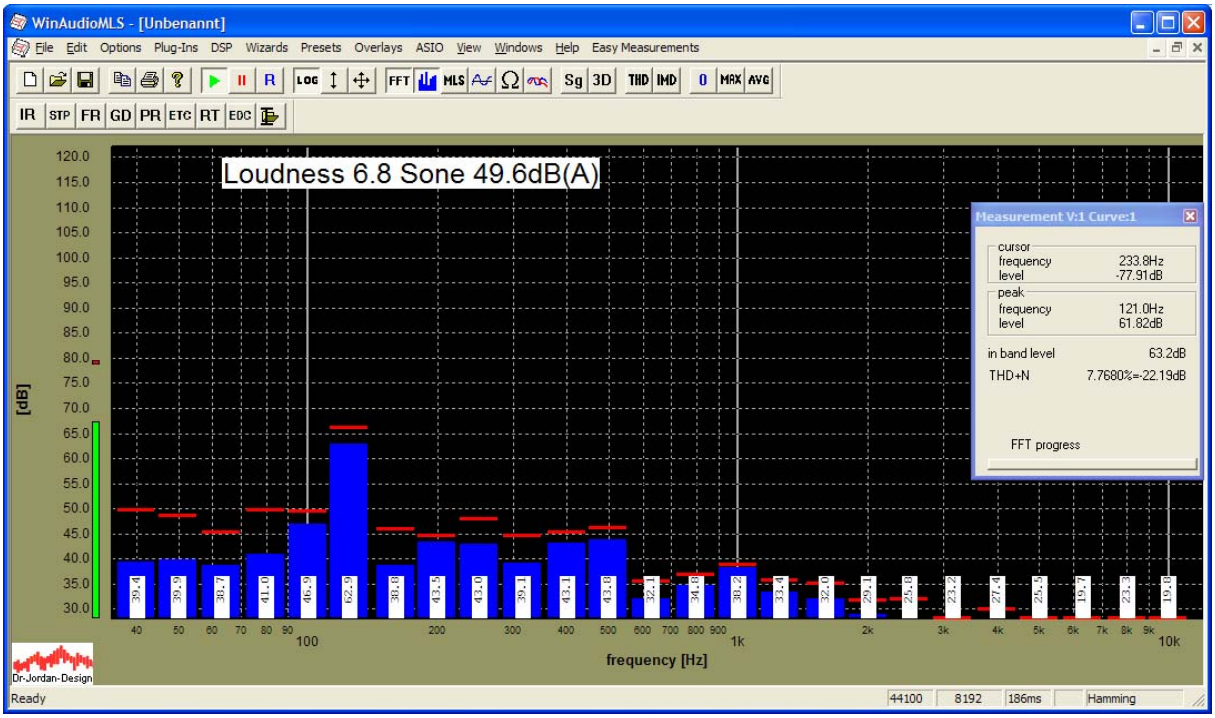
Messung der Lautheit in Sone (DIN 45631)

Lautstärke

Schall kann zunächst mit Hilfe von verschiedenen physikalischen Größen wie Schalldruck, Schallintensität oder Schallenergie beschrieben werden.
Diese Werte spiegeln aber nur unzulänglich die subjektiv wahrgenommene Lautstärke wieder. Eine erste Näherung stellen die verschiedenen Gewichtungskurven (Bewertung) dar. Sie berücksichtigen die unterschiedliche Empfindlichkeit des menschlichen Ohres in Abhängigkeit der Frequenz. Diese Empfindlichkeiten sind allerdings pegelabhängig. Daraus resultieren eine Vielzahl von unterschiedlichen Gewichtungskurven. Am gebräuchlichsten sind die A und C Kurven. Ein Sinuston geringer Lautstärke von z.B. 50dB(A) wird bei unterschiedlichen Frequenzen als gleichlaut empfunden. Diese Ergebnisse gehen auf die Forschungsarbeiten von Barkhausen zurück, die er um 1920 veröffentlicht hat. Allerdings sind reine Sinustöne in der Natur eher selten, so daß das Hörempfinden nur ungenau abgebildet wird. Die breite Verwendung dieser Meßwerte liegt einzig darin, daß sie vergleichsweise einfach aus den physikalischen Größen zu bestimmen sind. Daher sind diese Bewertungen mittlerweile in nahezu allen Handschallpegelmessern enthalten.



WinAudioMLS mit aktivierter Sone-Messung. Die Messwerte werden in Echtzeit angezeigt.

Lautheit (Sone)

Ein breitbandiges Rauschen erzeugt eine andere subjektiv wahrgenommene Lautstärke als ein einzelner Ton gleichen Pegels gemessen in dB(A). Daher ist dieses einfache Maß nur eingeschränkt aussagefähig. Zwicker hat solche psychoakustischen Effekte intensiv untersucht und Modelle für das Hörempfinden erstellt. Ein einfacher Effekt ist z.B. der Verdeckungseffekt (Maskierung). Besteht ein Signal aus einem lauten Ton, so werden leisere Tone nicht wahrgenommen. Niemand würde bei einem Symphoniekonzert das leise Trippeln einer Maus erkennen. Obwohl diese in leisen Musikphasen hörbar wäre. Diese und andere Effekte dienen auch als Grundlage für verlustbehaftete Audiokomprimierung wie z.B. das sehr bekannte MP3 Verfahren zur Komprimierung von Musik. Hier werden Signalanteile, die gemäß den Modellen nicht gehört werden können, nicht gespeichert.
Basierend auf seinen umfangreichen Hörtests hat Zwicker ein Lautheitsmaß (engl. loudness) entwickelt, das für stationäre Signale ein deutlich verbessertes Maß als dB(A) darstellt. Die Einheit der Lautheit ist Sone. Im Gegensatz zur dB(A) ist dies eine lineare Größe. Dies heißt das z.B. 2 Sone doppelt so laut ist wie 1 Sone. Der Bezugspunkt ist 1 Sone, dies entspricht einem Sinuston mit 1000Hz bei einem Pegel von 40dB.
Wie bereits erwähnt eignet sich die Lautheit insbesondere für stationäre Signale. Die Anwendungen sind z.B. in der Beurteilung von Klimaanlagen, Lüftungsanlagen aber auch typischen PC-Komponenten wie Festplatten oder CPU-Kühler etc. Die Lautheit berücksichtigt die subjektiv wahrgenommene Lautstärke. Sie beschreibt allerdings nicht wie angenehm oder störend ein Ton ist. Ein Sinuston wird von vielen Menschen sicher angenehmer empfunden als das Geräusch eines Zahnarztbohrers gleicher Lautheit.
Die Berechnung der Lautheit basiert auf den Ergebnissen einer Terzanalyse (1/3 Oktave). Daher ist für das Lautheits Plug-in (#3010) das 1/3-Oktave Modul (#3004) Voraussetzung. Die Messung der Lautheit erfordert zudem eine Kalibrierung auf absolute Schallpegel. Hierfür wird ein Handschallpegelmesser oder ein Kalibrator benötigt.

Ein vollständiges Meßsystem besteht aus folgenden Komponenten:

- PC/Laptop mit Microsoft Windows
- WinAudioMLS mind. PRO Version
- WinAudioMLS plug-in „1/3 Oktav RTA“
- WinAudioMLS plug-in „Sone/Loudness“
- Meßmikrofon
- Soundkarte mit geeignetem Vorverstärker (insbesondere. Phantomspeisung)
- Schallkalibrator oder Handschallpegelmesser
- Stativ

(Ein Lautsprecher wird für die Sone Messung nicht benötigt)

Situation und Schallquelle	**Schalldruck *p* Pascal**	**Schalldruck-pegel L_p dB re 20 µPa**	**Lautheit sone**
Schmerzschwelle	100 Pa	134 dB	**~ 676 sone**
Gehörschäden bei kurzfristiger Einwirkung	20 Pa	ab 120 dB	**~ 250 sone**
Düsenflugzeug 100 m entfernt	6,3 - 200 Pa	110 - 140 dB	**~ 125 - 1024 sone**
Presslufthammer, 1 m entfernt / Diskothek	2 Pa	~ 100 dB	**~ 60 sone**
Gehörschäden bei langfristiger Einwirkung	0,63 Pa	ab 90 dB	**~ 32 sone**
Hauptverkehrsstraße, 10 m entfernt	0,2 - 0,63 Pa	80 - 90 dB	**~ 16 - 32 sone**
Pkw, 10 m entfernt	0,02 - 0,2 Pa	60 - 80 dB	**~ 4 - 16 sone**
Fernseher in 1 m Zimmerlautstärke	0,02 Pa	ca. 60 dB	**~ 4 sone**
Normale Unterhaltung, 1 m entfernt	$2 \cdot 10^{-3}$ - $6{,}3 \cdot 10^{-3}$ Pa	40 - 50 dB	**~ 1 - 2 sone**
Sehr ruhiges Zimmer	$2 \cdot 10^{-4}$ - $6{,}3 \cdot 10^{-4}$ Pa	20 - 30 dB	**~ 0,15 - 0,4 sone**
Blätterrauschen, ruhiges Atmen	$6{,}3 \cdot 10^{-5}$ Pa	10 dB	**~ 0,02 sone**
Hörschwelle bei 2 kHz	$2 \cdot 10^{-5}$ Pa	0 dB	**0 sone**

Messung an sehr leisen Geräten

Vielfach werden Lautheitsmessungen an sehr leisen Geräten (z.B. Beamer, Laptops etc.) durchgeführt. Normalerweise ist der Meßabstand 1m. Eine sinnvolle Messung kann nur dann durchgeführt werden, wenn die Meßsignale deutlich über dem Ruhepegel liegen. Der Ruhepegel ergibt sich aus dem Umgebungslärm und dem Rauschen der Messkette (Mikrofon, Vorverstärker etc.). In einem Büro mit einem Ruhepegel von 45dBA ist es nahezu unmöglich leise Lüfter mit 25dBA zu messen.

Da das menschliche Ohr sehr empfindlich ist, werden auch an die Messkette höchste Anforderungen gestellt.

Bei jeder Messung sollte daher unbedingt der Ruhepegel d.h. mit abgeschalteter Meßquelle gemacht werden. Im Idealfall sollte eine spezielle Absorberkammer verwendet werden, die sowohl Reflexionen als auch Umgebungslärm unterdrückt. Zumindest sollte der Umgebungslärm minimiert werden (Fenster, Klimaanlage, PCs etc).

Viele Meßmikrofone haben eine Empfindlichkeitsgrenze von 30dB und definieren damit bereits eine untere Grenze des Meßbereichs.

Vielfach wird daher der Meßabstand verringert z.B. 25cm statt 1m um den Meßpegel anzuheben. Der verringerte Abstand wird bei der Kalibierung als Korrekturfaktor berücksichtigt (hier 12dB), so dass WinAudioMLS den Pegel auf 1m bezogen anzeigt.

Bei dem Abstand von 25cm und einem Schallkalibrator mit 94dB muss dann ein Bezugswert von 82dB angegeben werden. Ein Schallpegel von 82dB wird damit als 94dB angezeigt. Der Korrekturfaktor ist 6dB pro Halbierung des Abstandes. Diese Näherung gilt jedoch nur im Fernfeld bei kugelförmiger Ausbreitung. Im Nahfeld können z.B. Beugungseffekte die Schallausbreitung deutlich verändern. Bei Messungen mit verändertem Abstand sollte dieser daher unbedingt dokumentiert werden, da sonst die Vergleichbarkeit der Messungen nicht gewährleistet ist.

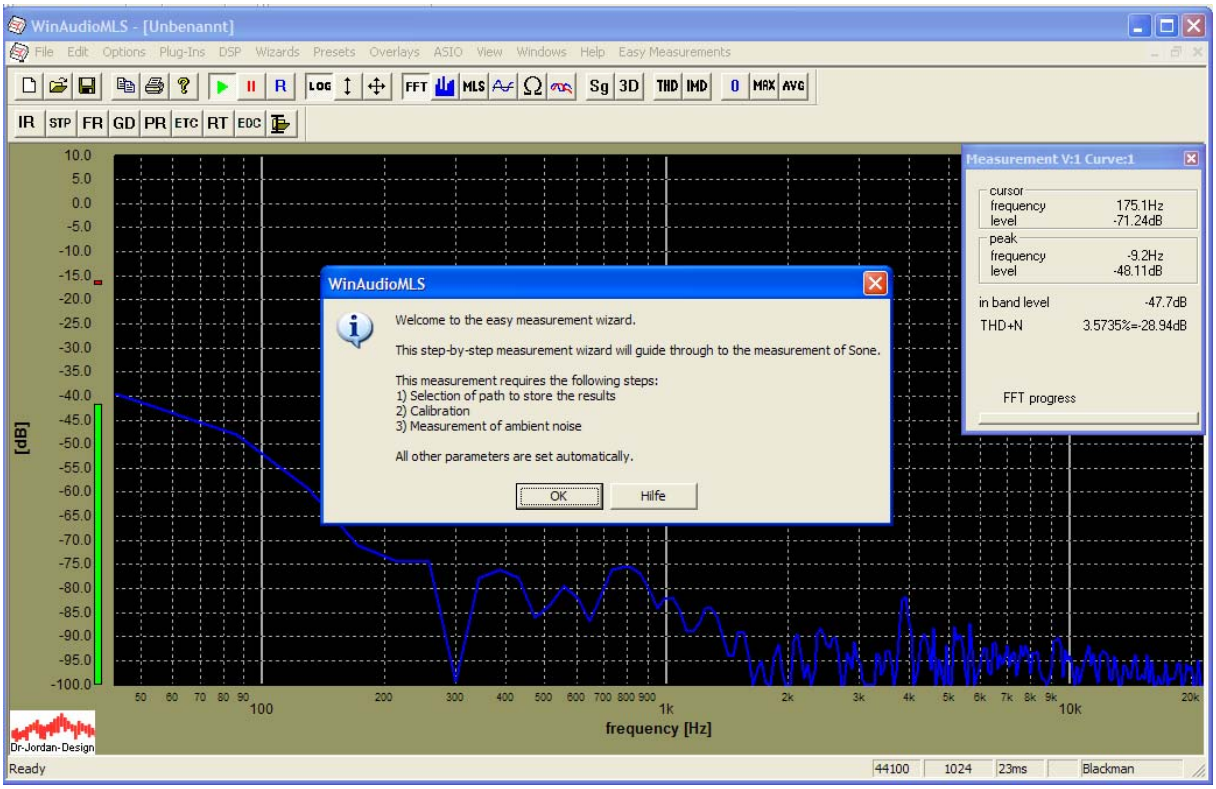
Meßdurchführung

Mit WinAudioMLS können Sie eine Lautheitsmessung sowohl manuell als auch automatisch durchführen
Bei der automatischen Messung werden viele Parameter auf Plausibilität überprüft und so mögliche Fehlerquellen reduziert. Weiterhin kann ein verringerter Meßabstand direkt eingegeben werden. Die manuelle Messung ist dann sinnvoll, wenn Sie den Aufbau und die Parameter schon optimiert haben und schnell eine Messung durchführen möchten. Weiterhin müssen sie die manuelle Meßmethode verwenden, wenn Sie keinen Schallpegelkalibrator besitzen.

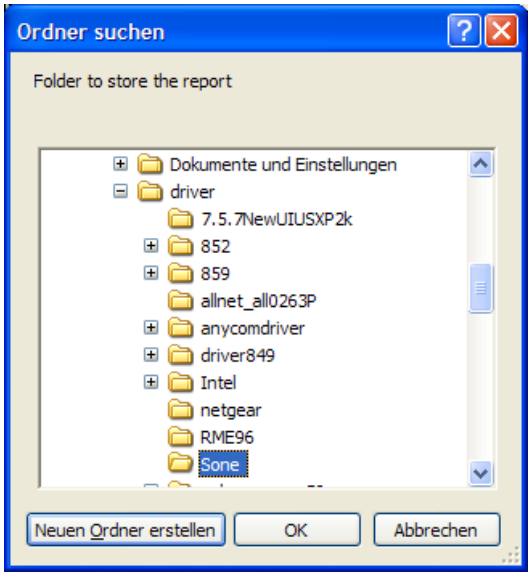
Automatische Messung

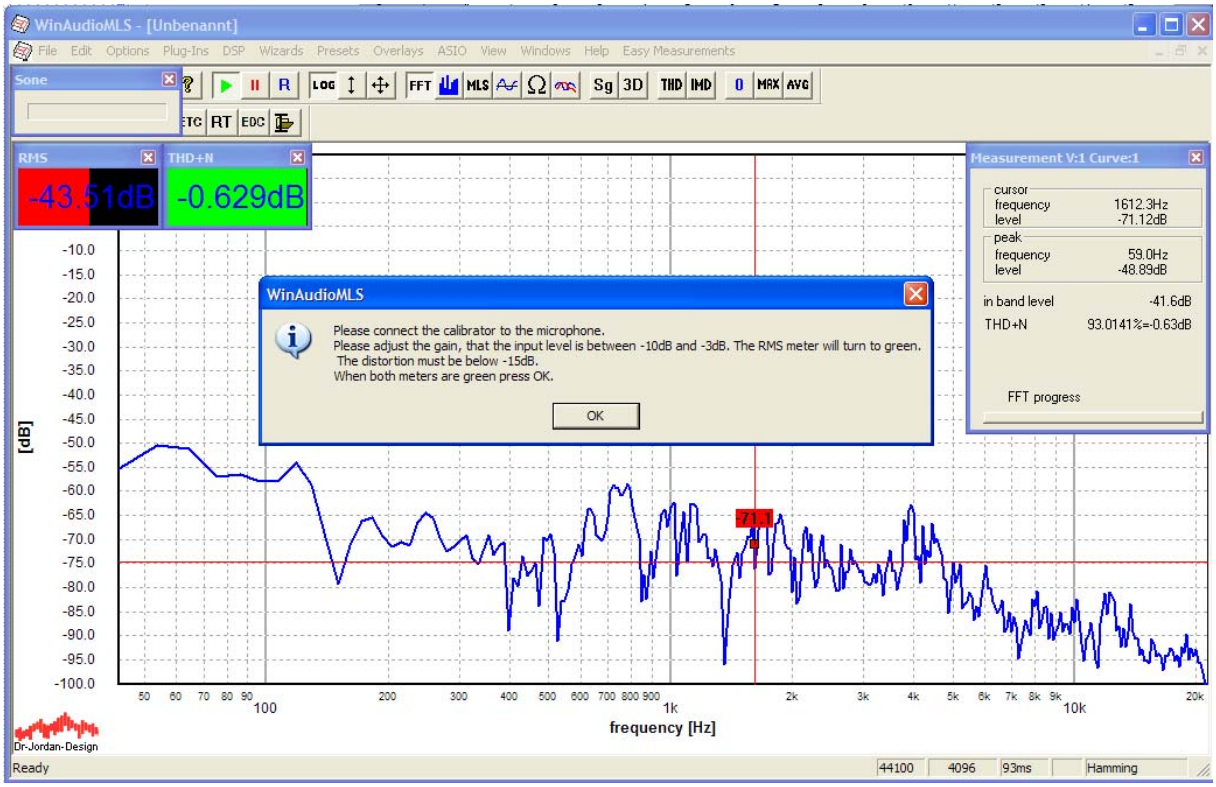
Bei der automatischen Messung werden Sie durch die einzelnen Schritte geführt. Die Meßergebnisse werden übersichtlich in einem Bericht gespeichert.

Starten Sie die Messung mit Easy Measurements->Sone/Loudness aus der Menüleiste.

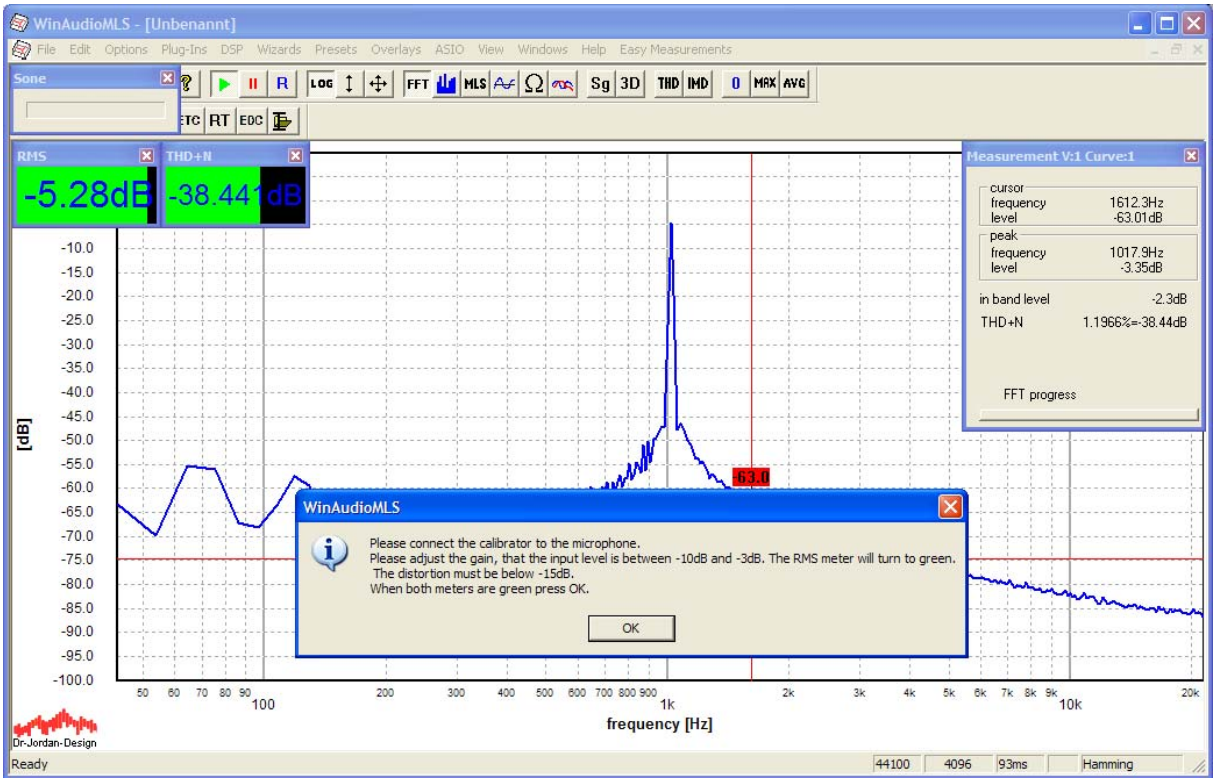


Wählen Sie ein Verzeichnis, in dem die Messergebnisse gespeichert werden sollen.



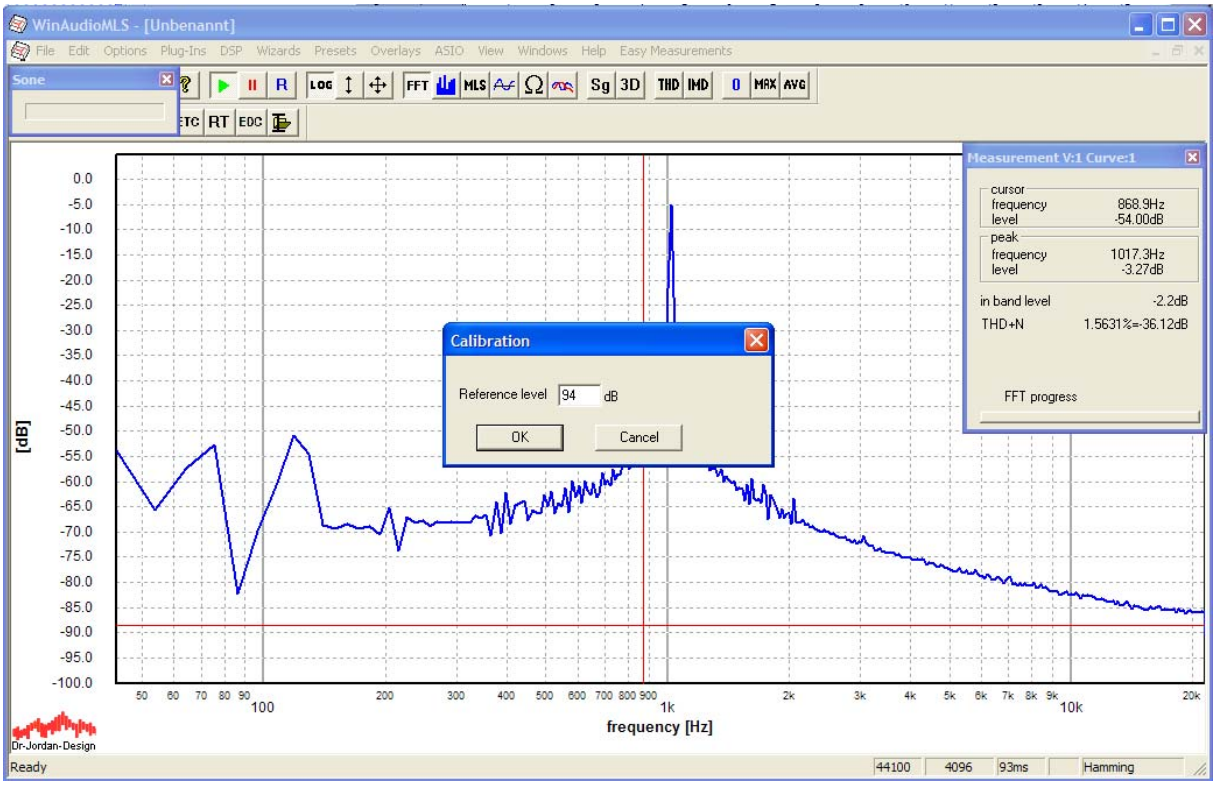


Verbinden Sie den Kalibrator mit dem Mikrofon und schalten Sie diesen ein.



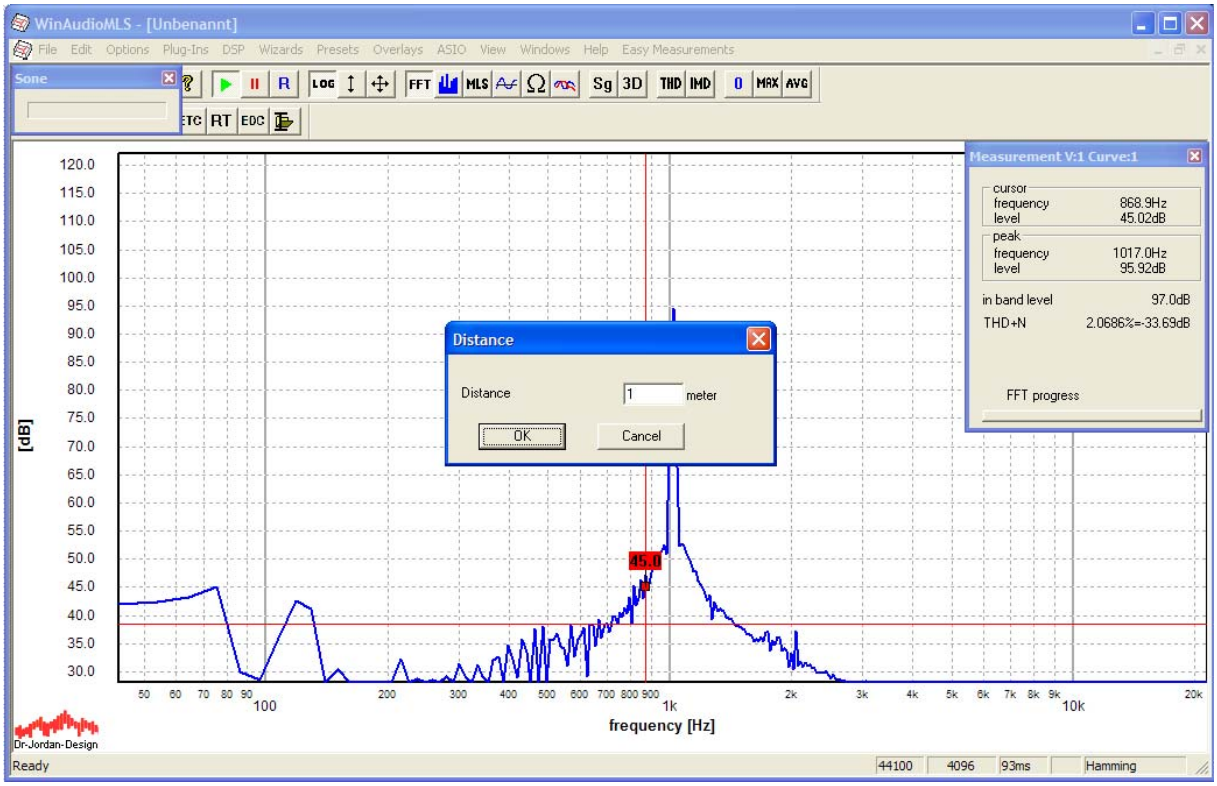
In diesem Bild ist deutlich die Frequenz des Kalibrators (hier 1000Hz) zu erkennen. Sie müssen im nächsten Schritt die Verstärkung des Mikrofonsignals einstellen. Ist die Vertärkung zu hoch, so ist die Meßkette übersteuert und es kommt zu einer Verfälschung der Meßergebnisse. Ist die Verstärkung zu niedrig, so steigt der Rauschpegel.
WinAudioMLS hilft Ihnen, die optimale Einstellung zu finden. Hierzu wird der Pegel (RMS) und der Störabstand (THD+N) fortlaufend gemessen. Beide Werte warden in zwei Paramview-Fenstern dargestellt. Sofern die Werte sinnvoll sind, sind beide Balken grün.

Geben Sie den Bezugswert des Kalibrators ein, in der Regel ist dies 94dB.

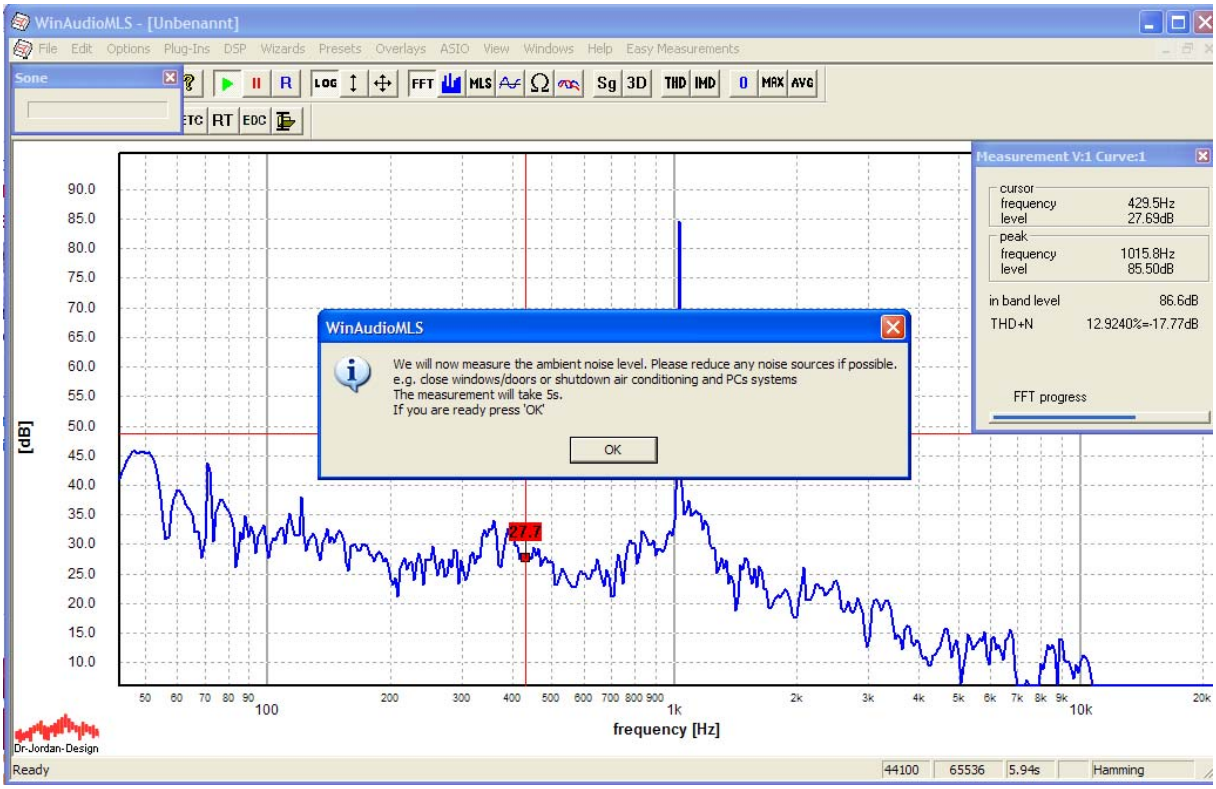


Die Messwerte erscheinen jetzt in absoluten Schallpegeln.

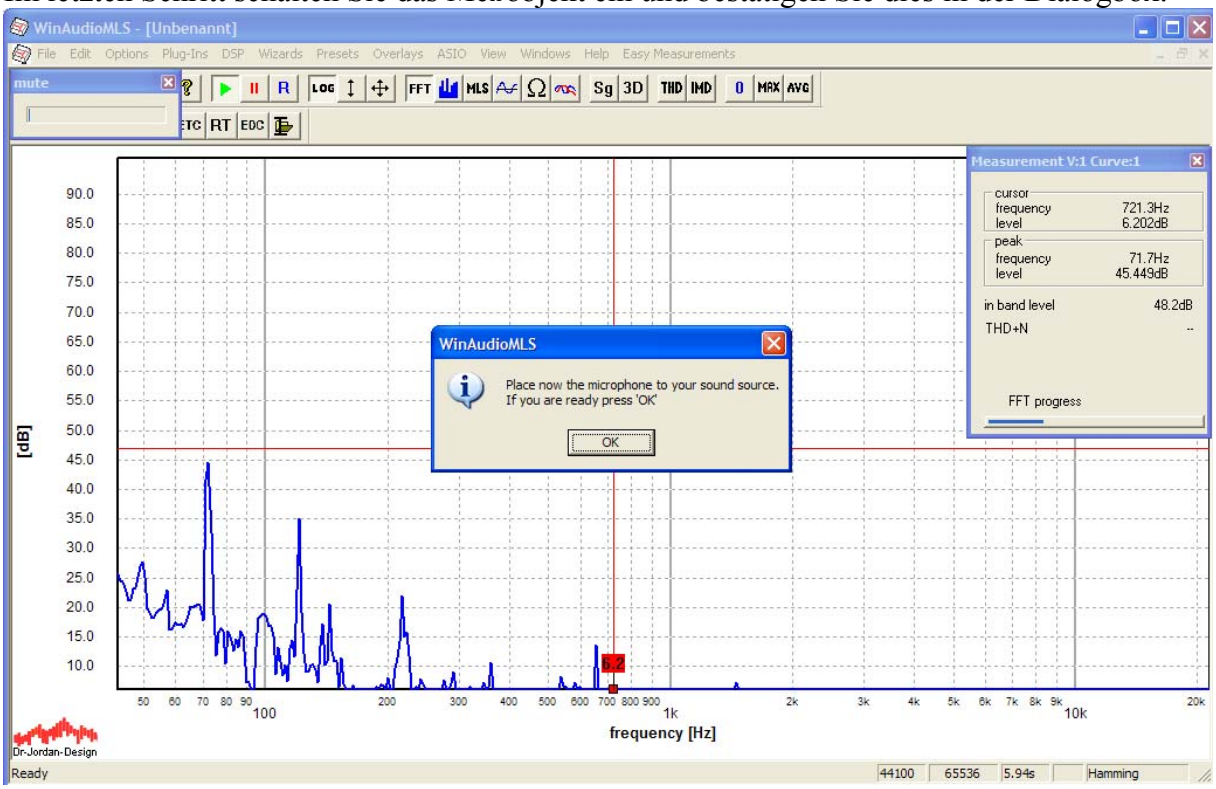
Im nächsten Schritt können Sie den Meßabstand eingeben. Die Meßergebnisse werden dann automatisch auf einen Meßabstand von 1m umgerechnet.



Bei der automatischen Messung wird grundsätzlich der Ruhepegel gemessen und dokumentiert. Damit wird sichergestellt, daß der Pegel des Messobjektes auch deutlich über dem Ruhepegel liegt. Schalten Sie daher den Kalibrator und das Meßobjekt aus.



Im letzten Schritt schalten Sie das Meßobjekt ein und bestätigen Sie dies in der Dialogbox.



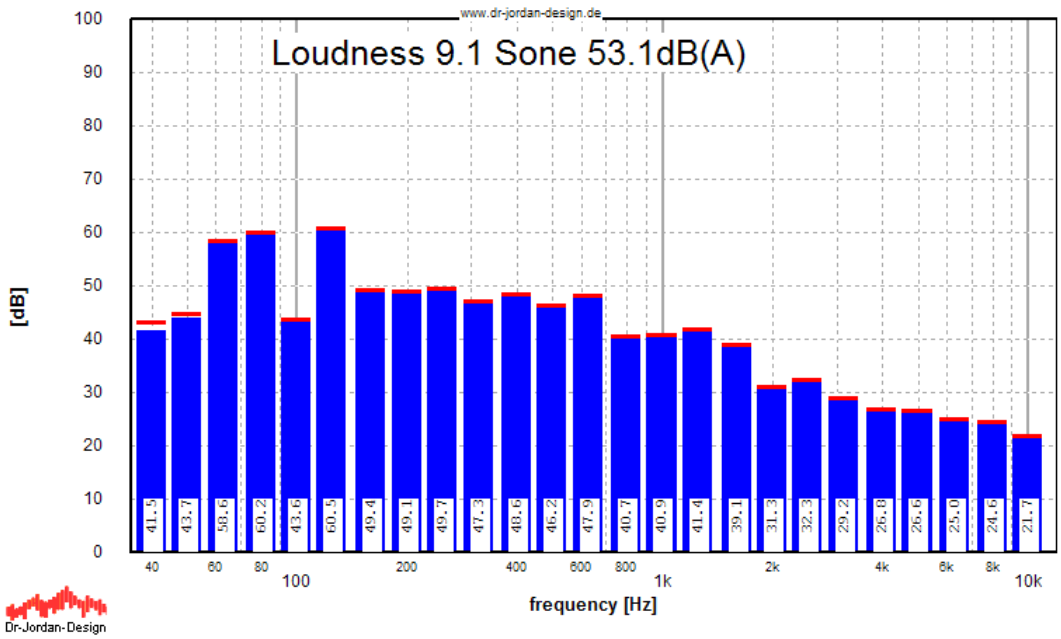
Die Meßergebnisse werden jetzt alle in ein HTML-Datei geschrieben, die Sie mit einem Internetbrowser öffnen oder ausdrucken können. Sobald die Messung abgeschlossen ist, wird der Bericht automatisch angezeigt.
Die folgenden Bildschirmfotos zeigen einen solchen automatischen Bericht.

Measurement of Loudness summary report - Microsoft Internet Explorer

Datei Bearbeiten Ansicht Favoriten Extras ?

Sone measurement report

Wednesday, August 29, 2007 08/29/07 09:45:22
Measurement distance 1.000 meter



Sone=9.07 sound level=53.05dB(A)

---

detailed results

Fertig Arbeitsplatz

Measurement of Loudness detailed report - Microsoft Internet Explorer

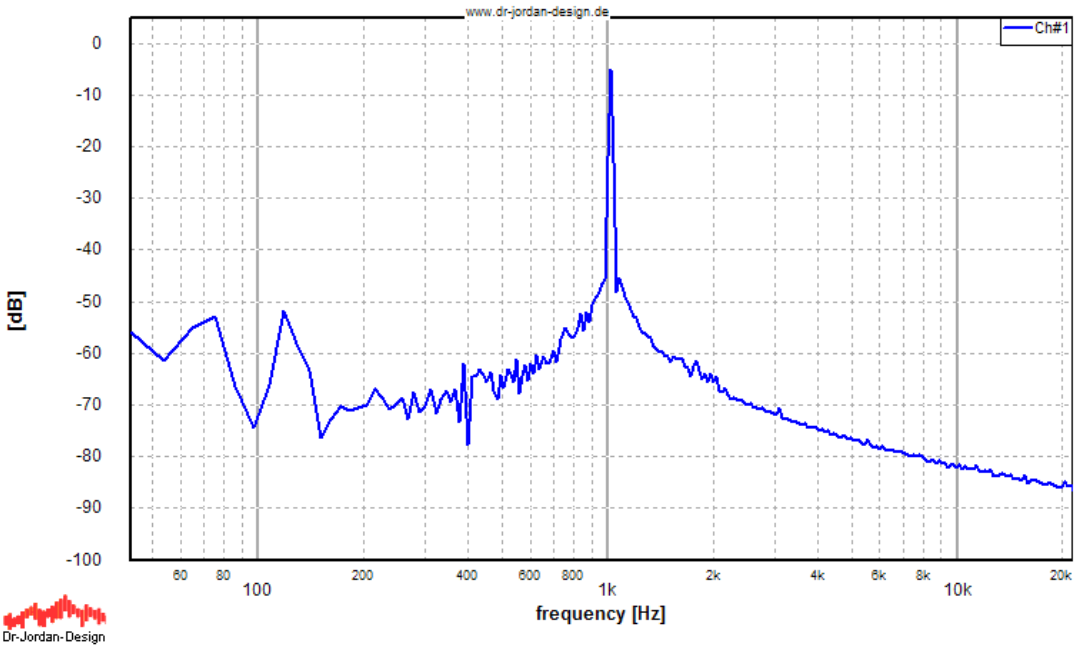
Datei Bearbeiten Ansicht Favoriten Extras ?

Loudness measurement detailed report

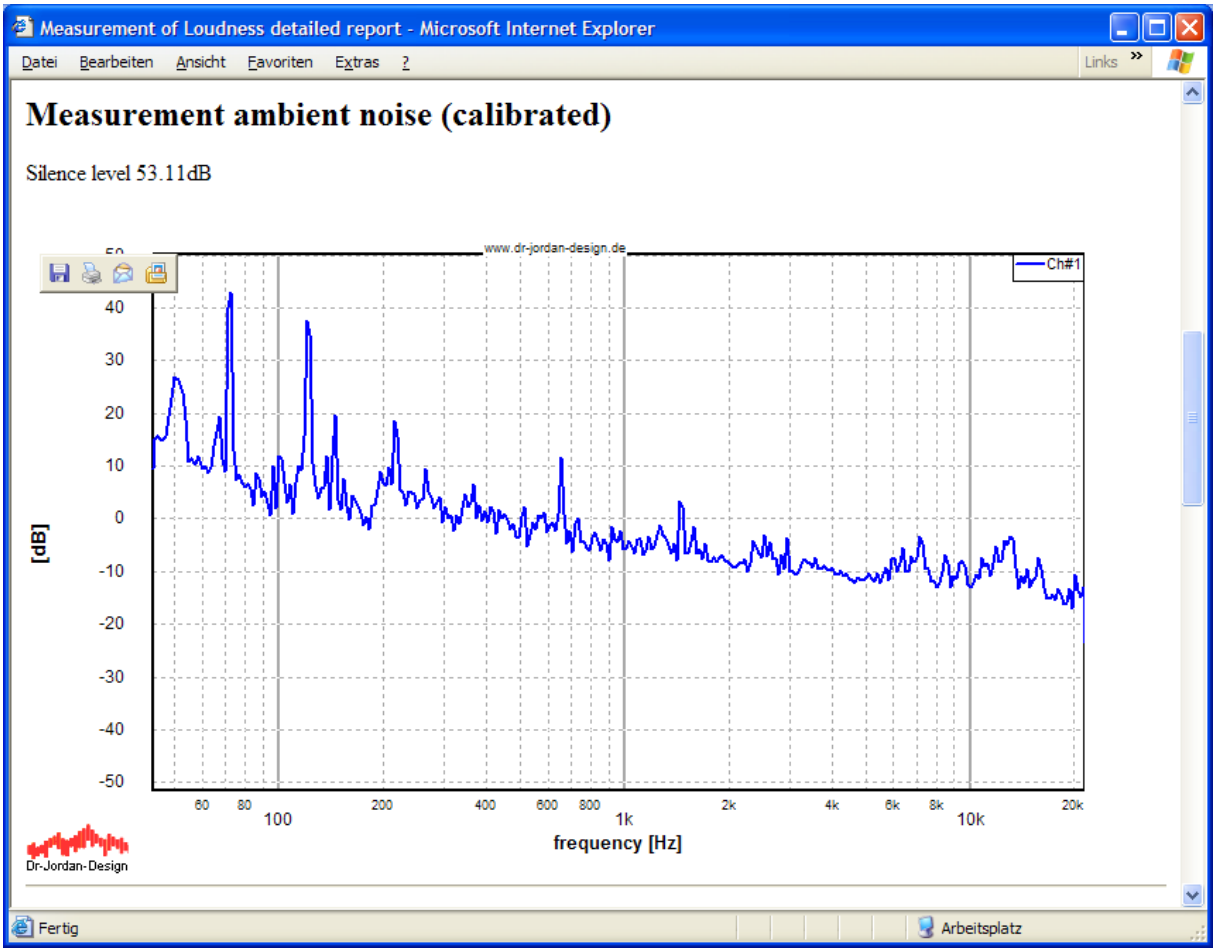
Settings

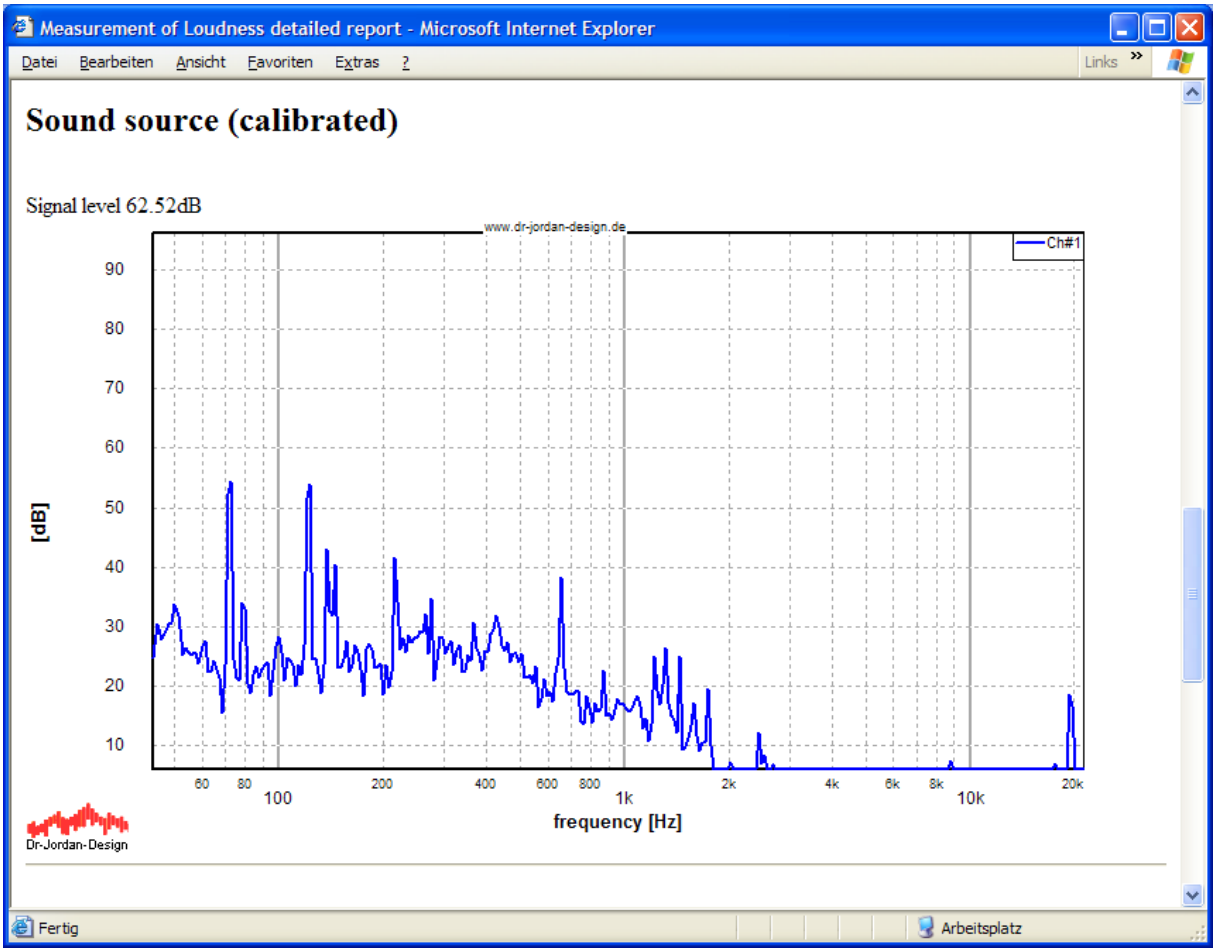
Wednesday, August 29, 2007 08/29/07 09:45:22
Sample rate 44100.00Hz
FFT size 65536 points

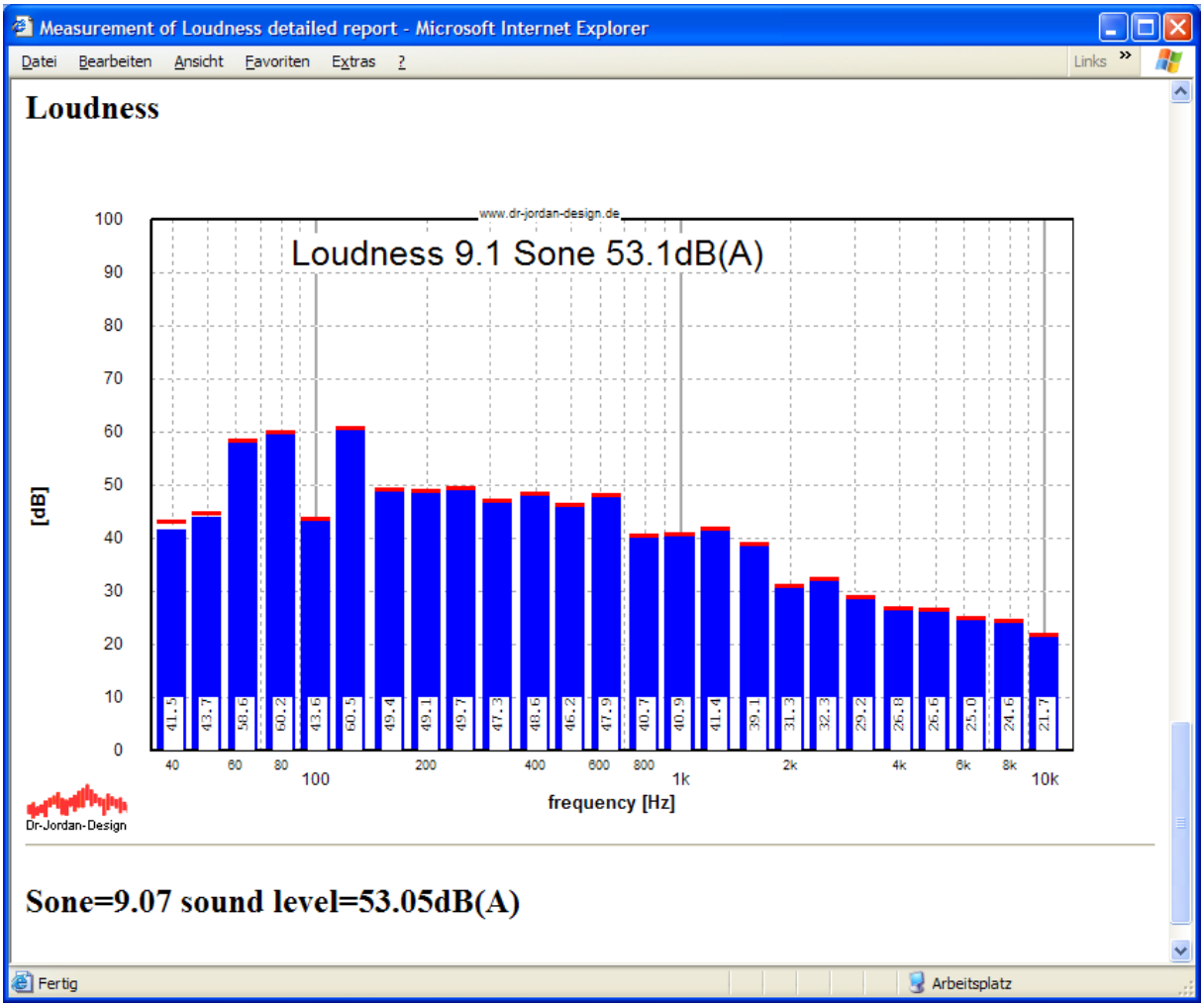
Calibrator signal uncalibrated.



Fertig Arbeitsplatz


Measurement of Loudness detailed report - Microsoft Internet Explorer
Datei Bearbeiten Ansicht Favoriten Extras ?
Links
Measurement ambient noise (calibrated)
Silence level 53.11dB
www.dr-jordan-design.de
Ch#1
[dB]
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
60 80 100 200 400 600 800 1k 2k 4k 6k 8k 10k 20k
frequency [Hz]
Dr-Jordan-Design
Fertig
Arbeitsplatz


Measurement of Loudness detailed report - Microsoft Internet Explorer
Datei Bearbeiten Ansicht Favoriten Extras ?
Links
Sound source (calibrated)
Signal level 62.52dB
www.dr-jordan-design.de
Ch#1
[dB]
90
80
70
60
50
40
30
20
10
60 80 100 200 400 600 800 1k 2k 4k 6k 8k 10k 20k
frequency [Hz]
Dr-Jordan-Design
Fertig
Arbeitsplatz

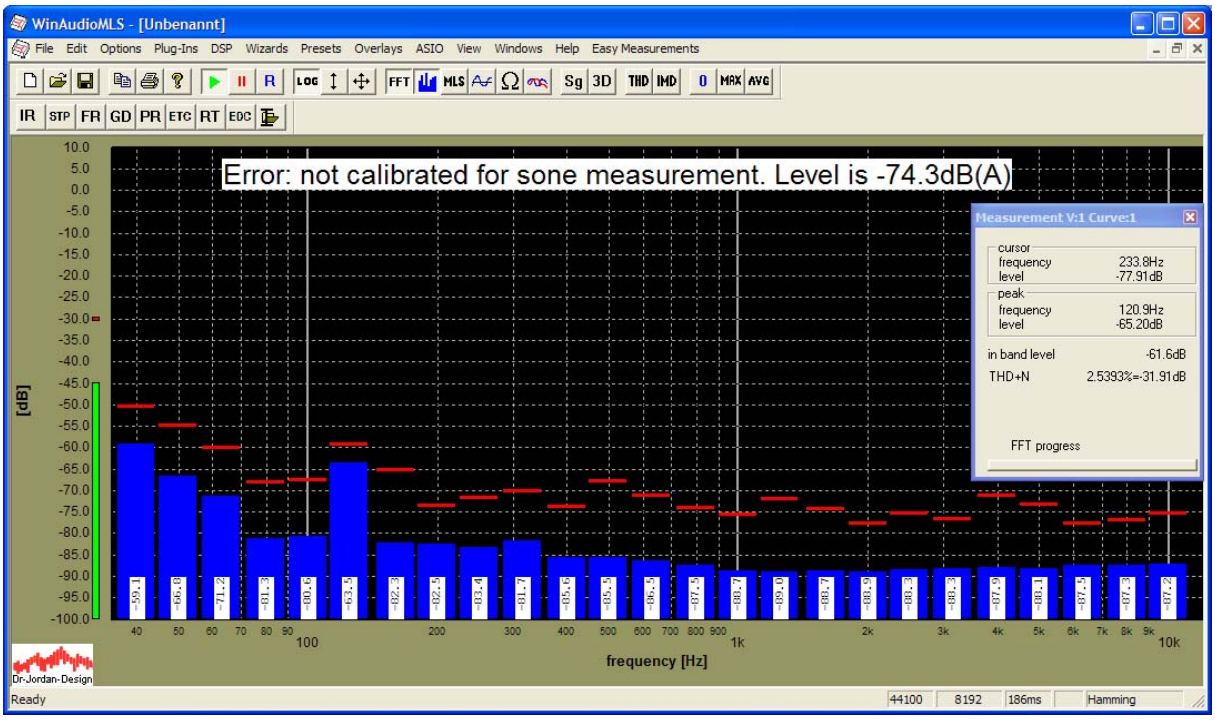


Manuelle Messung

Für eine manuelle Messung müssen Sie die folgenden Schritte durchführen

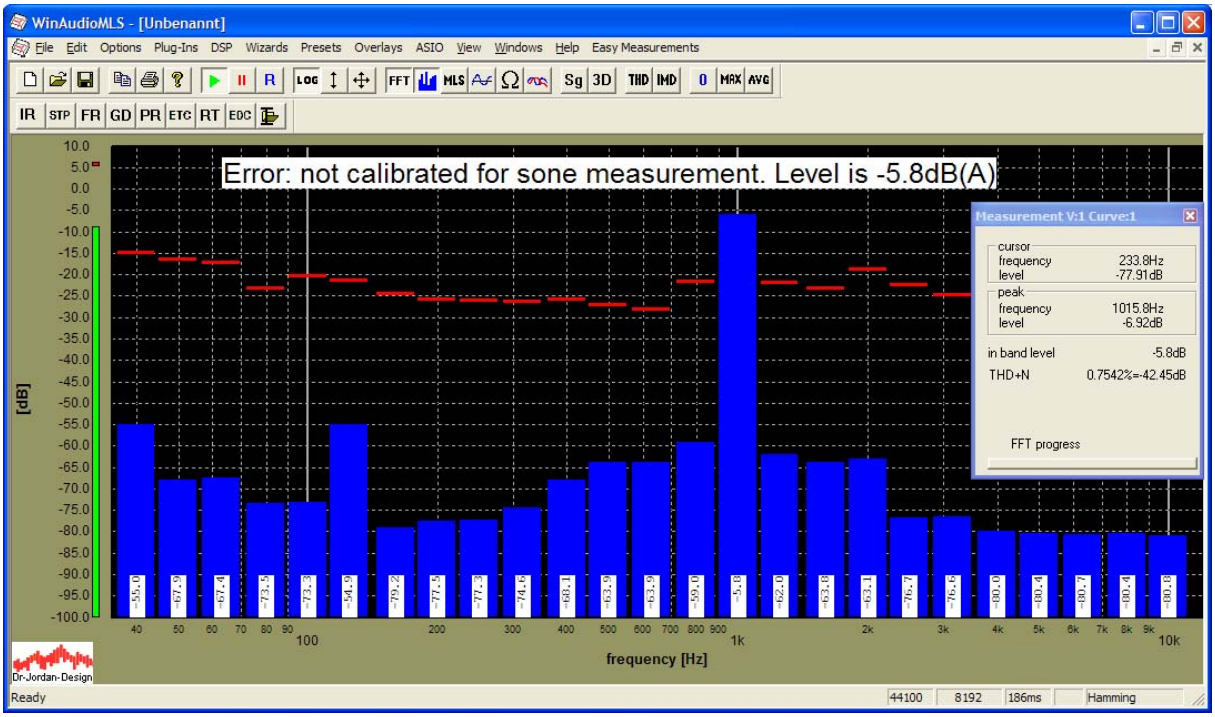
- Aktivierung des Terzanalysators
- Bewertungen sollten abgeschaltet werden
- Kalibrierung d.h. die Anzeige muß den absoluten Schallpegel anzeigen.
- Aktivierung der Lautheitsmessung
- Zuerst Messung des Ruhepegels ohne Meßobjekt

Starten Sie WinAudioMLS in der Grundeinstellung und aktivieren Sie die Sone Messung mit plugins->loudness (Sone).



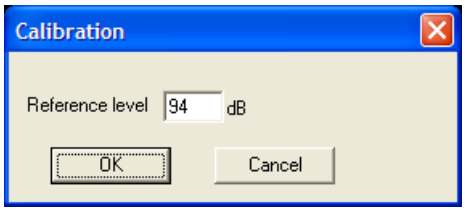
Das Bild zeigt das unkalibrierte Ruhegeräusch. Im nächsten Schritt legen Sie den Kalibrator an das Mikrofon.

Sie können WinAudioMLS auch mit einem Handschallpegelmesser kalibrieren. Allerdings ist dieser Weg etwas umständlicher und fehleranfälliger. Sie finden Details zur Kalibrierung mittels Handschallpegelmesser in dem Kapitel “Kalibrierung”.

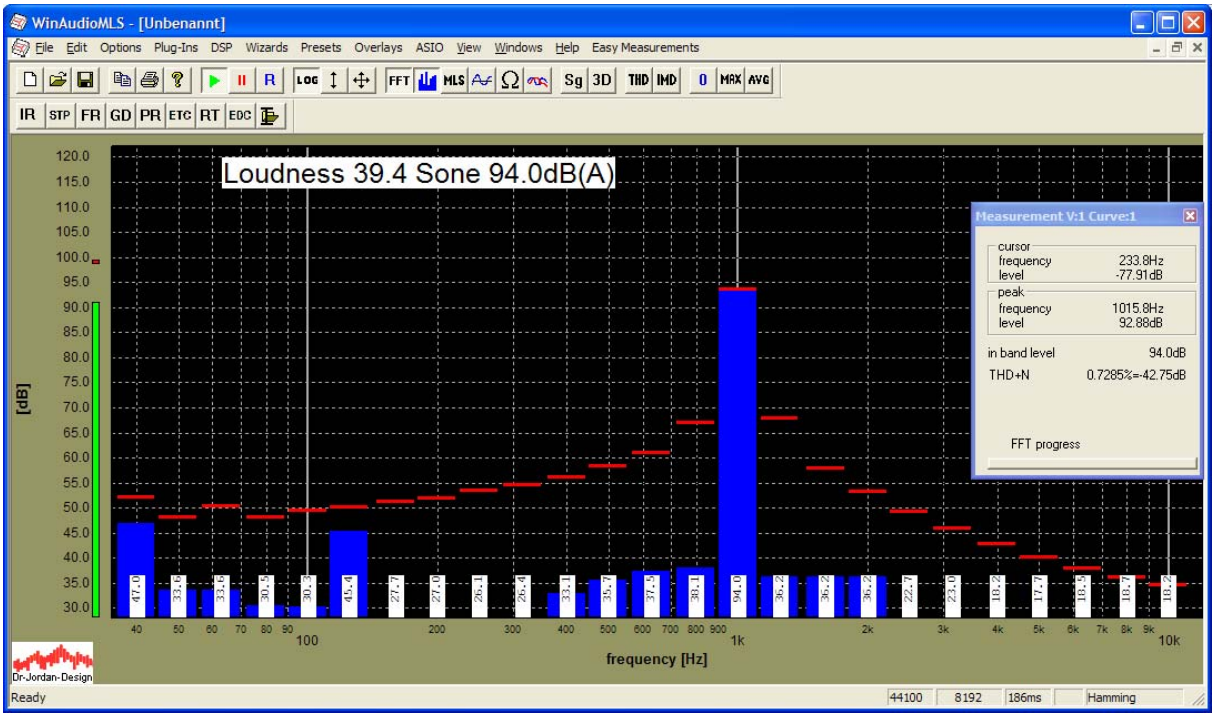


Bitte achten Sie darauf, das der Pegel zwischen –10dB und –5dB liegen sollte. Andernfalls ändern Sie bitte die Verstärkung. Achten Sie auch darauf, daß die Verzerrungen möglichst gering sind. Übersteuerungen sind unbedingt zu vermeiden. THD+N sollte unterhalb von –15dB liegen.

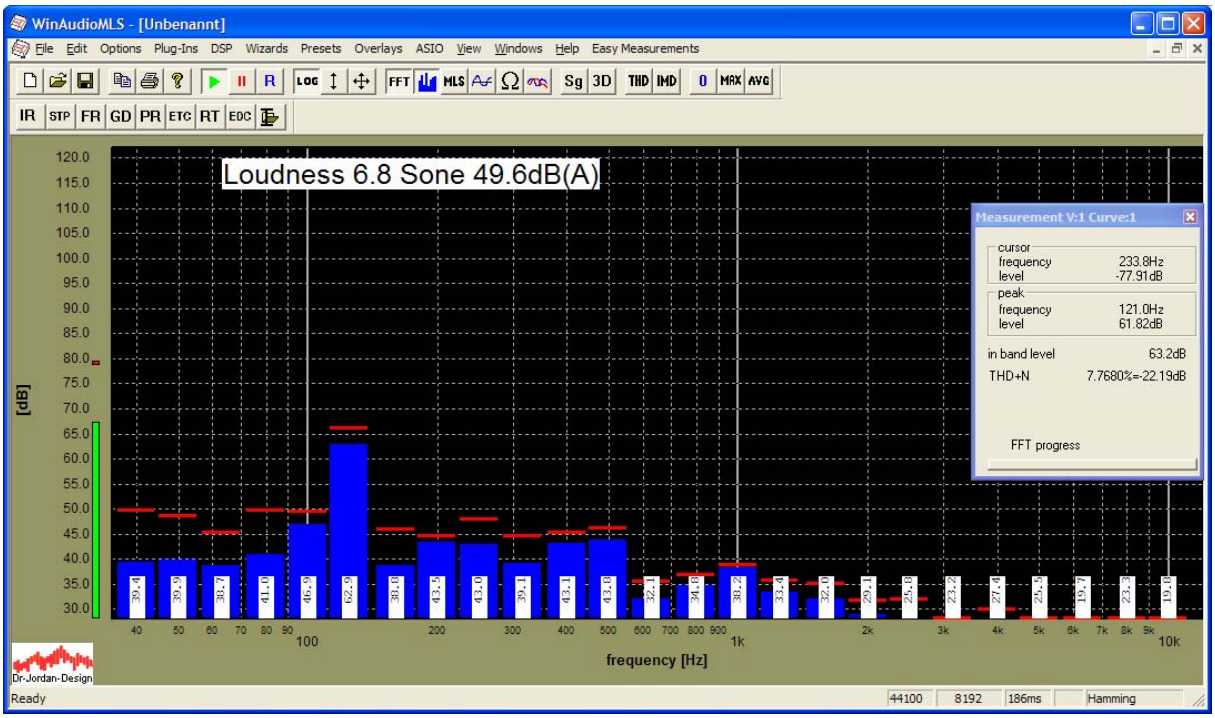
Starten Sie die Kalibrierung mit Wizards->Quick calibration



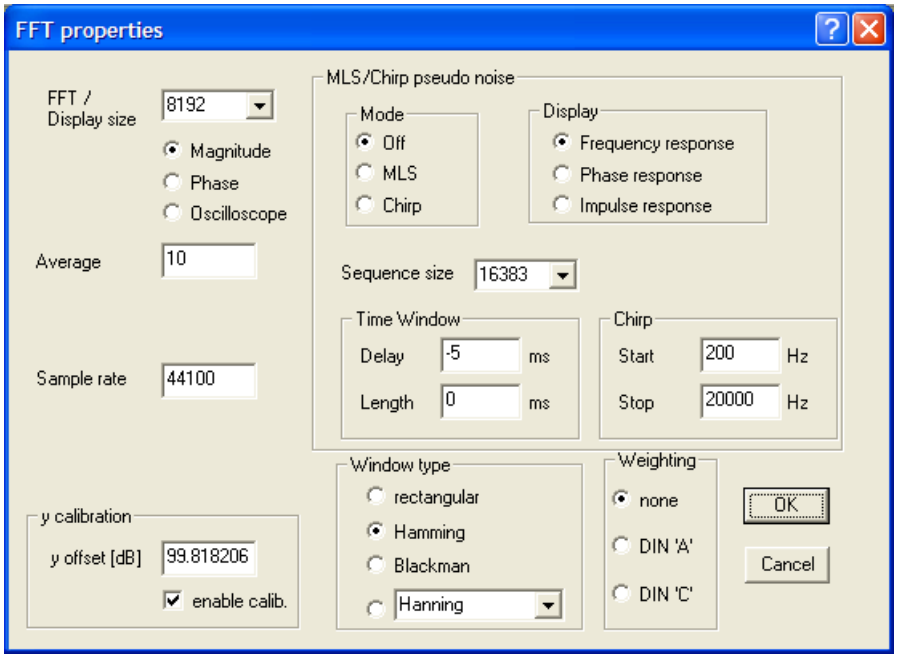
Die Anzeige zeigt jetzt das kalibrierte Referenzsignal mit 94dB(A) an.



Sie können das Mikrofon jetzt an die Schallquelle positionieren. Bitte beachten Sie den genormten Abstand von 1m. Achten Sie auch darauf, daß der Pegel der Schallquelle deutlich über dem Ruhegeräusch liegt.



Bei stärkeren Schwankungen des Signals, können Sie auch eine Mittelung (Average) einschalten. Hier werden 10 Blöcke gemittelt, also bereits ein Zeitraum von 1.8s.


FFT properties
FFT / Display size
8192
Magnitude
Phase
Oscilloscope
Average
10
Sample rate
44100
y calibration
y offset [dB]
99.818206
enable calib.
MLS/Chirp pseudo noise
Mode
Off
MLS
Chirp
Display
Frequency response
Phase response
Impulse response
Sequence size
16383
Time Window
Delay
-5
ms
Length
0
ms
Chirp
Start
200
Hz
Stop
20000
Hz
Window type
rectangular
Hamming
Blackman
Hanning
Weighting
none
DIN 'A'
DIN 'C'
OK
Cancel

Spezifische Lautheit

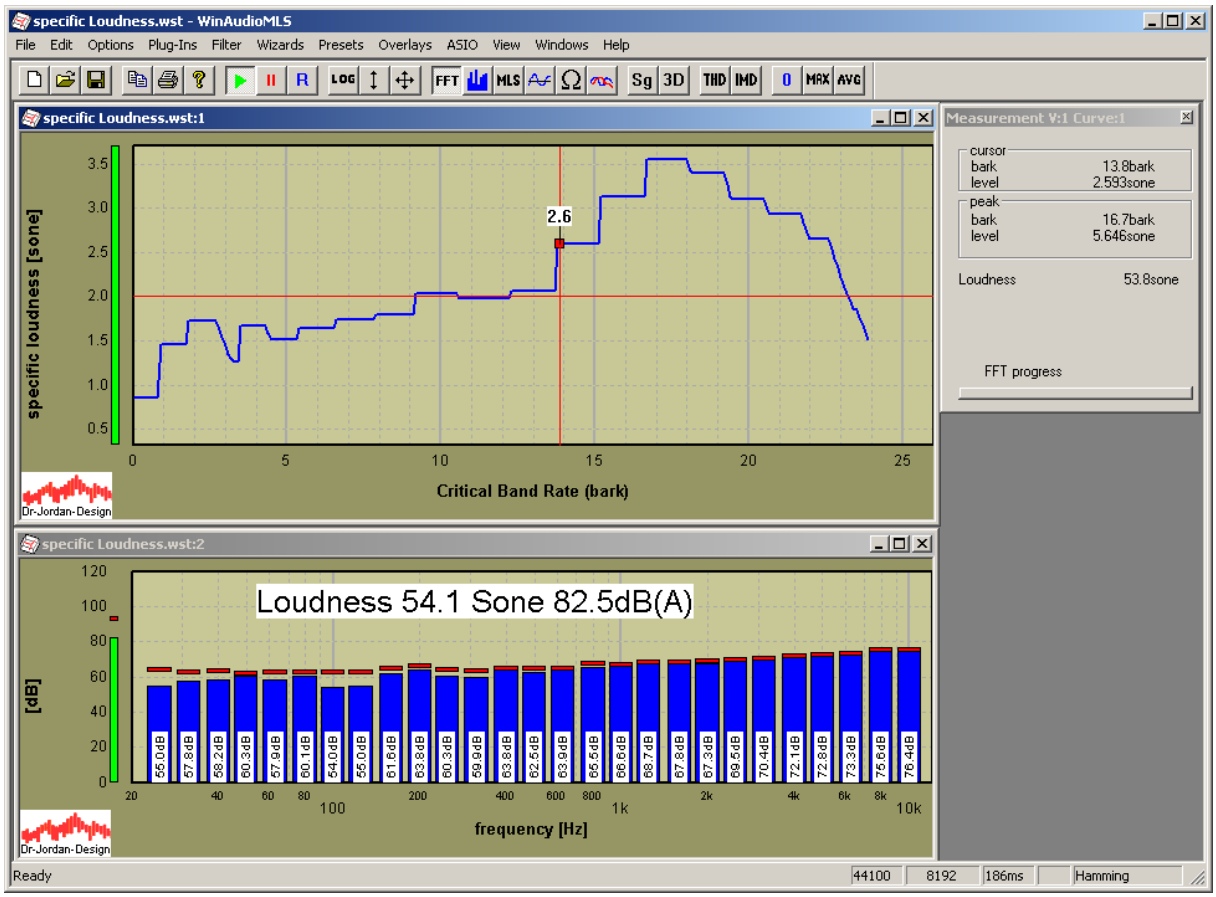
WinAudioMLS kann die spezifische Lautheit grafisch darstellen, die für viele akustische Analysen benötigt wird.

Voraussetzungen:

- WinAudioMLS mind. PRO Version
- WinAudioMLS plug-in „1/3 Oktav RTA“
- WinAudioMLS plug-in „specific Loudness“
- Meßmikrofon und Soundkarte
- Schallkalibrator oder Handschallpegelmesser

Beispiel

Das folgende Beispiel zeigt eine Messung mit aktiver Messung.



In dieser Messung ist die spezifische Lautheit im oberen Meßfenster und der 1/3 Oktav Analysator im unteren Meßfenster sichtbar. Gleichzeitig wird die breitbandige Lautheit und der A-bewertete Schallpegel angezeigt.

Für eine korrekte Messung muß das Gesamtsystem mit einem Schallkalibrator oder Schallpegelmesser kalibriert werden, da das zugrundeliegende psychoakustische Modell pegelabhängig ist.