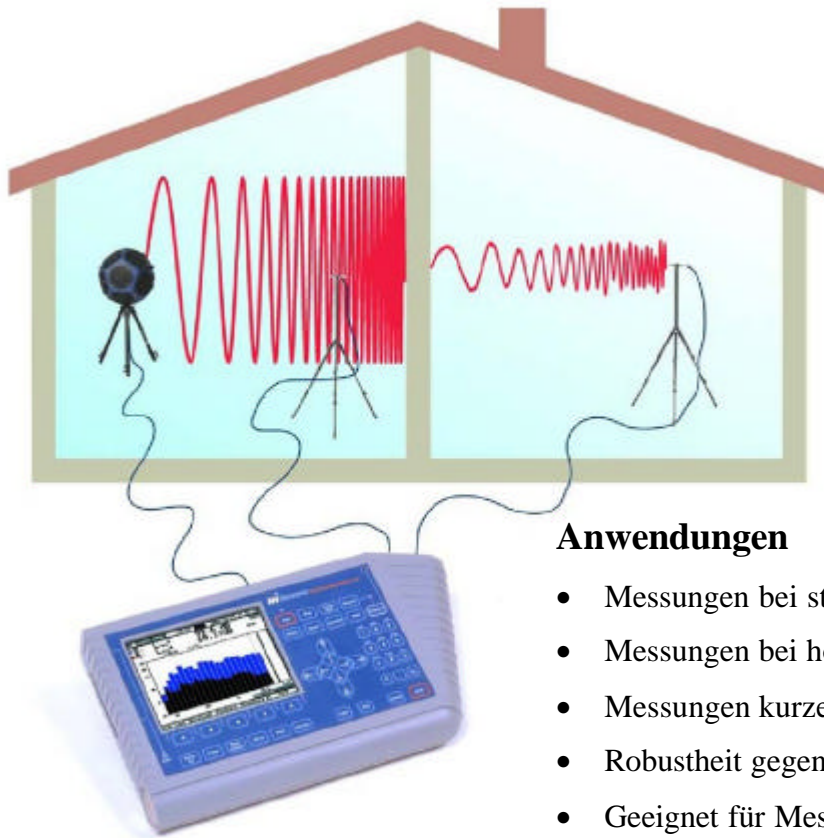




# Sinus-Sweep-Messtechnik

Mit dem Analysator Nor121



## Anwendungen

- Messungen bei starkem Hintergrundgeräusch
- Messungen bei hohen Schalldämmmaßen
- Messungen kurzer Nachhallzeiten
- Robustheit gegen Zeitvarianz
- Geeignet für Messungen im Freien

Die Sinus-Sweep-Methode verwendet ein sinusförmiges Anregungssignal, dessen Frequenz sich exponentiell über der Zeit steigert. Die Antwort auf diese Anregung wird durch das Messgerät aufgezeichnet und die Impulsantwort zwischen Send- und Empfangsposition wird mathematisch über eine Dekonvolution ermittelt. Entsprechend ISO/DIS 18233

(Akustik – Anwendung neuer Messmethoden in der Bauakustik) ermöglicht die Sinus-Sweep-Methode Messungen bei lautem Hintergrundgeräusch, was ein enormer Vorteil im Vergleich zur klassischen Methode ist. Das bedeutet, dass man auch bei guter Schalldämmung, wo die Messung durch das Hintergrundgeräusch beeinträchtigt wäre, noch korrekte Messergebnisse erzielen kann.

In den nachfolgenden Beispielen wird gezeigt, wie mit dem Nor121 und der optionalen Sinus-Sweep-Methode die Messungen verbessert werden. Die Beispielmessungen wurden mit einem Nor121, einem Nor260 Leistungsverstärker und einem Nor250 Halbdodekaederlautsprecher angefertigt.

## Messen der Schalldämmung

In diesem Beispiel wurden drei Messungen zum Bestimmen der Pegeldifferenz zwischen Sendee- und Empfangsraum durchgeführt. Beim ersten Versuch erfolgte die Anregung mit breitbandigem rosa Rauschen, beim zweiten Versuch mit terzband-gefiltertem rosa Rauschen bei serieller Analyse, und schließlich wurde beim dritten Versuch die Sinus-Sweep-Methode eingesetzt. Um die drei Ergebnisse vergleichen zu können werden sie in drei Abbildungen dargestellt. Abb. 1 enthält die Pegel im Senderaum. Es ist erkennbar, dass die Sinus-Sweep-Methode einen höheren Anregepegel bewirkt. Die Ursache dafür ist der geringere Crest-Faktor von Sinus signalen im Vergleich zum Rauschen. Allein dadurch wird eine Verbesserung des Signal-Rausch-Abstandes bewirkt.

Abb. 2 zeigt die Messpegel und Hintergrundgeräuschpegel im Empfangsraum. Abb. 3 zeigt die gemessene Pegeldifferenz.

Der Hintergrundgeräuschpegel im Empfangsraum betrug 45dB bei tiefen Frequenzen und 25dB bei hohen Frequenzen. Er wird mit der schwarzen Kurve in Abb. 2 dargestellt.

Der Pegel im Empfangsraum bei Breitbandanregung (blaue Kurve) ist bei tiefen Frequenzen kaum über dem Grundgeräusch und wird bei hohen Frequenzen vollständig durch das Grundgeräusch maskiert. Folglich ist die gemessene Pegeldifferenz niedriger als die tatsächliche, was in Abb. 3 dargestellt ist. Bei der seriellen Messung mit dem Nor121 in Kombination mit terzband-gefiltertem rosa Rauschen kann die Anregungsenergie in den Messbändern um 12-15 dB verbessert werden. Der Vergleich der grünen und blauen Kurve, entsprechend der seriellen und parallelen Analysen, ergibt, dass dies bei tiefen Frequenzen der Fall ist. Allerdings reicht diese Verbesserung nicht für korrekte Messergebnisse bei höheren Frequenzen aus.

Die Sinus-Sweep-Methode erzeugt nicht nur höhere Anregepegel, sondern unterdrückt auch das Hintergrundgeräusch. Die Messer-

gebnisse liegen auch bei hohen Frequenzen klar unter dem Hintergrundgeräusch.

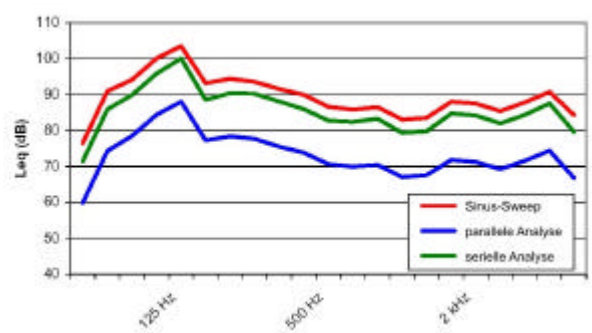


Abb. 1: Senderaumpegel

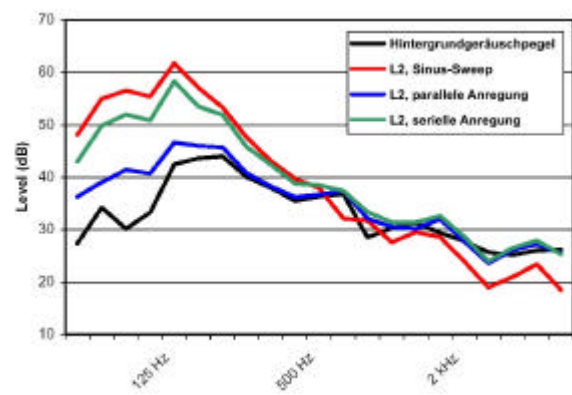


Abb. 2: Empfangsraumpegel

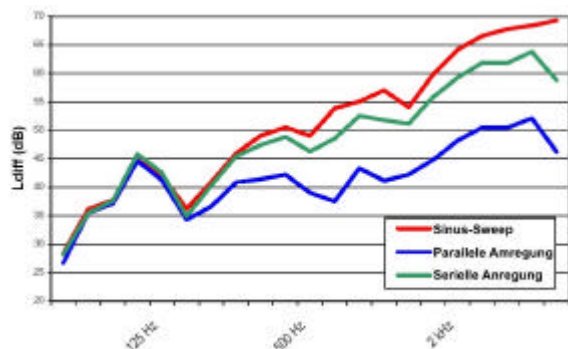


Abb. 3: Pegeldifferenzen

Daher ist die Sinus-Sweep-Methode geeignet, selbst bei negativem Signal-Rausch-Abstand korrekte Messergebnisse zu erzielen, in diesem Beispiel ist sie die einzige geeignete Methode.

## Messen der Nachhallzeit

Die Sinus-Sweep-Methode ist beim Messen der Nachhallzeit günstig, da die Folgen von hohem Hintergrundgeräusch verringert werden. Dies wird im 2. Beispiel anhand von drei Messungen in einem lauten Raum demonstriert. Das Hintergrundgeräusch weist ein rosa Spektrum bei 96dB in allen Frequenzbändern auf. Es erfolgten drei Messungen zum Bestimmen der Nachhallzeit. Bei der ersten Messung erfolgte die Anregung mit breitbandigem rosa Rauschen und Parallelanalyse, bei der zweiten Messung mit terzbandgefiltertem rosa Rauschen und serieller Analyse, bei der dritten Messung schließlich wurde die Sinus-Sweep-Methode eingesetzt. Wir vergleichen die Ergebnisse anhand des Terzbandes mit der Mittenfrequenz von 2 kHz.

Abb. 4 ist der Screenshot des Nor121 mit dem Ergebnis der parallelen Messung. Der Anregungspegel von 98dB liegt kaum über dem Hintergrundgeräusch, es ist daher nicht möglich, die Nachhallzeit zu ermitteln.

Der Screenshot in Abb. 5 zeigt das Ergebnis mit serieller Messung. Der SN-Abstand ist deutlich besser, aber immer noch nicht für eine Nachhallzeitberechnung ausreichend.

Das Ergebnis der Sinus-Sweep-Methode mit seinen rauschunterdrückenden Eigenschaften ist in Abb. 6 dargestellt. Die Abklingkurve ist nahezu linear und weist ausreichend

Dynamik aus um sowohl T20 als auch T30 zu berechnen.

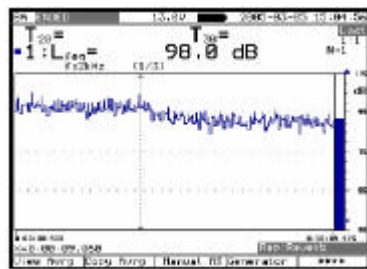


Abb. 4: Abklingen mit Parallelanalyse

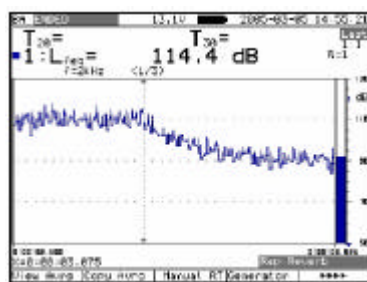


Abb. 5: Abklingen mit serieller Analyse

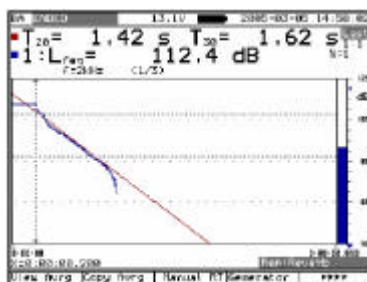


Abb. 6: Abklingkurve mit Sinus-Sweep

Das Ergebnis dieses Experimentes ist, dass die Sinus-Sweep-Methode den Methoden mit Rauschanregung überlegen ist. Sie ist in der Lage, auch bei extrem niedrigem Signal-Rausch-Abstand zuverlässige Nachhallzeitmessungen durchzuführen.

## Messen sehr kurzer Nachhallzeiten

Das Messen kurzer Nachhallzeiten, beispielsweise in kleinen Räumen oder Fahr-

zeugen etc. ist mit traditionellen Methoden bei niedrigen Frequenzen praktisch unmöglich. Der Grund liegt in den Abklingzeiten der Filter, wodurch die kürzest mögliche messbare Nachhallzeit begrenzt wird. Norsonic hat dieses Problem gelöst, indem im Frequenzbereich mit speziell entwickelten Hybridfenstern gefiltert wird, das Ergebnis sind kurze Abklingzeiten entsprechend den Klasse-1-Erfordernissen von IEC 61260. Abb. 7 zeigt die gegenwärtigen kleinsten Abklingzeiten der klassischen Methode (parallele und serielle Analyse) sowie der Sinus-Sweep-Methode.

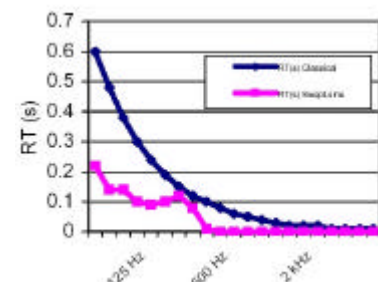


Abb. 7: Minimale Nachhallzeiten

## Vorteil des Sinus-Sweep zu MLS

MLS verwendet zur Anregung eine „Maximum Length Sequence“ (MLS). MLS ist eine deterministische binäre Sequenz mit einer Frequenzcharakteristik von weißem Rauschen. Ähnlich zum Sinus-Sweep verwendet MLS eine Dekonvolution im Analyseteil ein. Allerdings weist der Sinus-Sweep einige Vorteile auf. Diese sind beispielsweise:

- Immunität gegen harmonische Verzerrungen
- Höhere Anregepegel
- Robustheit gegen Zeitvarianz.

Mit dem Sinus-Sweep können die Lautsprecherpegel höher sein. Damit ist zwar das Anregungssignal höher (und es sinkt auch der SNR), allerdings können auch harmonische Verzerrungen durch die Nichtlinearität des Lautsprechers entstehen. Diese Verzerrungen treten in der Impulsantwort bei MLS und Sinus-Sweep auf unterschiedliche Weise auf. Bei MLS tritt die Verzerrung in Form von Pseudo-Peaks auf, wodurch der SNR und somit die Messung wieder verschlechtert werden.

Wird andererseits die Impulsantwort mit einem Sinus-Sweep gemessen, werden die Effekte harmonischer Verzerrungen völlig entfernt. Die lineare Dekonvolution bewirkt dass Verzerrungskomponenten in der „negativen“ Zeit der Impulsantwort auftreten, diese Komponenten können leicht entfernt werden. Dieses nützliche Feature bewirkt außerdem, dass der Lautsprecher kleiner und leichter werden kann.

## Robustheit gegen Zeitvarianz

Zum Erhöhen des SNR könnte eine MLS-Messung aus

mehreren aufeinanderfolgenden synchronen Einzelmessungen bestehen, deren Ergebnisse gemittelt werden. Dadurch wird zwar der SNR erhöht, allerdings auch die Anfälligkeit gegen Zeitvarianzen. Zeitvarianzen treten üblicherweise durch unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schall infolge geänderter Luftfeuchte, Temperatur oder Windgeschwindigkeit auf. Damit wird die Einsetzbarkeit von MLS im Outdoor-Bereich stark beeinträchtigt.

Im Gegensatz dazu besteht eine Sinus-Sweep-Messung aus einer einzigen Messung, wodurch synchrones Mitteln nicht nötig ist. Dadurch steigt die Robustheit gegen Zeitvarianz erheblich.

Die Variation der Schallgeschwindigkeit wird mit einer variablen Verzögerung simuliert. Zwei Messgruppen werden angefertigt: Eine Messgruppe erfolgt mit dem Echtzeitanalysator Nor840 mit MLS, die zweite Messgruppe erfolgt mit dem Nor121 und Sinus-Sweep. Jede Messgruppe besteht aus 2 Einzelmessungen, einer mit und einer ohne simulierter Variation der Schallgeschwindigkeit. Die Leq-Werte der Abklingkurve werden verglichen.

Abb. 8 zeigt die Abklingkurve mit simulierter Zeitvarianz. Der Hintergrundgeräuschpegel steigt um rund 2,5dB im Vergleich zur

Messung ohne simulierter Zeitvarianz (Abb. 9).

Die Screenshots in Abb. 10 und 11 sind das Ergebnis der Sinus-Sweep-Messung. Derselbe Vergleich führt hier zu keiner bemerkbaren Steigerung des Hintergrundgeräusches.

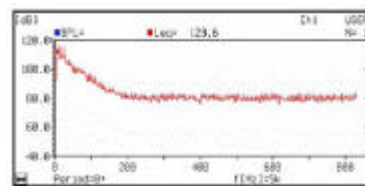


Abb. 8: Impulsantwort, MLS mit simulierter Zeitvarianz

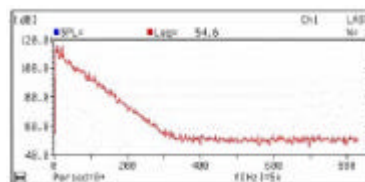


Abb. 9: Impulsantwort, MLS

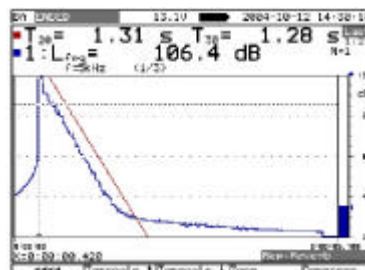


Abb. 10: Impulsantwort, Sinus-Sweep mit simulierter Zeitvarianz

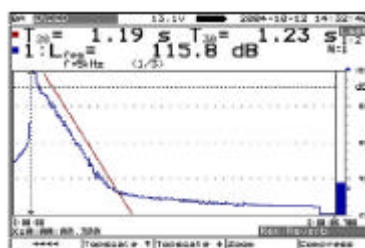


Abb. 11: Impulsantwort, Sinus-Sweep