonsignal bzw. Audiosignal bzw. Audiodaten bestimmt werden. Ist die Tonart bestimmt bzw. gegeben, so kann das Symmetriemodell bestimmt bzw. eingesetzt werden. Dieses wiederum eignet sich sehr gut, um Zusammenhänge innerhalb einer Tonart zu bestimmen. Auch im Rahmen der symmetriemodellbasierten Harmonieanalyse wird der in dem Abschnitt über die mathematische Modellbeschreibung des Symmetriemodells eingeführte Summenvektor \vec{r}_{sum} verwendet.

Aus dem Winkel des Summenvektors \vec{r}_{sum} lässt sich der momentane Akkord abschätzen, da dieser auf den geometrischen Schwerpunkt bzw. das tonale Zentrum der zu einem Zeitpunkt gespielten Tonigkeiten zeigt. Darüber hinaus können aus dem Winkel des Summenvektors \vec{r}_{sum} Akkordwechsel bestimmt bzw. analysiert werden. Eine plötzliche Änderung des Winkels des Summenvektors lässt auf einen Akkordwechsel schließen.

Der Winkel des Symmetriekreis-Summenvektors gibt weiterhin Aufschluss, ob eine Tonkombination tendenziell dem Subdominantbereich, dem Tonikabereich oder dem Dominantbereich zugeordnet werden kann. Fig. 17 zeigt so einen Verlauf des Winkels des Symmetriekreis-Summenvektors (im Bogenmaß) für verschiedene Akkorde. Fig. 17 zeigt, dass eine Tonkombination dem Subdominantbereich zuzuordnen ist, wenn der Winkel ein negatives Vorzeichen besitzt. Besitzt der Winkel dagegen ein positives Vorzeichen, so ist die Tonkombination dem Dominantbereich zuzuordnen. Je größer der Winkel der Tonkombination betragsmäßig ist, desto stärker ragt die Tonkombination in den entsprechenden Bereich hinein. Eine Ausnahme hiervon stellt der Dreiklang B-vermindert bzw. H-vermindert dar, dem in Fig. 17 die Winkel $\pm \pi$ zugeordnet sind. Hieran spiegelt sich der besondere Charakter des Dreiklangs B-vermindert bzw. H-vermindert wider, der den Subdominantbereich und den Dominantbereich miteinander verbindet, wie er in oben zitierter Diplomarbeit von David Gatzsche dargelegt wird. Ist der Betrag des Winkels hingen-

gen sehr klein, dann lässt dies darauf schließen, dass die Tonkombination dem Tonikabereich angehört. Darüber hinaus illustriert der Verlauf 465 aus Fig. 18 ebenfalls das Auflösungsbestreben verschiedener Akkorde in Bezug auf die Grundtonart C-Dur bzw. a-Moll.

Fig. 18 zeigt also den Winkel des Symmetriekreis-Summenvektors für unterschiedliche Dreiklänge, wobei dem Symmetriekreis die Tonart C-Dur bzw. a-Moll zugrundegelegt ist.

Aus dem Betrag des Symmetriekreis-Summenvektors $|\vec{r}_{\text{sum}}|$ lässt sich die wahrgenommene Konsonanz bzw. Dissonanz, also die Annehmlichkeit einer gegebenen Tonkombination von Tonigkeiten abschätzen. Je länger der Vektor ist, als desto angenehmer bzw. konsonanter wird die analysierte Tonkombination empfunden. Entsprechend wird eine Tonkombination als dissonanter bzw. unangenehmer empfunden, je kürzer der Symmetriemodell-Summenvektor ist. Mit anderen Worten, je kürzer der Vektor ist, desto dissonanter bzw. unangenehmer ist die Wahrnehmung der betreffenden Tonkombination.

Fig. 18 zeigt so einen Verlauf 470 des Betrages des Symmetriekreis-Summenvektors $|\vec{r}_{\text{sum}}|$ für verschiedene Intervalle, also für je zwei Tonigkeiten, die verschiedene Intervalle bzw. Tonintervalle zueinander aufweisen. Hierbei ist die Anordnung der Intervalle auf der Abszisse von Fig. 18 in abnehmender Konsonanz bzw. Annehmlichkeit der betreffenden Intervalle gewählt worden. Fig. 18 zeigt so, dass der Betrag des Symmetriekreis-Summenvektors mit abnehmender Konsonanz bzw. Annehmlichkeit stetig kleiner wird. Der Betrag des Winkels des Symmetriekreises-Summenvektors \vec{r}_{sum} kann also als ein Schätzmaß für ein Auflösungsbestreben einer bestimmten Tonkombination im Rahmen eines vorhandenen tonalen Kontexts (Tonart) interpretiert bzw. gesehen werden. Fig. 18 illustriert dies anhand des Verlaufs 470 des Betrages des Symmetriekreis-Summenvektors $|\vec{r}_{\text{sum}}|$ für unterschiedliche Tonintervalle. Mit anderen Worten, der Verlauf

470 illustriert so, dass der Betrag des Symmetriekreis-Summenvektors $|\vec{r}_{\text{sum}}|$ ausgehend von als konsonant bzw. angenehm empfundenen Intervallen zu weniger konsonant bzw. annehmlich empfundenen Intervallen der Betrag des Symmetriekreis-Summenvektors kontinuierlich abnimmt.

Fig. 19 zeigt einen Verlauf 480 des Betrages des Symmetriemodell-Summenvektors $|\vec{r}_{\text{sum}}|$ für verschiedene Intervalle, bei dem die Gesamtenergie auf 1 normiert ist. Hierbei liegt der Berechnung des Verlaufs 480, aber auch den in den Fig. 19 und 20 weiteren gezeigten Verläufen jeweils ein Vektor zugrunde, der die Energien der 12 Tonigkeiten bzw. der 12 Halbtöne unter Vernachlässigung der Oktavierung enthält. In diesem Zusammenhang wird unter einer Normierung auf die Energie 1 verstanden, dass jede der Halbtonenergien des Vektors mit einem Faktor derart multipliziert wird, dass die Summe der Energien aller Halbtöne aus dem Halbtonvektor, also die Summe der Komponenten des betreffenden Vektors, den Wert 1 ergibt. Ist beispielsweise der folgende Halbtonvektor gegeben,

D	Dis	E	F	Fis	G	Gis	A	Ais	B	C	Cis
0	0,2	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0

so ergibt die Summe alle Energien, also der Komponenten des Halbtonvektors, den Wert 0,5. Durch Multiplikation aller Komponenten des Halbtonvektors mit einem Faktor 2 (= 1/0,5) ergibt sich der folgende Halbtonvektor, dessen Energie auf den Wert 1 summiert ist.

D	Dis	E	F	Fis	G	Gis	A	Ais	B	C	Cis
0	0,4	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0

Die Summe aller Energien ergibt nun also den Wert 1.

Darüber hinaus zeigt Fig. 19 einen weiteren Verlauf 485 des Betrages des Symmetriemodell-Summenvektors bzw. des Symmetriekreis-Summenvektors für die gleichen Intervalle, wobei

die Gesamtenergie in diesem Fall nicht normiert ist. Auch in Fig. 19 ist die Anordnung der Intervalle auf der Abszisse so gewählt, dass diese in absteigender Reihenfolge der empfundenen Konsonanz bzw. Annehmlichkeit der betreffenden Intervalle angeordnet sind. Insbesondere der Verlauf 480 zeigt, dass der Betrag des Symmetriekreis-Summenvektors bzw. Symmetriemodell-Summenvektors eine Abschätzung bzw. ein Schätzmaß für die Konsonanz bzw. Annehmlichkeit verschiedener Intervalle darstellt, da dieser, wie der Verlauf 480 zeigt, mit abnehmender Konsonanz der betreffenden Intervalle einen monoton fallenden Verlauf zeigt. Der Verlauf 485 zeigt tendenziell den gleichen Effekt, wobei aufgrund der Tatsache, dass bei einem Primabstand nur eine einzelne Tonigkeit betroffen ist, der Betrag des Symmetriekreis-Summenvektors zwangsläufig kleiner ist als ein Betrag des Symmetriekreis-Summenvektors, dem zwei unterschiedliche Tonigkeiten zugrunde liegen. Als Folge steigt der Verlauf 485 ausgehend von dem Primabstand als Intervalle zunächst an, bevor er einen zu dem Verlauf 480 ähnlichen weiteren Verlauf aufweist.

Ähnlich zu den in Fig. 19 gezeigten Verläufen 480, 485 zeigt auch Fig. 20 zwei Verläufe 490, 495 des Betrages des Symmetriemodell-Summenvektors für unterschiedliche, nahezu beliebige Tonkombinationen. Im Unterschied zu Fig. 19, in der nur jeweils Intervalle, also Tonkombination maximal zweier Tonigkeiten, gezeigt sind, sind in Fig. 20 auf der Abszisse verschiedene Akkordvarianten gemäß einer abnehmenden Konsonanz bzw. Annehmlichkeit beginnend mit einem Primabstand bis zu einem Erklängen aller Tonigkeiten dargestellt. Dem Verlauf 490 liegt ähnlich dem Verlauf 480 aus Fig. 19 eine Normierung der Gesamtenergie auf 1 zugrunde, während dem Verlauf 495, ähnlich wie dem Verlauf 485 aus Fig. 19, eine entsprechende Normierung der Gesamtenergie nicht zugrunde liegt.

Der Verlauf 490 zeigt mit abnehmender Konsonanz bzw. Annehmlichkeit der betreffenden Akkordvariante einen monoton

fallenden Verlauf des Betrages des Symmetriekreis-Summenvektors auf. Ausgehend von einem Wert 1 im Falle einer Prime fällt so der Verlauf 490 kontinuierlich auf einen Wert von etwa 0, wenn alle Tonigkeiten berücksichtigt werden. Dementsprechend verdeutlicht der Verlauf 490 die Eignung des Betrag des Symmetriekreis-Summenvektors als Schätzmaß für die Beurteilung der Konsonanz bzw. Annehmlichkeit verschiedener Tonkombinationen. Hierbei zeigt der Verlauf 490 klar, dass eine Tonkombination bzw. Tonigkeitskombination um so konsonanter bzw. annehmlicher empfunden bzw. wahrgenommen wird, je größer der Betrag des betreffenden Symmetriekreis-Summenvektors ist. Im Unterschied zu dem Verlauf 490 zeigt der Verlauf 495, ähnlich wie der Fig. 485 aus Fig. 19, ein etwas komplizierteres Verhalten, was darauf zurückzuführen ist, dass bei den verschiedenen Akkordvarianten eine unterschiedliche Anzahl von Tonigkeiten betroffen ist.

Die Fig. 19 und 20 zeigen darüber hinaus, dass aus dem Betrag des Summenvektors sich auch die harmonische Definiertheit des momentanen Akkordes ableiten lässt. Je größer der Betrag des Vektors ist, desto sicherer kann man davon ausgehen, dass ein harmonisch klingender Akkord im Tongemisch vorliegt.

Fig. 21 zeigt ein Ergebnis einer Bewertung von simultanen Intervallen hinsichtlich ihrer Konsonanz nach einer psychometrischen Untersuchung von R. Plomb und W. Levelt, (R. Plomb und W. Levelt, Tonal Consonance and Critical Bandwidth, 3. Accoust. Soc. Am. **38**, 548 (1965)), die von Guerino Mazzola in „Die Geometrie der Töne - Elemente der mathematischen Musiktheorie“, Birkhäuser-Verlag, 1990, zitiert wird. Genauer gesagt zeigt Fig. 21 einen Verlauf 500, der einen Prozentsatz der Versuchspersonen bezeichnet, die ein Intervall als konsonant beurteilten in Abhängigkeit von einer Frequenz eines oberen Tons im Rahmen der psychometrischen Untersuchung von Plomb und Levelt. Im Rahmen der psychometrischen Untersuchung von Plomb und Levelt wurde

hierbei den Versuchspersonen gleichzeitig neben dem oberen Ton, dessen Frequenz verändert wurde, auch ein zweiter, unterer Ton vorgespielt, dessen Frequenz konstant bei 400 Hz gehalten wurde.

5

Neben dem Verlauf 500 sind in Fig. 21 auch sechs Frequenzen des oberen Tons durch vertikale, gestrichelte Linien 505a - 505f markiert, die bezogen auf die konstante Frequenz des unteren Tons von 400 Hz den Intervallen einer kleinen Sekunde (505a), einer großen Sekunde (505b), einer kleinen Terz (505c), einer großen Terz (505d), einer Quarte (505e) und einer Quinte (505f) entsprechen. Der Verlauf 500 zeigt mit steigender Frequenz des oberen Tons ausgehend von der Frequenz des unteren Tons, also einem Primabstand, einen signifikanten Rückgang, der im Bereich der vertikalen Markierungen 505a und 505b, also im Bereich der Intervalle einer kleinen und einer großen Sekunde, liegt, ein Minimum von unter 10 % annimmt. Anschließend steigt der Verlauf 500 wiederum an, bis er im Bereich der Markierung 505d, also im Bereich der großen Terz, ein Maximum erreicht. Mit weiter wachsender Frequenz zeigt der Verlauf 500 einen sanft abfallenden weiteren Verlauf.

In Fig. 21 sind außerdem für die durch die sechs vertikalen Linien markierten Frequenzen bzw. Intervalle 505a - 505f jeweils die Längen 510a - 510f des Symmetriekreis-Summenvektors bzw. des Symmetriemodell-Summenvektors für die entsprechenden Intervalle eingezeichnet. Es zeigt sich, dass die Längen des Symmetriemodell-Summenvektors entsprechenden Markierungen 510a - 510f den Verlauf des Verlaufs 500 gut nachbilden. Es zeichnet sich also ab, dass das Symmetriemodell, und insbesondere die Analyse auf Basis des Symmetriemodells, bestehende Untersuchungen zum Thema Konsonanz und Dissonanz bestätigt bzw. mit diesem in Einklang steht, was die Eignung des Symmetriemodells vor Analyse von Audiosignalen, Audiodaten und Toninformationen nachweist. Dies zeigt, dass eine Analyse auf Basis des Symmetriemodells mit Hilfe des Summenvektors wichtige

Informationen über eine Folge von Tönen bzw. Tonkombinationen oder auch Musikstücken liefert.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums stellt weiteren Komponenten so ein auf dem Summenvektor basierendes Analysesignal zur Verfügung. Wie die im Folgenden erläuterten Ausführungsbeispiele zeigen werden, kann das von der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums bereitgestellte Analysesignal einer Anzeigevorrichtung 195 zugeführt werden, die basierend auf dem Analysesignal die Informationen, die der Summenvektor umfasst, graphisch, in Textform, mechanisch oder auf andere Art und Weise darstellt. Darüber hinaus kann das Analysesignal ebenso einer automatischen Begleitvorrichtung als Eingangssignal zur Verfügung gestellt werden, die basierend auf dem Analysesignal eine zu den Audiodaten passende Begleitung erzeugt.

20 Symmetriemodellbasierte und terzkreisbasierte Musikinstrumente

In den folgenden Abschnitten werden weitere Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums beschrieben. Die im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Erzeugen eines Notensignals umfassen unter anderem symmetriemodellbasierte und terzkreisbasierte Musikinstrumente, in die eine erfindungsgemäße Vorrichtung integriert, mit einer solchen gekoppelt oder koppelbar sind.

Die bisher gelegten und in den vorangegangenen Abschnitten erläuterten Grundlagen stellen hierfür die Ausgangspunkte dar, um neuartige Musikinstrumente in Form von Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung zu beschreiben. Mit anderen Worten sind die gelegten Grundlagen hervorragend geeignet, um die im weiteren Verlauf beschriebenen, neuartigen Musikinstrumente entwickeln zu können.

Zunächst wird in den folgenden Abschnitten in Form eines Blockschaltbildes ein prinzipieller Aufbau für ein Musikinstrument vorgestellt, das auf Basis der bisher vorgestellten Grundlagen arbeitet. Dieses Instrumentenprinzip, das durch das Blockschaltbild realisiert wird, setzt die in den einführenden Abschnitten zu den Themen Synthese sinnvoll klingender Tonkombinationen und Analyse vorhandener Tonkombinationen zusammengefasste Konzepte um. Die wesentlichen Merkmale bzw. Eigenschaften der erfindungsgemäßen Musikinstrumente werden im Folgenden zusammengefasst.

Das Konzept für Musikinstrumente (Instrumentenkonzept) basiert auf einem logischen Grundsystem, das die geometrische Positionierung von Basistönen in einem Tonraum erlaubt. Optional erlaubt das Instrumentenkonzept darüber hinaus die Definition einer räumlichen Tonverteilungsfunktion bzw. die Definition einer räumlichen Einzeltonverteilungsfunktion. Als weitere Option kann eine Selektionsgewichtungsfunktion im Rahmen des erfindungsgemäßen Instrumentenkonzepts eingeführt werden. Weiterhin bietet das Instrument eine Bedieneinrichtung bzw. eine Benutzerschnittstelle an, die es ermöglicht, einen Eingabewinkel oder einen Eingabewinkelbereich bzw. einen Raumausschnitt des logischen Tonraums in Form eines Eingabesignals zu definieren bzw. zu selektieren. Die Auswahl des Raumausschnittes kann dann optional mittelbar einem Klangerzeuger zugeführt werden.

Die Anordnung der Basistöne bzw. der Tonigkeiten im Tonraum folgt einer Anordnung mit kleinsten Tonabständen, die einer großen oder einer kleinen Terz entsprechen. Als besonders sinnvoll haben sich in diesem Zusammenhang das Folgen der Vorgaben des Terzkreises und/oder des Symmetriemodells bzw. des Symmetriekreises bzw. des Kadenzkreises gezeigt. Hierdurch ist es möglich, mit einer extrem geringen Anzahl an Basistönen und einer daraus folgenden Anzahl an Bedienelementen bzw. Eingabeeinrichtungen sinnvolle Tonkombinationen

zu erzeugen. Dieses Instrumentenkonzept ist deshalb insbesondere sehr gut für den pädagogischen Bereich geeignet. Darüber hinaus ist es aber auch geeignet, um sehr schnell und effizient Notensignale zu erzeugen, die über einen
5 angeschlossenen Klangerzeuger zum Erzeugen harmonisch bzw. konsonant klingender Begleitungen oder Improvisationen herangezogen werden können. Diese sehr schnelle und sehr einfache Eingabe zusammen mit der pädagogischen Eignung des Instrumentenkonzepts ermöglicht es so, Menschen mit einer
10 geringen musikalischen Vorbildung spielerisch an die Musik heranzuführen.

Dieses Instrumentenkonzept kann so beispielsweise das stufenlose Überblenden von Klangkombinationen in andere
15 Klangkombinationen ermöglichen, ohne dass ungewollte Dissonanzen entstehen. Dies erfolgt im Wesentlichen auf Basis der geometrischen Benachbarung bzw. Anordnung sinnvoller Basistöne und der Eingabe eines Benutzers in Form eines Eingabewinkels oder eines Eingabewinkelbereichs. Optional
20 kann hierbei durch Einführen der räumlichen Verteilungsfunktion bzw. der räumlichen Einzeltonverteilungsfunktion, die einzelnen Basistönen zugeordnet ist, sowie der optionalen Möglichkeit, den selektierten Ausschnitt im Tonraum stufenlos in seiner Position, Ausdehnung und räumlichen
25 Gewichtung verändern zu können, das Instrumentenkonzept weiter verfeinert werden.

Das Instrumentenkonzept sieht optional ein Analyseteil vor, der in der Lage ist, Audioinformationen, Audiodaten und
30 Toninformationen anderer Instrumente zu analysieren und in den eigenen Tonraum zu mappen bzw. abzubilden. Die aktiven Töne anderer Instrumente können dann auf einer Anzeigevorrichtung 195 markiert bzw. hervorgehoben werden. Durch die geometrische Anordnung der Ausgabefeldradialrichtungen bzw.
35 der Ausgabebereiche zusammenhängender Basistöne im Tonraum und auf der Bedienoberfläche des Instrumentes ist es mit einem Mindestmaß an musikalischem Verständnis möglich,

passende Begleitmusik zu einem gegebenen Tonsignal zu erzeugen.

Fig. 22 zeigt ein Blockschaltbild eines solchen Musikinstruments bzw. Symmetriekreisinstruments 600 als System. Genauer gesagt weist das Musikinstrument 600 eine Anzeigevorrichtung 610 auf, bei der es sich um eine Vorrichtung zur Ausgabe von einem eine Tonigkeit anzeigenden Ausgangssignal handelt. Darüber hinaus weist das Musikinstrument 600 eine in Fig. 22 auch als Basistonauswahl bezeichnete Bedienvorrichtung 620 als Vorrichtung zum Erzeugen eines Notensignals auf eine manuelle Eingabe hin auf. Die Bedienvorrichtung 620 ist Teil eines Synthesezweigs 630, der außer der Bedienvorrichtung 620 einen Klangerzeuger 640 zur Synthese von Tönen (Tonsynthese) umfasst. Die Bedienvorrichtung 620 ist hierbei sowohl mit der Anzeigevorrichtung 610 als auch dem Klangerzeuger 640 gekoppelt. Die Bedienvorrichtung 620 umfasst eine Bedieneinrichtung, um es einem Benutzer zu ermöglichen, einen Eingabewinkel oder einen Eingabewinkelbereich zu definieren. Darüber hinaus kann die Bedienvorrichtung 620 der Anzeigevorrichtung 610 optional ein entsprechendes Signal übermitteln, so dass die Anzeigevorrichtung 610 auf dem Ausgabefeld den vom Benutzer definierten Eingabewinkel oder Eingabewinkelbereich darstellen kann. Alternativ oder ergänzend kann die Bedienvorrichtung 620 selbstverständlich der Anzeigevorrichtung 610 auch die erzeugten Notensignale zur Verfügung stellen, so dass die Anzeigevorrichtung die den Notensignalen entsprechenden Tönen bzw. Tonigkeiten auf dem Ausgabefeld darstellen kann. Darüber hinaus ist die Bedienvorrichtung 620 mit einem optionalen Speicher (Datenrepository) 650 zur Speicherung einer Basistonverteilung gekoppelt. Hierdurch ist es der Bedienvorrichtung 620 möglich, auf die in dem Speicher 650 abgelegte Basistonverteilung zuzugreifen. Die Basistonverteilung kann in dem Speicher 650 beispielsweise als Zuordnungsfunktion abgelegt sein, die jedem Winkel keine, eine oder mehrere Tonigkeiten zuordnen kann. Der Klangerzeuger 640 ist außerdem mit einem Ausgang des Musikinstruments

600, beispielsweise einem Lautsprecher oder einem Anschluss, über den Tonsignale übertragen werden können, gekoppelt. Hierbei kann es sich beispielsweise um einen Line-Out-Anschluss, einen Midi-Anschluss (Midi = musical instrument digital interface = digitale Schnittstelle für Musikinstrumente), Anschlüsse für digitale Tonsignale, andere Anschlüsse oder auch einen Lautsprecher oder ein anderes Sound-System handeln.

10 Neben dem Synthesezweig 630 weist das Musikinstrument 600 auch eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums als einen Analysezweig 660 auf. Dieser umfasst eine Basistonanalysevorrichtung bzw. Halbtonanalysevorrichtung 670 und eine Interpretationsvorrichtung bzw. Vektorbe-
15 rechnungseinrichtung 680, die miteinander gekoppelt sind. Darüber hinaus empfängt die Basistonanalysevorrichtung 670 über einen Eingang ein Tonsignal als Audiodatum, die jedem Winkel keine, eine oder mehrere Tonigkeiten zuordnen kann. Die Interpretationsvorrichtung 680 ist mit der Anzeigevor-
20 richtung 610 gekoppelt und kann über eine entsprechende Kopplung auch auf den Speicher 650 und die in dem Speicher abgelegte Basistonverteilung zugreifen. Diese Kopplung, also die Kopplung der Interpretationsvorrichtung 680 und des Speichers 650, ist optional. Ebenso ist die Kopplung
25 zwischen der Bedienvorrichtung 620 und dem Speicher 650 optional. Darüber hinaus kann der Speicher 650 optional auch so mit der Anzeigevorrichtung 610 verbunden sein, dass diese ebenfalls auf die in dem Speicher 650 abgelegte Basistonverteilung zugreifen kann.

30 Neben den bereits beschriebenen Verbindungen des Speichers 650 mit der Interpretationsvorrichtung 680, der Anzeigevorrichtung 610 und der Bedienvorrichtung 620 kann dieser optional mit einer Basistondelineations-eingabevorrichtung
35 690 verbunden werden, so dass ein Benutzer über die Basistondelineationsvorrichtung 690 die Basistonverteilung in dem Speicher 650 beeinflussen, verändern oder neu programmieren kann. Die Anzeigevorrichtung 610, die Bedienvorrichtung 620

und die Basistonddefinitionseingabevorrichtung 690 stellen somit Benutzerschnittstellen dar. Die Basistonanalysevorrichtung 670, die Interpretationsvorrichtung 680 und der Klangerzeuger 640 stellen somit Verarbeitungsböcke dar.

5

Die Basistonanalysevorrichtung 670 umfasst im Fall des in Fig. 22 dargestellten Musikinstruments 600 zwei Einrichtungen, die in Fig. 22 nicht dargestellt sind und innerhalb der Basistonanalysevorrichtung 670 miteinander verbunden sind. Hierbei handelt es sich im Einzelnen um eine Halbtonanalyseeinrichtung, die die der Basistonanalysevorrichtung 670 bereitgestellten Tonsignale bzw. Audiodaten bezüglich einer Lautstärkeinformationsverteilung über eine Menge von Halbtönen zu analysieren, und um eine Tonigkeitsanalyseeinrichtung, die basierend auf der Lautstärkeinformationsverteilung eine Tonigkeits-Lautstärkeinformationsverteilung über der Menge der Tonigkeiten aus der Lautstärkeinformationsverteilung der Halbtonanalyseeinrichtung bildet.

20 Für eine genaue Beschreibung der Funktionsweise des Analysezeugs 660, also für die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums, wird auf die Fig. 1 - 3 und die zugehörigen Passagen in der Beschreibung hiermit verwiesen.

25 Während heutige Synthesizer vor allem auf zwei Dinge spezialisiert sind, nämlich Amplitudenverläufe und Frequenzverläufe von Einzelton zu modellieren, und daher nur unzureichende Methoden bieten, um komplexe Harmonien zu erzeugen, ineinander zu überführen oder sonstig zu verarbeiten, schließt das in Fig. 22 gezeigte Musikinstrument 600 die genannten Lücken. Dem System bzw. Musikinstrument 600 liegt als Kern des Konzeptes die Basistonverteilung im Tonraum zugrunde, die durch die Zuordnungsfunktion definiert bzw. gegeben ist. Bei dem in Fig. 22 gezeigten Musikinstrument 30 600 kann die Basistonanordnung bzw. die Definition der Zuordnungsfunktion in dem Speicher 650 abgelegt sein oder werden. Diese ist entweder in Form des Terzkreises oder des Symmetriemodells fest vorgegeben oder kann über die Benut-

zerschnittstelle der Basistonddefinitionseingabevorrichtung 690 frei gestaltet werden. So ist es denkbar, beispielsweise über die Basistonddefinitionseingabevorrichtung 690 eine bestimmte Zuordnungsfunktion aus einer Mehrzahl von Zuordnungs-
5 nungsfunktionen auszuwählen, oder auch auf die konkrete Ausgestaltung der Zuordnungsfunktion direkten Einfluss zu nehmen. Aufgrund der in Fig. 2 gezeigten optionalen Kopplungen der Interpretationsvorrichtung 680, der Anzeigevorrichtung 610 und der Bedienvorrichtung 620 steht die
10 betreffende Basistonverteilung etwa in Form der Zuordnungsfunktion diesen drei Komponenten des Musikinstruments 600 zeitgleich zur Verfügung.

Wird dem Musikinstrument 600 über seinen Eingangsanschluss
15 ein Tonsignal zur Verfügung und damit der Basistonanalysevorrichtung 670 bereitgestellt, analysiert die Halbtonanalyseeinrichtung der Basistonanalysevorrichtung 670 zunächst bezüglich einer Lautstärkeinformationsverteilung über einer Menge von Halbtönen. Anschließend bestimmt die Tonigkeits-
20 analyseeinrichtung der Basistonanalysevorrichtung 670 auf Basis der Lautstärkeinformationsverteilung eine Tonigkeits-Lautstärkeinformationsverteilung über der Menge der Tonigkeiten. Diese Tonigkeits-Lautstärkeinformationsverteilung wird dann der Interpretationsvorrichtung 680, bei der es
25 sich um die Vektorberechnungseinrichtung handelt, die für jeden Halbton oder für jede Tonigkeit einen zweidimensionalen Zwischenvektor bestimmt, basierend auf den zweidimensionalen Zwischenvektoren einen Summenvektor berechnet, wobei die einzelnen Zwischenvektoren basierend auf der Lautstärke-
30 keinformationsverteilung oder der Tonigkeits-Lautstärkeinformationsverteilung bezüglich ihrer Länge gewichtet werden. Anschließend gibt die Interpretationsvorrichtung 680 ein Analysesignal an die Anzeigevorrichtung 610 aus, das auf dem Summenvektor basiert. Alternativ oder
35 ergänzend kann die Interpretationsvorrichtung 680 der Anzeigevorrichtung 610 ein Anzeigesignal zur Verfügung stellen, das Informationen bezüglich der Lautstärkeinforma-

tionsverteilung oder der Tonigkeits-
Lautstärkeinformationsverteilung aufweist.

Die Anzeigevorrichtung 610 kann dann auf Basis des Analyse-
5 signals und/oder des Anzeigesignals die dem eingehenden
Tonsignal entsprechenden Tonigkeiten auf dem Ausgabefeld
der Anzeigevorrichtung 610 durch Hervorheben von Ausgabe-
feldradialrichtungen oder durch Hervorheben von Ausgabebe-
reichen dem Benutzer mitteilen. Hierbei kann die Anzeige-
10 vorrichtung 610 die Darstellung auf dem Ausgabefeld basie-
rend auf der in dem Speicher 650 abgelegten Basistonvertei-
lung vornehmen.

Der Benutzer des Musikinstruments 600 kann dann über die
15 Bedienvorrichtung 620 einen Eingabewinkel oder einen Eingabewinkelbereich definieren, so dass die Bedienvorrichtung 620 mit Hilfe ihrer Steuereinrichtung hieraus und optional basierend auf der in dem Speicher 650 abgelegten Basistonverteilung in Form der Zuordnungsfunktion Notensignale erzeugt und dem Klangerzeuger 640 zur Verfügung stellt. Der
20 Klangerzeuger 640 erzeugt dann basierend auf den Notensignalen der Bedienvorrichtung 620 seinerseits Tonsignale, die an dem Ausgang des Musikinstruments 600 ausgegeben werden.

25 Mit anderen Worten stellt der optionale Speicher 650 mit der in ihm abgelegten Basistonverteilung und der Möglichkeit, über die Basistondefinitionseingabevorrichtung 690 diese zu verändern, zentrale Komponenten des erfindungsgemäßen Musikinstruments 600 dar. Ein weiterer wichtiger
30 Bestandteil ist die Anzeigevorrichtung 610. Diese stellt den Tonraum und die darin enthaltenen Basistöne dar, markiert ausgewählte oder analysierte Töne oder bildet auch die räumliche Tonverteilungsfunktion bzw. die räumliche Einzeltonverteilungsfunktion und/oder die Selektionsgewichtungsfunktion ab. Weiterhin sieht das Konzept des Musikin-
35 struments 600 den Analysezeitweig 660 und den Syntheseweig 630 vor. Der Analysezeitweig 660 ist in der Lage, die innerhalb von Tonsignalen (beispielsweise Audiosignale oder

Midi-Signale) transportierten Basistöne zu analysieren und entsprechend der Basistonverteilung zu interpretieren, im Tonraum zu markieren und über die Anzeigevorrichtung 610 anzuzeigen. Diese Funktionalität kann z. B. verwendet werden, damit ein Musiker B eine passende Begleitung zu einem von Musiker A gelieferten Audiosignal erzeugen kann. Neben dem Analysezweig 660 gibt es noch den Synthesezweig 630. Dieser enthält eine Schnittstelle zur Auswahl von Basistönen, nämlich die Bedienvorrichtung 620, die auch als Basistonauswahl in Fig. 22 bezeichnet ist. Die selektierten Töne werden an die Tonsynthese, also den Klangerzeuger 640, übertragen, welcher ein entsprechendes Tonsignal generiert. Bei dem Klangerzeuger 640 kann es sich um einen Midigenerator, um eine Begleitautomatik oder um einen Klangsynthesizer handeln. Das hier vorgestellte Klangsynthese- und Analysekonzept bietet viele interessante Möglichkeiten, welche noch in den nachstehenden Ausführungsbeispielen näher erläutert und beleuchtet werden.

Grundsätzlich ist es möglich, dass die Interpretationsvorrichtung 680, die Anzeigevorrichtung 610 und die Bedienvorrichtung 620 auf unterschiedliche Basistonverteilungen, die in dem Speicher 650 abgelegt sind, zurückgreift. So ist es beispielsweise denkbar, dass die Anzeigevorrichtung 610 eine Darstellung verwendet, die das Symmetriemodell bzw. den Kadenzkreis exakt nachbildet, dass also bezogen auf den Winkel der Abstand zweier benachbarter Tonigkeiten davon abhängt, ob der kleinste Tonabstand eine kleine Terz oder eine große Terz ist. Gleichzeitig kann die Bedienvorrichtung 620 auf Basis einer Zuordnungsfunktion operieren, bei der die sieben Tonigkeiten des Symmetriekreises bzw. des Kadenzkreises bezogen auf den Winkel äquidistant verteilt sind.

Fig. 22 zeigt also in Form eines Blockschaltbildes ein sehr allgemeines Prinzip eines technischen Systems zur Realisierung des Klangsynthesekonzepts und des erfindungsgemäßen Analysekonzepts.

In den folgenden Abschnitten wird die Selektion des aktiven Raumausschnitts durch den Benutzer, also die Definition des Eingabewinkels oder des Eingabewinkelbereichs näher betrachtet. In diesem Zusammenhang werden einige Ausführungsbeispiele der Bedieneinrichtung vorgestellt und näher erläutert. Hierbei erfolgen die nachfolgenden Erläuterungen anhand einer dem Symmetriemodell folgenden Basistonanordnung. Diese können jedoch ohne Einschränkung auch auf den Terzkreis oder eine andere Anordnung der Basistöne bzw. Tonigkeiten übertragen werden.

Hierbei wird der aktive Raumausschnitt im Symmetriemodell, im Terzkreis und anderen Anordnungen der Basistöne über einen einzelnen Eingabewinkel oder über ein Kreissegment definiert. Dies kann beispielsweise über einen Startwinkel und einen Öffnungswinkel und gegebenenfalls optional auch über einen Radius erfolgen. Der Begriff des „aktiven Raumausschnitts“ umfasst hierbei auch den Fall, dass der Öffnungswinkel des Kreissegments verschwindet bzw. einen Öffnungswinkel der Größe 0° aufweist, so dass der aktive Raumausschnitt auch nur aus einem einzelnen Eingabewinkel bestehen kann. In diesem Fall stimmen folglich der Startwinkel und der Eingabewinkel überein.

Fig. 23 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Darstellung auf einem Ausgabefeld einer Anzeigevorrichtung. Die in Fig. 23 gezeigte Darstellung basiert auf dem Symmetriemodell für die Tonarten C-Dur bzw. a-Moll. Fig. 23 zeigt ein selektiertes Kreissegment 700, das zwischen den Tönen bzw. Tonigkeiten e und G beginnt und zwischen den Tönen h und d endet. Das Kreissegment 700 ist hierbei über den Startwinkel α und den Öffnungswinkel β definiert. Optional ist es darüber hinaus möglich, das Kreissegment ebenfalls über einen Radius r näher zu spezifizieren. Im Fall des in Fig. 23 gezeigten Kreissegments 700 sind also die Töne G und h vollständig markiert und werden daher beispielsweise im Fall des Musikinstruments 600 aufgrund des Klangerzeugers

640 vollständig zu hören sein. Die Töne e und d sind zwar nicht durch das Kreissegment 700 abgedeckt, können jedoch je nach Aussehen ihrer räumlichen Einzeltonverteilungsfunktion bzw. der räumlichen Tonverteilungsfunktion mit einer
5 identischen Lautstärke, leiser oder überhaupt nicht zu hören sein. Fig. 23 illustriert also das neuartige Instrumentenkonzept, das die Auswahl des aktiven Tonraumausschnittes über die Definition eines Kreissegments durch einen Startwinkel, Öffnungswinkel und optional durch einen
10 Radius vorsieht. Dies wiederum ermöglicht es, auch mit sehr beschränkten Eingabemöglichkeiten sinnvolle harmonische Zusammenhänge zu definieren.

Fig. 24 zeigt verschiedene Möglichkeiten, mit Hilfe von
15 Hardwareelementen den Startwinkel α des selektierten Kreissegments des Symmetriemodells zu definieren. Fig. 24A zeigt hierbei eine spezielle Anordnung von sieben (diskreten) Tasten 710-C, 710-e, 710-G, 710-h, 710-d, 710-F und 710-a, die vereinfacht ausgedrückt den Tonigkeiten C, e, G, h0, d, F und a zugeordnet sind. Genauer gesagt sind die sieben
20 Tasten 710-C bis 710-a einer Mehrzahl von Winkeln zugeordnet, denen wiederum die entsprechenden Tonigkeiten zugeordnet sind. Die geometrische Anordnung der Tasten auf der Bedienoberfläche bzw. der Bedieneinrichtung erfolgt der
25 Anordnung der Basistöne im Tonraum entsprechend. Damit bilden die sieben Tasten 710-C bis 710-a die Zuordnungsfunktion der Tonart C-Dur bzw. a-Moll des Symmetriekreises räumlich nach. Eine genauere Beschreibung dieser speziellen geometrischen Anordnung von Tasten bzw. Eingabeeinrichtungen
30 wird weiter unten im Zusammenhang mit Fig. 27 näher erläutert.

Ist bereits eine fixe Tastenanordnung vorgegeben, kann eine sinnvolle Zuordnung der Basistöne zu einzelnen Tasten
35 erfolgen. Ein Beispiel hierfür ist in Fig. 24B anhand einer Zehnertastatur (Numpads) gegeben. In diesem Fall kann beispielsweise der Taste 720-C, der gewöhnlich die Ziffer 1 zugeordnet ist, ein Eingabewinkel zugeordnet werden, der

der Tonigkeit C entspricht. Entsprechend kann der Taste 720-e, der gewöhnlich die Ziffer 3 zugeordnet ist, ein Eingabewinkel zugeordnet werden, der über die Zuordnungsfunktion der Tonigkeit e entspricht. Entsprechendes gilt auch für die Tasten 720-G (Ziffer 6), 720-h (Ziffer 9), 720-d (Ziffer 8), 720-F (Ziffer 7) und 720-a (Ziffer 4). Durch die Einfachheit des Symmetriemodells ist es möglich, auch mit einer extrem geringen Anzahl von Tasten auszukommen, wie Fig. 24B zeigt.

10

Fig. 24C zeigt eine Alternative, bei der zum Teil mehr als eine Taste gedrückt werden muss. Im Vergleich zu der in Fig. 24B gezeigten Variante benötigt diese Variante eine noch geringere Anzahl von Tasten, nämlich beispielsweise die vier Cursortasten 730-1, 730-2, 730-3 und 730-4 einer gewöhnlichen PC-Tastatur. In diesem Fall kann beispielsweise durch Drücken der Taste 730-3 ein Eingabewinkel oder auch ein Startwinkel α definiert werden, der einer Tonigkeit d über die Zuordnungsfunktion zugeordnet ist. Werden die Cursortasten 730-1 und 730-4 beispielsweise gleichzeitig gedrückt, so kann dieser Tastenkombination ein Eingabewinkel oder Startwinkel α zugeordnet werden, der einer Tonigkeit C zugeordnet ist. Weitere Tastenkombinationen und die ihnen zugeordneten Tonigkeiten sind in Fig. 24C angegeben.

25

Auch mit Hilfe eines einfachen Drehreglers 740 kann der Startwinkel α bzw. der Eingabewinkel definiert werden, wie Fig. 24D zeigt. Die in Fig. 24 gezeigten Beispiele für die Auswahl des Startwinkels des aktiven Bereichs des Symmetriemodells können selbstverständlich auch auf andere Anordnungen der Tonigkeiten bzw. Basistöne im Tonraum übertragen werden. Fig. 24 zeigt also vier Ausführungsbeispiele, bei denen mit Hilfe von Hardwaretasten oder anderen Hardwareelementen der Startwinkel α oder der Eingabewinkel definiert werden können.

30

35

In diesem Zusammenhang ist es wichtig darauf hinzuweisen, dass es durchaus denkbar ist, das Musikinstrument 600 beispielsweise in einem Modus arbeiten zu lassen, dem das Symmetriemodell einer bestimmten Tonleiter zugrunde liegt, dass also beispielsweise die Anzeigevorrichtung 610 das betreffende Symmetriemodell optisch wiedergibt, während die Bedienvorrichtung 620 einen Drehregler wie den in Fig. 24D dargestellten umfasst, bei dem die Anordnung der die Tonigkeit anzeigenden Beschriftungen beispielsweise äquidistant bezogen auf den Winkelbereich des ganzen Winkels erfolgt.

Fig. 25 zeigt drei Ausführungsbeispiele, wie die Eingabe des Öffnungswinkels β erfolgen kann. Im Falle einer Tastenanordnung oder einer Schaltflächenanordnung, bei der jeder Taste oder Schaltfläche ein Winkel zugeordnet ist, dem wiederum eine Tonigkeit zugeordnet ist, kann der Öffnungswinkel β dadurch definiert werden, dass mehrere benachbarte Tasten oder Schaltflächen gedrückt werden. In diesem Falle ergibt sich der Startwinkel und der Öffnungswinkel jeweils aus den „äußeren“ gedrückten und benachbarten Tasten. Ein Beispiel hierfür ist in Fig. 25A dargestellt, das die spezielle Tastatur aus Fig. 24A zeigt. Bei dem in Fig. 25A gezeigten Beispiel sind die drei Tasten 710-C, 710-e und 710-G gedrückt, so dass sich der Startwinkel aus dem der Taste 710-C zugeordneten Winkel ergibt und der Öffnungswinkel sich aus der Differenz der den Tasten 710-G und 710-C zugeordneten Winkeln ergibt. Durch das Drücken mehrerer benachbarter Tontasten kann also der Öffnungswinkel hierbei schrittweise erhöht werden.

Fig. 25B zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel zur Eingabe des Öffnungswinkels β , die eine stufenlose Veränderung des Öffnungswinkels über einen Fader bzw. einen Schieberegler 750 ermöglicht. Hierdurch kann bei dem in Fig. 25B gezeigten Beispiel eine stufenlose Veränderung des Öffnungswinkels β erfolgen, die einer Änderung des Öffnungswinkels zwischen einem und fünf Tönen entspricht.

Fig. 25C zeigt eine weitere Ausführungsform einer Eingabe-
einrichtung zur Definition des Öffnungswinkels β . Fig. 25C
zeigt eine Anordnung vierer Tonzahltasten 760-1 bis 760-4,
mit deren Hilfe der Öffnungswinkel bzw. die Anzahl der
5 gleichzeitig zu spielenden Töne bzw. Tonigkeiten je nach
Ausführung auch fest eingestellt werden kann. Die Zahl der
Tonzahltasten 760-1 bis 760-4 kann hierbei variiert werden.
Im Fall des Symmetriemodells liegt diese typischerweise
zwischen 2 und 7, vorzugsweise zwischen 3 und 5. Im Fall
10 des Terzkreises sind auch mehr als 7 Tonzahltasten denkbar.
Somit zeigt Fig. 25 insgesamt mehrere Möglichkeiten zur
Definition des Öffnungswinkels des aktiven Kreissegments im
Symmetriemodell mit Hilfe von Hardwareelementen.

15 Eine kombinierte Eingabe von Startwinkel α und Öffnungswin-
kel β kann auch mit Hilfe eines Joysticks erfolgen. So kann
beispielsweise aus der Neigungsrichtung des Joysticks der
Startwinkel α und aus der Neigungsstärke der Öffnungswinkel
 β oder der Radius r des Kreissegmentes abgeleitet werden.
20 Statt der Neigungsachse des Joysticks kann auch der Nei-
gungswinkel und die Neigungsstärke des Kopfes verwendet
werden. Dies ist z. B. für Begleitinstrumente für Quer-
schnittsgelähmte interessant, wie dies im weiteren Verlauf
der vorliegenden Anmeldung noch näher ausgeführt wird.

25 Sehr komplexe Möglichkeiten zur Definition des aktiven
Kreissegmentes bieten bildschirmbasierte Eingabemethoden.
In diesem Fall kann das Symmetriemodell oder der Terzkreis
auf einem Bildschirm oder einem Touchscreen abgebildet
30 werden. Das aktive Kreissegment kann mit Hilfe einer Maus,
durch Berühren des Touchscreens oder einer anderen Art
einer berührungsempfindlichen Fläche ausgewählt werden.
Dabei kann auf Möglichkeiten wie Drag-and-Drop, Ziehen,
Klicken, Tippen oder andere Gesten zurückgegriffen werden.

35 Ein solches Anwendungs- und Ausführungsbeispiel stellt das
sogenannte HarmonyPad dar. Das HarmonyPad ist eine speziel-
le Bedieneinrichtung oder auch Instrument zum Erzeugen,

Verändern und Überblenden von Akkorden, auf dem der Symmetrievektor sehr vorteilhaft dargestellt werden kann. Die Oberfläche des HarmonyPads kann auch verwendet werden, um die in terzkreisbasierten und symmetriekreisbasierten Musikinstrumenten enthaltenen Synthesizer und Klangerzeuger zu programmieren und deren Bedienoberfläche zu konfigurieren. Genauer gesagt stellt das HarmonyPad somit ein System dar, das sowohl eine Vorrichtung zum Erzeugen eines Notensignals auf eine manuelle Eingabe hin wie auch eine Vorrichtung zur Ausgabe von einem eine Tonigkeit anzeigenden Ausgabesignal umfasst, das sehr vorteilhaft mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums gekoppelt werden kann.

Fig. 26 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Bedienoberfläche bzw. Benutzeroberfläche des HarmonyPads. Diese kann auf einem berührungsempfindlichen Bildschirm (Touchscreen) abgebildet werden und weist verschiedene Elemente auf, die im Folgenden erläutert werden.

20

Wie in der parallel zur vorliegenden Anmeldung eingereichten Anmeldung mit dem Titel „Vorrichtung und Verfahren zum Erzeugen eines Notensignals und Vorrichtung und Verfahren zur Ausgabe eines eine Tonigkeit anzeigenden Ausgabesignals“ erläutert wurde, weist das HarmonyPad ein Ausgabefeld und ein berührungsempfindliches Feld auf, die aufeinander so angeordnet sind, dass das berührungsempfindliche Feld zwischen einem Benutzer des HarmonyPads und dem Ausgabefeld angeordnet ist. Das berührungsempfindliche Feld ist hierbei transparent bzw. semi-transparent ausgeführt, so dass der Benutzer durch das berührungsempfindliche Feld hindurchschauen kann. Hierdurch kann der Benutzer „quasi direkt“ auf dem Bildschirm, genauer gesagt dem Ausgabefeld, eine Eingabe vollführen, die eine mit dem berührungsempfindlichen Feld gekoppelte Erfassungseinrichtung erfasst und an eine Eingabesteuereinrichtung weiterleitet.

Zunächst weist die mögliche Bedienoberfläche bzw. Oberfläche eine Harmoniefläche 800 auf, die einen Terzkreis 805 und das Symmetriemodell 810 umfasst. Das Symmetriemodell 810 ist hierbei konzentrisch in der Mitte des Terzkreises angeordnet bzw. abgebildet. Der Terzkreis 805 und das Symmetriemodell 810 weisen also einen gemeinsamen Mittelpunkt 812 auf. Der Mittelpunkt 812 stellt gleichzeitig eine Mitte des Ausgabefeldes und des berührungsempfindlichen Feldes dar. Ausgehend von diesem Mittelpunkt 812 können eine oder mehrere Ausgabefeldradialrichtungen hervorgehoben, hier also optisch hervorgehoben bzw. erleuchtet werden.

Rechts neben der Harmoniefläche 800 sind vier Eingabefelder bzw. Eingabemöglichkeiten (z. B. Schaltflächen) 815, 820, 825 und 830 untereinander angeordnet. Hierbei ermöglicht das Eingabefeld 815 ein Editieren, Ändern, Festlegen oder Definieren der räumlichen Einzeltonverteilungsfunktion und damit auch der räumlichen Tonverteilungsfunktion. Mit Hilfe der Schaltfläche 820 kann ein Benutzer des HarmonyPads eine Umkehrungsgewichtungsfunktion definieren, editieren oder beeinflussen, mit Hilfe der Schaltfläche 825 entsprechend die Selektionsverteilungsfunktion und mit Hilfe der Schaltfläche 830 den Öffnungswinkel β des aktiven Raumausschnitts bzw. der selektierten Fläche.

Die in Fig. 26 gezeigte Oberfläche des HarmonyPads ist, wie es bereits das erfindungsgemäße Musikinstrument 600 gezeigt hat, mit einem Klangerzeuger verbindbar, der die Benutzereingaben in hörbare Audiosignale umwandeln kann. Die folgenden Bedienbeispiele zeigen einige der Möglichkeiten, die das HarmonyPad bietet.

Auswahl der Tonart: Die aktuelle Tonart wird durch ein Berühren des Terzkreises 805 gewählt. In Fig. 26 ist C-Dur und a-Moll als aktuelle Tonart ausgewählt. Dies ist an dem erhellt dargestellten Bereich 835 des Terzkreises ersichtlich, der die Menge der diesen Tonarten zugeordneten Tonig-

keiten auf dem Terzkreis umfasst, wie dies bereits im Zusammenhang mit der Beschreibung des Terzkreises im Rahmen der Beschreibung der Positionierungsvarianten von Basistönen im Tonraum erläutert wurde. Um nun eine andere Tonart einzustellen, muss der Benutzer des HarmonyPads den Terzkreis 805 an einer entsprechenden Stelle berühren, bei der es sich beispielsweise um den Schwerpunkt bzw. das tonale Zentrum der zugehörigen Tonleiter handeln kann. Im Fall der Tonleitern C-Dur bzw. a-Moll würde es sich in diesem Fall also beispielsweise um einen Bereich 840 handeln, der bezogen auf die in Fig. 26 gezeigte Ausrichtung des HarmonyPads ausgehend von einem Zentrum des Terzkreises auf dem Terzkreis 805 direkt senkrecht oberhalb des Zentrums zwischen den eingetragenen Tonigkeiten C und e angeordnet ist. Der Terzkreis 805 „dreht sich“ dann so, dass die neu gewählte Tonart oben in dem erhellte dargestellten Bereich 835 erscheint. Genauer gesagt wird also die Anordnung bzw. die Zuordnung der Winkel zu den Tonigkeiten des Terzkreises auf dem Terzkreis 805 so angepasst, dass die Menge der Tonigkeiten der neu gewählten diatonischen Tonleiter in dem erhellte dargestellten Bereich 835 erscheint. Weiterhin wird die Bezeichnung der Basistöne im Symmetriemodell 810 dahingehend verändert bzw. umgeschaltet, dass nicht mehr die Töne der Tonart C-Dur, sondern die Töne der neu gewählten Tonart erscheinen.

Alternativ ist es beispielsweise auch möglich, dass der erhellte Bereich 835 entsprechend der neu gewählten Tonart verschoben wird, so dass eine Neuorientierung des Terzkreises entfallen kann. Der Terzkreis 805 stellt in diesem Ausführungsbeispiel somit ein Ausführungsbeispiel einer zusätzlichen Bedieneinrichtung dar, mit deren Hilfe eine Auswahl verschiedener Zuordnungsfunktionen zwischen Winkeln und Tonigkeiten durch den Benutzer erfolgen kann. Hierdurch kann das HarmonyPad zwischen verschiedenen Tonarten hin- und hergeschaltet werden.

Auswahl des zu spielenden Akkordes: Um einen bestimmten Akkord bzw. eine bestimmte Tonkombination erklingen zu lassen, muss zunächst der Öffnungswinkel β des zu selektierenden Kreissegmentes bzw. der aktive Raumausschnitt bestimmt werden. Dies kann beispielsweise graphisch über das Eingabefeld 835 bzw. das zugehörige Fenster erfolgen. Alternativ oder ergänzend kann dies selbstverständlich auch über ein angeschlossenes Hardwareinterface oder über eine Eingabeeinrichtung, wie sie im Zusammenhang mit Fig. 25 beschrieben wurde, erfolgen. Ist der Öffnungswinkel β spezifiziert, kann die Selektionsgewichtungsfunktion über das Eingabefeld 825 graphisch editiert werden. Nun kann durch Berühren einer Stelle auf dem Symmetriekreis bzw. dem Symmetriemodell 810 der Startwinkel α und optional auch der Radius r des zu selektierenden Kreissegmentes bestimmt werden. Das selektierte Kreissegment wird auf dem Symmetriekreis 810 als markierter Bereich 845 hervorgehoben dargestellt. Hierbei kann sowohl im Bereich des Eingabefeldes 825 als auch auf dem Symmetriemodell 810 im Rahmen des markierten Bereichs 845 die eingestellte Selektionsgewichtungsfunktion mit Hilfe von Transparenzeffekten veranschaulicht werden.

Blenden zwischen Akkorden: In Fig. 26 ist momentan der Akkord C-Maj-7 ausgewählt, wie der markierte Bereich 845 zeigt. Dazu ist der entsprechende Öffnungswinkel β über das Eingabefeld 830 spezifiziert worden und der Benutzer hat den Winkel, der dem Grundton C zugeordnet ist, auf dem HarmonyPad berührt. Um den C-Maj-7-Akkord in einen a-Moll-7-Akkord zu überblenden, muss einfach nur der Finger des Benutzers nach links auf den Winkel gezogen werden, der dem Ton bzw. der Tonigkeit a zugeordnet ist. Dadurch wird der Startwinkel α des selektierten Kreissegmentes vom Ton C auf den Ton a verschoben. Entsprechend der Verschiebung des selektierten Kreissegments wird der C-Dur-Akkord in einen a-Moll-Akkord weich oder auch instantan überblendet.

Blenden zwischen Umkehrungen: Optional bietet das Harmony-Pad die Möglichkeit, den Radius des selektierten Kreissegments zur Wahl verschiedener Akkordumkehrungen heranzuziehen bzw. zu interpretieren. Hierdurch ist es möglich, durch
5 eine Veränderung des Radius r eine gezielte Oktavierung einzelner Basistöne zu erreichen. Hierbei wird im Rahmen der vorliegenden Anmeldung unter einer Oktavierung eines Tons oder einer Tonigkeit eine Festlegung bzw. Bestimmung einer Oktavlage verstanden. Die Angabe einer Oktavierung
10 legt so beispielsweise fest, zu welcher Oktave ein Ton mit einer bestimmten Tonigkeit gehört. Mit Hilfe der Oktavierung wird also festgelegt, welche der Töne C , C' , C'' , C''' , ... erklingen soll, der der Tonigkeit C zugeordnet werden soll. Mit anderen Worten bestimmt die Oktavierung
15 eine Grundfrequenz eines Tons in Form eines Faktors 2^o mit einer ganzen Zahl o , die auch Oktavierungsparameter genannt wird.

So weist beispielsweise der Kammerton A eine Grundfrequenz
20 von 440 Hz auf. Soll nun beispielsweise statt des Kammertons a ein Ton der Tonigkeit a eine Oktave höher erklingen, so muss der Oktavierungsparameter $o = 1$ gesetzt werden, so dass die neue Grundfrequenz des Tons 880 Hz ergibt. Entsprechend liegt die Grundfrequenz eines Tons der Tonigkeit
25 a eine Oktave unterhalb des Kammertons a ($o = -1$) bei 220 Hz.

Ist beispielsweise auf dem HarmonyPad die Grundstellung des C-Dur-Akkordes selektiert, so kann beispielsweise die erste
30 Umkehrung dieses Akkordes dadurch erreicht werden, dass der Finger des Benutzers entlang einer radial gerichteten C-Linie 850, die von dem Zentrum des Symmetriekreises radial nach außen unter einem Winkel führt, der der Tonigkeit C zugeordnet ist, in Richtung des Kreismittelpunktes bzw. des
35 Zentrums gezogen bzw. bewegt wird. Dadurch wird der Radius r des selektierten Kreissegmentes verkleinert und die Grundstellung des C-Dur-Akkordes langsam in die erste Umkehrung überführt. Über einen angeschlossenen Klangerzeuger

ger kann der Benutzer dann die erste Umkehrung des C-Dur-Akkordes hören.

Hierbei versteht man unter einer Umkehrung eines Akkordes
5 eine Anordnung der Töne eines Akkordes derart, dass der erklingende Ton mit der niedrigsten Grundfrequenz nicht mehr notwendigerweise auch der Grundton, beispielsweise im Falle eines C-Dur-Akkordes also der Ton C bzw. die Tonigkeit C, ist. Im Falle eines C-Dur-Akkordes stellt so eine
10 Anordnung der erklingenden Töne mit aufsteigender Frequenz in der Reihenfolge E-G-C beispielsweise die erste Grundstellung dar. Darüber hinaus sind selbstverständlich auch andere Zuordnungen des Radius r bei einer bestimmten Oktavierung eines Tons bzw. einer Tonigkeit oder auch einer
15 bestimmten Umkehrung eines Akkords denkbar.

Genauso, wie die räumliche Einzeltonverteilungsfunktion über das Eingabefeld 815 editierbar bzw. definierbar ist, kann so durch Einführen einer optionalen Umkehrungsverteilungsfunktion, die über das Eingabefeld 820 editierbar bzw.
20 definierbar ist, eine Oktavierung der erklingenden Töne beeinflusst werden. So ist es möglich, basierend auf der gewählten Umkehrungsverteilungsfunktion einzelnen Tönen zu einer bestimmten Tonigkeit Lautstärkeinformationswerte
25 zuzuordnen, so dass beispielsweise bei Auswahl der Tonigkeit C über den aktiven Raumausschnitt mehr als ein Ton der entsprechenden Tonigkeit erklingt. Ebenso ist es denkbar, dass die Umkehrungsverteilungsfunktion dazu verwendet wird, basierend auf der Eingabe des Radius r durch den Benutzer
30 verschiedene Umkehrungen der betreffenden Tonkombination bzw. des betreffenden Akkordes über einen angeschlossenen Klangerzeuger erklingen zu lassen. Um dies zu ermöglichen, bietet die Oberfläche des HarmonyPads das entsprechende Fenster bzw. Eingabefeld 820 an.

35

Blenden zwischen Einzeltönen und Akkorden: Das HarmonyPad kann beispielsweise mit einer Midi-Schnittstelle oder einer anderen Steuerungsschnittstelle ausgestattet werden, um

Notenfolgesignale zu empfangen oder auch zu senden. Mit Hilfe dieser Midi-Schnittstelle oder der Steuerschnittstelle kann nun optional ein Controller, beispielsweise ein Fußcontroller, ein Fußtaster, ein Joystick oder eine andere
5 Eingabeeinrichtung, angeschlossen werden. Es ist nun möglich, die Daten dieser Eingabeeinrichtung (Fußcontroller) auf den Öffnungswinkel β zu routen bzw. diesen durch die Eingabe über den Fußcontroller beeinflussbar auszulegen. Das heißt, dass von dem Benutzer mit dem Fußcontroller der
10 Öffnungswinkel als Winkelparameter gesteuert werden kann. Vorzugsweise ermöglicht es der Fußcontroller, eine quasi-kontinuierliche Eingabe von Daten, die beispielsweise der Fußstellung des Benutzers zugeordnet werden, zu ermöglichen. Hierdurch kann der Benutzer den Öffnungswinkel β mit
15 Hilfe des Fußcontrollers innerhalb vorbestimmter oder variabler Grenzen beeinflussen. Tritt nun der Benutzer den Fußcontroller so, dass er sich am unteren Anschlag befindet, kann beispielsweise diese Fußstellung einem Öffnungswinkel von 0° zugeordnet werden. Berührt nun der Benutzer
20 das HarmonyPad im Bereich des Symmetriemodells 810 an der Stelle des Tones bzw. der Tonigkeit C, erklingt über den angeschlossenen Klangerzeuger nur der Ton C bzw. ist zu hören, da der Öffnungswinkel $\beta = 0^\circ$ beträgt. Bewegt nun der Benutzer den Fußcontroller langsam in Richtung des oberen
25 Anschlages, ist es möglich, den Öffnungswinkel β entsprechend zu vergrößern, so dass die zusätzlichen Töne bzw. Tonigkeiten e, G und h in dem in Fig. 26 gezeigten Fall nach und nach hinzugenommen und eingeblendet werden.

30 Finden von Tönen, die zu vorhandenen Tönen passen (Improvisation): Optional kann das HarmonyPad (ebenso wie das Musikinstrument 600) mit einer Analysefunktionalität ausgestattet werden, welche in Form von Audiosignalen oder Midisignalen vorhandene Tonsignale bzw. Audiodaten analysiert und die entsprechenden Basistöne auf der Oberfläche
35 des HarmonyPads (Padoberfläche) durch eine entsprechende Hervorhebung markiert. Fig. 26 zeigt dies am Beispiel einer optischen Markierung 855 der Tonigkeit e auf dem Symmetrie-

- modell 810. In diesem Fall ist dem HarmonyPad als Eingangssignal ein Audiosignal oder ein Midisignal zur Verfügung gestellt worden, das einen Ton mit einer Tonigkeit e aufweist. Möchte ein Musiker als Benutzer zu dem gegebenen
5 Signal bzw. dem Eingangssignal passende Begleittöne finden, so muss er nur ein Kreissegment selektieren, das die markierten Töne einschließt oder in der Nähe der markierten Töne liegt.
- 10 Darüber hinaus ist es ebenfalls optional möglich, mit Hilfe des HarmonyPads das Ergebnis eine Analyse eines Audiodatums, die dem HarmonyPad in Form des Analysesignals zur Verfügung gestellt werden können, graphisch darzustellen. Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums
15 tums kann hierbei sowohl als Komponente des HarmonyPads als auch als externe Komponente zu dem HarmonyPad ausgeführt werden. Im ersten Fall stellt also das HarmonyPad ein System dar, das neben der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums eine Anzeigevorrichtung und eine
20 Vorrichtung zum Erzeugen eines Notensignals auf eine manuelle Eingabe hin aufweist. Im zweiten Fall kann das Analysesignal dem HarmonyPad beispielsweise über eine externe Schnittstelle, beispielsweise einen Stecker, eine Funkverbindung, eine Infrarotverbindung oder eine andere Datenverbindung
25 übermittel werden.

- Neben einer Markierung bzw. Hervorhebung der in einem Audiosignal umfassten Tonigkeiten durch eine Hervorhebung einzelner Ausgabefeldradialrichtungen des Symmetriemodells
30 810 oder größerer, zusammenhängender Bereiche auf dem Symmetriemodell 810, kann so auch der in Form des Analysesignals zur Verfügung gestellte Summenvektor auf dem Ausgabefeld 810 dargestellt werden. Hierbei kann der Winkel des Summenvektors ausgehend von der Ausgabefeldmitte bzw. dem
35 Zentrum des Symmetriemodells 810 durch eine Hervorhebung einer (z. B. pfeilförmigen) Ausgabefeldradialrichtung 857 angezeigt werden, wie dies Fig. 26 zeigt. Hierdurch ist es möglich, während des Erklings eines Musikstücks, quasi in

Echtzeit den Schwerpunkt bzw. damit das tonale Zentrum zeitaufgelöst auf dem HarmonyPad darzustellen, so dass ein begleitender Musiker basierend hierauf spielen kann.

- 5 Optional ist es darüber hinaus möglich, die auf Basis des Winkels des Summenvektors hervorgehobene Ausgabefeldradialrichtung nicht als Ganzes hervorzuheben, sondern basierend auf der Länge des Summenvektors ausgehend von der Ausgabefeldmitte nur einen Teil der betreffenden Ausgabefeldradialrichtung hervorzuheben, wie dies auch die hervorgehobene
- 10 pfeilförmige Ausgabefeldradialrichtung 857 in Fig. 26 zeigt. Hierdurch kann dem Benutzer zusätzlich die Länge des Summenvektors $|\vec{r}_{\text{sum}}|$ optisch auf seinem Bedienfeld angezeigt werden. Wie im Zusammenhang mit der Analyse von Audiodaten
- 15 erläutert wurde, kann der Benutzer so die gespielte Musik, über die er beispielsweise improvisiert, besser einordnen, da der Betrag des Summenvektors unter anderem ein Schätzmaß für den tonalen Kontext der erklingenden Musik ist.
- 20 Optional ist es durchaus auch möglich, mit Hilfe eines Eingangswertintegrators die eingehenden Audiosignale zeitlich solange aufzuintegrieren, bis der Betrag bzw. die Länge des sich ergebenden Summenvektors ein (zeitlich lokales) Maximum erreicht, wie dies schon im Zusammenhang
- 25 mit Fig. 3E erläutert wurde. Da, je nach zugrundegelegter Basistonanordnung im Tonraum, Maxima wiederum Akkorde im Falle des Symmetriemodells oder Tonartwechsel im Falle des Terzkreises indizieren, kann basierend auf den so aufintegrierten Audiodaten ebenfalls die Darstellung auf dem HarmonyPad entsprechend angepasst werden. So ist es beispielsweise denkbar, auf Basis des aufintegrierten Audiosignals die dem Symmetriemodell 810 zugrundeliegende diatonische
- 30 Tonleiter zu bestimmen und auf dem Symmetriemodell 810 anzuzeigen.

35

Fig. 26 zeigt somit eine mögliche Bedienoberfläche des HarmonyPads, die viele optionale Komponenten, wie beispielsweise das Eingabefeld 820 für die Umkehrungsvertei-

lungsfunktion umfasst. Selbstverständlich sind auch andere geometrische Anordnungen als die in Fig. 26 gezeigte möglich. Darüber hinaus kann selbstverständlich auch das Ausgabefeld 810 nicht auf Basis des Symmetriemodells, sondern auf Basis des Terzkreises operieren. Das HarmonyPad stellt somit gleichzeitig aufgrund seiner Ausführung als Touchscreen und der damit verbundenen Möglichkeit zur Dateneingabe über ein Berühren der Oberfläche des Touchscreens und zur Ausgabe über die Anzeigefläche des Touchscreens ein Ausführungsbeispiel dar, das eine Vorrichtung zum Erzeugen eines Notensignals auf eine manuelle Eingabe hin mit einer Vorrichtung zur Ausgabe von einem eine Tonigkeit anzeigenden Ausgabesignal kombiniert, das um eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums ergänzt werden kann.

In den folgenden Abschnitten wird eine erfindungsgemäße Messvorrichtung und eine erfindungsgemäße Analysevorrichtung für tonal-harmonische Zusammenhänge näher erläutert und beschrieben. Mit anderen Worten wird in den folgenden Abschnitten ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Messsystems erläutert, wie es schon im Zusammenhang mit Fig. 3B - Fig. 3D beschrieben wurde. Aus diesem Grund wird hiermit auf die die oben genannten Figuren betreffenden Beschreibungsseiten und Abschnitte der vorliegenden Erfindung ergänzend verwiesen. Die im Rahmen der symmetriemodellbasierten und terzkreisbasierten Harmonieanalyse beschriebenen Möglichkeiten können in Form eines Messgerätes implementiert werden, das ein Audiosignal oder ein Notenfolgensignals als Audiodatum aufnimmt, in das Symmetriemodell oder den Terzkreis transformiert, die entsprechenden Betragsparameter und Winkelparameter berechnet und (optional) auf einer Anzeigevorrichtung wiedergibt. Die Anzeigevorrichtung kann bezüglich ihrer Benutzeroberfläche der des HarmonyPads aus Fig. 26 ähneln.

Fig. 27 zeigt ein Blockschaltbild einer Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums bzw. einer Messvorrichtung 1000.

Die Vorrichtung 1000 weist eine Halbtonanalyseeinrichtung 1010 auf, der ein Audiosignal oder ein Notenfolgesignal an einem Eingang 1010e bereitgestellt wird. Hinter die Halbtonanalyseeinrichtung ist eine Tonigkeitsanalyseeinrichtung 1020 geschaltet zur Berechnung der Tonigkeiten. Hinter die Tonigkeitsanalyseeinrichtung 1020 ist eine Vektorberechnungseinrichtung 1030 geschaltet, die an einem Ausgang 1030a ein Analysesignal ausgibt. Das Analysesignal kann dann einer optionalen Anzeigevorrichtung 1040 als Eingangssignal bereitgestellt werden.

Die Halbtonanalyseeinrichtung 1010 analysiert das an ihrem Eingang 1010e bereitgestellte Audiodatum bezüglich einer Lautstärkeintensitätsverteilung über einer Menge von Halbtönen. Die Halbtonanalyseeinrichtung 1010 setzt also (unter anderem) Gleichung 4 um. Die Tonigkeitsanalyseeinrichtung 1020 bestimmt auf Basis der Lautstärkeinformationsverteilung eine Tonigkeits-Lautstärkeinformationsverteilung über der Menge der Tonigkeiten als zugrundeliegende Menge. Der Vektorberechnungseinrichtung 1030 wird sodann die Tonigkeits-Lautstärkeinformationsverteilung bereitgestellt, auf deren Basis die Vektorberechnungseinrichtung 1030 für jede Tonigkeit einen zweidimensionalen bzw. komplexen Zwischenvektor bildet, basierend auf den zweidimensionalen Zwischenvektoren einen Summenvektor berechnet und auf Basis des Summenvektors das Analysesignal an dem Analysesignalausgang 1030a ausgibt. Die nachgeschaltete (optionale) Anzeigevorrichtung 1040 kann dann basierend auf dem Analysesignal beispielsweise den Summenvektor, den Winkel des Summenvektors und/oder auch den Betrag bzw. die Länge des Summenvektors ausgeben.

Mit anderen Worten wird die Messvorrichtung 1000 mit einem Audiosignal, also beispielsweise einem (analogen) Lineal-Signal oder einem digitalen Audiosignal, gefüttert, aus dem die Halbtonanalyseeinrichtung 1010 die Halbtöne analysiert. Dies kann beispielsweise durch die bereits im Zusammenhang mit Fig. 3 erläuterte Constant-Q-Transformation erfolgen.

Die Halbtöne werden dann durch die Tonigkeitsanalyseeinrichtung 1020 zu einem einoktavigen Bereich zusammengefasst. Anders ausgedrückt berechnet die Tonigkeitsanalyseeinrichtung 1020 auf Basis des Ergebnisses der Halbtonanalyseeinrichtung 1010 die Tonigkeiten und die zugehörigen Lautstärkeinformationen. Die Vektorberechnungseinrichtung 1030 auf Basis der so gewonnenen Tonigkeiten und der zugeordneten Tonigkeits-Lautstärkeinformationsverteilung mit Hilfe von Gleichung 14 im Fall einer Analyse gemäß dem Terzkreis oder nach Gleichung 23 im Falle einer Analyse gemäß dem Symmetriemodell den jeweils zugehörigen Summenvektor. Mit noch anderen Worten, die Vektorberechnungseinrichtung rechnet die gewonnenen Tonigkeiten nach Gleichung 14 oder Gleichung 23 in den Terzkreis-Summenvektor oder den Symmetriemodell-Summenvektor um.

Der Winkel und/oder der Betrag des entsprechenden Summenvektors kann dann durch die Anzeigevorrichtung 1040 wiedergegeben werden.

20

Bei dem Eingangsanschluss 1010e der Messvorrichtung 1000 bzw. der Halbtonanalyseeinrichtung 1010 kann es sich um einen Mikrofoneingang, einen analogen Audioeingang oder auch direkt um einen digitalen Eingang handeln, so dass die Mess- und Anzeigevorrichtung, falls die Anzeigevorrichtung 1040 mitimplementiert ist, im Prinzip sowohl analoge als auch digitale Audiodaten analysieren kann. Je nach Auslegung können auch Notenfolgesignale, also auch Steuersignale wie beispielsweise Midi-Steuersignale der Messvorrichtung 1000 bereitgestellt werden. Im Falle eines analogen Eingangs kann je nach Auslegung des Systems ein Analog/Digital-Wandler (ADC; ADC = analog/digital converter) mitimplementiert werden, falls dies ratsam erscheint.

Fig. 28 zeigt somit ein Blockschaltbild der Mess- und Anzeigevorrichtung, wobei insbesondere die Grundstruktur dieser dargestellt wird.

Die optionale Anzeigevorrichtung 1040 kann beispielsweise ein Ausgabefeld aufweisen, wie es dem in Fig. 26 gezeigten HarmonyPad ähnlich ist. In diesem Fall ist es im Falle einer Analyse gemäß dem Symmetriemodell möglich, die Winkelinformation des Symmetriemodell-Summenvektors in Form einer Ausgabefeldradialrichtung 857 darzustellen, die ausgehend von dem Zentrum des Symmetriekreises (810 in Fig. 26) über den gesamten Radius des Symmetriekreises hervorgehoben wird und bereits im Zusammenhang mit Fig. 26 erläutert wurde. Optional ist es hier möglich, den Betrag bzw. die Länge des Symmetriemodell-Summenvektors durch eine von dem Betrag des Symmetriekreis-Summenvektors abhängige Länge der Hervorhebung 857 der Ausgabefeldradialrichtung zu realisieren. Alternativ oder ergänzend kann darüber hinaus der Winkel des Symmetriekreis-Summenvektors auch durch einen räumlich begrenzt hervorgehobenen Bereich dargestellt werden, der der Markierung 855 in Fig. 26 beispielsweise ähneln kann.

Grundsätzlich ist es möglich, im Rahmen der Berechnung der Tonigkeiten durch die Tonigkeitsanalyseeinrichtung 1020 eine Gewichtung der analysierten Halbtöne in Abhängigkeit von ihrer Tonhöhe bzw. ihrer Frequenz f durch Einführen einer Gewichtungsfunktion $g(f)$ durchzuführen. Die Gewichtungsfunktion bzw. die Gewichtung beschreibt, wie unterschiedlich der Einfluss zweier Töne gleicher Tonigkeit, die jedoch unterschiedlichen Oktaven angehören, auf die Wahrnehmung bezüglich der Harmonie sind. Hierdurch ergibt sich die Möglichkeit, nicht nur die Analyse der Halbtöne bezüglich einer Lautstärkeinformationsverteilung durchzuführen, der eine gehörangepasste Größe zugrunde liegt, sondern es erlaubt vielmehr auch eine Berücksichtigung der menschlichen Wahrnehmung von Harmonien unterschiedlicher Frequenzen, die über eine bloße gehörabhängige Größe hinaus geht. Die Gewichtungsfunktion $g(f)$ ermöglicht es somit, die Analyse bezüglich des menschlichen Empfindens weiter zu verfeinern.

Darüber hinaus ist es denkbar, zusätzlich oder alternativ einen Eingangswertintegrator in die Messvorrichtung 1000 zu integrieren bzw. einzubinden, der das Audiosignal oder ein hiervon abgeleitetes Signal zeitlich solange aufintegriert, bis der Betrag des sich ergebenden Summenvektors ein Maximum aufweist. Hierdurch entsteht dann ein Detektionssystem, wie es schon im Zusammenhang mit Fig. 3E erläutert wurde. Dadurch ist neben einer Anzeige auf einer Anzeigevorrichtung 1040 auch eine weitere Nutzung des Analysesignals beispielsweise im Rahmen einer Begleitung möglich, da Maxima des Betrages des Summenvektors Akkordwechsel im Falle des Symmetriekreis-Summenvektors oder Tonartwechsel im Falle des Terzkreis-Summenvektors indizieren. In diesem Zusammenhang wird auf die Beschreibung der in Fig. 3A - Fig. 3E dargestellten Systeme verwiesen.

In den folgenden Abschnitten werden einige weitere Ausführungsbeispiele der vorliegenden erfindungsgemäßen Vorrichtungen erläutert und skizziert.

20

In der am gleichen Tag eingereichten Patentanmeldung mit dem Titel „Vorrichtung und Verfahren zum Erzeugen eines Notensignals und Vorrichtung und Verfahren zur Ausgabe eines Tonigkeitsanzeigensignals“ ist beschrieben, wie auch ein Handy bzw. ein Mobiltelefon als Musikinstrument verwendet werden kann, indem auf dem Bildschirm, bei dem es sich je nach Handy auch um einen berührungsempfindlichen Bildschirm handeln kann, eine Bedienoberfläche abgebildet wird, die dem in Fig. 26 gezeigten HarmonyPad ähnlich ist. Verfügt das Handy darüber hinaus über einen polyphonen Klangsynthesizer, so kann das Handy als Musikinstrument eingesetzt werden. Nähere Details sind in der am gleichen Tag eingereichten oben zitierten Patentanmeldung enthalten. Darüber hinaus ist in der zitierten Patentanmeldung beschrieben, wie mehrere Handys beispielsweise über Bluetooth® oder eine andere Netzwerkverbindung miteinander vernetzt werden können, um diese rhythmisch zu synchronisieren und auch die von einem Mitspieler auf einem Handy

gespielten Töne an ein anderes Handy zu übertragen, um ein „Handy-Orchester“ zu bilden. Diese Systeme können um eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums und optional um eine Begleitautomatik erweitert werden, so dass auch in einem Handy beispielsweise ein Begleitsystem, wie es im Zusammenhang mit Fig. 3A beschrieben wurde, implementiert werden. Darüber hinaus kann auf dem Bildschirm bzw. Display des Handys auch eine graphische Darstellung des Summenvektors erfolgen, wie dies im Zusammenhang mit den Fig. 3B - 3D und Fig. 26 bereits erläutert wurde.

Ebenfalls in der oben zitierten Patentanmeldung ist ein sogenanntes DJ-Tool erläutert. Hierbei handelt es sich um eine Ein- und Ausgabevorrichtung, also beispielsweise um das in Fig. 26 geschilderte HarmonyPad, das von einem DJ neben einen Schallplattenspieler oder einen CD/DVD-Player auf dem Gerättisch des DJ positioniert werden kann. Eine erfindungsgemäße Ton- und Harmonieanalysevorrichtung erfasst die in den aktuell gespielten Stücken bzw. Tracks enthaltenen Basistöne und leitet diese bzw. routet diese auf die Ein- und Ausgabevorrichtung (z. B. HarmonyPad) des DJ. Dieser kann nun „coole“ harmonische Begleiteffekte erzeugen, indem er die durch das HarmonyPad bereitgestellten Klanggestaltungsmöglichkeiten nutzt. Das DJ-Tool kann nun zusätzlich mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums erweitert werden. Hierdurch kann das DJ-Tool zu einem Messsystem erweitert werden, wie es im Zusammenhang mit Fig. 3B - Fig. 3D beschrieben und erläutert wurde. Darüber hinaus kann das DJ-Tool auch zu einem Begleitsystem, wie es im Zusammenhang mit Fig. 3A beschrieben wurde, oder zu einem Detektionssystem, wie es im Zusammenhang mit Fig. 3E beschrieben wurde, erweitert werden. Auf die entsprechenden Abschnitte der vorliegenden Anmeldung wird hiermit verwiesen.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung besteht in einer Erweiterung eines Keyboards oder eines

anderen elektronischen Klangerzeugers um ein im Zusammen-
hang mit Fig. 3A beschriebenen Begleitsystem 170. Analog
können auch die vorgenannten Instrumente um ein Detektions-
system 230, wie es im Zusammenhang mit Fig. 3E beschrieben
5 ist, erweitert werden.

In der oben erwähnten, am gleichen Tag eingereichten Pa-
tentanmeldung ist als Ausführungsbeispiel eine Integration
des auch in Fig. 26 der vorliegenden Anmeldung zitierten
10 HarmonyPads in einen iPod® beschrieben. Hierbei kann der
iPod® um das im Zusammenhang mit Fig. 26 beschriebene
HarmonyPad als Zusatzkomponente (AddOn) erweitert werden.

Der aktuelle iPod® weist eine kreisförmige berührungsemp-
15 findliche Fläche zur Gerätebedienung auf. Diese kreisförmige
Fläche kann als Eingabemedium für das HarmonyPad verwen-
det werden. Darüber hinaus ist es möglich, den iPod® um
eine Harmonie-Analysefunktion bzw. eine Harmonieanalysevor-
richtung zu erweitern, die auf Basis der Summenvektoren
20 operiert. Diese Funktion analysiert die Tonart und den zu
einem Zeitpunkt vorhandenen Startwinkel und Öffnungswinkel
und lässt das entsprechende Kreissegment auf dem iPod®
aufleuchten. Darüber hinaus kann optional der iPod® nun
auch noch mit einem Klangerzeuger ausgestattet werden, so
25 dass aufgeweckte Kids ihre Musik mit schicken Begleitharmo-
nien anreichern können. Es ist anzumerken, dass diese
Funktion passende Musik voraussetzen kann. Auch hier kann
eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Analyse eines Audio-
datums in Form eines Begleitsystems, eines Messsystems oder
30 eines Detektionssystems, wie es im Zusammenhang mit den
Fig. 3A - 3E beschrieben wurde, erweitert werden.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung
stellt ein Begleitautomatiksystem dar, das eine erfindungs-
35 gemäße Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums und eine
Begleitautomatikvorrichtung umfasst, die miteinander gekop-
pelt sind, wie dies bereits im Zusammenhang mit Fig. 3A
erläutert wurde. Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur

Analyse von Audiodaten bzw. die in Fig. 27 beschriebene Messvorrichtung empfängt über einen Anschluss des Begleitautomatiksystems ein Audiodatum bzw. Audiosignale, analysiert diese und stellt ein auf dem Audiodatum basierendes
5 Analysesignal der Begleitautomatikvorrichtung zur Verfügung. Die mit der Messvorrichtung gewonnenen Harmoniedaten in Form des Analysesignals werden dann verwendet, um die Begleitautomatikvorrichtung bzw. die Begleitautomatik zu steuern. Die Begleitautomatik ist so ausgelegt, dass sie
10 auf Basis des Terzkreis oder des Symmetriemodells in der Lage ist, zu den in Form der Summenvektoren als Analysesignal gelieferten Tonalitätsinformationen passende Begleitharmonien zu finden und in geeigneter Form auszugeben. Dies kann beispielsweise direkt in Form von Klängen, die über
15 einen Lautsprecher ausgegeben werden können, in Form analoger Audiodaten, in Form von Steuersignalen (beispielsweise Midi-Steuersignale) oder digitale Audiodaten erfolgen. In diesem Zusammenhang wird auch auf die oben erwähnten Abschnitte zu Fig. 3A verwiesen, die weitere Erläuterungen
20 bereithalten.

Weitere Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung stellen Systeme dar, bei denen eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums oder eine Vorrichtung zum Erzeugen eines Notensignals mit einem Raumklang-
25 zeuger gekoppelt sind, um eine Verknüpfung mit einem Raumklang oder Raumklingerlebnisses und anderen Klangparametern zu ermöglichen. Mit dem Symmetriemodell und dem Terzkreis sind tonale Informationen, etwa in Form des selektierten
30 Raumausschnittes bzw. des Eingabewinkels und/oder des Eingabewinkelbereichs sowie das auf dem Summenvektor basierende Analysesignal, geometrisch sehr effizient repräsentiert. Heutige Wiedergabesysteme bzw. Raumklangsysteme erlauben es, Klänge an bestimmten Raumpositionen wieder-
35 zugeben. Es besteht daher die Möglichkeit, im Falle einer Kopplung einer Vorrichtung zum Erzeugen eines Notensignals mit einem Raumklangsystem beispielsweise den (Start-) Winkel, den Öffnungswinkel und/oder den Radius des gegen-

wärtig selektierten Kreissegments auf Raumparameter wie Richtung, Diffusität, Ausdehnung des Klangs im Raum usw. zu routen bzw. eine entsprechende Zuordnung durchzuführen. Genauso ist es möglich, im Falle einer Kopplung einer
5 erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums mit einem Raumklangsystem basierend auf dem Analysesignal, also insbesondere auf Basis der in diesem umfassten Informationen bezüglich des Winkels und/oder der Länge des Summenvektors, eine entsprechende Zuordnung zu den Parametern des Raumklangsystems vorzunehmen. Darüber hinaus ist
10 es möglich, diese Parameter auf eine frequenzabhängige Übertragungsfunktion oder auf den Zeitverlauf, beispielsweise mittels ADSR-Hüllkurven (ADSR = attack-decay-sustain-release = Anschlag-Abschwellen-Halten-Lösen) zu routen und
15 somit Harmonie, Klangfarbe und/oder Klangposition miteinander zu verknüpfen.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel für eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums im Rahmen eines
20 Messsystems, wie es bereits in den Fig. 3B - 3D näher erläutert und beschrieben wurde, stellt ein System dar, das als Wandschmuck konzeptioniert ist. Ein entsprechendes System kann im Rahmen der in das System integrierten Anzeigevorrichtung 195 ein LCD-Display oder ein TFT-Display (LCD
25 = liquid crystal display = Flüssigkeitskristallanzeige; TFT = thin film transistor = Dünnschichttransistor) aufweisen.

Auch kleinere Ausführungsformen, die in der Hand gehalten werden können, sind denkbar. Solche Systeme, die beispielsweise
30 in Form des bereits beschriebenen HarmonyPads oder des DJ-Tools ausgeführt sein können, ermöglichen es, Menschen, die über kein absolutes Gehör verfügen, ein schnelles Erfassen der gespielten Töne eines Musikstücks und des tonalen Kontextes zu ermöglichen.

35

Je nach Zielgruppe kann eines der im Rahmen der vorliegenden Anmeldung beschriebenen Systeme, also insbesondere ein Begleitsystem, ein Messsystem, ein Detektionssystem oder

das erfindungsgemäße Verfahren zur Analyse eines Audiodatums in Software bzw. in Form eines Computer-Programms für einen Computer, eines PDA (PDA = personal data assistant = persönlicher Datenassistent), eines Notebooks, eines Gameboy®, eines Mobiltelefons (Handy) oder eines anderen Computersystem bzw. eine andere Prozessoreinrichtung realisiert werden. Diese können optional zusammen mit dem Verfahren zum Erzeugen eines Notensignals auf eine manuelle Eingabe hin und/oder des Verfahrens zur Ausgabe von einem eine Tonigkeit anzeigenden Ausgabesignal, wie sie im Rahmen der oben zitierten, am gleichen Tag eingereichten Patentanmeldung beschrieben sind, implementiert werden.

Optional ist hierbei weiter eine Vernetzung verschiedener Systeme denkbar, die auch auf physikalisch getrennten Computersystemen bzw. Prozessoreinrichtungen ablaufen können, denkbar. Hierdurch können einzelne Komponenten der verschiedenen Systemen miteinander vernetzt werden, um einen Datenaustausch zu ermöglichen, die auf getrennten Prozessoreinrichtungen ablaufen. So ist es beispielsweise denkbar, verschiedene Gameboys® mehrerer Kinder zu vernetzen, um diesen ein Zusammenspiel im Rahmen einer „Gameboyband“ zu ermöglichen. Die Kinder können in diesem Fall durch das erfindungsgemäße Verfahren zur Analyse eines Audiodatums, das in Form einer Software auf den Gameboys® abläuft, unterstützt werden, indem die Software den Kindern aufgrund des im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens erzeugten Analysesignals Vorschläge zur Begleitung der anderen Kinder unterbreitet. Konkret kann dies dadurch geschehen, dass beispielsweise der Summenvektor auf dem Display der Gameboys® dargestellt wird.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, ein Musikinstrument mit einer Melodieanalysevorrichtung bzw. einer Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums zu koppeln, die als externe Komponente oder als Teil des Musikinstruments ausgeführt sein kann. Im Fall einer externen Melodieanalysevorrichtung kann diese beispielsweise über Midi-Signale mit dem Musik-

instrument gekoppelt werden. In diesem Fall ergibt sich die Möglichkeit, dass ein Kind oder eine andere Person eine einfache Melodie beispielsweise auf eine Flöte spielt. Die Melodie der Flöte wird über ein Mikrophon oder eine andere

5 Klangaufnahmeeinrichtung mit Hilfe der Melodieanalysevorrichtung erkannt und beispielsweise in Midi-Signale umgewandelt und dem Musikinstrument zur Verfügung gestellt. Falls die Melodieanalysevorrichtung keine externe Komponente darstellt, ist eine Umwandlung in (Midi-) Signale gegebenenfalls nicht notwendig. Die Signale werden auf das

10 Musikinstrument des ersten Kindes gemappt bzw. übertragen und dort dargestellt. Dadurch kann das erste Kind nun eine passende Begleitung zu der Melodie der Flöte erzeugen.

15 Ein besonderer Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums kommt hierbei dann zum Tragen, wenn mehr als ein Kind auf einer Flöte spielt. Sollten in diesem Fall sogar mehrere Kinder „nicht den Ton treffen“, so ermöglicht die erfindungsgemäße Vorrichtung trotzdem beispielsweise eine Bestimmung des momentan gespielten Akkordes bzw. der momentan gespielten Tonart mit einer sehr hohen Zuverlässigkeit, da aufgrund der Gewichtung der Zwischenvektoren im Rahmen der Vektorberechnungseinrichtung mit der Lautstärkeinformationsverteilung bzw. einer aus der

20 Lautstärkeinformationsverteilung abgeleiteten Verteilung auch einzelne, nicht zu laute Töne das Ergebnis der Analyse in Form des Summenvektors bzw. des auf dem Summenvektor basierenden Analysesignals nicht nachhaltig stören. Es ist vielmehr zu erwarten, dass nur die Länge des Summenvektors

25 geringfügig reduziert wird und eine kleine Ungenauigkeit bezüglich des Winkels des Summenvektors auftritt. Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Analyse eines Audiodatums bzw. das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht also auch eine Analyse eines Audiodatums, wenn dem Audiodatum „Störkomponenten“ (beispielsweise in Form eines „falsch“ spielenden Kindes) beigemischt sind.

30
35

Abhängig von den Gegebenheiten kann das erfindungsgemäße Verfahren zur Analyse eines Audiodatums in Hardware oder in Software implementiert werden. Die Implementation kann auf einem digitalen Speichermedium, insbesondere einer Diskette, CD oder DVD mit elektronisch auslesbaren Steuersignalen
5 erfolgen, die so mit einem programmierbaren Computersystem zusammenwirken können, dass das erfindungsgemäße Verfahren zur Analyse eines Audiodatums ausgeführt werden. Allgemein besteht die Erfindung somit auch in einem Computer-
10 Programm-Produkt mit einem auf einem maschinenlesbaren Träger gespeicherten Programmcode zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wenn das Computer-Programm-Produkt auf einem Rechner abläuft. In anderen Worten ausgedrückt kann die Erfindung somit als ein Computer-Programm
15 mit einem Programmcode zur Durchführung der Verfahren realisiert werden, wenn das Computerprogramm auf einem Computer oder einer anderen Prozessoreinrichtung abläuft.

Patentansprüche

1. Vorrichtung (100; 660; 1000) zur Analyse eines Audio-
datums, mit folgenden Merkmalen:
5
einer Halbtonanalyseeinrichtung (110; 670; 1010), die
ausgebildet ist, um das Audiodatum bezüglich einer
Lautstärkeinformationsverteilung über einer Menge von
Halbtönen zu analysieren; und
10
einer Vektorberechnungseinrichtung (120; 680; 1030),
die ausgebildet ist, um basierend auf der Lautstärke-
informationsverteilung oder einer aus der Lautstärke-
informationsverteilung abgeleiteten Verteilung, die
15 eine auf der Menge von Halbtönen basierende Definiti-
onsmenge aufweist, einen Summenvektor (160) über zwei-
dimensionale Zwischenvektoren (155) für jeden Halbton
oder jedes Element der Definitionsmenge zu berechnen
und ein auf dem Summenvektor (160) basierendes Analy-
20 sesignal auszugeben.
2. Vorrichtung (100; 660; 1000) nach Anspruch 1, bei der
die Vektorberechnungseinrichtung (120; 680; 1030) aus-
gebildet ist, um bei der Berechnung eine Ermittlung
25 von zweidimensionalen Zwischenvektoren (155) für jeden
Halbton oder jedes Element der Definitionsmenge durch
Gewichten einer Mehrzahl von den jeweiligen Halbtönen
bzw. den jeweiligen Elementen der Definitionsmenge zu-
geordneten Einheitsvektoren mit der Lautstärkeinforma-
30 tionsverteilung oder der aus der Lautstärkeinformati-
onsverteilung abgeleiteten Verteilung durchzuführen.
3. Vorrichtung (100; 660; 1000) nach einem der vorherge-
henden Ansprüche, bei der die Halbtonanalyseeinrich-
35 tung (110; 670; 1010) ferner ausgebildet ist, das Au-
diodatum bezüglich der Lautstärkeinformationsvertei-
lung unter Berücksichtigung einer frequenzabhängigen

Gewichtungsfunktion zu analysieren, um eine Berücksichtigung einer Wahrnehmung zu ermöglichen.

4. Vorrichtung (100; 660; 1000) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, die ferner eine Tonigkeitsanalyseeinrichtung (1020) aufweist, die ausgebildet ist, um basierend auf der Lautstärkeinformationsverteilung eine Tonigkeitslautstärkeinformationsverteilung als abgeleitete Verteilung mit einer Menge von Tonigkeiten als Definitionsmenge zu bilden.
5. Vorrichtung (100; 660; 1000) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Vektorberechnungseinrichtung (120; 680; 1030) so ausgebildet ist, dass die Zwischenvektoren (155) jeweils einen Winkelwert im Bogenmaß bezüglich einer Vorzugsrichtung von $n_t \cdot 2\pi \cdot 7^2/84$ aufweisen, wobei n die Kreiszahl und n_t ein erweiterter Index der Tonigkeit ist, die dem jeweiligen Zwischenvektor (155) zugeordnet ist.
6. Vorrichtung (100; 660; 1000) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei der die Vektorberechnungseinrichtung (120; 680; 1030) so ausgebildet ist, dass die Zwischenvektoren (155) jeweils einen Winkelwert im Bogenmaß bezüglich einer Vorzugsrichtung von $n' \cdot 2\pi/24$ aufweisen, wobei π die Kreiszahl und n' ein Bezeichner der Tonigkeit bezogen auf eine Menge von Tonigkeiten einer vorbestimmten Dur-Tonleiter ist, wobei die Tonigkeit dem jeweiligen Zwischenvektor zugeordnet ist.
7. Vorrichtung (100; 660; 1000) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Halbtonanalyseeinrichtung (110; 670; 1010) ausgebildet ist, um das Audiodatum zu analysieren, wobei die Lautstärkeinformationsverteilung eine Information bezüglich einer Amplitude, einer Intensität, eine Lautstärke oder einer gehörangepassten Lautstärke aufweist.

8. Vorrichtung (100; 660; 1000) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der das Audiodatum einen zeitlichen Verlauf aufweist, bei der die Halbtonanalyseeinrichtung (110; 670; 1010) ferner ausgebildet ist, um
5 das Audiodatum bezüglich eines zeitlichen Verlaufs der Lautstärkeinformationsverteilung zu analysieren, und wobei die Vektorberechnungseinrichtung (120; 680; 1030) ferner ausgebildet ist, um basierend auf dem zeitlichen Verlauf der Lautstärkeinformationsverteilung oder einer aus der Lautstärkeinformationsverteilung
10 abgeleiteten Verteilung einen zeitlichen Verlauf des Summenvektors zu berechnen und ein auf dem zeitlichen Verlauf des Summenvektors basierendes Analysesignal auszugeben.
- 15 9. Vorrichtung (100; 660; 1000) nach Anspruch 8, die ferner eine Integratoreinrichtung aufweist, die ausgebildet ist, um den zeitlichen Verlauf der Lautstärkeinformationsverteilung oder den zeitlichen Verlauf der aus der Lautstärkeinformationsverteilung abgeleiteten
20 Verteilung zeitlich zu integrieren und der Vektorberechnungseinrichtung (120; 680; 1030) eine zeitlich integrierte Lautstärkeinformationsverteilung als abgeleitete Verteilung bereitzustellen.
- 25 10. Vorrichtung (100; 660; 1000) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der das Audiodatum einer Gruppe von Audiodaten ausgewählt ist, die ein Mikrophonsignal, ein Line-Signal, ein analoges Audiosignal, ein
30 digitales Audiosignal, ein Notenfolgesignal, ein Midi-Signal, ein Notensignal, ein analoges Steuersignal zur Steuerung eines Klangerzeugers und ein digitales Steuersignal zur Steuerung eines Klangerzeugers umfasst.
- 35 11. Begleitsystem (170) mit folgenden Merkmalen:
- einer Vorrichtung (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10; und

- 5 einer Begleitvorrichtung (180), die mit der Vorrichtung (100) gekoppelt und ausgebildet ist, um das Analysesignal zu empfangen und basierend auf dem Analysesignal ein Notensignal bereitzustellen.
12. Begleitsystem (170) nach Anspruch 11, bei dem die Begleitvorrichtung (180) ferner ausgebildet ist, um basierend auf dem Analysesignal einen Akkord und/oder eine diatonische Tonleiter zu bestimmen und das Bereitstellen des Notensignals basierend auf dem Akkord bzw. der diatonischen Tonleiter durchzuführen.
- 10 13. Begleitsystem (170) nach einem der Ansprüche 11 oder 12, das ferner eine Melodieerfassungseinrichtung aufweist, die ausgebildet ist, um ein Melodiesignal zu erfassen, bezüglich einer Verteilung von Halbtönen zu analysieren und basierend auf der Analyse ein Melodieerfassungssignal bereitzustellen, und eine Melodieerzeugungseinrichtung, die mit der Melodieerfassungseinrichtung gekoppelt und ausgebildet ist, um basierend auf dem Melodieerfassungssignal ein Melodienotensignal zu erzeugen.
- 15 20 25 14. Messsystem (190) mit folgenden Merkmalen:
- einer Vorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 10; und
- 30 einer Anzeigevorrichtung (195), die mit der Vorrichtung (100) gekoppelt ist, um das Analysesignal zu empfangen, und ausgebildet ist, um basierend auf dem Ausgabesignal ein einen Winkel des Summenvektors anzeigendes Ausgabesignal bereitzustellen.
- 35 15. Messsystem (190) nach Anspruch 14, bei dem die Anzeigevorrichtung (195) ein Ausgabefeld (210; 800) mit einer Ausgabefeldmitte (215) und einer Ausgabefeldvor-

zugsrichtung und einer Anzeigesteuereinrichtung (205) aufweist, wobei die Anzeigesteuereinrichtung (205) mit dem Ausgabefeld (210; 800) gekoppelt ist, wobei jedem Zwischenvektor eine Ausgabefeldradialrichtung mit einem Winkel bezogen auf die Ausgabefeldvorzugsrichtung einer Mehrzahl von Ausgabefeldradialrichtungen zugeordnet ist, der einem Winkel eines Zwischenvektors bezogen auf eine Zwischenvektorvorzugsrichtung entspricht, und wobei die Anzeigesteuereinrichtung (205) ausgebildet ist, um das Ausgabefeld (210; 800) so anzusteuern, dass eine Ausgabefeldradialrichtung als Summenvektorradi alrichtung bezogen auf die Ausgabefeldvorzugsrichtung unter dem Winkel des Summenvektors als Ausgabesignal hervorgehoben wird.

15

16. Messsystem (190) nach Anspruch 15, bei dem die Anzeigevorrichtung (195) ausgebildet ist, so dass jeder Ausgabefeldradialrichtung, der ein Zwischenvektor zugeordnet ist, eine Tonigkeit zugeordnet ist, wobei ein kleinster Tonabstand zwischen zwei unmittelbar benachbarten Ausgabefeldradialrichtungen zugeordneten Tonigkeiten, denen je ein Zwischenvektor zugeordnet ist einem großen Terzkreis oder einem kleinen Terzabstand entspricht.

20

17. Messsystem (190) nach einem der Ansprüche 15 oder 16, bei dem die Anzeigevorrichtung (195) ausgebildet ist, um die Summenvektorradi alrichtung (220) mit einer bezogen auf die Ausgabefeldmitte (215) auf einer Länge des Summenvektors basierenden Länge hervorzuheben.

25

18. Messsystem (190) nach einem der Ansprüche 15 bis 17, bei dem die Anzeigevorrichtung (195) ausgebildet ist, um die Hervorhebung optisch oder mechanisch durchzuführen.

30

19. Detektionssystem (230) mit folgenden Merkmalen:

einer Integratoreinrichtung (240), die ausgebildet ist, um ein zeitabhängiges Audioeingangssignal zeitlich zu integrieren und als Audiodatum bereitzustellen;

5

einer Vorrichtung (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, die mit der Integratoreinrichtung (240) gekoppelt ist und das Analysesignal bereitstellt; und

10

einer Auswertungsvorrichtung (250), die mit der Vorrichtung (100) gekoppelt und ausgebildet ist, um basierend auf dem Analysesignal einen zeitlichen Verlauf einer Länge des Summenvektors zu analysieren und, wenn der zeitliche Verlauf der Länge des Summenvektors ein Maximum oder ein Minimum aufweist, ein Detektionssignal auszugeben.

15

20. Detektionssystem (230) nach Anspruch 19, bei dem die Integratoreinrichtung (240) ferner mit der Auswertungsvorrichtung (250) gekoppelt ist, um das Detektionssignal zu empfangen, und ausgebildet ist, um auf das Empfangen des Detektionssignals hin einen Neustart der zeitlichen Integration durchzuführen.

20

25 21. Tonartbestimmungssystem mit folgenden Merkmalen:

einer Vorrichtung (100) gemäß einem der Ansprüche 8 oder 9; und

30

einer Tonartbestimmungseinrichtung, die mit der Vorrichtung (100) gekoppelt und ausgebildet ist, um basierend auf dem Analysesignal der Vorrichtung (100) ein eine Tonart anzeigendes Tonartsignal zu erzeugen und an einem Ausgang bereitzustellen.

35

22. Verfahren zur Analyse eines Audiodatums mit folgenden Schritten:

Analysieren des Audiodatums bezüglich einer Lautstärkeinformationsverteilung über eine Menge von Halbtönen;

- 5 Berechnen eines zweidimensionalen Zwischenvektors basierend auf der Lautstärkeinformationsverteilung oder einer aus der Lautstärkeinformationsverteilung abgeleiteten Verteilung, die eine auf der Menge von Halbtönen basierende Definitionsmenge aufweist, für jeden
10 Halbton oder jedes Element der Definitionsmenge;

Berechnen eines Summenvektors basierend auf den zweidimensionalen Zwischenvektoren; und

- 15 Ausgeben eines auf dem Summenvektor basierenden Analysesignals.

23. Computer-Programm mit einem Programmcode zum Durchführen des Verfahrens zur Analyse eines Audiodatums nach
20 Anspruch 22, wenn das Computer-Programm auf einem Computer abläuft.

FIG 1

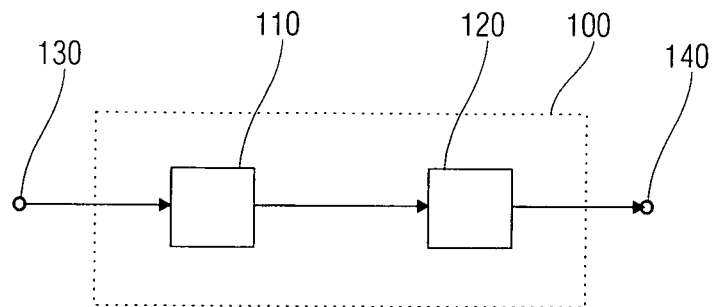


FIG 2

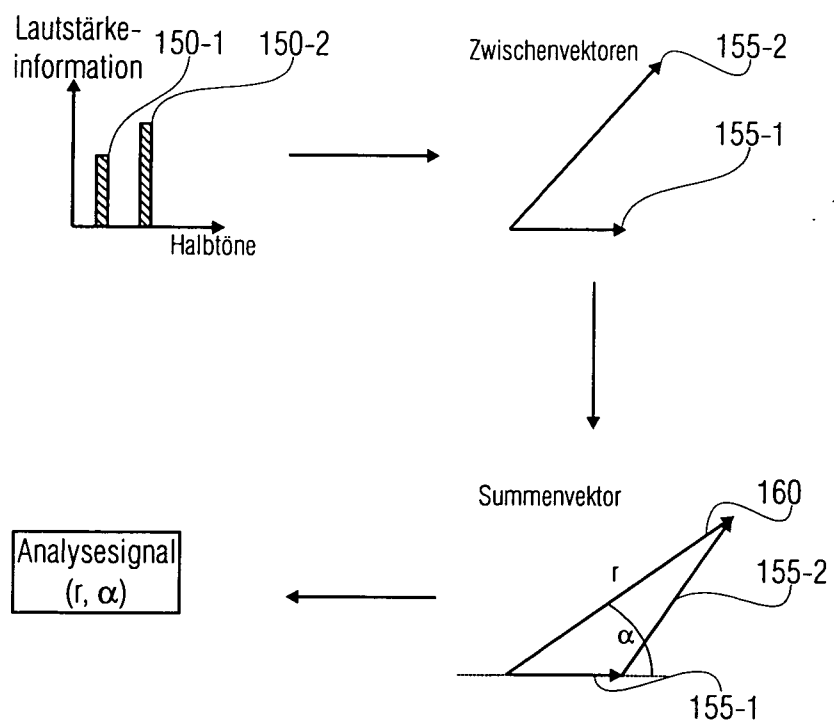


FIG 3a

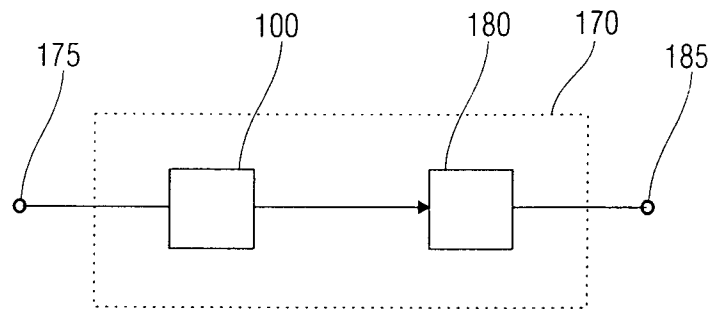


FIG 3b

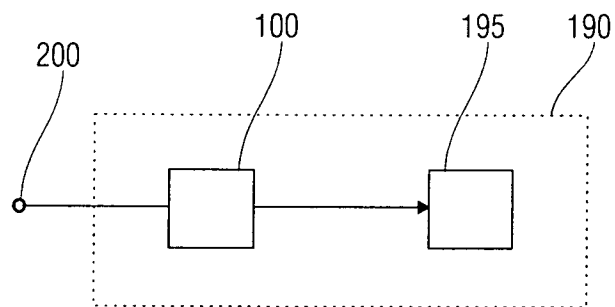


FIG 3c

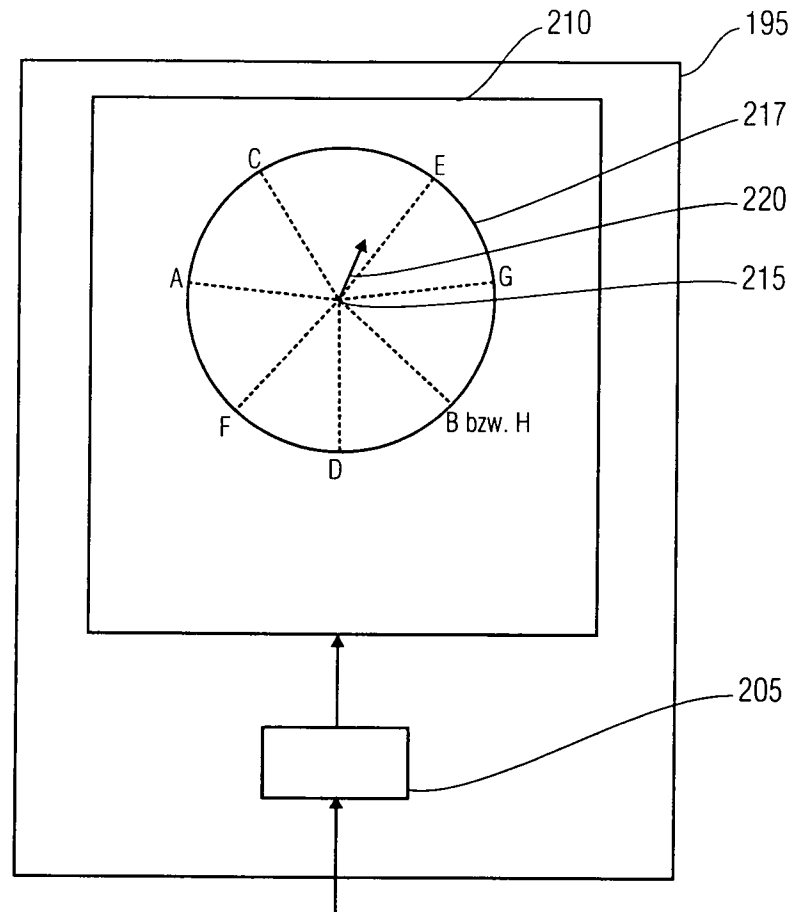


FIG 3d

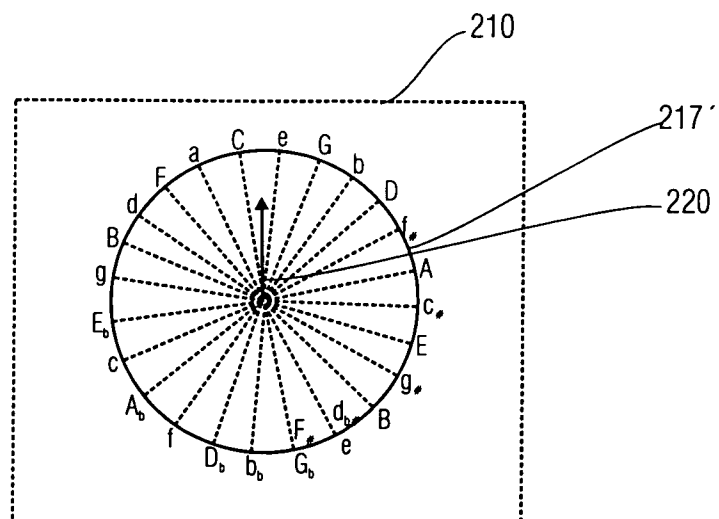


FIG 3e

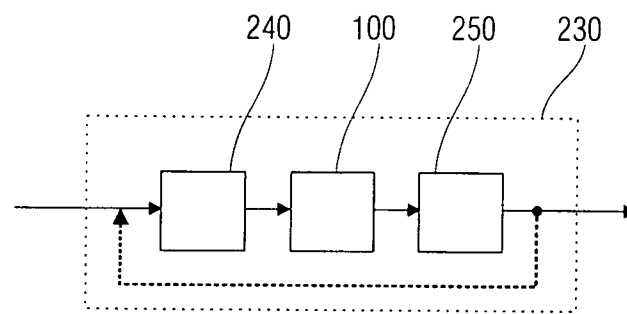


FIG 4a

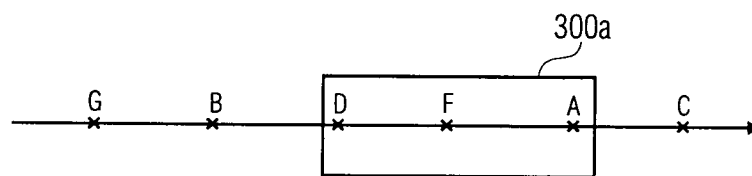


FIG 4b

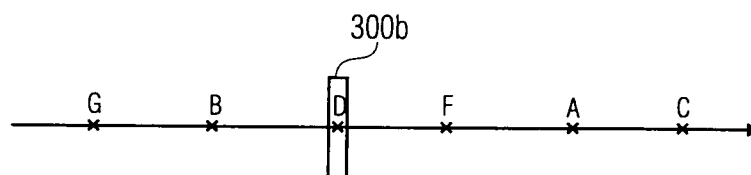


FIG 4c

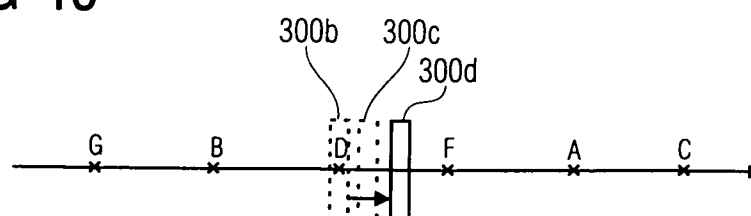


FIG 4d

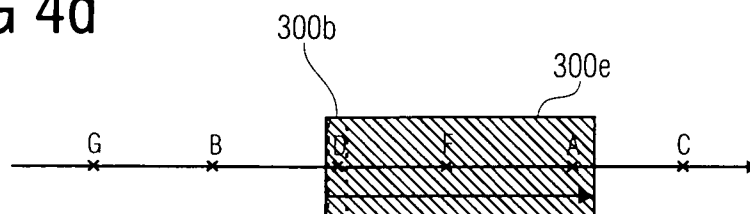


FIG 4e

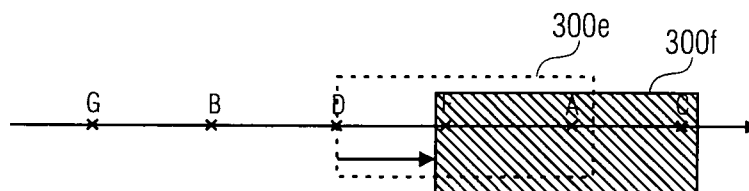


FIG 5a

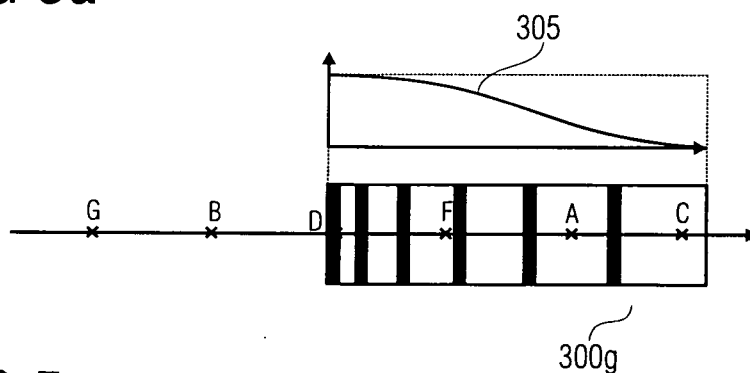


FIG 5c

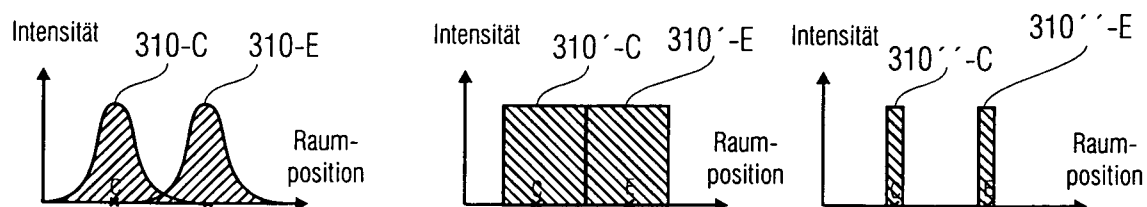


FIG 5b

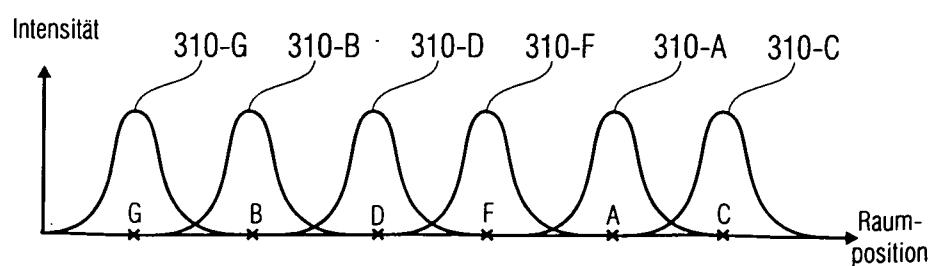


FIG 6a

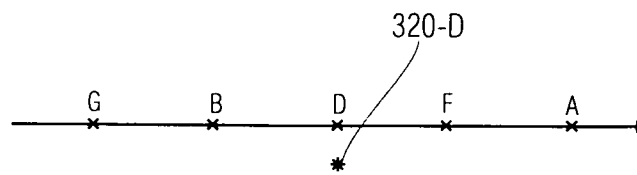


FIG 6b

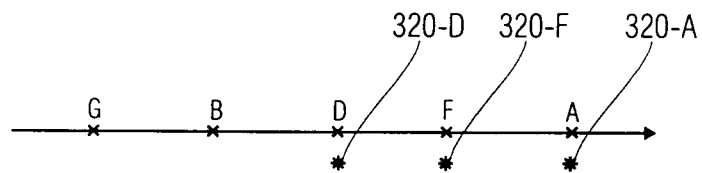


FIG 6c

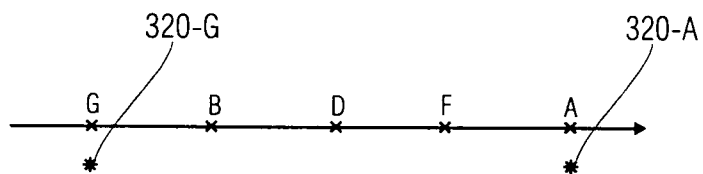


FIG 6d

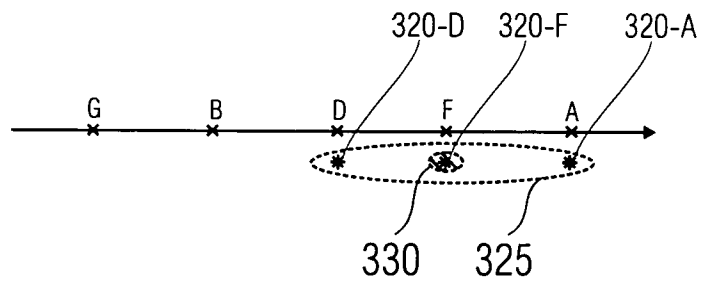


FIG 7

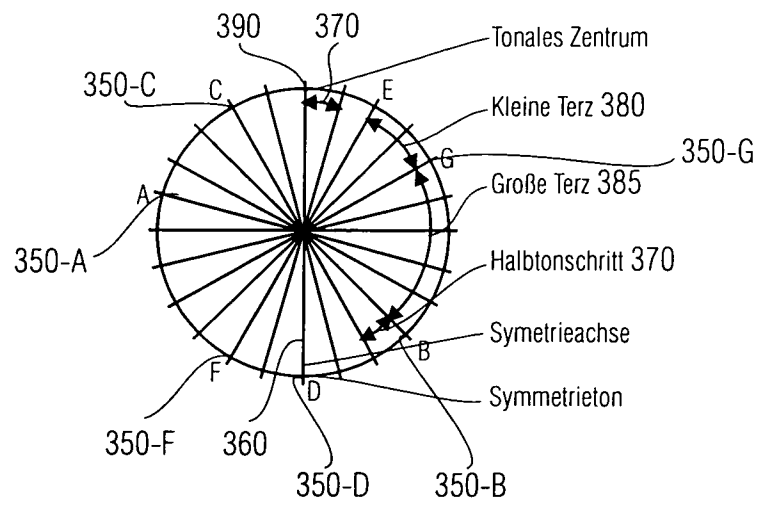


FIG 8

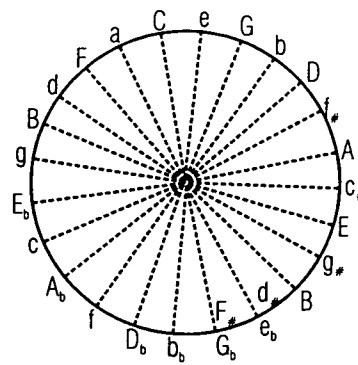


FIG 9

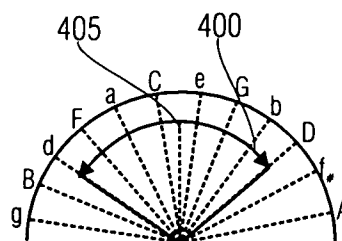


FIG 10

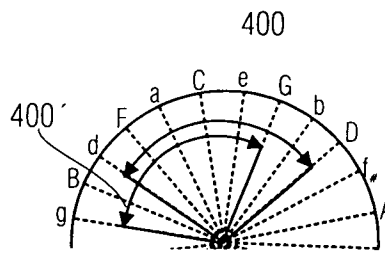


FIG 11

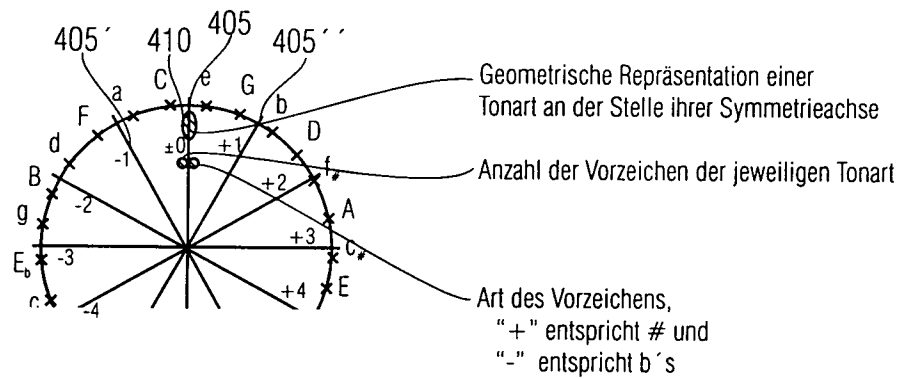


FIG 12

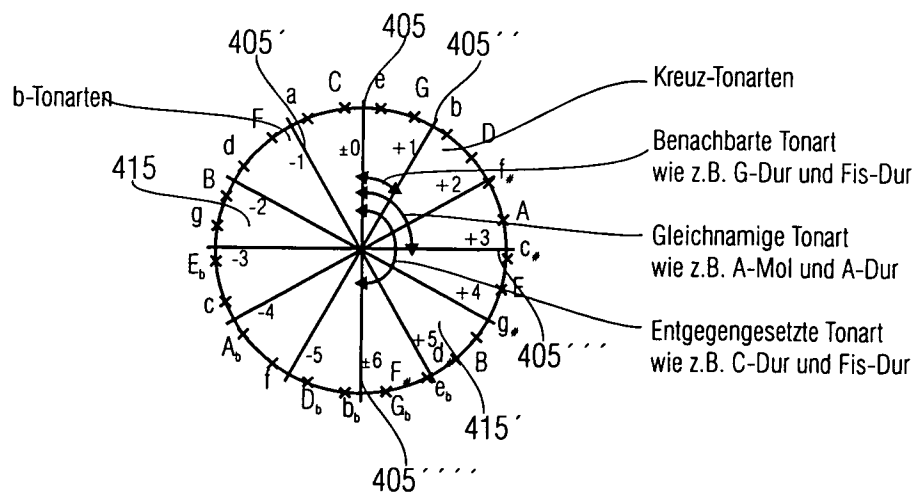


FIG 13

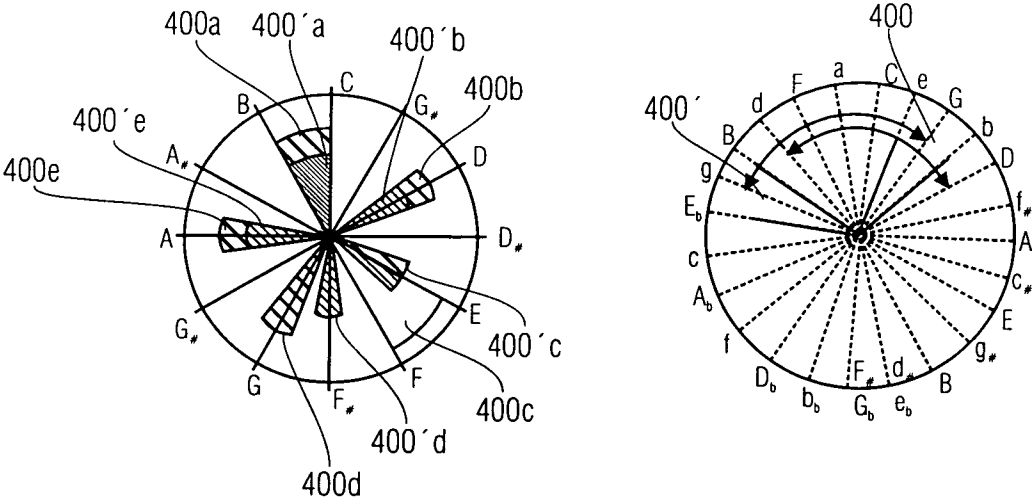


FIG 14

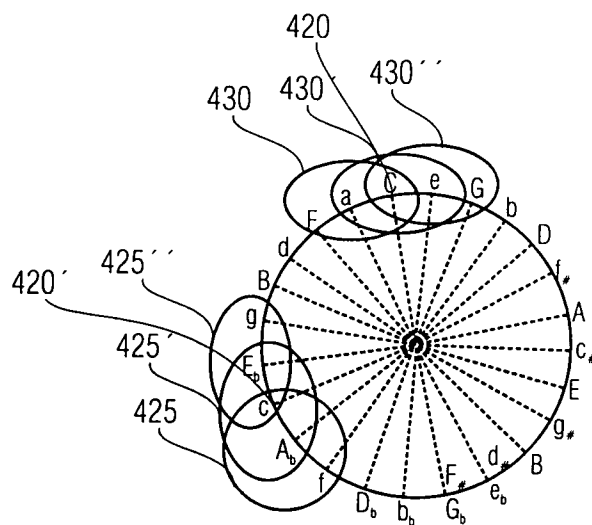


FIG 15

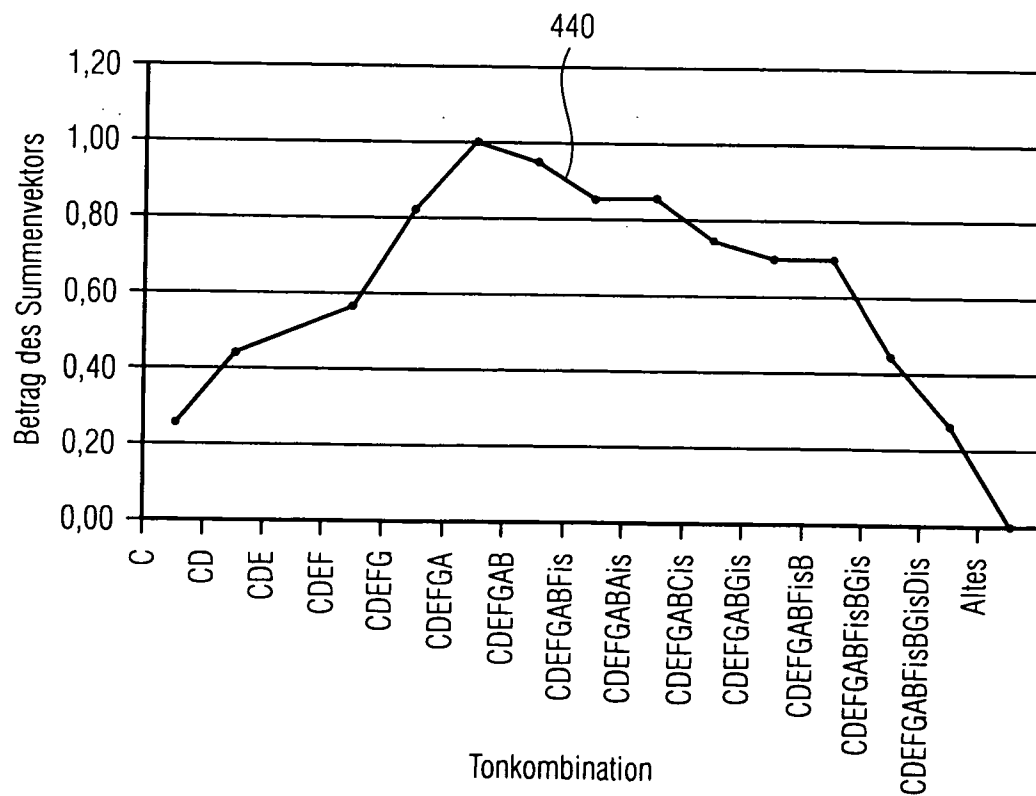


FIG 16

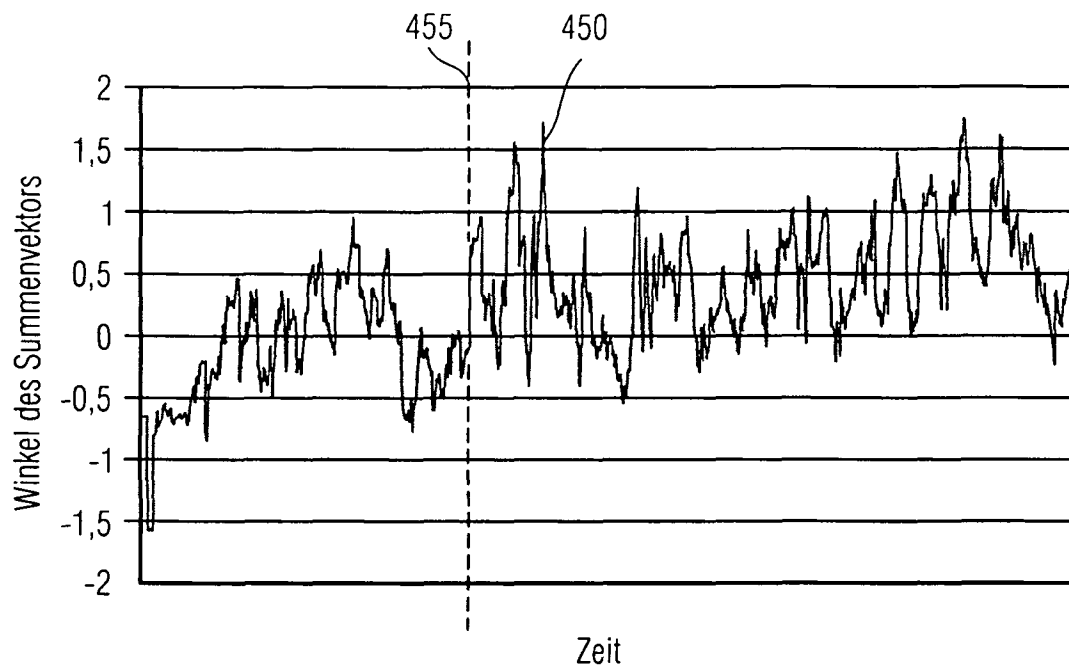


FIG 17

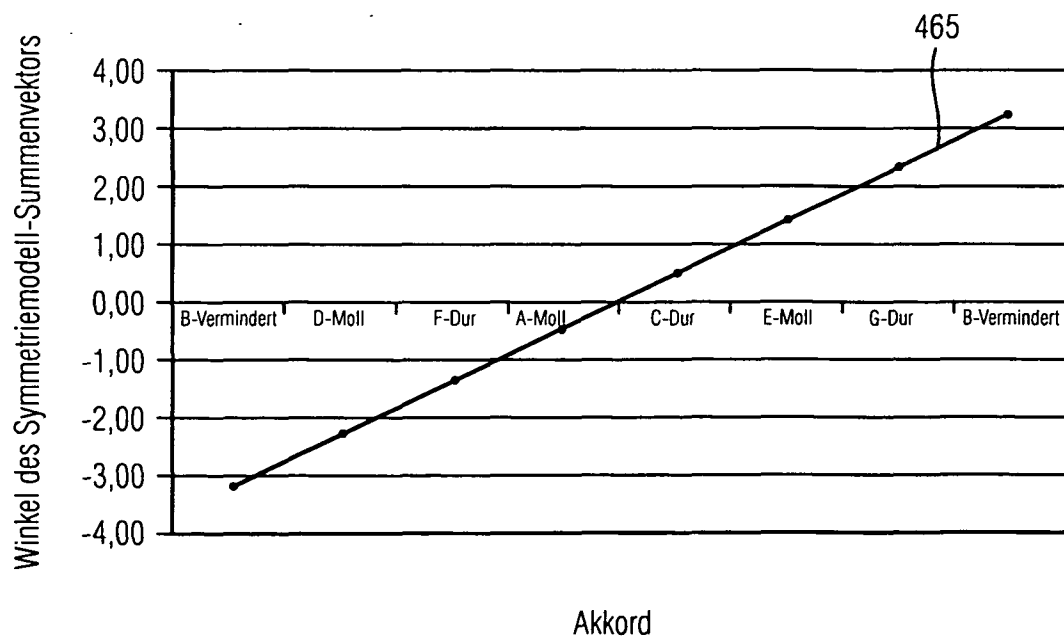


FIG 18

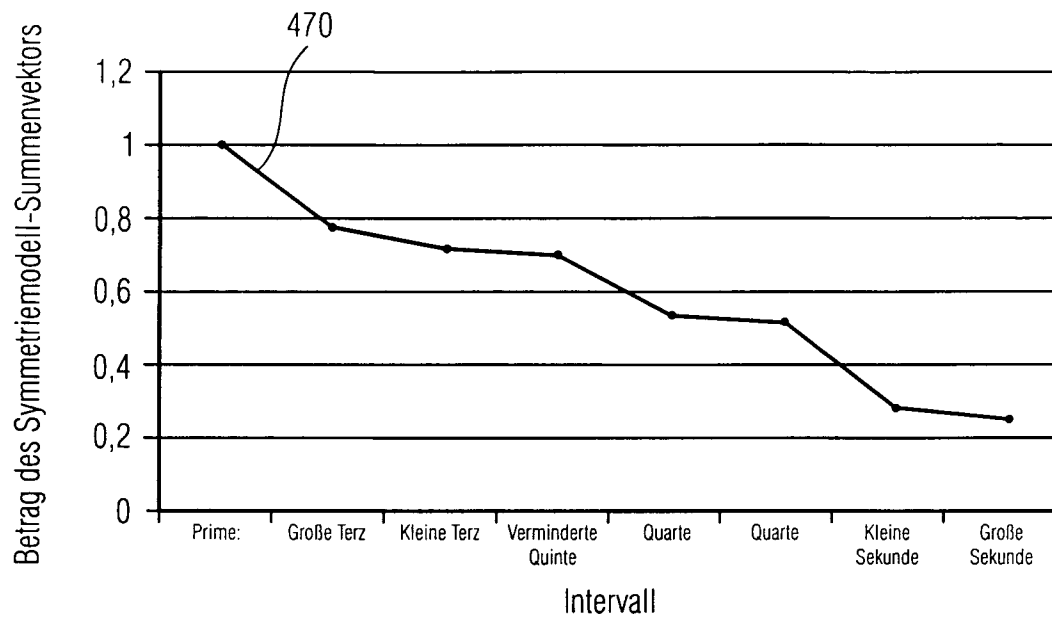


FIG 19

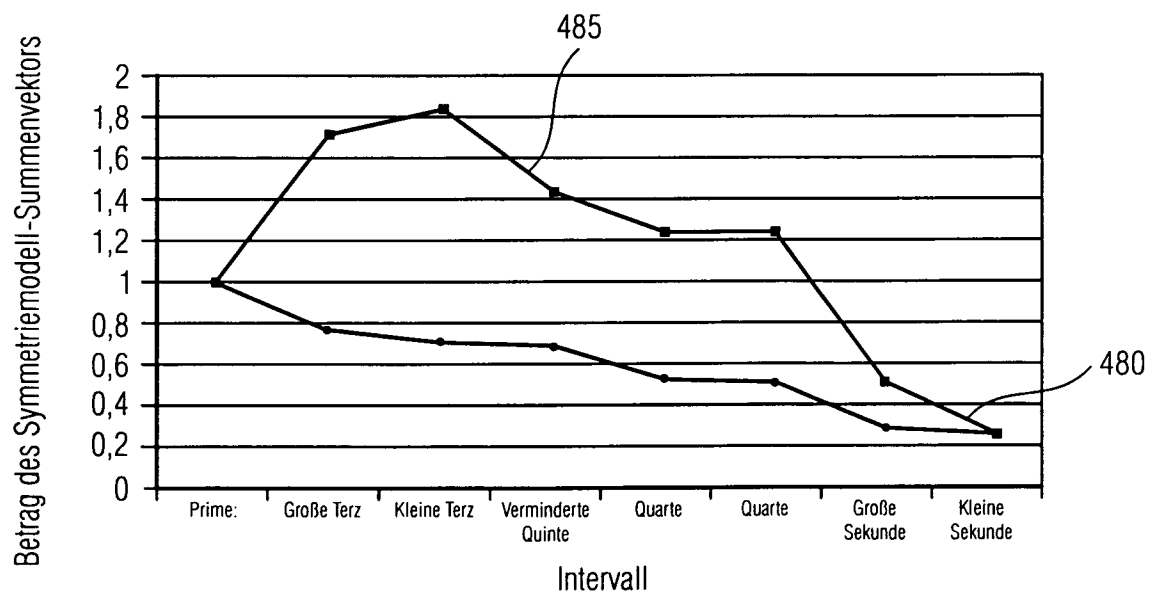


FIG 20

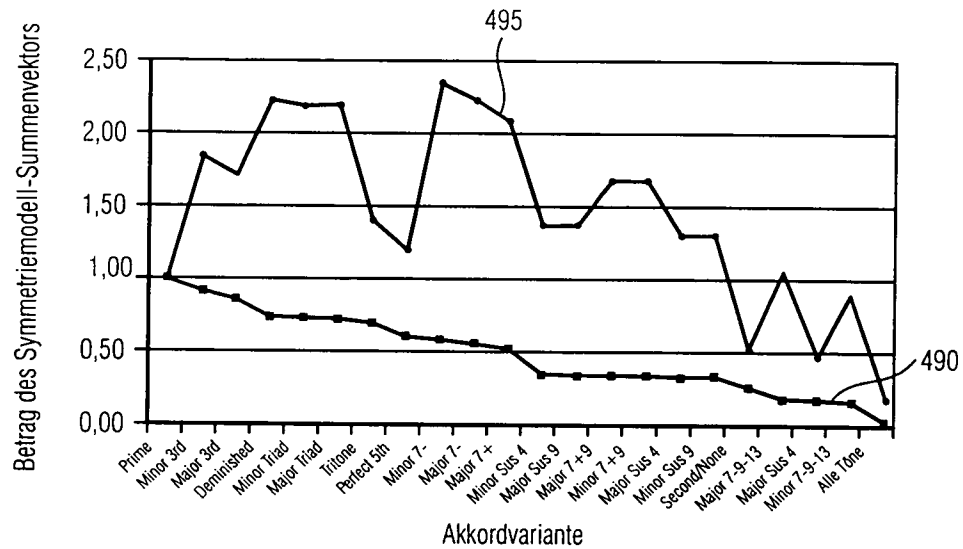


FIG 21

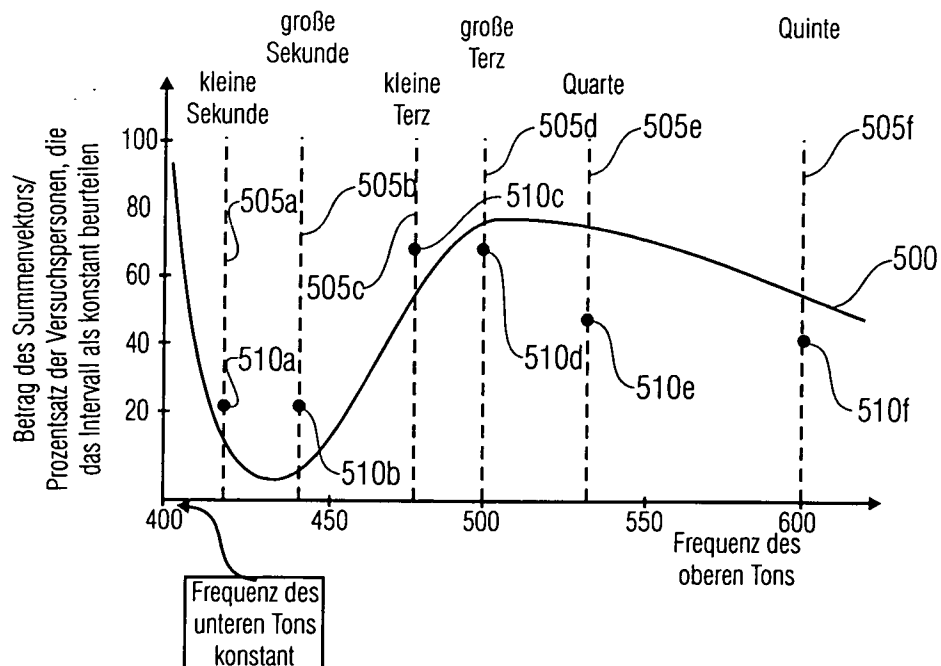


FIG 22

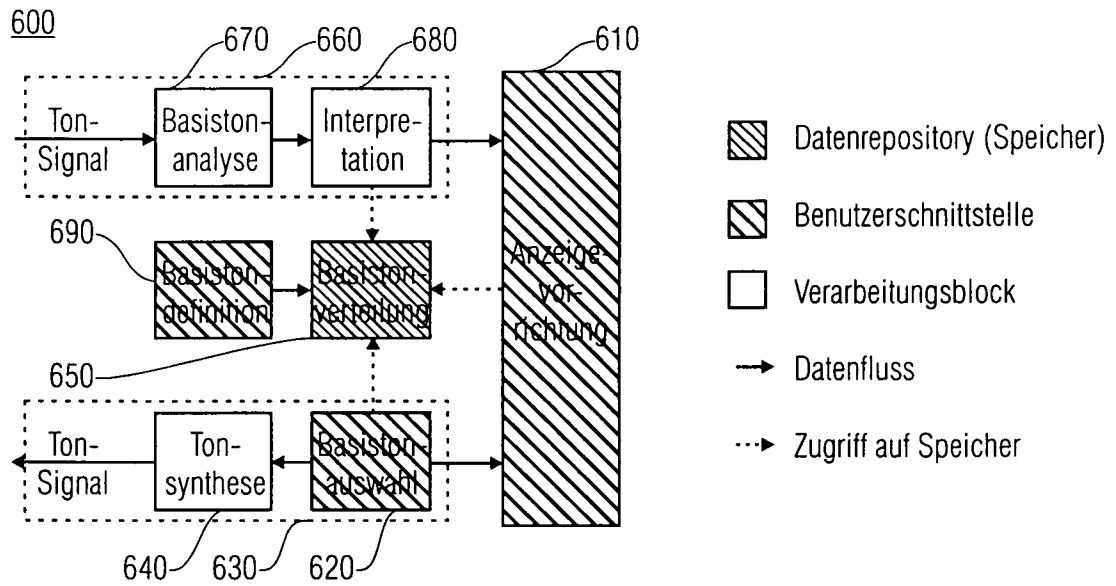


FIG 23

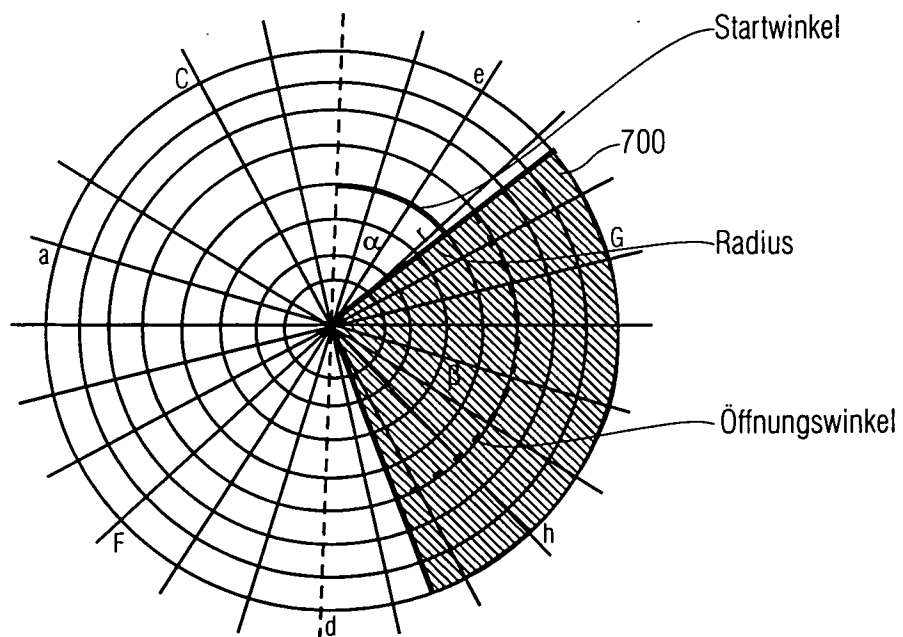


FIG 24

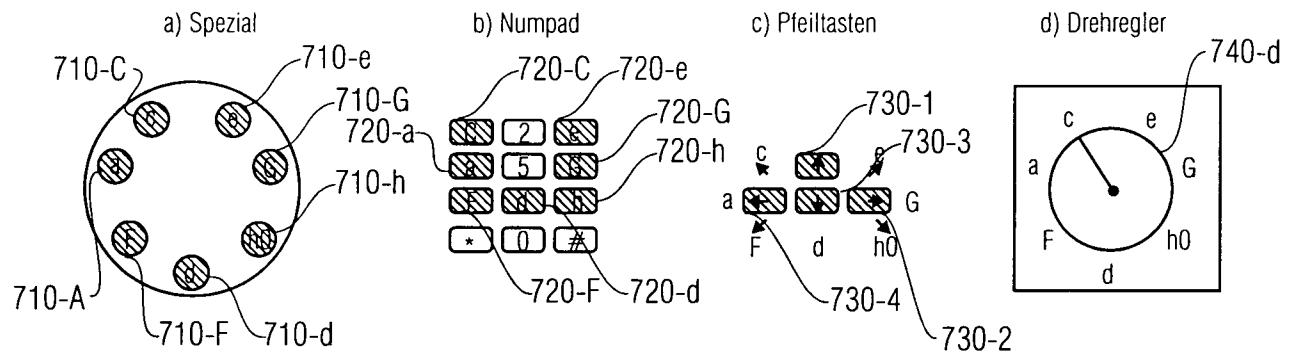


FIG 25

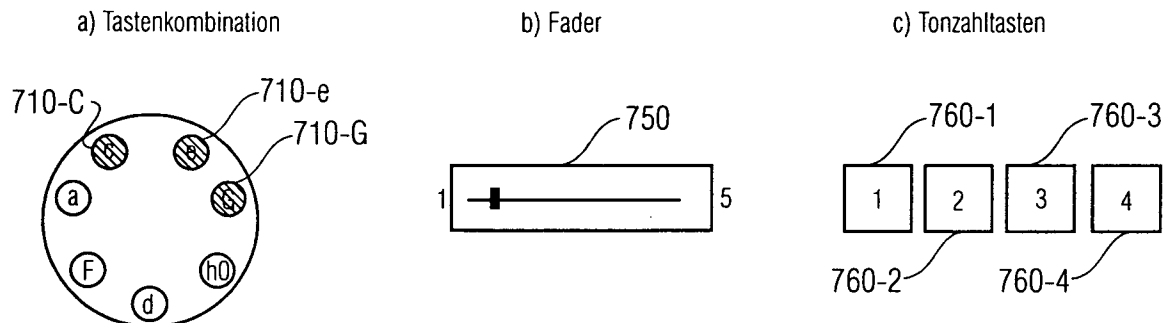


FIG 26

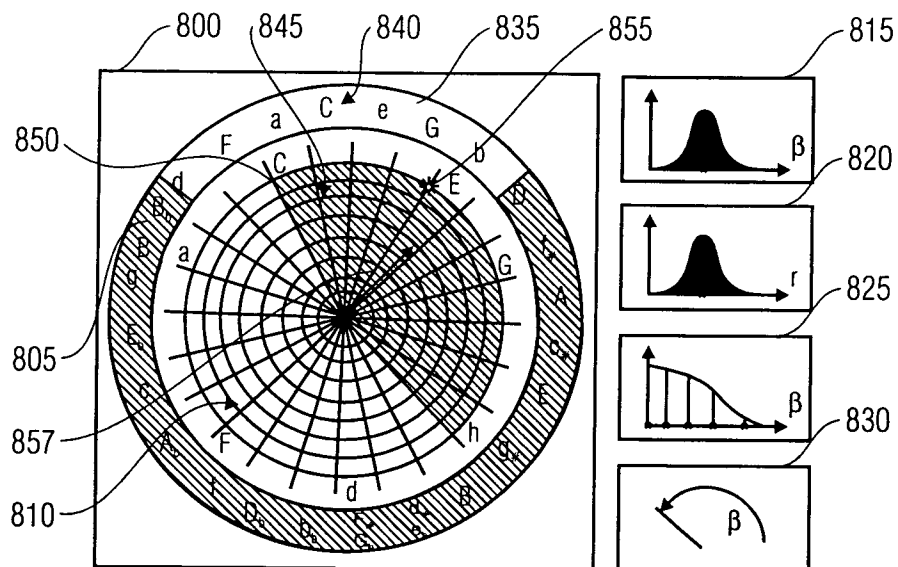
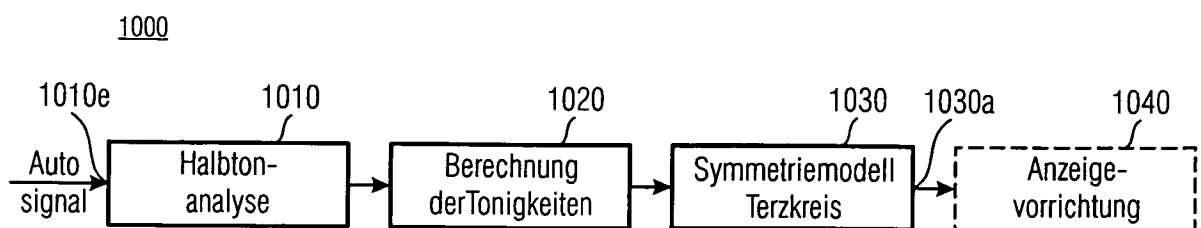


FIG 27



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2007/000560

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G10H1/00 G10G1/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G10H G09B G10G

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	ÖZGÜR IZMIRLI: "An Algorithm for Audio Key Finding" MIREX 2005 CONTEST RESULTS, [Online] 2005, XP002426658 LONDON UK Retrieved from the Internet: URL: http://www.music-ir.org/evaluation/mirex-results/articles/key_audio/izmirli.pdf [retrieved on 2007-03-26]	1-4, 7-10, 21-23
Y	abstract; figure 1 Abschnitte 2-4	11,12
Y	WO 2006/005567 A (TEN FORSCHUNG E V FRAUNHOFER G [DE]; DERBOVEN CLAAS [DE]; CREMER MARKU) 19 January 2006 (2006-01-19) abstract; figure 7 page 24, paragraph 2 - page 27, paragraph 1	11,12
	----- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

G document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 April 2007

Date of mailing of the international search report

11/05/2007

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Lecoainte, Michael

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2007/000560

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EMILIA GÓMEZ, JORDI BONADA: "TONALITY VISUALIZATION OF POLYPHONIC AUDIO" ICMC 2005 PROCEEDINGS, [Online] 5 September 2005 (2005-09-05), XP002426659 Barcelona Spain Retrieved from the Internet: URL: http://www.iaa.upf.es/~egomez/TonalDescription/GomezBonada-ICMC2005.pdf [retrieved on 2007-03-26]	1,21-23
A	the whole document	2-10, 14-20
A	CHING-HUA CHUAN ET AL: "Polyphonic Audio Key Finding Using the Spiral Array CEG Algorithm" MULTIMEDIA AND EXPO, 2005. ICME 2005. IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON AMSTERDAM, THE NETHERLANDS 06-06 JULY 2005, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, 6 July 2005 (2005-07-06), pages 21-24, XP010843224 ISBN: 0-7803-9331-7 Abschnitte 2-3	1-10, 21-23
A	JUAN BELLO, JEREMY PICKENS: "A Robust Mid-level Representation for Harmonic Content in Music Signals" ISMIR 2005, September 2005 (2005-09), XP002426660 LONDON UK Abschnitte 2-5	1-10, 21-23
A	H. PURWINS, T. GRAEPEL, B. BLANKERTZ, AND K. OBERMAYER: "Correspondence Analysis for Visualizing Interplay of Pitch Class, Key, and Composer" PERSPECTIVES IN MATHEMATICAL MUSIC THEORY, 2003, XP002426661 Epos Verlag, Osnabrück Abschnitte 2-3	1-10, 19-23
A	US 2003/209130 A1 (ANDERSON CLIFTON L [US] ET AL) 13 November 2003 (2003-11-13) abstract; figures 1,3,4 paragraphs [0013] - [0021]	1,22,23
A	US 2001/052283 A1 (BOYER STEPHEN W [US]) 20 December 2001 (2001-12-20) abstract; figures 1-7 paragraphs [0010], [0011] paragraphs [0014] - [0016]	1,14, 21-23
A	EP 1 533 786 A (PIONEER CORP [JP]) 25 May 2005 (2005-05-25) abstract; figures 1,4,9-11,13,18 paragraphs [0014] - [0017]	1-10,14, 21-23

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2007/000560

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2006005567	A	19-01-2006	DE 102004033829 A1	16-02-2006
US 2003209130	A1	13-11-2003	US 2004060422 A1	01-04-2004
US 2001052283	A1	20-12-2001	NONE	
EP 1533786	A	25-05-2005	CN 1619640 A	25-05-2005
			JP 2005156713 A	16-06-2005
			US 2005109194 A1	26-05-2005

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/000560

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G10H1/00 G10G1/02

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G10H G09B G10G

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	ÖZGÜR IZMIRLI: "An Algorithm for Audio Key Finding" MIREX 2005 CONTEST RESULTS, [Online] 2005, XP002426658 LONDON UK Gefunden im Internet: URL: http://www.music-ir.org/evaluation/mirex-results/articles/key_audio/izmirli.pdf [gefunden am 2007-03-26]	1-4, 7-10, 21-23
Y	Zusammenfassung; Abbildung 1 Abschnitte 2-4	11,12
Y	WO 2006/005567 A (TEN FORSCHUNG E V FRAUNHOFER G [DE]; DERBOVEN CLAAS [DE]; CREMER MARKU) 19. Januar 2006 (2006-01-19) Zusammenfassung; Abbildung 7 Seite 24, Absatz 2 - Seite 27, Absatz 1 ----- -/--	11,12

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

27. April 2007

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

11/05/2007

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Lecoainte, Michael

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EMILIA GÓMEZ, JORDI BONADA: "TONALITY VISUALIZATION OF POLYPHONIC AUDIO" ICMC 2005 PROCEEDINGS, [Online] 5. September 2005 (2005-09-05), XP002426659 Barcelona Spain Gefunden im Internet: URL: http://www.iaa.upf.es/~egomez/TonalDescription/GomezBonada-ICMC2005.pdf [gefunden am 2007-03-26]	1,21-23
A	das ganze Dokument	2-10, 14-20
A	CHING-HUA CHUAN ET AL: "Polyphonic Audio Key Finding Using the Spiral Array CEG Algorithm" MULTIMEDIA AND EXPO, 2005. ICME 2005. IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON AMSTERDAM, THE NETHERLANDS 06-06 JULY 2005, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, 6. Juli 2005 (2005-07-06), Seiten 21-24, XP010843224 ISBN: 0-7803-9331-7 Abschnitte 2-3	1-10, 21-23
A	JUAN BELLO, JEREMY PICKENS: "A Robust Mid-level Representation for Harmonic Content in Music Signals" ISMIR 2005, September 2005 (2005-09), XP002426660 LONDON UK Abschnitte 2-5	1-10, 21-23
A	H. PURWINS, T. GRAEPEL, B. BLANKERTZ, AND K. OBERMAYER: "Correspondence Analysis for Visualizing Interplay of Pitch Class, Key, and Composer" PERSPECTIVES IN MATHEMATICAL MUSIC THEORY, 2003, XP002426661 Epos Verlag, Osnabrück Abschnitte 2-3	1-10, 19-23
A	US 2003/209130 A1 (ANDERSON CLIFTON L [US] ET AL) 13. November 2003 (2003-11-13) Zusammenfassung; Abbildungen 1,3,4 Absätze [0013] - [0021]	1,22,23
A	US 2001/052283 A1 (BOYER STEPHEN W [US]) 20. Dezember 2001 (2001-12-20) Zusammenfassung; Abbildungen 1-7 Absätze [0010], [0011] Absätze [0014] - [0016]	1,14, 21-23
	----- -/--	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/000560

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>EP 1 533 786 A (PIONEER CORP [JP]) 25. Mai 2005 (2005-05-25) Zusammenfassung; Abbildungen 1,4,9-11,13,18 Absätze [0014] - [0017] -----</p>	<p>1-10,14, 21-23</p>

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/000560

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 2006005567	A	19-01-2006	DE 102004033829	A1	16-02-2006
US 2003209130	A1	13-11-2003	US 2004060422	A1	01-04-2004
US 2001052283	A1	20-12-2001	KEINE		
EP 1533786	A	25-05-2005	CN 1619640	A	25-05-2005
			JP 2005156713	A	16-06-2005
			US 2005109194	A1	26-05-2005