

# Wie mache ich einen Lautsprecher lauter?

(als er in Wirklichkeit ist !)

Bei der Planung professioneller Beschallungsanlagen hat sich in den letzten Jahren der Einsatz von Simulationssoftware als Standard etabliert.

Der Planer erreicht hierdurch eine höhere Sicherheit für das spätere Funktionieren seiner technischen Lösung. Der Verkäufer / Vertriebsingenieur erhält ein Werkzeug, um auch einem oftmals technisch nicht spezialisierten Kunden das spätere Beschallungsergebnis zu visualisieren.

Wie bei allen Simulationsprogrammen steht und fällt das Ergebnis mit den eingegebenen Daten der Komponenten und den verwendeten Algorithmen der Software.

Bei der Beschallung von Räumen spielen sowohl der Datensatz der eingesetzten Lautsprecher als auch die Eingabe des Raumes eine wesentliche Rolle für das spätere Simulationsergebnis.

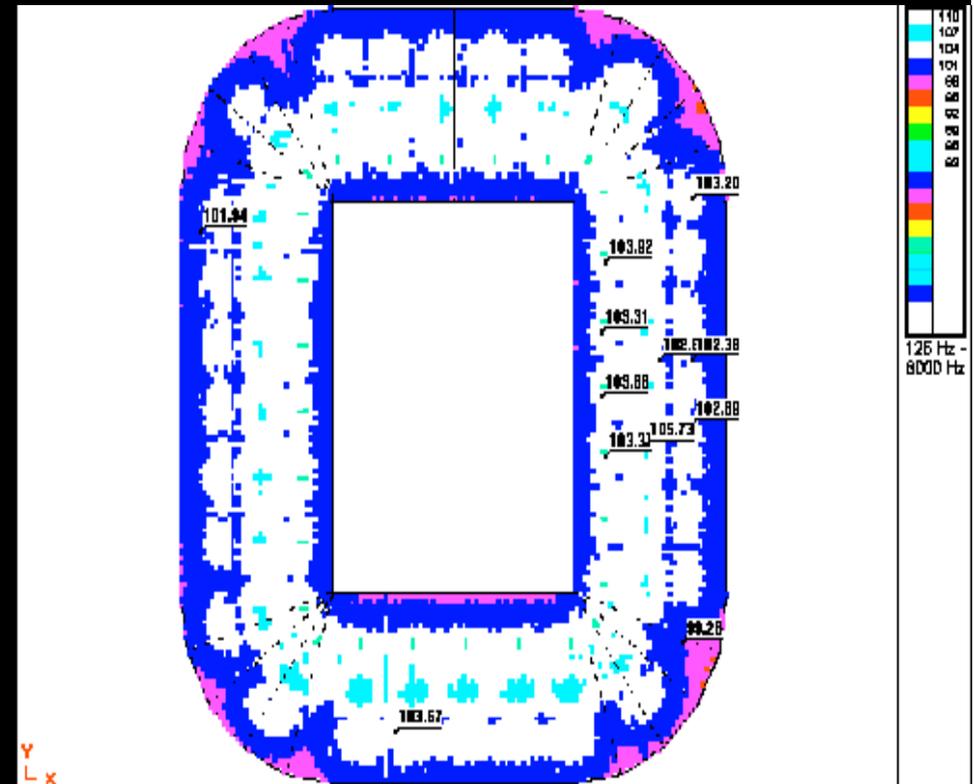
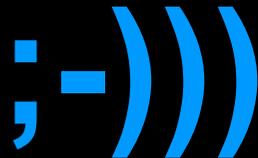
Die nachfolgenden Ausführungen sollen dazu dienen, Simulationsergebnisse von Beschallungsangaben hinsichtlich der zugrundegelegten Lautsprecherdaten besser zu bewerten und eine Vergleichbarkeit von verschiedenen Lautsprechern oder Berechnungen zu ermöglichen.

# Wie man Lautsprecher lauter macht !



Direktschallpegel auf der Tribüne  
breitbandig in einer Simulation

Direktschallpegel, breitbandig,  
gleicher Lautsprecher wie links



## Was sagen die gezeigten Folien aus ?

Die Grafiken auf der vorherigen Seite zeigen beide die berechnete Direktschallpegelverteilung mit ein und dem selben Lautsprechertyp im gleichen Raum.

Es fand in beiden Berechnungen eine physikalisch korrekte Berechnung der Direktschallpegel statt und trotzdem: In einem Fall sind die ausgewiesenen Pegel 6 dB höher!

Ein Kunde, dem diese Grafiken vorgelegt werden, kann meist nicht beurteilen, ob es hier bei den höheren Pegelwerten noch mit rechten Dingen zugeht oder nicht, wenn keine zusätzlichen Informationen bekannt sind.

Es hängt im wesentlichen davon ab, mit welchen Kenndaten der Lautsprecher in der Datenbank hinterlegt ist und im Simulationsprogramm verwendet wird.

Hierfür gibt es keine einheitlichen Vorschriften und es steht jedem Lautsprecherhersteller frei, seine Systeme so anzugeben wie er es für richtig hält.

**Je nachdem, wie der Hersteller seine Lautsprecherdaten hinterlegt, kann die Pegelberechnung unter sonst identischen Bedingungen bis zu 6 dB höhere Werte zeigen als bei vergleichbaren Systemen !**

Inwiefern, die ausgewiesenen Werte in der Praxis später erreicht werden, oder diese Werte für die spätere Wiedergabe eines Sprach- oder Musiksignals realistisch sind, wird in den folgenden Abschnitten erklärt.

Dazu ist es unerlässlich etwas auf die Physik hinter dem Hörerlebnis einzugehen.

**Das Fazit jedes Abschnitts oder wichtige Feststellungen sind jeweils fett gedruckt.**

In den Formeln wird der Übersichtlichkeit halber ein gewisser Pragmatismus verwendet, sodass nicht immer die mathematisch komplett korrekte Formel ausgeschrieben wird.

## Sensitivity oder Kennempfindlichkeit:

Diese Kenngröße gibt an, wieviel Schalldruckpegel ein Lautsprecher in einem Meter Abstand produziert, wenn er mit einem Eingangssignal von einem Watt elektrischer Leistung gespeist wird. Der Schalldruckpegel wird in Dezibel (dB) angegeben. Meist mit der Erläuterung in Klammern (1W/1m).

Teilweise wird auch eine Kennempfindlichkeit bei 2,83V/1m angegeben.

Im Zusammenhang mit der Lautsprecherimpedanz ergeben sich auch hier schon Unterschiede beim Vergleichen unterschiedlicher Lautsprecher und ihrer Simulationsergebnisse.

Die elektrische Leistung  $P$  definiert sich aus dem Produkt von Strom  $I$  und Spannung  $U$ :

$$P = U \cdot I$$

Das Ohm'sche Gesetz definiert einen elektrischen Widerstand  $R$  als Teiler von Spannung und Strom:

$$R = U / I$$

Damit folgt für die elektrische Leistung:

$$P = U^2 / R$$

Setzt man für den elektrischen Widerstand die Lautsprecherimpedanz ein, steht an dieser Stelle 4 Ohm oder 8 Ohm.

Dies sind die üblicherweise genannten Werte der eigentlich frequenzabhängigen Größe Impedanz eines Lautsprechers.

Mit einer Eingangsspannung von 2,83V ergibt sich für einen mit 8 Ohm angegebenen Lautsprecher:

$$P = 2,83^2 / 8 = 1 \text{ W}$$

Für einen mit 4 Ohm angegebenen Lautsprecher ergibt sich folglich eine Leistung von:

$$P = 2,83^2 / 4 = 2 \text{ W}$$

***Es gilt also schon an dieser Stelle, die hinterlegten Lautsprecherdaten korrekt hinsichtlich der Impedanz und angegebenen Sensitivity zu vergleichen, da sonst ganz schnell für einen 4 Ohm-Lautsprecher eine zu hohe Kennempfindlichkeit gegenüber einem 8-Ohm-System erscheinen kann, da die gleiche Klemmenspannung dort zu einer doppelt so hohen Eingangsleistung führt!***

## Maximale Belastbarkeit:

Die maximale Belastbarkeit eines Lautsprechers kann mit drei verschiedenen Werten angegeben werden:

### Rated Power (RMS) oder Nennbelastbarkeit:

Dieser Wert stellt die konservativste Angabe dar. Für die Ermittlung des Wertes wird breitbandiges Rauschen über mehrere Stunden als Testsignal verwendet.

### Program Power:

Hier wird davon ausgegangen, dass die Energieverteilung in einem wiedergegebenen Signal bei Sprache oder Musik nicht dauerhaft so breitbandig ist, wie bei dem Rauschsignal der Nennleistungsangabe.

***Dieser Wert ist in der Regel doppelt so hoch wie der Nennleistungswert.***

### Peak Power:

Mit diesem Wert wird die kurzzeitige Spitzenbelastbarkeit angegeben. Sie gibt also an, welche Belastbarkeit im Lautsprecher für dynamische Signalspitzen als Leistungsreserve zur Verfügung steht, somit kann dieser Wert nicht als seriöse Grundlage für Dauerschalldruckpegelberechnungen verwendet werden.

***Dieser Wert ist in der Regel viermal so hoch wie die Nennbelastbarkeit, bzw. doppelt so hoch wie der Program Power Wert.***



**Virtual Sound versus real world acoustics!**

Je nachdem welcher dieser Werte vom Hersteller in der Datenbank hinterlegt wird, kann der berechnete Schalldruckpegel um bis zu 6 dB höher liegen als bei vergleichbaren Produkten oder bei Verwendung eines anderen Wertes für den gleichen Lautsprecher.

Allerdings wird der gleiche Lautsprecher trotz unterschiedlicher Simulationsergebnisse in der Praxis immer das gleiche Ergebnis liefern:





## Maximaler Schalldruckpegel (Max SPL):

Er errechnet sich aus der Summe von Kennempfindlichkeit und der Pegelsteigerung, die durch die maximale Belastbarkeit erreicht wird. Der maximale Schalldruckpegel wird in Dezibel (dB) für einen Abstand von 1m vor dem Lautsprecher angegeben:

Max SPL = Kennempfindlichkeit + 10 log (max. Belastbarkeit)

Das Kritische beim Vergleich verschiedener Lautsprecher ist an dieser Stelle die maximale Belastbarkeit:

**Es gibt keine Vorschriften, welcher der zuvor genannten Werte vom Hersteller zu verwenden ist, bzw. welchen der vorgenannten Werte er als maximale Belastbarkeit tatsächlich angibt!**

Beispiel:

Für einen Lautsprecher mit einer Kennempfindlichkeit von 108 dB (1W/1m) und einer maximalen Nennbelastbarkeit von 700 Watt ergibt sich beispielsweise:

Max SPL = 108 dB + 10 log (700W) = 136 dB

Verwendet man an dieser Stelle die Program Power als maximale Belastbarkeit, ergibt sich:

Max SPL = 108 dB + 10 log (1400W) = 139 dB

Setzt man die Peakbelastbarkeit ein, ergibt sich:

Max SPL = 108 dB + 10 log (2800W) = 142 dB ; -)



Das Beispiel zeigt:

**Ein und derselbe Lautsprecher kann von unterschiedlichen Herstellern mit maximalen Belastbarkeiten von 300 W bis 1200 W angegeben werden, was wiederum einen Pegelunterschied im Maximalschalldruck von bis zu 6 dB ergibt!**

Sollte noch dazu die Kennempfindlichkeit bei 2,83V Klemmenspannung und gemessen in 1m Abstand für einen 4-Ohm Lautsprecher in der oberen Formel verwendet werden, addieren sich nochmal 3 dB dazu, da ja die Klemmenspannung von 2,83V bereits einer Eingangsleistung von 2 W entspricht, hier allerdings als 1W/1m –Wert in die Berechnung einfließt!



## Maximaler Direktschalldruckpegel beim Zuhörer:

Der vom Lautsprecher in 1 m Abstand produzierte Direktschalldruckpegel nimmt über die größer werdende Entfernung zum Zuhörer kontinuierlich ab.

Hierbei gilt für normale Lautsprecher die Annahme einer Punktschallquelle, deren **Direktschalldruckpegel mit 6 dB pro Entfernungsverdopplung** abnimmt:

$$\text{SPL (Zuhörer)} = \text{Kennempfindlichkeit} + 10 \log (\text{max. Belastbarkeit}) - 20 \log (\text{Entfernung})$$

$$\text{SPL (Zuhörer)} = \text{SPL Max} - 20 \log (\text{Entfernung})$$

### Beispiel:

Der zuvor genannte Lautsprecher mit einer Kennempfindlichkeit von 108 dB und einer Nennbelastbarkeit von 700W erzeugt bei einem 40 m entfernten Zuhörer noch folgenden Direktschalldruckpegel:

$$\text{SPL (Zuhörer)} = 108 \text{ dB} + 10 \log (700 \text{ W}) - 20 \log (40 \text{ m}) = 136 \text{ dB} - 32 \text{ dB} = 104 \text{ dB}$$

**Der bei Zuhörer ausgewiesene Direktschalldruckpegel ist also einzig und allein von dem erzeugten Maximalschalldruckpegel des Lautsprechers und der über die Entfernung zum Zuhörer bedingten Pegelminderung abhängig!**

**Der Raum selbst spielt keine Rolle!**

**Die Pegelabnahme über die Distanz wird in allen gängigen Programmen korrekt berechnet. Auch hier kann somit die unterschiedliche Angabe von Leistungsdaten im Lautsprecherdatensatz einen bis zu 6 dB höheren Schalldruckpegel bedingen!**



## Direktschall- und Gesamtschalldruckpegel:

Die gängigen Berechnungsprogramme bieten die Möglichkeit, am Zuhörerort den Direktschalldruckpegel (s.o.) und den Gesamtschalldruckpegel zu berechnen.

Beim Gesamtschalldruckpegel spielt nun der **Raum eine beeinflussende Rolle:**

Ein Zuhörer nimmt zeitlich erst den Direktschall und nachfolgend bestimmt durch die Nachhallzeit des Raumes Diffusschall wahr. Beide zusammen ergeben den Gesamtschalldruckpegel.

Für den Direktschalldruckpegel wird in den meisten Fällen folgendes gemacht:

Es wird der, durch den Lautsprecher verursachte Pegel und sogenannte frühe Reflektionen berücksichtigt, die das menschliche Ohr als positiv für das Hörerlebnis wahrnimmt.

Das Zeitfenster für das Eintreffen dieser frühen Reflektionen beträgt in den meisten Programmen ca. 35 ms.

Für den Gesamtschalldruckpegel addiert sich zu diesem Pegel ein gewisser Diffusschall:

Die Höhe des Diffusschallanteiles steigt mit mit der Nachhallzeit !

Der beim Zuhörer eintreffende Direktschall wird bei Planungen als positiv gewertet, da er für die Sprachverständlichkeit oder Klarheit von Musik verantwortlich ist.

Der später eintreffende Diffusschall kann sich dagegen verschlechternd auf die Wiedergabequalität auswirken.

Die zuvor genannten unterschiedlichen Leistungsangaben in den Lautsprecherdatenbanken wirken sich gleichermaßen auf Direkt- und Gesamtschallpegel aus.

Allerdings spielt das Zeitfenster für die Berücksichtigung früher Reflektionen eine entscheidende Rolle. Die Länge dieses Fensters entscheidet darüber, ob eintreffender Schall als positiv oder negativ für das Hörerlebnis zu werten ist.

In der Simulationssoftware Ulysses ist dieses Zeitfenster fest mit 35 ms in den jeweiligen Algorithmen hinterlegt.

In der Software EASE ist diese Zeit einstellbar.

Die bei den Simulationsberechnungen verwendete Zeit sollte in den präsentierten Unterlagen angegeben sein, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten.



# Fazit

Moderne Softwareprogramme ermöglichen für viele Räume und Situationen eine weitgehend korrekte Vorausberechnung der erzielbaren akustischen Ergebnisse. Allein das korrekte Vergleichen der oftmals nur als Bildschirmausdrucke dargestellten Pegelberechnungen fällt schwer, wenn die verwendeten Lautsprecherdaten und getroffene Berechnungseinstellungen nicht bekannt sind.

Seriöse Berechnungen geben an, mit welchen Kenndaten der Lautsprecher gerechnet wurde, welche maximale Belastbarkeit des Lautsprechers eingesetzt wurde und welche Berechnungsparameter in der jeweils verwendeten Software gesetzt wurden.

Bei Zweifeln an den dargestellten Absolutpegeln oder deren Gleichmäßigkeit sollten die oben genannten Dinge hinterfragt, bzw. zur Vergleichbarkeit verschiedener Berechnungen abgeglichen werden.

Ansonsten kann es passieren, dass vergleichbare Lautsprecherkonstruktionen unter gleichen räumlichen Bedingungen, schnell mal bis zu 9 dB unterschiedliche Schalldruckpegel mit teilweise sehr unterschiedlichen Gleichmäßigkeiten ausweisen!

Fehlende Richtlinien zur Datenangabe von Lautsprechern in Simulationsprogrammen und teilweise viele Freiheitsgrade in den Softwarealgorithmen machen einen genauen Vergleich unerlässlich, da sonst schnell „Äpfel mit Birnen“ verglichen werden oder der Kunde eine später nur schwer zu revidierende Fehlentscheidung für ein Produkt- oder System fällt!