

# Ein- und Ausgabe gefilterter akustischer Signale in Echtzeit

Carsten Kuhn<sup>1</sup>, Rudolf Germer<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> HTW- Berlin, E-Mail: [carsten.kuhn@bessy.de](mailto:carsten.kuhn@bessy.de)

<sup>2</sup> ITP, 12249 Berlin <sup>3</sup> TU- Berlin, E-Mail: [germer@physik.tu-berlin.de](mailto:germer@physik.tu-berlin.de)

## Einleitung

Aktuelle PersonalComputer sind mit ihrer Rechengeschwindigkeit und der Qualität ihrer Audioschnittstellen so leistungsstark, daß sie mit geeigneten Programmen eine Alternative zu Spezialgeräten darstellen. Wir benötigen einen Filter für akustische Signale, um Signalkomponenten auf verschiedene Lautsprecher aufzuspalten, gegebenenfalls zeitlich zu verzögern und Simulationen zu realisieren.

## Filter für digitale Audiosignale mit PC

Bereits frühzeitig haben wir die Digitaltechnik, damals mit Signalprozessoren, genutzt, um Lautsprecherweichen für aktive Systeme subtiler zu gestalten, als es in analoger Technik mit vertretbarem Aufwand möglich ist [1]. Heute bietet sich der PC mit seiner Rechenleistung und Audioschnittstellen, die mindestens zwei Eingänge und acht Ausgänge bei 24 bit Auflösung und 96 kHz Abtastrate bieten, als universelles Gerät an. Das Problem dabei ist allerdings das Betriebssystem, das normalerweise keine direkte Kontrolle der Audioschnittstelle erlaubt, sondern diese beim Betriebssystem behält. Ob sich daraus Störungen wie Pausen beim Übertragen der Daten ergeben, hängt von der Geschwindigkeit des Systems und der Priorität ab, mit der die Programme bearbeitet werden.

Unsere Vorstellung, einen in Echtzeit Signale verarbeitenden Filter zu realisieren, ließ sich mit den üblichen Audioprogrammen leider nicht realisieren, da sie zwar Aufnahme und Wiedergabe und das Einschleifen von Filtern ermöglichen, aber keins das direkte Abhören der Aufnahme mit eingeschleiften Filtern; stets war die Festplatte als Speicher dazwischengeschaltet und auch Rückfragen bei den Programmherstellern boten keine Lösung. Aus diesem Grunde wurde nach Vergleich verschiedener Alternativen eine Lösung mit der Programmiersprache „G“ gewählt – Labview [4] ist dem Experimentator als vielseitig eingesetzte Entwicklungsumgebung zur Datenaufnahme und Bearbeitung sicher bekannt.

## Prinzip der Filterung

Das Eingangssignal steht zunächst als Folge von Abtastwerten zur Verfügung. Diese könnten jetzt in bekannter Weise mit Filterfunktionen verrechnet werden. Dies kann bei komplizierten Filtern allerdings zeitaufwendig werden, wir beschlossen daher einen anderen Weg. Dabei hatten wir im Auge, daß z.B. Lautsprecher eine

Impulsantwort aufweisen, die einfach zu messen ist, deren Darstellung als Filter-Funktion allerdings schwierig sein kann. Unsere Sichtweise für dieses Problem ist, daß die digitalen Audiosignale eine Folge mit der Abtastrate von Deltaimpulsen mit unterschiedlichen Amplituden sind [2]. Beim Filtern erhalten wir Impulsantworten, die dann mit den Impulsantworten der anderen Abtastimpulse überlagert werden. Kennen wir die Impulsantwort eines Filters, so können wir sie mit den Abtastwerten unseres Signals verrechnen und bekommen als Ergebnis unser Signal gefiltert. Das Schöne bei dieser Signalbearbeitung ist, daß Fehler, die durch Näherungen entstehen, direkt unter hörbaren Schwellen gehalten werden können, z.B. 0,2% des Maximalwertes werden noch berücksichtigt, kleinere Werte der Impulsantwort setzt man 0. Auch rechenaufwendige Filter, Kombinationen von Bandpässen und Polstellen oder Lautsprecherfunktionen, können zunächst auf ein Zeitfenster begrenzt als Impulsantwort realisiert werden und erst dieses Ergebnis wird dann auf das Signal angewendet. Die eigentliche Filterung besteht nur aus einer überschaubaren Menge von Multiplikationen und Additionen, deren Anzahl zudem unabhängig von der speziellen Art des Filters ist. Dies ist sicher eine günstige Voraussetzung, um ein Signal definiert individuell gefiltert an verschiedene Ausgänge parallel auszugeben, wie dies schon bei einer einfachen Frequenzweiche erforderlich ist. Die Eingabe der Filter erfolgt daher in unserem Programm einfach als Wave-Datei, die experimentell gewonnen, berechnet oder intuitiv erstellt sein kann.

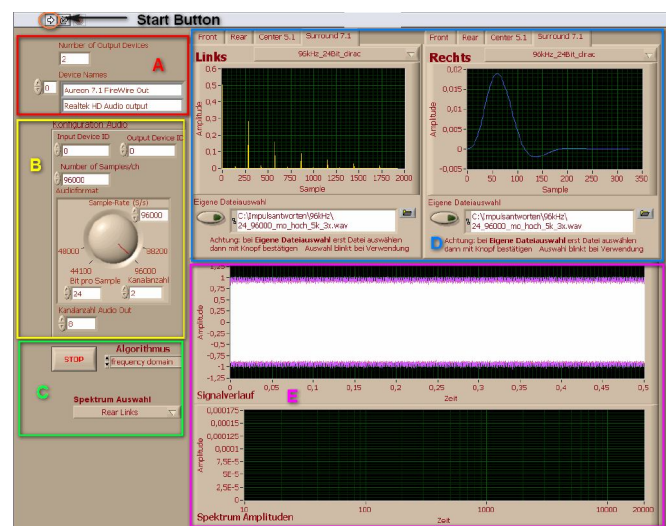


Abbildung 1: Bedienungsbildschirm des Filterprogramms.

## Realisierung

Für die Ein- und Ausgabe der Signale sind interne oder externe Soundkarten geeignet, sie haben meist zwei Eingänge und acht Ausgänge, bis 24 bit Auflösung werden bearbeitet. Als Abtastraten können hier 44,1; 48; 88,2 oder 96 kHz verwendet werden. Zur fehlerfreien Arbeit erwies sich ein Rechner mit Doppelkernrecheneinheit und mindestens 2,3 GHz Taktfrequenz als erforderlich. Die Einzelheiten der Programmbedienung und Tests mit verschiedenen Rechnerkonfigurationen finden sich in [3]. Den Bildschirm zur Eingabe der Parameter zeigt Abb.1. Das Programm wurde in verschiedener Hinsicht in Bezug auf das zeitliche Verhalten getestet. Von besonderem Interesse ist die zeitliche Verzögerung zwischen Ein- und Ausgangssignal. Ein mit Wavelab erzeugtes und gemessenes Testsignal zeigt Abb.2.

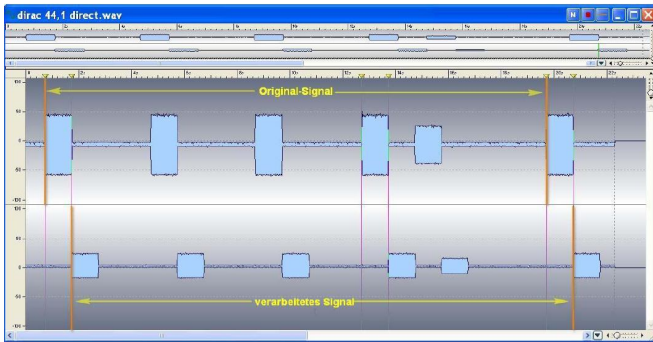


Abbildung 2: Verzögerung zwischen Ein- und Ausgang

Die Verzögerungszeit beträgt etwa eine Sekunde, was sich aus der zum Filtern bearbeiteten Datenlänge von 1s und etwa 5ms Bearbeitungszeit zusammensetzt. Als Beispiel wurde eine Vierkanalfrequenzweiche mit Trennfrequenzen von 300Hz, 800Hz und 3kHz eingegeben und auf das Brandenburgische Konzert Nr.1 BWV 1046 angewendet. Den zeitlichen Verlauf der Ausgabe der vier Kanäle zeigen die Abb.3 a-d für 262 Sekunden des Allegros.

## Zusammenfassung

Auf Basis von Labview wurde ein Programm erstellt, das es gestattet, mit einem PC in Echtzeit Audiosignale zu filtern. Die Filterfunktion wird dabei als Wavedatei mit der Impulsantwort des Filters eingegeben. Die Signalaufösungen sind 24 bit bis 96 kHz Abtastrate. Die Verzögerungszeit zwischen Eingang und Ausgang ergibt sich aus der zeitlichen Länge für die Impulsantwort des verwendeten Filters und etwa 5ms zusätzlicher Rechenzeit. Das System ist vielfältig erweiterbar, allerdings speziell in der Zahl der Kanäle und Abtastrate begrenzt durch die Leistungsfähigkeit des verwendeten Rechners.

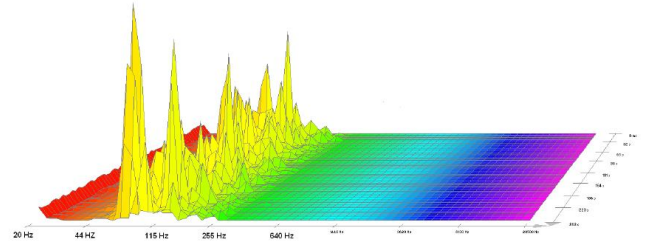


Abbildung 3a: 5 Hz – 300 Hz

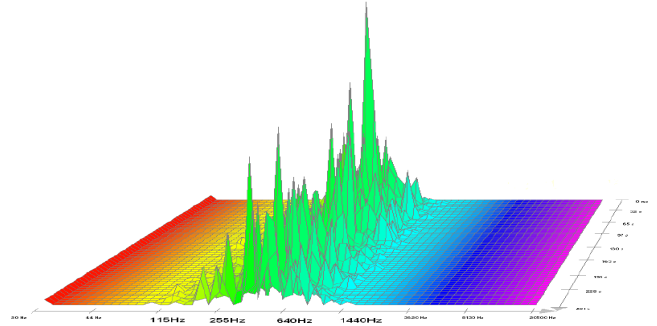


Abbildung 3b: 300 Hz – 800 Hz

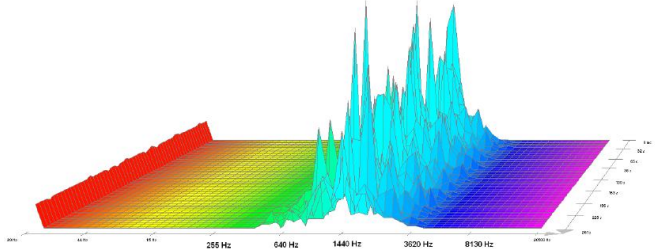


Abbildung 3c: 800 Hz – 3 kHz

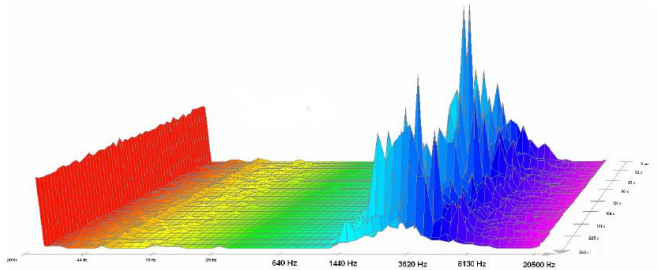


Abbildung 3d : 3 kHz – 20 kHz

262 Sekunden zeitaufgelöste Spektren des Brandenburgischen Konzertes Nr.1 BWV 1046 in vier Kanälen

## Literatur

- [1] Granzow, U., Mang, T.: Digitale Frequenzweiche für einen aktiven 4-Wege-Lautsprecher. FH-Telekom, Berlin 1996
- [2] Germer, R.: Digitale Audiotechnik in Radiotechnik und Elektroakustik, Kowalgin, J.A., ISBN 5-256-01295-9, Moskau, 1998
- [3] Kuhn, C.: Ein- und Ausgabe gefilterter akustischer Signale in Echtzeit. FHTW-Berlin 2008
- [4] National Instruments : Erste Schritte in Labview, 373427A-0113.pdf, 2005