

Metering

Version 0.9



Inhaltsverzeichnis

1	Aussteuerungsmessgeräte	3
1.1	Normpegel	3
1.2	VU (Volume Unit)-Meter	3
1.3	Quasi-Spitzenwert-Messgerät / PPM (Peak-Program-Meter)	3
1.4	Spitzenwert-Messgerät	3
2	Stereo-Messgeräte	3
2.1	Phasen-Korrelationsgrad-Messgerät	3
2.2	Goniometer (Stereosichtgerät)	4
3	Frequenz-Messgeräte	4
3.1	Frequenzzähler	4
3.2	FFT-Analyzer (Fast-Fourier-Transformation)	5
3.3	Filterbank-Analyzer	6
4	Messsignale	6
4.1	Sinus-Ton	6
4.2	Sinussweep	6
4.3	Rauschen	6
4.3.1	Weisses Rauschen	6
4.3.2	Rosa (1/f)-Rauschen	7
4.4	DIRAC-Impuls	7
4.4.1	MLS (Maximum-Length-Sequence)	8

Dieses Skript ist eine Ergänzung zur Vorlesung „Metering“ an der SAE-Hamburg. Eine aktuelle Version dieses Skriptes steht jederzeit unter <http://sae.holgerstolzenburg.de> zum Download bereit.

1 Aussteuerungsmessgeräte

In der Tontechnik sind Aussteuerungsmessgeräte wichtige Hilfsmittel, um Pegel kontrollieren und optimal einstellen zu können. Ein zu niedriger Pegel verschlechtert den Signal-Rausch-Abstand (SNR), ein zu hoher Pegel führt zu Verzerrungen des Signals. Aussteuerungsmesser sind meistens so ausgelegt, dass ein optimaler Pegel mit 0dB, und alle anderen Werte relativ dazu angezeigt werden. Es sind verschiedene Referenzpegel definiert:

1.1 Normpegel

Homerecoring-Pegel	+10dBV	0,32V
Studio-Normpegel	+4dBu	1,23V
Rundfunk-Normpegel	+6dBu	1,55V

Tabelle 1: Normpegel

1.2 VU (Volume Unit)-Meter

Das VU-Meter ist ein eher träges Anzeigergerät. Es hat eine Ein- und Ausschwingzeit von je 300ms (nach DIN-Norm) und verfügt damit über eine ähnliche Ballistik wie das menschliche Ohr. Es eignet sich daher gut zur Anzeige der subjektiven Lautheit oder Dynamik des Materials. Beim klassischen VU-Meter werden 0VU angezeigt, wenn als Eingangssignal eine Sinusspannung mit 0dBu anliegt. Prinzipbedingt werden alle nicht sinusförmigen Schwingungen mit falschem Pegel angezeigt, daher wird ein VU-Meter oft mit einem Vorlauf eingemessen (es zeigt dann ca 3-12dB „zuviel“ an), dieses muss beim Einpegeln berücksichtigt werden. Moderne VU-Meter zeigen bei 0VU den zum Gerät passenden Normpegel (evtl. plus Vorlauf!) an. Da Pegelspitzen unter 300ms nicht korrekt angezeigt werden, eignet sich das VU-Meter nicht zur Aussteuerungskontrolle von digitalen Geräten.

1.3 Quasi-Spitzenwert-Messgerät / PPM (Peak-Program-Meter)

Das PPM ist ein Aussteuerungs-Messgerät, welches eine relativ kurze Einschwingzeit besitzt (ca. 5-10ms). Damit man die Spitzenwerte optisch gut wahrnehmen kann, besitzt das Gerät weiterhin eine relativ lange Rücklaufzeit (ca. 20dB/sec – für die genauen Zeiten gibt es verschiedene Normen). Auch auf dem PPM werden somit nicht alle Peaks angezeigt. Kurze Signalspitzen, die das Gehör aufgrund seiner Trägheit nicht wahrnehmen kann, werden dabei bewusst „unterschlagen“.

1.4 Spitzenwert-Messgerät

Möchte man den „wirklichen“ Spitzenwert eines digitalen Signales wissen, braucht man ein Messgerät, welches Samplegenau anzeigt. Moderne digitale PPM's bieten oft diese Möglichkeit und sind damit die einzige wirklich effektive Aussteuerungskontrolle für digitales Equipment. Wird ein digitales Signal angeschlossen, kann das Messgerät allerdings nicht zwischen Vollausschlag (0dB_{fs}) und Übersteuerung unterscheiden.

2 Stereo-Messgeräte

2.1 Phasen-Korrelationsgrad-Messgerät

Auf einer Skala von -1 bis +1 wird angezeigt, in wie weit das Signal auf dem linken und dem rechten Kanal „korrelieren“, also ob es eine Beziehung zwischen beiden Signalen gibt. Ein Korrelationsgrad von +1 bedeutet wenn die Amplitude des einen Signals ansteigt, tut es die Amplitude des anderen auch. Ein Korrelationsgrad von -1 bedeutet wenn das eine Signal ansteigt, fällt das andere ab.

Stark vereinfacht kann man sagen: Bei einem Korrelationsgrad von +1 liegt ein Monosignal vor (bzw. 0° Phasenlage). Beträgt dieser -1 sind die Signale zwar gleich, aber eines ist Phaseninvertiert (180° Phasenlage), ist er 0 handelt es sich um ein Stereosignal (bzw. 90° Phasenlänge).

Im Normalfall sollte sich der Korrelationsgrad einer „monokompatibelen“ Produktion zwischen 0 und +1 bewegen.

2.2 Goniometer (Stereosichtgerät)

Mit Hilfe eines Goniometers lassen sich Aussagen z.B. über Phasenlage, Dynamik, Stereobreite und Stereobasis eines Signals treffen, des weiteren sind beispielsweise Chorus-Effekte oder Clipping sehr gut erkennbar.

Ein Monosignal (Korrelationsgrad 1) wird als senkrechter Strich dargestellt, befindet sich das Signal ausschließlich auf dem linken (rechten) Kanal, ist der Strich um 45° nach links (rechts) geneigt. Je mehr Pegel das Signal hat, desto länger ist der Strich. Ist das Signal auf linkem und rechtem Kanal gegenphasig (Korrelationsgrad -1) wird ein waagerechter Strich angezeigt.

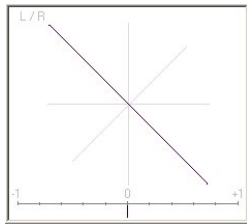


Abbildung 1: Nur linker Kanal

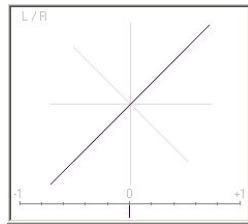


Abbildung 2: Nur rechter Kanal

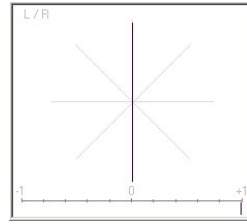


Abbildung 3: Mono-Signal

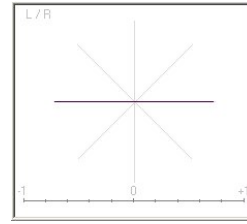


Abbildung 4: 180° Phasenlage

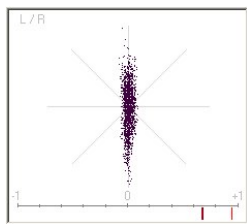


Abbildung 5: schmales Stereobild

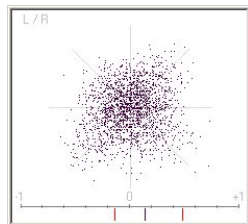


Abbildung 6: Breites Stereobild

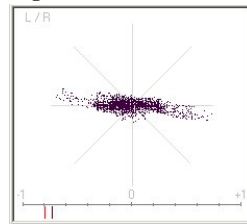


Abbildung 7: Stereobreite

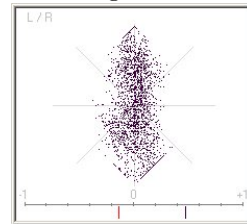


Abbildung 8: Clipping

3 Frequenz-Messgeräte

3.1 Frequenzzähler

Bei Frequenzzählern handelt es sich um einfache Frequenzmessgeräte, die die Anzahl an Schwingungsperioden pro Sekunde bestimmen und daraus die Signalfrequenz ermitteln. Da die Anzahl der Perioden über die Anzahl der Nulldurchgänge bestimmt wird, wird immer nur die Grundfrequenz des Signals angezeigt. Es macht also für die Anzeige keinen Unterschied, ob man eine Sinus-, Rechteck-, Dreieck-, Kipp(Sägezahn-)spannung oder ähnliches anlegt.

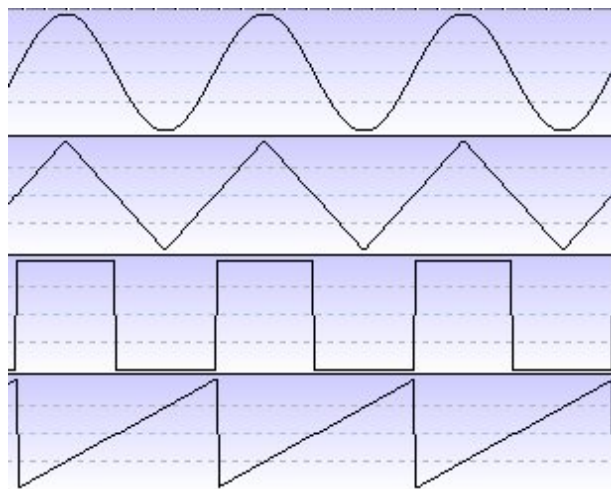


Abbildung 9: Verschiedene Signalformen mit gleicher Grundfrequenz

3.2 FFT-Analyzer (Fast-Fourier-Transformation)

Fast-Fourier-Transformation ist eine Berechnung, in der ein Signal in seine Frequenzbestandteile zerlegt wird. Dazu wird das Signal in kurze Intervalle zerlegt und diese einzeln analysiert. Es können nur Frequenzen (und deren Vielfache) analysiert werden, deren Wellenlänge exakt in das Analysefenster passt. Daraus ergeben sich folgende Eigenschaften:

- Je länger das Analysefenster, desto genauer ist die Frequenzanzeige
- Je länger das Analysefenster, desto größer die Latenz der Anzeige
- Der Bassbereich wird – aus musikalischer Sicht – relativ ungenau analysiert, zu hohen Frequenzen wird die Analyse feiner.
- Durch die Zerlegung in kleine Bereiche ist die Anzeige niemals exakt, es treten immer mehr oder weniger große Analysefehler auf.

Um eine für Audio-Signale brauchbare Anzeige zu bekommen sollten verschiedene Einstellungen vorgenommen werden können:

- Größe des Analysefensters: Für Messsignale möglichst groß, für Musiksingale ein Kompromiss zwischen so groß wie möglich, aber so wenig Latenz wie noch vertretbar.
- Glättungsfunktion: Da die Analysefenster mit einem „willkürlichen“ Samplebereich gefüllt werden, befinden sich am Anfang und am Ende nicht immer (fast nie) Nulldurchgänge. Dadurch kommt es zu „Knacksern“ welche mit in die Analyse eingehen und somit das Ergebnis verfälschen. Durch so genannte Glättungsfunktionen wird das Signal an Anfang und Ende der Analyse ein- und ausgeblendet und somit werden Knackser vermieden. Der zu erwartende Fehler fällt dadurch im Normalfall geringer aus.
- Überlappung der Analysefenster: Eine Überlappung von z.B. 50% bedeutet, dass das zweite Fenster geöffnet wird, wenn das erste erst zur Hälfte mit Samples gefüllt ist. Dadurch erreicht man ein flüssigeres Bild und es werden auch Samples analysiert, die ohne Überlappung evtl. den Fade-Funktionen zum Opfer fallen würden. Allerdings verdoppelt sich damit auch die benötigte Rechenleistung.

Für eine möglichst musikalische Ansicht sollte die Frequenzachse logarithmisch angezeigt werden, damit bekommt jede Oktave die selbe Breite in der Darstellung.

3.3 Filterbank-Analyzer

Eine Kombination aus mehreren parallelen Bandpässen filtert jeweils verschiedene Intervalle aus dem Signal heraus. Der Pegel, der auf den verschiedenen Frequenzbändern liegt wird vom Analyzer ausgegeben. Filterbank-Analyzer gibt es in verschiedenen Varianten, z.B. Oktavband-, Terzband- (für musikalische Zwecke am gebräuchlichsten) oder Halbton-Analyzer. Da die Bandpassfilter nur eine endliche Flankensteilheit haben, sind auch die Messungen von Filterbank-Analysern nicht frei von Fehlern, so wird ein Sinuston z.B. nicht nur auf einem, sondern auf mehreren nebeneinanderliegenden Bändern angezeigt.

4 Messsignale

4.1 Sinus-Ton

Ein Sinuston eignet sich z.B. dann als Messsignal, wenn man für eine bestimmte Frequenz wissen möchte, was mit Amplitude und Phase eines Signals innerhalb eines Gerätes passiert oder um welchen Grad das Signal verzerrt wird. Vergleicht man das Eingangs- und das Ausgangssignal, sind die Ergebnisse direkt zu erkennen.

4.2 Sinussweep

Möchte man Aussagen z.B. über den Frequenzgang eines Gerätes machen, eignet sich ein einzelner Sinuston nicht mehr. Man kann höchstens versuchen, mit vielen einzelnen Messungen den gewünschten Frequenzbereich einigermaßen komplett abzudecken. Besser geeignet für eine solche Anwendung ist ein Sinussweep. Dabei handelt es sich um ein Sinussignal, dessen Frequenz während einer vorgegebenen Zeit in einem vorgegebenen Frequenzband durchgestimmt wird. Da zu jedem Zeitpunkt nur eine Frequenz wiedergegeben wird, kann man mit einem Sinussweep Ergebnisse mit einem sehr guten Signal-Rausch-Abstand erzielen.

4.3 Rauschen

4.3.1 Weisses Rauschen

Weisses Rauschen ist ein theoretisches Signal, welches alle Frequenzen mit konstanter Amplitude beinhaltet. Da es aber – selbst im für das menschliche Ohr wahrnehmbaren Frequenzbereich von 20Hz - 20kHz – unendlich viele Frequenzen gibt, ist es auch ein Signal mit unendlicher Amplitude. Real existierendes weisses Rauschen kann also nur eine Näherung an das theoretische Ideal darstellen und ist definiert als ein Signal, dass in jedem gleichgroßen Frequenzband die selbe Energie besitzt. Betrachtet man weisses Rauschen auf einem FFT-Analyzer, ergibt sich eine näherungsweise horizontale Linie. Daher eignet sich weisses Rauschen auch nur bedingt als Messsignal, da der Frequenzgang in der Praxis erheblich vom theoretischen Ideal abweicht.

Vorsicht ist geboten in Verbindung mit Mehrwege-Lautsprechern:

Nimmt man eine 2-Wege-Box mit einer Trennfrequenz von 2kHz und einem Übertragungsbereich von 0Hz-20kHz an, so wird der Hochtöner mit ca. 90% des Frequenzbereiches versorgt, der Tieftöner aber nur mit ca. 10%. Ein normaler Lautsprecher ist allerdings dafür ausgelegt, etwa 90% seiner Nennleistung auf dem Tieftöner zu verarbeiten und nur etwa 10% auf dem Hochtöner. Gibt man weisses Rauschen auf diesen Lautsprecher, ist der Hochtöner wesentlich schneller überlastet als der Tieftöner.

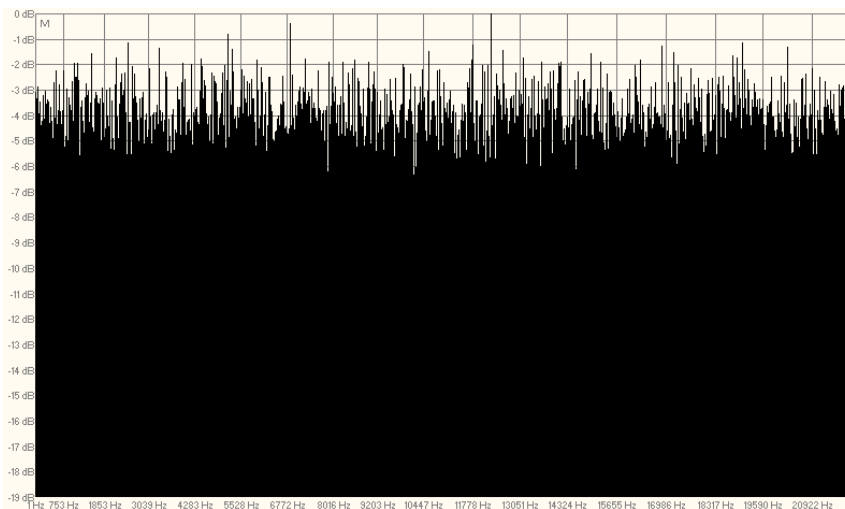


Abbildung 10: Weisses Rauschen auf einem FFT-Analyzer

4.3.2 Rosa (1/f)-Rauschen

Rosa Rauschen ist ein Signal, bei dem sich die Leistung umgekehrt proportional zur Frequenz verhält. Mit doppelter Frequenz (eine Oktave aufwärts) halbiert sich die Signalleistung (-3dB). Auch dieses Signal ist nur theoretischer Natur, in der Praxis erhält man es durch Filterung von weißem Rauschen mit 3db/Oktave.

Teilt man den gesamten Frequenzbereich in gleiche musikalische Intervalle (also z.B. Oktaven oder Terzen), besitzt jedes Intervall die gleiche Rauschleistung. Betrachtet man Rosa Rauschen auf einem Filterbank-Analyzer, ergibt sich demnach eine annähernd horizontale Linie.

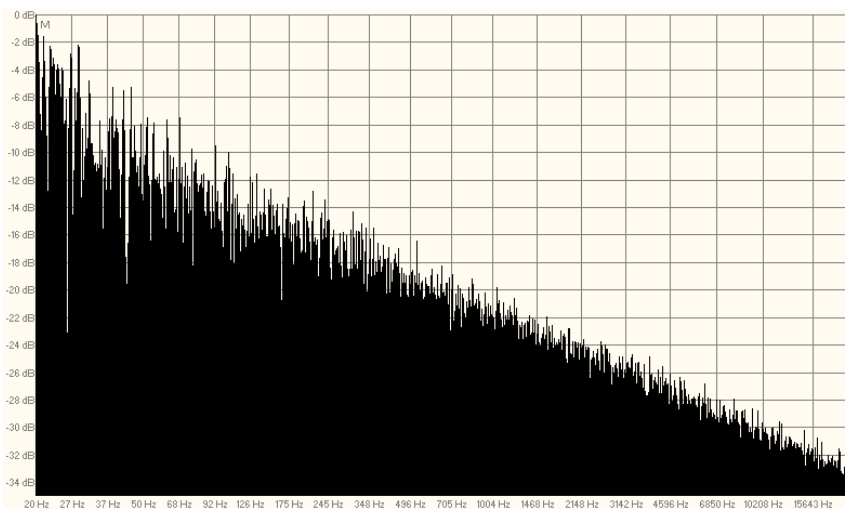


Abbildung 11: Rosa Rauschen auf einem FFT-Analyzer

4.4 DIRAC-Impuls

Der Dirac-Impuls ist ein Impulssignal von unendlich kurzer Dauer und unendlich großer Amplitude. Damit ist auch dies ein theoretisches Signal, welches in der Praxis nur angenähert werden kann. Addiert man sämtliche Frequenzen als Kosinus-Schwingung mit gleicher Amplitude, sind im ersten Augenblick alle Einzelschwingungen phasengleich und mit maximaler Amplitude vorhanden. Zu allen späteren Zeitpunkten

löschen sie sich komplett gegenseitig aus. Der Dirac-Impuls hat in der Theorie folglich den selben Frequenzgang wie weisses Rauschen, es sind alle Frequenzen mit gleicher Amplitude vorhanden. Da das Signal jedoch unendlich kurz ist, eignet es sich besonders, um Impulsantworten zu erstellen. Somit kann z.B. der Frequenzgang eines Lautsprechers unabhängig von dem ihn umgebenden Raum untersucht werden.

Arbeitet man mit einem Dirac-Impuls und einem Mehrwege-Lautsprecher, ergibt sich auch die Problematik, dass der Hochtöner recht schnell überlastet wird (vgl. weisses Rauschen). Daher haben Messungen mit einem Dirac-Impuls oft einen geringen Signal-Rausch-Abstand. Legt man mehrere Messungen übereinander, kann man diesen wesentlich verbessern: Mit dem selben Messaufbau bekommt man bei zwei Messungen zweimal die selbe Impulsantwort, diese Addiert sich also auf +6dB. Die Störgeräusche jedoch werden nicht zweimal die selben sein (nicht exakt Phasengleich), sie addieren sich statistisch nur zu +3dB auf. Mit jeder zusätzlichen Messung kann man somit den Signal-Rausch-Abstand um 3dB vergrößern.

4.4.1 MLS (Maximum-Length-Sequence)

Die Maximum-Length-Sequence oder Maximalfolge stellt eine Erweiterung des Dirac-Impulses dar. Sie besteht aus einer pseudozufälligen Folge von 1 und -1 (maximale positive und negative Amplitude). Die Impulsantwort einer MLS kann vom Computer ausgewertet werden und hat (je nach Länge) einen größeren Signal-Rausch-Abstand als ein Dirac-Impuls.