

Stimmungsmessung in der Musikinstrumentenfertigung

Holger Schiema

Institut für Musikinstrumentenbau, Zwota

Einleitung

Die Geschichte der Stimmungsmessung reicht bis ins 18. Jahrhundert zurück. In der Zeit Georg Friedrich Händels stimmten sich die Orchester über einen breiten Bereich ein. Die Stimmung von Musikinstrumenten lag damals für den Kammerton a' bei ca. 420 Hz. Es ist also kein Zufall, dass der Militärtrompeter John Shore, welcher am königlichen Hof Englands später unter der Leitung von G. F. Händel musizierte, 1711 die Stimmgabel erfand. Diese Erfindung ermöglichte es erstmals ganze Orchester auf eine gleiche Stimmung zu bringen. Im Jahre 1859 wurde durch die Kommission Lissajous-Halevy der Kammerton a' auf 435Hz bei 18°C festgelegt, obwohl die Mehrheit aller damals verfügbaren Stimmgabeln im Mittel bei etwa 445Hz lagen. Erst im Jahre 1939 wurde der Kammerton a' auf die lange Zeit üblichen 440 Hz erhöht. Heutige Orchester stimmen sich auf etwa 444 Hz bei 20°C ein.

Um die Stimmung von Instrumenten genau messen zu können gab es im letzten Jahrhundert zahlreiche Erfindungen bezüglich der Stimmungsmessung. Der größte Teil der Geräte bedient sich der elektronischen Erfassung und Auswertung der Grundfrequenz. Der Einzug der Automatisierung machte auch vor der Stimmungsmessung im Musikinstrumentenbau nicht halt.

Verfahren der Grundfrequenzdetektion

Grundsätzlich gliedern sich die Verfahren zur Bestimmung der Grundfrequenz eines Tones bzw. Klanges in zwei Gruppen. Die erste ist die Diskretisierung der Werte im Zeitbereich. Dazu zählen die Überlagerung des zu messenden Tones mit einer definiert einstellbaren Vergleichsschwingung [2]. Dabei kann die Erkennung der Frequenzgleichheit automatisch durch das Phase-Locked-Loop-Verfahren bzw. durch oszillographische Beobachtung erfolgen. Ein weiteres Verfahren stellt die Autokorrelation dar. Sie wird genutzt, um bei stark verrauschten Signalen Periodizitäten zu finden, welche ohne weiteres nicht zu finden sind. Die Autokorrelationsfunktion eines periodischen Signals ist wieder ein periodisches Signal mit der selben Periode, allerdings geht die Phaseninformation verloren. Bei Analyse von Periodizitäten wird nur die Autokorrelationsfunktion für Werte $\tau > 0$ betrachtet.

Die zweite Gruppe zur Bestimmung der Grundfrequenz ist die Diskretisierung der Werte im Frequenzbereich. Hier ist zum Einen das Verfahren der FFT-Analyse zu nennen. Mit der heutigen Rechentechnik ist es ohne weiteres möglich, Signale aus dem Zeitbereich in den Frequenzbereich zu transformieren. Man erhält so ein Frequenzspektrum, das diskrete scharfe Linien enthält. Zum Zweiten ist die Cepstralanalyse zu nennen. Dabei wird die inverse Fouriertransformierte des logarithmierten Leistungsdichtespektrums bestimmt. Durch das Logarithmieren geht die Phase verloren. Ähnlich wie bei der Autokorrelation kann die Periodendauer abgelesen werden.

Mit der Cepstralanalyse steht heute ein effektives Verfahren zur Grundfrequenzbestimmung der Sprache zur Verfügung.

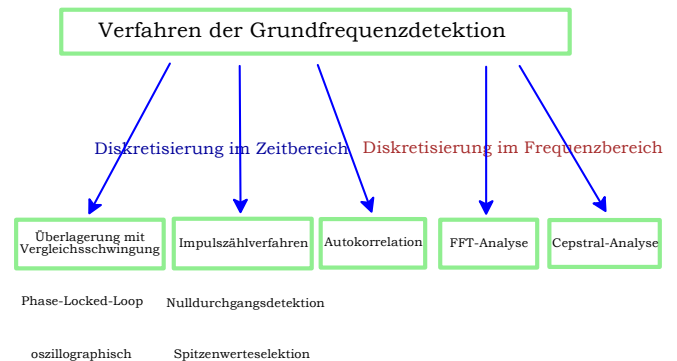


Abbildung 1: Verfahren der Grundfrequenzdetektion

Historische Entwicklungen im 20. Jahrhundert

Zu den wichtigsten Erfindungen des letzten Jahrhunderts zählen zum einen das 1936 von C. G. Conn in den USA entwickelten „Stroboconn“, welches den stroboskopischen Effekt von 12 synchron drehenden Scheiben auf denen frequenztypische Marken angebracht waren und die im Takt der zu messenden Frequenz hell und dunkel getasteten Hintergrundbeleuchtung dieser Scheiben ausnutzt. Zum Zweiten ist die Erfindung des Elektrooptischen Stimmgerätes des Instituts für Musikinstrumentenbau im Jahre 1952 zu nennen. Bei diesem Gerät wird die zu messende Frequenz mit einer Vergleichsfrequenz überlagert. Die zu messende Frequenz wird in Impulse zerlegt und einer Elektronenstrahlröhre zugeführt. Auf dem Bildschirm erscheinen Hellmarken. Entspricht nun der zu messende Ton der eingestellten Frequenz so stehen die Marken still. Laufen die Hellmarken nach oben ist der Ton zu hoch, bewegen sie sich nach unten ist der Ton zu tief. Beide Geräte bieten gegenüber weit moderneren Mikrocontroller gesteuerten Stimmungsmessgeräten den Vorteil der hohen Betriebssicherheit im Produktionsprozess, wo Störgeräusche durch Umgebungslärm nicht vermieden werden können. Zum Anderen erreichen diese Geräte sehr hohe Genauigkeiten und sind für den Instrumentenbauer gut ablesbar.

Eine in den 80er Jahren entwickelte moderne Variante stellt die Gerätegruppe der Mikrocontroller gestützten Stimmgeräte dar. Dabei basieren alle diese Geräte auf der Grundlage der hier genannten Verfahren der Grundfrequenzdetektion. Sehr leistungsfähige Geräte bieten die Möglichkeit der FFT-Analyse des Messsignals und sind somit in der Lage Periodizitäten im Frequenzverlauf darzustellen.

Bei allen Verfahren ist ein genügender Signal-Rauschabstand wichtig um die Grundfrequenz sinnvoll zu detektieren. Moderne Stimmgeräte greifen beide optischen Verfahren des „Stroboconn“s“ und des „Elektrooptischen Stimmgerätes“ wieder auf, da hier der Einfluss von Störgeräuschen gering ist. Dies ist auch verständlich, da im Produktionsprozess immer mit Störgeräuschen zu rechnen ist, welche durch noch so intelligente Detektionsverfahren der Grundfrequenz nicht oder nur sehr schlecht ausgeblendet werden können. Die hohe Genauigkeit und gute optische Darstellung z. Bsp. des Elektrooptischen Stimmgerätes des „IfM“ ist auch heute noch in der Produktion völlig ausreichend. Man ist also heute auf der Suche nach geeigneten elektronischen Schaltungen, um die Vorteile der optisch arbeitenden Stimmgeräte in moderne Geräte zu implementieren.



Abbildung 2: Elektrooptisches Stimmgerät des „IfM“

Stimmautomatisierung in der Akkordeonproduktion

Betrachtet man verschiedene Musikinstrumente unter dem Gesichtspunkt der Herstellung so ergeben sich starke Gegensätze. Zählt eine Geige auch heute noch zu den handwerklich gefertigten Instrumenten, so stellte die Herstellung von Harmonikas seit Mitte der 50er Jahre einen rein industriellen Prozess dar .

Die große Anzahl von Stimmvorgängen wäre aus der Sichtweise einer effektiven Produktion von Hand nicht zu bewältigen gewesen. Aus diesem Grund wurde Anfang der 60er Jahre erfolgreich versucht den Arbeitsgang des Stimmens zu automatisieren [1]. Das halbautomatische Stimmen von Akkordeonstimmplatten hielt als technologischer Prozess Einzug in der Produktion der Harmonikawerke in Klingenthal. Die Stimmplatten wurden per Hand von dem Mitarbeiter eingelegt, deshalb auch die Bezeichnung halbautomatisch, und danach bezüglich der Istfrequenz fotoelektrisch vermessen. Die Stimmung erfolgt durch Schleifen

am losen Ende [3]. Die fertig gestimmte Stimmplatte wurde automatisch ausgeworfen.

In den 70er Jahren wurde der technologische Prozess durch den Arbeitsgang „registrierendes Stimmungskontrollgerät“ erweitert. Dieser Arbeitsgang stellte dem Reinstimmer des fertigen Instruments eine Arbeitsgrundlage für das Reinstimmen zur Verfügung. Mit Hilfe des registrierenden Stimmungskontrollgeräts wurden alle Töne automatisch durch eine Vorrichtung angespielt und am Ende wurde die Cent-Abweichung von der Sollfrequenz auf einem Ausdruck festgehalten. Dieser Schritt erhöhte die Arbeitsproduktivität erheblich.

Ende der 70er Jahre wurde das Verfahren des halbautomatischen Stimmens von Akkordeonstimmplatten durch das vollautomatische Verfahren abgelöst. Dabei wurden die Stimmplatten auf die bekannte Weise durch Abtragen von Tonzungenmaterial am losen Ende durch Schleifen bearbeitet. Die Frequenzmessung erfolgte fotoelektrisch. Die Zuführung der Stimmplatten wurde über Schlauchmagazine ermöglicht.

Ende der 80er Jahre wurde ein Verfahren zur Stimmungskorrektur von Akkordeonstimmstöcken vom „IfM“ entwickelt. Bei diesem Verfahren sollten fertige Stimmstöcke mittels Laserbearbeitung gestimmt werden [4]. Die Ergebnisse der Entwicklung waren viel versprechend. Anfang der 90er Jahre gingen die Produktionszahlen im Harmonikawerk in Klingenthal von jährlich sonst 60000 Stück auf 6000 bis 8000 Stück zurück. Der hohe investive Aufwand einer Laserbearbeitungsanlage war nicht mehr gerechtfertigt, sodass das Verfahren bis heute nicht zum Einsatz kam.

Zusammenfassung

Das 20. Jahrhundert war aus der Sicht der Stimmungsmesstechnik reich an innovativen Erfindungen. Hierbei sind die Geräte der stroboskopischen Darstellung, das Elektrooptische Stimmgerät und die Gerätegruppe der Mikrocontroller-Stimmgeräte zu nennen. Der Einzug der Elektronik als Hilfsmittel im Musikinstrumentenbau ermöglichte es, auch den sonst nur von geübten Fachkräften ausgeführten sensiblen Stimmprozess von Zungeninstrumenten voll zu automatisieren. Eine Reihe von halb- und vollautomatischen Stimmverfahren hielt Einzug in die Musikinstrumentenfertigung.

Heutige moderne Stimmverfahren und Geräte bauen auf den alten Verfahren früherer Stimmgeräte auf.

Literatur

- [1] Richter, G.: Akkordeon, Handbuch für Musiker und Instrumentenbauer. Fachbuchverlag Leipzig (1990)
- [2] Ziegenhals, G.: Ein universelles Lösungskonzept zur Stimmungsmessung an Musikinstrumenten. Demusa Report (1988)
- [3] DDR-Patentschrift 27090: Verfahren zum automatischen Stimmen mechanischer Frequenzzeuger, insbesondere von Tonzungen
- [4] DDR-Patentschrift 248206: Verfahren zur Frequenzkorrektur von Tonzungen und anderen mechanischen Tonerzeugern