

**BONUS
BOX!**

In unserer Bonus-Box auf www.recmag.de findet ihr als Anschauungsbeispiele Screenshots von Analysen. Darauf könnt ihr euch zur Vervollständigung des Artikels die Frequenzspektren verschiedener Signale von Bass über HiHat bis zu Vocals ansehen.

FREQUENZANALYSE

Klang- seher

DAS FREQUENZSPEKTRUM EINES SIGNALS DARSTELLEN UND VERSTEHEN

Realtime-Analyser: Da klingt nicht nur der Name gut. Auch das Gerät, das dahinter steckt, ist immer ein Blickfang im Studio. Kern der Sache ist aber natürlich – zusätzlich zum Höreindruck – die Frequenzverteilung eines Signals optisch darzustellen. Dies kann nämlich zu so manchem Erkenntnisgewinn über eine Mischung verhelfen, oder die Suche nach einer bestimmten Frequenz beschleunigen. Wie das geht, lest ihr hier.

Viele Balken bewegen sich ordentlich nebeneinander aufgereiht im Takt der Musik hoch und runter. So ein Analyser hat schon so manchen Studiogast für mehrere Minuten in seinen Bann gezogen und dadurch dem Toningenieur eine Zeit ungestörten Arbeitens beschert. Was haben diese Balken nun Sinnvolles anzuzeigen? Ähnlich geartete Darstellungen ohne Nutzwert gibt es ja auch in so manchen Software-Visualisierungen oder Autoradio-Displays. Selbst ein T-Shirt mit einem zur Musik animierten,

selbst leuchtenden „Realtime-Analyser“ gibt es schon. Buntes Gezappel überlassen wir aber lieber den Amateuren. In diesem Artikel soll es um wirklich nützliche Analyser für den Studiobetrieb gehen.

Definieren wir also als Erstes, was ein Realtime-Analyser eigentlich können soll. Er muss in Echtzeit das Spektrum des angelegten Signals anzeigen können. Echtzeit bedeutet, dass der Analyser möglichst sofort die Analyse und die Anzeige vornimmt,

oder dass er zumindest nur eine sehr geringe Latenz aufweist. Der Echtzeit-Faktor ist aus mehreren Gründen wichtig: Zum einen möchte man gerne das Signal sehen, das man gerade hört, um die spektrale Zusammensetzung dem Signal korrekt zuzuordnen zu können. Dies ist besonders bei der Kontrolle von Stereosummen wichtig. So ist ein schnelleres Zuordnen zu den einzelnen Spuren/Instrumenten möglich und es muss nicht erst lange gesucht werden, wo eine bestimmte spektrale Komponente

tatsächlich herkommt. Der zweite Grund ist, dass es einfach unerträglich nervig ist, wenn ein Analyser dem tatsächlich gehörten Signal immer ein Stückchen hinterherhinkt. Das ist fast so schlimm wie eine schlechte Synchronisation zwischen Ton und Bild bei einem Film.

Anhand dessen können dann bestimmte Resonanzen besser bestimmt, errechnet oder auch beseitigt werden. Im Bereich der Fahrzeugakustik kann eine so feine Auflösung zum Beispiel bei der Optimierung von Motoren hilfreich sein. Geht es jedoch um eine musikalische Analyse, so sollte man eher an das Gehör denken und sich überlegen, welche Frequenzbereiche dafür sinnvoll sind. Oktaven erscheinen bei näherer praktischer Betrachtung als zu ungenau. Man könnte die kritischen Frequenzbänder nehmen (als Bark-Skala bekannt). Halbtonschritte wären bestimmt auch nicht schlecht – spielen doch sämtliche Instrumente in diesen Intervallen. Der Standard, der sich etabliert hat, ist die Anzeige des Spektrums in Terzbändern. Das bedeutet, dass mit genormten Mittenfrequenzen in Terzabständen die Frequenzinformation dargestellt wird. Diese genormten Frequenzen sind hier in unserem Kasten zu finden. Die Terzen haben sich als guter Kompromiss zwischen Ablesbarkeit (= begrenzte Anzahl der Frequenzbänder) und Frequenzauflösung herausgestellt. Je nach Analyser hat man 29-31 Terzbänder für die Spektrumsanzeige.



Damit man einem Analyserdisplay sinnvolle Werte entnehmen kann, muss man das Gerät natürlich vorher auf den jeweiligen Bezugspegel kalibrieren.

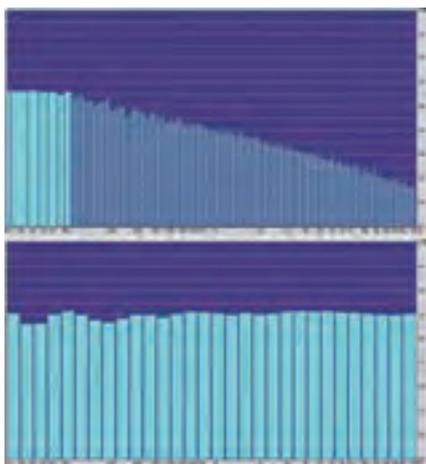
Das Spektrum eines Signals ist die Frequenzzusammensetzung des Signals. Welche Frequenz ist wie laut im Signal enthalten? Hierbei stellt sich die Frage, wie genau bei der Spektraldarstellung die Frequenzauflösung sein muss. Das ist tatsächlich eine gute Frage, die gar nicht so pauschal beantwortet werden kann. Geht es um eine technische Analyse eines Signals, so wäre es möglicherweise sinnvoll, die Frequenz auf 1 Hz genau aufzulösen.

FFT-Analyse eignet sich besser für technisch motivierte Messungen.

Es gibt zwei Typen von Analysern – aber nur einer davon ist wirklich gut für Musiksignale geeignet. Je nachdem, wie das Frequenzspektrum des Signals ermittelt wird, unterscheidet man zwischen Filteranalysern und

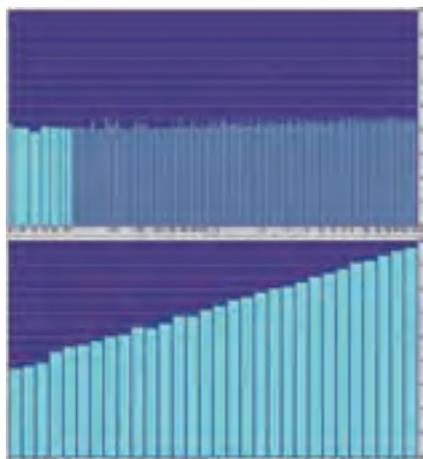
FFT-Analysern. Für Musiksignale sind die Filteranalyser vorzuziehen. Für technisch motivierte Messungen die FFT-Analyser.

Bei den Filter-Analysern wird das Audiosignal gleichzeitig durch entsprechend viele Bandpassfilter geschickt und somit in die einzelnen Frequenzbänder aufgeteilt. Jeder Bandpass ist hierbei eine Terz breit (siehe Kasten) und hat eine genormte Mittenfrequenz. Je nach Analyser-Typ können diese Bandpassfilter noch eine unterschiedliche Flankensteilheit aufweisen. Einfache Analyser filtern nur mit Bandpassfiltern 2. Ordnung, welche mit einer Flankensteilheit von lediglich 6 dB/Oktave die Nachbarfrequenzen abtrennen. Bessere (aber auch teurere) Analyser hingegen verwenden Bandpassfilter 6. Ordnung, welche



Zum Vergleich seht ihr hier jeweils sowohl Terzband-Analyse (unten) als auch FFT-Analyse (oben). In der linken Grafik wird rosa Rauschen ...

... und in der rechten Grafik weisses Rauschen dargestellt.



bereits mit 18 dB/Oktave die Nachbarfrequenzbänder abtrennen. Grundsätzlich gilt: Je höher die Flankensteilheit, desto selektiver arbeiten die einzelnen Frequenzbänder, das heißt, desto weniger werden sie von Signalen aus Nachbarbändern beeinflusst. Eine hohe Selektivität ist wichtig, wenn man gleichzeitig verschiedene Frequenzbereiche eines Instrumentes oder eines Mixes beurteilen möchte. So kann man beispielsweise auf einem Analyser mit Filtern 6. Ordnung klar Resonanz- und Präsenzbereiche von Instrumenten trennen oder in einem Mix gut sehen, wo noch Platz für weitere Signale ist. Auf einem Analyser mit Filtern 2. Ordnung verschwimmen diese Bereiche alle miteinander. Weiterhin erlaubt eine hohe Selektivität auch eine höhere Anzeigedynamik (ca. 60 dB), so dass auch laute und leise Signale gleichzeitig darstellbar sind. Bei Analysern mit Filtern 2. Ordnung verdecken die lauten Signale die leisen und es gibt kaum Sinn, mehr als 30 dB Anzeigedynamik zu haben.

Filter-Analyser können sowohl analog als auch digital aufgebaut sein. Durch die Tatsache, dass das Signal immer durch alle Filter gleichzeitig läuft, ist diese Art von Analysern zwingend echtzeitfähig. Aufgrund der

Terzbänder sind ein guter Kompromiss zwischen Ablesbarkeit und Auflösung.

längeren Einschwingdauer der Filter im Bassbereich erscheint der Bass auf der Anzeige immer etwas später als die Höhen. Es bildet sich eine Art „Welle“, die von den hohen zu den tiefen Frequenzen herunter läuft. Dies ist gleichzeitig auch ein typisches Erkennungsmerkmal für diese Art von Analysern.

Die FFT-Analyser bedienen sich der „Fast Fourier Transformation“. Das ist eine mathematische Berechnung mit deren Hilfe die Stärke

einzelner Harmonischer in einem Signal ermittelt werden kann. Harmonische ist die Bezeichnung für ganzzahlige Vielfache eines Grundtons. Das wären also beispielsweise 100 Hz, 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz und so weiter. Im Gegensatz zu den Terzen der Filter-Analyser haben Harmonische ein ständig wechselndes musikalisches Intervall zur Folge. So ist der Unterschied zwischen der ersten und der zweiten Harmonischen genau eine Oktave. Zwischen der zweiten und der dritten Harmonischen liegt eine Quinte, zwischen der dritten und der vierten eine Quarte und erst zwischen der vierten und der fünften eine Terz. Oberhalb der fünften Harmonischen werden die Intervalle jedoch weiterhin stetig kleiner als eine Terz und ab der 16. Harmonischen liegt man bereits unter einem Halbtonabstand. Dabei „zerlegt“ die FFT das Audiomaterial nicht nur in 16 Harmonische, sondern in der Regel in über 450 Harmonische, die dann alle sehr, sehr dicht beieinander liegen.

MUSIC STORE

professional
www.musicstore.de

billiger kaufen...frei Haus
mehrere tausend Gitarren Versandbereit

Schöner informieren: blättern Sie in unserem interaktiven Blätterkatalog! unter www.musicstore.de

FAME STUDIOMIKROFONE

- Fame Studio CM1** 39€
- Fame CU1** 59€
- Fame Studio C01** 79€
- Fame Studio C02** 129€
- Fame Studio C03** 129€
- Fame Vintage F47** 139€
- Fame Monster Tube** 398€
- Fame PF 130** 14,90€
- Fame PF 135 L** 21,90€
- Fame PF 150 D** 2,90€
- Fame WS 041** 2,90€
- Fame WS 028** 2,90€

Vom Blätterkatalog sind Sie mit nur einem Klick wieder im Shop...
Preise topaktuell!



DAW-Analysertools gehorchen den gleichen Gesetzen wie ihre Hardware-Verwandten. Auch hier unterscheidet man zwischen Terzband- und FFT-Analyse.

Ein Problem stellt zudem die Frequenzauflösung im Bass (also bei den niedrigerzahligen Harmonischen) dar.

Rechnet ein FFT-Analyser beispielsweise mit einer 1.024-Punkte FFT (das kann man bei den Optionen des Analysers ablesen und einstellen), so ergibt dies bei 44,1 kHz Abtastfrequenz eine erste Harmonische von $44.100 \text{ Hz} / 1.024 = 43 \text{ Hz}$. Terzauflösung wird erst ab der vierten Harmonischen (= 172 Hz) erreicht. Der gesamte Bassbereich kann also nur sehr ungenau dargestellt werden. Möchte man bereits ab 20 Hz eine Terzauflösung haben, so muss die 4. Harmonische bei 20 Hz liegen. Die erste Harmonische ergibt sich dann bei 5 Hz und es ist eine 8.192-Punkte FFT (1. Harmonische bei 5,4 Hz bei 44,1 kHz) notwendig. Um jedoch die FFT über 8.192-Punkte durchführen zu können müssen zunächst 8.192 Samples zwischengespeichert werden. Vorher kann die Berechnung nicht beginnen. Alleine das Sammeln dieser Werte dauert (ohne Umrechnungs- und Anzeigzeiten) bereits $8.192 \text{ Samples} / 44.100 \text{ Samples/s} = 0,186 \text{ s}$. Eine deutlich sichtbare Latenz zwischen gehörtem und gesehenem Signal ist die Folge. Für die Anforderung Realtime-Analyser ist daher das FFT-Prinzip bei großen Analyselängen fraglich.

Ein FFT-Analyser kann noch ein großes Problem haben.

Mit der so genannten Fensterung wird der zu analysierende Bereich eventuell noch ein- und ausgeblendet. Dieser Fade-In-/Fade-Out-Vorgang soll für eine bessere Unterdrückung von Fehlern an Anfang und Ende des zu analysierenden Bereichs sorgen. Dort kann es zu Knacksern und Gleichspannungsfehlern kommen, da dieser Bereich ohne Beachtung des Signalverlaufs einfach aus der Wellenform „ausgestanzt“ wird. Durch die Fade-In- und Fade-Out-Vorgänge wird jedoch auch das zu analysierende Signal ein- und ausgeblendet. Dadurch können Transienten verschwinden oder verfälscht werden. Das führt dazu, dass stetig wiederkehrende, gleiche Signale auf diesen Analysern immer anders aussehen – eine untragbare Eigenschaft! Erst durch die so genannte überlappende Fensterung kann dieses Problem behoben werden. Glücklicherweise bieten immer mehr Hersteller von FFT-Analysern diese Option an, die man auch zwingend einschalten sollte, obwohl sie mehr Rechenleistung benötigt.

Der grundlegende Unterschied zwischen Filter- und FFT-Analysern besteht also in deren Echtzeitfähigkeit und in der Ergebnisdarstellung.

Der Filteranalyser liefert direkt im Frequenzbereich logarithmisch aufgeteilte Terzen – der FFT-Analyser liefert im Frequenzbereich linear aufgeteilte Harmonische. Letztere sind nicht dem Hörempfinden angepasst, jedoch für technische Analysen sehr gut geeignet. Der wohl gravierendste Unterschied zwischen Filter und FFT-Analyser ist die Art, wie sie das Signal anzeigen. Der Filter-Analyser zeigt Frequenzbereiche an, wohingegen der FFT-Analyser einzelne Frequenzen anzeigt. Das führt zu einem grundsätzlich unterschiedlichen Aussehen der Signale. Ein Filter-Analyser stellt zum Beispiel Rosa Rauschen flat dar (engl. flat = flach; also gleicher Pegel in allen Bändern). Bei einem FFT-Analyser sieht man eine mit 3 dB/Oktave abfallende Darstellung. Das Spektrum von Musiksignalen entspricht dem von Rosa Rauschen. Das bedeutet, dass auch eine gute Musikkombi auf einem Filteranalyser flat aussehen sollte. Bei einem FFT-Analyser sollte es zu einem um 3dB/Oktave abfallenden Verlauf kommen. Leider fehlen dort aber irgendwie geartete Hilfslinien, um das überhaupt korrekt beurteilen zu können. Teilweise haben die Hersteller von FFT-Analysern bereits ihre Anzeige so angepasst, dass die Messergebnisse ebenfalls

Je genauer die FFT-Analyse, desto mehr Rechenleistung.

Der Terzband-Analyser

Die Aufteilung der Bänder: Wie und Warum.

Die genormten Terzbandmittenfrequenzen lauten:

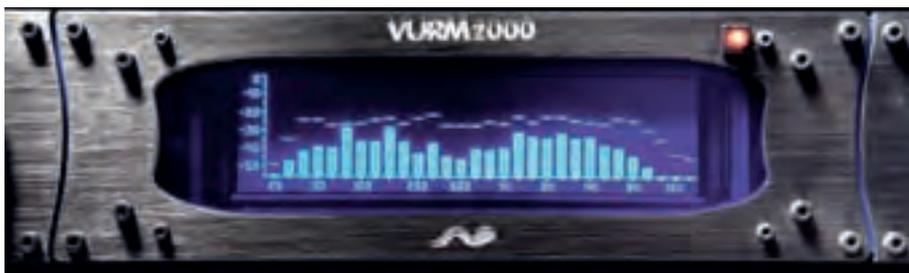
20 Hz	25 Hz	31,5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	
200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1 kHz	1,25 kHz	1,6 kHz	
2 kHz	2,5 kHz	3,15 kHz	4 kHz	5 kHz	6,3 kHz	8 kHz	10 kHz	12,5 kHz	16 kHz	20 kHz

Man erkennt, dass sich die Frequenzen im Dekadenabstand wiederholen. Möchte man sie auswendig lernen, so genügt der Bereich von 20 Hz bis 160 Hz. Ab dann wiederholt es sich. Die Frequenzen sind die gleichen, die auch in grafischen Terzbandequalizern Anwendung finden. Nicht jeder Analyser/EQ verfügt über alle Frequenzen im Hörbereich. Oft wird im Bassbereich erst bei 25 Hz oder 31,5 Hz begonnen. Das Frequenzband 20 kHz ist zudem bei Digitalsignalen mit 44,1 kHz Abtastfrequenz fragwürdig, wie die folgende Berechnung der Terzbandbreite zeigt.

Eine Terz ist eine dritte Oktave. Sie berechnet sich durch den Faktor $\sqrt[3]{2} = 1,260$. Ausgehend von einer bestimmten Mittenfrequenz geht das entsprechende Terzband jeweils um die $\sqrt[6]{2} = \text{Faktor } 1,122$ nach oben und nach unten (-3-dB-Punkte der Bandpassfilter). Das 1-kHz-Terzband würde sich somit von 891 Hz bis 1,122 kHz erstrecken. Das 20-kHz-Band würde von 17,825 kHz bis 22,44 kHz gehen – hierbei ist die obere Grenze bei einer Abtastfrequenz von 44,1 kHz aufgrund des Shannon-Nyquist-Theorems nicht mehr darstellbar.

billiger kaufen... frei Haus

mehrere tausend Instrumente Versandbereit



(sobald möglich, also ab der 4. Harmonischen) in Terzen zusammengefasst angezeigt werden. Dadurch ist auch das Beurteilen von Musiksignalen wieder sinnvoll möglich. Am besten macht man einen Test mit Rosa Rauschen, um genau zu wissen, was der Analyser dann tatsächlich anzeigt.

Was kann man mit einem Analyser noch alles machen, außer gebannt darauf zu schauen? Die hauptsächliche Verwendung liegt in der Analyse von einzelnen Spuren oder Summsignalen, um (wie oben bereit beschrieben) Resonanz und Präsenzbereiche schnell identifizieren zu können, ohne dass man mit einem Equalizersweep danach suchen muss. Das entspannt die Ohren und man hat zudem die Kontrolle, dass ein klanglicher Eingriff auch technisch funktioniert hat. Weiterhin lassen sich Summsignale unterschiedlicher Mischungen miteinander vergleichen. Auf dies Art und Weise kann man sich „abschauen“, wie andere ihren Mix gestaltet haben. Zudem ist auch gut zu sehen, ob in bestimmten Frequenzbereichen noch Platz im Mix ist oder ob vielleicht schon zu viele Bässe oder Höhen vorhanden sind. Der Analyser ist außerdem, im Gegensatz zu den Ohren, ein nicht ermüdendes Werkzeug und zeigt auch nach stundenlanger Arbeit den Frequenzgang immer noch genauso exakt an wie in der ersten Minute.

Analyser-Filter gibt es mit unterschiedlicher Flankensteilheit.

Einrauschen, oder nicht Einrauschen – das ist hier die Frage! Shakespeare hatte dieses Problem mangels einer PA noch nicht, aber heutzutage ist immer wieder zu beobachten, dass PAs mit Hilfe von Terzband-Analysern „eingerauscht“ werden. Dazu gibt man ein Rosa Rauschen auf die Anlage, stellt ein Messmikrofon im Publikumsbereich auf und ... tja. Was nun? Der nahe liegende Gedanke ist, dass man nun mit Hilfe eines Terzbandequalizers solange den Frequenzgang korrigiert, bis der (Filter-) Analyser das Rauschen flat anzeigt. Nach dem Motto „Rosa Rauschen flat

30 Bänder sollt ihr sein: Das typische Display eines Terzband-Analysers. Nach rechts ist die Frequenzskala, nach oben der Pegel aufgetragen.

rein in die Anlage, muss auch wieder Rosa Rauschen flat raus am Messmikrofon ergeben“. Das Ergebnis lässt sich zwar mit einem Terzbandequalizer bewerkstelligen, oft ist jedoch der Klang dann eher unangenehm. Das Problem liegt darin, dass flat am Messmikrofon gerade in größeren Räumen, Sälen und Hallen eher als unausgeglichene empfunden wird. Im Bereich der Kinoakustik hat man dieses Problem schon relativ früh erkannt und so genannte Curves (engl. für Kurven) definiert, nach denen eine Anlage einzurauschen ist. Diese Curves sind nur im Bereich zwischen 60 Hz und 2 kHz flat. Unterhalb von 60 Hz muss man auf jeden Fall mit dem Gehör ran gehen und oberhalb von 2 kHz sollte der Pegel stetig fallen. Üblich sind hier 3 dB/Oktave (ergibt dann -10 dB bei 20 kHz). In kleineren Sälen kann auch der 3 dB Verlust erst ab 4 kHz einsetzen (ergibt dann -7 dB bei 20 kHz). Ohne diesen Höhenabfall klingen Anlagen immer zu schrill und unangenehm. Letztendlich entscheidet aber dann doch das Ohr, ob's gut klingt – der Analyser kann hierbei immer nur eine Hilfestellung sein. Und auch den meisten Kinoanlagen würde ein kundiges Ohr zuweilen gut tun, denn die Aussage „Das muss gut klingen, wir haben es professionell eingemessen“ ist immer nur eine faule Ausrede. Wenn es nicht klingt, dann klingt es nicht, egal was die Technik zu sagen hat. Der Zuhörer entscheidet letztendlich und tut seinen Gefallen an einem guten Sound kund – oder eben nicht. □



Der Autor
Andreas **Friesecke**

Audio Engineer und Fachbuchautor. Als Dozent unterrichtet er an der SAE München u. a. Pegelrechnen, Filmtun und Lautsprechertechnik.



Der Music Store....ca. 13.000m² Lager, Service-, Demofläche

