

Akustische Untersuchungen an einer Kirchenorgel

U. BAUMANN

(Lehrstuhl für Elektroakustik der Technischen Universität München)

Einleitung

Die zu untersuchende Orgel befindet sich in der Klosterkirche des kleinen Ortes Maihingen, etwa 12 Kilometer nördlich von Nördlingen entfernt. Sie wurde, im Jahre 1737 von Johann Martin Baumeister aus Eichstätt fertiggestellt, nur für einen relativ kurzen Zeitraum genutzt und wird nun mit erheblichem Aufwand restauriert. Der Vorgang der Restauration soll durch akustische Analysen dokumentiert werden. Da keine weitere Orgel Baumeisters bekannt ist, fehlen Vergleichsmöglichkeiten mit anderen Instrumenten. Der große Prospekt besteht aus Hauptgehäuse mit Spielschrank sowie Rückpositiv in der ca. 8 Meter hohen Emporenbrüstung.

Die Disposition des Instruments umfaßt Ober- und Untermanual sowie ein Baßpedal. Die Beschriftung der Registerzüge weist Besonderheiten wie Quint 3' oder Octav Baß 6' auf, die aber auf großzügige Rundungen des Beschrifters zurückzuführen sind, richtig wäre 2 2/3' und 5 1/3'.

Die letzte nachweisbare Reparatur der Orgel erfolgte 1808. Aus diesem Grund ist das Pfeifenwerk in einem sehr desolaten Zustand, und die meisten noch einigermaßen funktionstüchtigen Pfeifen sind total verstimmt. Die Zuhilfenahme statistischer Verfahren läßt jedoch eine Aussage zur ursprünglichen Intonation erhoffen. Die Restauration wird in 3 Schritten durchgeführt :

- Direkt zugängliche Pfeifen des Prinzipals und des Rückpositivs werden spielbar gemacht und akustisch aufgezeichnet.
- Behutsames Ausheben und Spielbar-Machen des restlichen Werkes soweit möglich. Anschließend akustische Aufzeichnung.
- erneutes Ausheben und Restauration des Pfeifenwerkes. Die Veränderungen an den Pfeifen werden katalogisiert.

Nach dem Zusammenbau der Orgel soll eine erneute akustische Aufzeichnung und Analyse der Klangveränderungen erfolgen.

Zu den Auswertungen der akustischen Aufzeichnungen gehören:

- Bestimmung der Grundfrequenz der einzelnen Pfeifen und damit
- Aussagen zur Stimmung der Orgel
- Katalogisierte Klanganalyse jeder Pfeife
- Bestimmung der raumakustischen Einflüsse auf das Klangbild

Insgesamt sind zusammen ca. 926 Orgelpfeifen zu restaurieren. Im folgenden wird der momentane Stand der Untersuchungen an einigen Beispielen dargestellt.

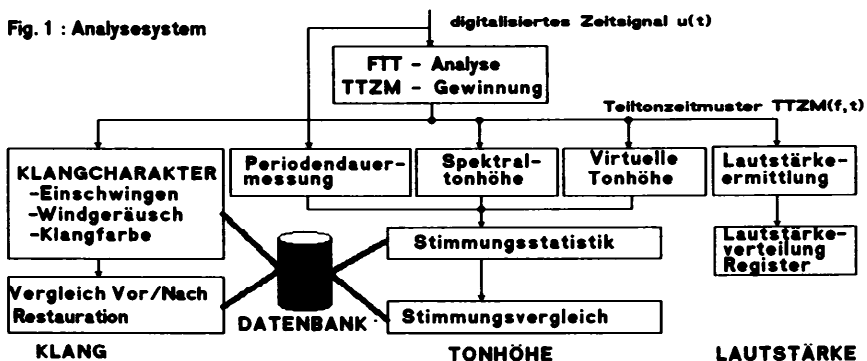
Analysesystem

Fig. 1 zeigt das Analysesystem zur Auswertung. Das mit 48 kHz abgetastete, 16 bit quantisierte Zeitsignal $u(t)$ wird einer gehörgerechten Spektraltransformation unterworfen. Als besonders geeignet erwies sich die Fourier-t-Transformation [1,2] mit modifizierten Analysefenster 2.Ordnung nach [2,3,4]. Die schnelle Einschwingzeit bei kleiner Bandbreite dieser Transformation ermöglicht die Detektion von Anblasgeräuschen und Vorläufertönen. Die FFT liefert kontinuierlich für jeden Abtastwert des Zeitsignals ein aus 440 Frequenzstützstellen zusammengesetztes Spektrum. Aus dieser quasikontinuierlichen Folge von Spektren wird im Abstand von 5 ms eine

spektrale Maximumsdetektion zur Gewinnung eines Teiltonmusters (TTM) durchgeführt. Die Folge der alle 5 ms gewonnenen TTM bildet das Teiltonzeitmuster (TTZM). Dabei ergibt sich gegenüber dem Zeitsignal eine Datenreduktion um den Faktor 7-8 je nach Pfeife.

Bis auf die Periodendauermessung bildet das TTZM die Grundlage für alle weiteren Verarbeitungsschritte. Global soll eine Spezifizierung der Zeitsignale in Klang, Tonhöhe und Lautstärke erfolgen.

Fig. 1 : Analysesystem



Der Klang der Orgelpfeife wird untergliedert in:

- quasistationäres Spektrum nach dem Einschwingvorgang
- Nebengeräusche, die durch das quasistationäre Spektrum nicht erfaßt werden
- sowie Einschwingvorgänge während des Anblasvorgangs.

Ein Datenbanksystem soll den Vergleich vor/nach der Restauration ermöglichen.

Die Ermittlung der Tonhöhe der Orgelpfeife soll später von einem Tonhöhenberechnungsverfahren [6] unter psychoakustischen Gesichtspunkten erfolgen. Aufgrund der langen Rechenzeiten der Analyse wurde jedoch übergangsweise ein einfacheres Zeitbereichsverfahren verwendet, um erste Aufschlüsse über die Stimmung der Orgel zu erhalten. Dabei filtert ein steilflankiger digitaler Bandpass die Grundschwingung heraus. Von ihr wird die Periodendauer bestimmt und damit die Grundfrequenz der Pfeife. Nachteilig an diesem Verfahren ist die nicht vorhandene Berücksichtigung psychoakustischer Gesichtspunkte der Tonhöhenempfindung, denn die Frequenz des tiefsten Teiltons sagt ja bekanntlich noch nichts über die vom Menschen wahrgenommene Tonhöhe aus [7,8]. Aus der Bestimmung der Tonhöhe aller Pfeifen soll eine mittlere Stimmung gewonnen werden, die mit bekannten Intonationen verglichen wird.

Durch Lautstärkemessung wurde die derzeit noch mangelhafte Ausgeglichenheit der Register festgehalten.

Klangspektren des Rückpositivs

Fig. 2 und 3 zeigt aus den Teiltonzeitmustern der Register des Rückpositivs (Prinzipal 8' HW) entstandene Spektren, die im Abstand von 1 m zu den Labien der noch nicht restaurierten Orgel aufgenommen wurden. Sie veranschaulichen den Pegel der aus der durchschnittlichen Intensität im eingeschwingenen Zustand ermittelten

Frequenzanteile. Auffällig sind die als schwarze Flächen gekennzeichneten weiten Rauschbereiche, die den schlechten Zustand der meisten Pfeifen dokumentieren. Die beiden Holzregister (Flauten 8', Cythara 8') haben ein dunkleres Klangbild.

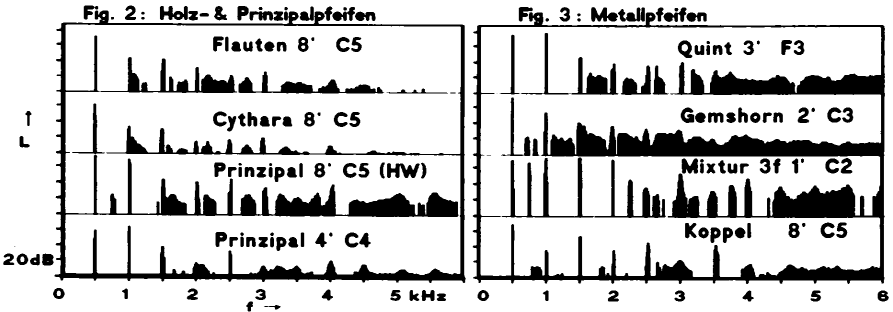


Fig. 2 + 3: Intensitäts-Mittelung über 400 Teiltonmuster (entspr. 2 s) einiger Pfeifen des RP (Prinzipal 8' HW). Rauschanteile zeichnen sich durch schwarze Flächen aus. Der desolatte Zustand der noch nicht restaurierten Pfeifen zeigt sich deutlich.

Fig. 3 zeigt die Spektren der Metallpfeifen des Rückpositivs. Interessant ist das Spektrum der Koppelpfeife. Obwohl gedackt, sind geradzahlige Teiltöne sichtbar. Dies ist auf verschobene Rohrresonanzen zurückzuführen [10]. Die Mixtur hat die meisten Obertonanteile. Deutlich sichtbar die Addition von Grund-, Quint- und Oktavpfeife.

Aufgrund des unterschiedlichen Zustands der Pfeifen sind große Klangunterschiede innerhalb eines Registers zu beobachten. Die Spektren des jeweils gleichen Registers zeigen markante Unterschiede im Obertonaufbau.

Untersuchung des Einschwingvorganges

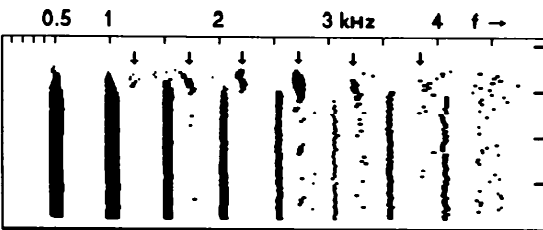


Fig. 4: Maxigrammdarstellung des TTZM der Pfeife Prinzipal 4' (RP) d=4. Die Liniendicke soll die Pegelverhältnisse veranschaulichen. Die Pfeile weisen auf starke Anblasgeräuschanteile.

Bei der Analyse der Teiltonzeitmuster, hier exemplarisch am Beispiel der Prinzipal 4' Pfeife (Fig. 4), fallen häufig sogenannte Vorläufergeräusche am Beginn des Einschwingvorgangs auf. Sie bilden den für den Einschwingvorgang von Orgelpfeifen charakteristischen geräuschhaften Anblasseffekt[9]. Um den Anblasseffekt weiter zu analysieren, wurden für den Anblasvorgang und für den eingeschwungenen Zustand TTM Statistiken angefertigt, die den durchschnittlichen, aus der Intensität gemittelten Pegel pro TTM für den angegebenen Zeitraum repräsentieren (Fig. 5).

Es zeigen sich ausgeprägte nichtharmonische Komponenten bei 1.4, 2, 2.6, 3.2.

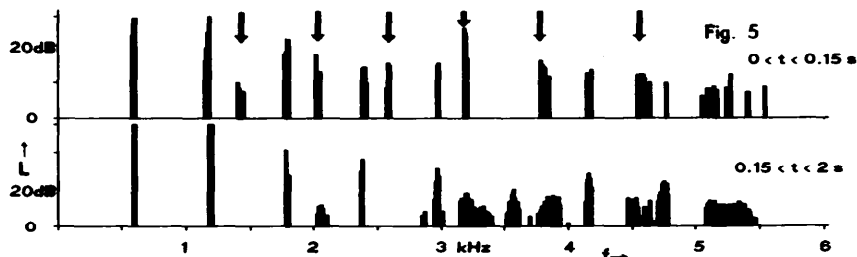


Fig.5: Prinzipal 4' d#4. Intensitätsmittelung über Teiltonmuster im angegebenen Zeitbereich, oben Anblasvorgang, unten eingeschwungener Bereich. Die Pfeile kennzeichnen die während des Anblasvorgangs erzeugten Spektralkomponenten.

3.8 sowie 4.5 kHz, die im eingeschwungenen Zustand fast verschwinden. Man kann die Entstehung dieser Anteile auf das "Schneidengeräusch", ein Klang der sich beim Vorbeistreichen des Luftstroms an der Schneide der Orgelpfeife bildet, zurückführen.

Stimmung des Rückpositivs

Die Untersuchung der Frequenz der ersten Harmonischen wurde mit dem schon erwähnten Periodendauer-Verfahren für alle Register des Rückpositivs durchgeführt. Das auf den ersten Blick sehr uneinheitliche Bild läßt zunächst keine Zusammenhänge oder Ähnlichkeiten erkennen. Durch Mittelung über den am häufigsten vorkommenden Abweichungsbereich, ergeben sich dennoch Aussagen mit relativ geringer durchschnittlicher Standardabweichung von 1.5 Cent.

Zum Vergleich mit einigen bekannten Intonationsvariationen wurde die Betragsdifferenz mit der jeweiligen Vergleichsstimmung zur Maihinger Orgel über die Töne einer Oktave aufsummiert. Es ergibt sich ein Minimum bei den mitteltönigen Stimmungen nach G. Silbermann und Praetorius.

[1] E. Terhardt, ACUSTICA Vol. 57(1985)242-256, *Fourier Transformation of Time Signals: Conceptual Revision*

[2] W. Heinbach, Dissertation Technische Universität München (1987), *Gehörgerechte Repräsentation von Audiosignalen durch das Teiltonzeitmuster*

[3] M. F. Schlang, DAGA '90 Tagungsband, *Ein gehörbezogenes Verfahren zur Verminderung von Nachhall und stationären Störungen mit Hilfe einer Modulationsfilterung*

[4] M. Mummert, DAGA '90 Tagungsband, *Trennung von tonalen und geräuschhaften Anteilen im Sprachsignal*

[5] M. F. Schlang, M. Mummert, DAGA '90 Tagungsband, *Die Bedeutung der Fensterfunktion für die Fourier-t-Transformation als gehörgerechte Spektralanalyse*

[6] E. Terhardt, Hearing Research, 1(1979)155-182, *Calculating virtual pitch*

[7] E. Terhardt, A. Grubert, Perception & Psychophysics 1987, 42 (6), 511-514, *Factors affecting pitch justness as a function of spectral composition.*

[8] A. Beurmann, A. Schneider, ACUSTICA Vol. 69(1989)156-162, *Probleme und Aufgaben akustisch-tonometrischer Forschung in der Vergleichenden Musikwissenschaft*

[9] J. Meyer, Orgelakustik in Einzeldarstellungen 27-39, Verlag das Musikinstrument Frankfurt am Main, *Unharmonische Komponenten im Klang der labialen Orgelpfeifen.*

[10] J. Meyer, siehe [9] 11-25. *Über Resonanzeigenschaften offener Labialpfeifen.*