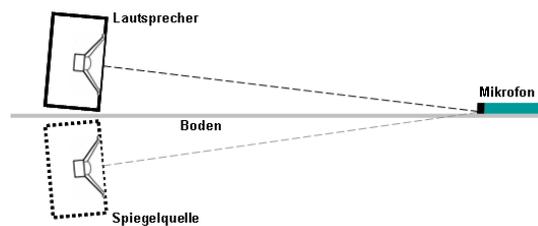


Ground Plane Messung auf den Kopf gestellt

Mark Gander hat im Jahr 1982 das Prinzip der Ground Plane Messung – im Folgenden kurz GPM genannt - umfassend beschrieben [01]. Die GPM gehört zum Standardrepertoire der akustischen Messtechnik und wird auch in diversen aktuellen Veröffentlichungen behandelt [02] – [04].

Die GPM ist eine Möglichkeit, das verwendbare Messfenster zu erweitern und somit auch kritische Bereiche wie z.B. den Baffle Step sauber zu erfassen. Dazu benötigt werden eine glatte, schallharte Fläche und viel Platz, also ein ruhiger Parkplatz, eine Wiese oder eine große Turnhalle. Lautsprecher und Mikrofon werden bei der GPM wie im folgenden Bild gezeigt direkt auf dem Boden platziert.

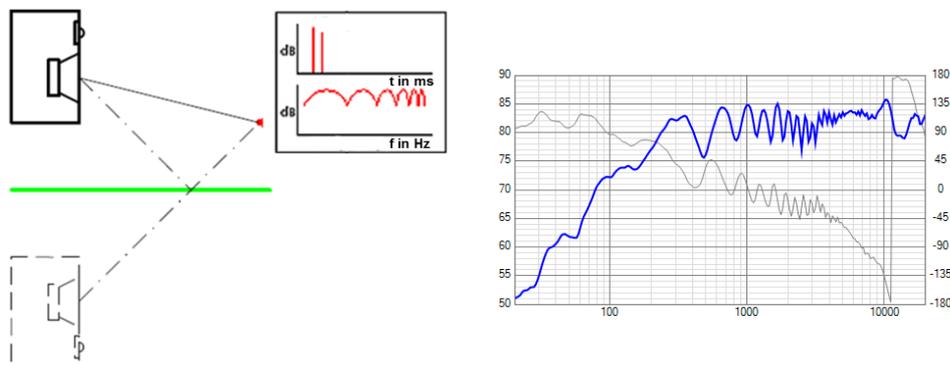


Es sollten möglichst keine reflektierenden Hindernisse im Umkreis des Messortes sein. Sofern machbar, sollte die Entfernung von der Quelle (Lautsprecher) bis zum nächsten Hindernis das Fünffache des Messabstandes betragen. So wird sichergestellt, dass der Pegel der Reflexion relativ wenig zum Gesamtschalldruck beiträgt.

Der Messabstand muss groß genug sein, um sicher im Fernfeld zu sein. In der Regel ist das gewährleistet, wenn der Abstand größer ist als das dreifache der maximalen Abmessung der Quelle, wobei hier Quelle und Spiegelquelle einbezogen werden müssen.

Grundsätzlich muss bei der GPM beachtet werden, dass zwei Quellen entlang der Messachse gespiegelt sind. Die Schallwand ist daher doppelt so groß und auch die Form ist anders als die eines einzelnen Systems. Auch bei der GPM müssen Gehäuseeffekte also immer sorgfältig beachtet werden. Da dies im Wesentlichen Auswirkungen in vertikaler Richtung hat, können Polarmessungen oder auch Verzerrungsmessungen wie gewohnt durchgeführt werden. Ferner ist zu beachten, dass die GPM über die Spiegelung der Quelle dem Pegel auf Achse 6 dB hinzufügt. Es kann daher zweckmäßig sein, bei der GPM den Messabstand auf 2 Meter zu erhöhen, denn durch die Abstandsverdopplung reduziert sich der Pegel wieder um 6 dB.

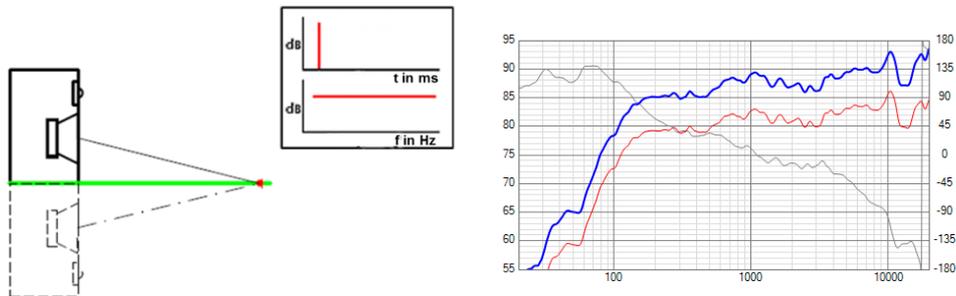
Das Prinzip der GPM soll anhand der nachfolgenden Bilder verdeutlicht werden. Zunächst wird eine normale Messung bei z.B. halber Raumhöhe gezeigt.



Auf dem schematisch gezeigten Monitor des Messsystems ist oben die Impulsantwort mit dem Direktschall und der Bodenreflexion zu sehen. Darunter ist der zugehörige Frequenz-

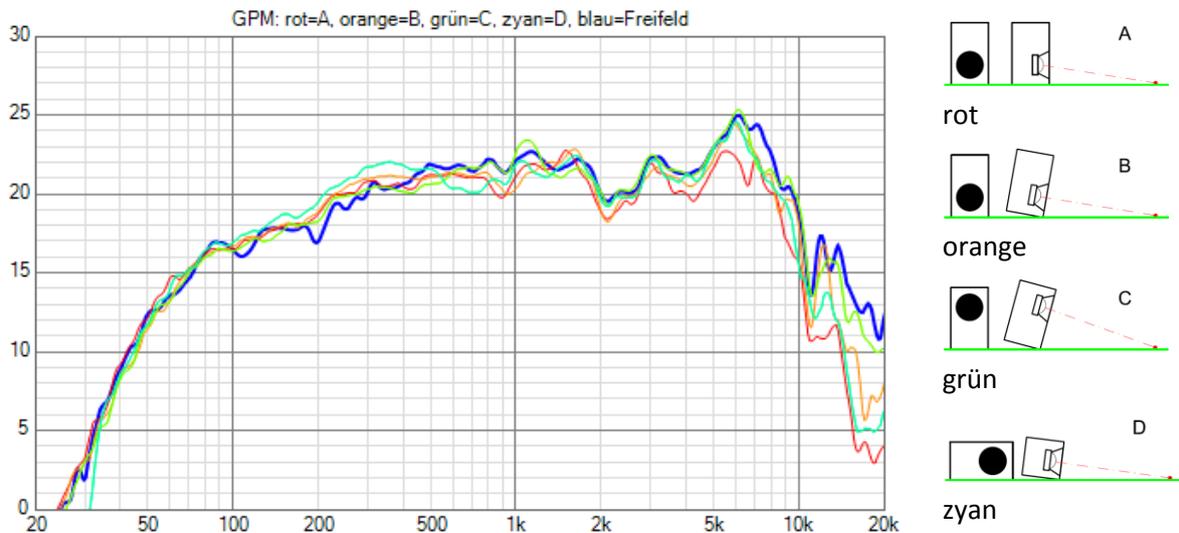
gang mit dem typischen Kammfiltereffekt dargestellt, wie auch in der rechten Bildhälfte als reales Messdiagramm.

Im nächsten Bild ist eine GP-Messung dargestellt. Hier fehlen auf dem Monitor des Messsystems die Bodenreflexion und demzufolge auch der Kammfiltereffekt. Das rechte Teilbild weist einen glatten Frequenzgang ohne Kammfiltereffekt und die bereits erläuterte Pegelerhöhung um 6dB gegenüber dem Freifeldpegel (rote Linie) aus.



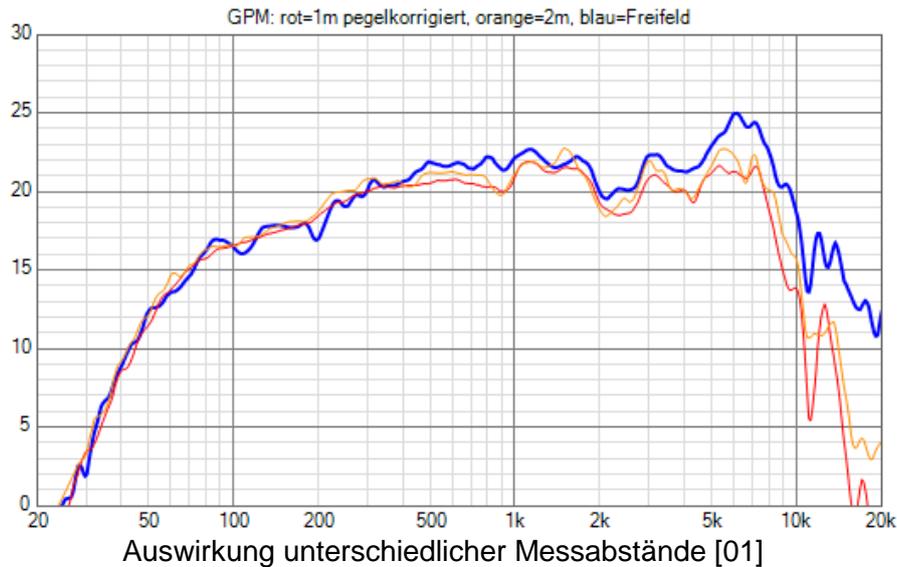
Der Gültigkeitsbereich der GPM hängt von der geometrischen Anordnung von Lautsprecher und Mikrofon ab. Die Berechnung ist bei Mark Gander [01] im Anhang beschrieben und wird später anhand eines Beispiels aus dem zweiten ARTA-Ringversuch gezeigt.

Mark Gander untersuchte auch die Auswirkung unterschiedlicher Anordnungen des Lautsprechers (siehe nachfolgendes Bild Varianten A bis D) auf das Messergebnis. Als Referenz ist die Freifeldmessung (blau) eingefügt worden.



Auswirkung unterschiedlicher Anordnungen des Lautsprechers [01]

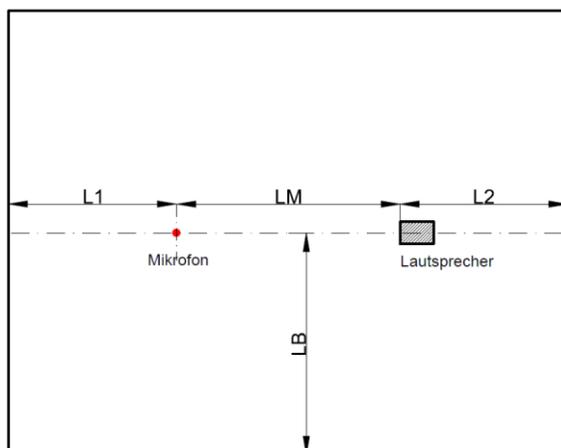
Auch zur Auswirkung unterschiedlicher Messabstände liefert Mark Gander Daten. Nachfolgendes Bild zeigt den Vergleich zweier GPM (rot = 1m, orange = 2m) mit der Freifeldmessung (blau). Die GP-Messung in 1m wurde um -6dB pegelkorrigiert.



Um nun endlich auf den Titel „**GPM auf den Kopf gestellt**“ überzuleiten, kommen wir zunächst zu den Nachteilen der GPM, die sich ganz besonders in der ungemütlichen Jahreszeit bemerkbar machen. Dann verleiden nämlich Wind und Regen – und jahreszeitlich unabhängig auch Lärm - das Messen auf Parkplätzen und Wiesen. Eine freie Turnhalle steht leider auch eher selten zur Verfügung. Was also tun?

Ein Blick auf die Decke eines normalen Wohnraumes zeigt in der Regel die gewünschte glatte, schallharte Oberfläche und allzu viele störende Gegenstände – vielleicht mit Ausnahme von Lampen - sollten sich in der oberen Hälfte des Raumes auch nicht befinden.

Welche Vorteile bringt eine derartige GPM unter der Decke in normalen Wohnräumen im Vergleich zu einer „Normalmessung“?



Unter der Annahme eines Raumes mit den Abmessungen

$$B = 5,0 \text{ m}$$

$$L = 6,0 \text{ m}$$

$$H = 2,5 \text{ m}$$

analysieren wir mit den Maßen

$$L1 = 2,5 \text{ m}$$

$$LM = 1,0 \text{ m}$$

$$L2 = 2,5 \text{ m}$$

$$LB = 2,5 \text{ m}$$

aus dem „Deckenriss“ im linken Bild

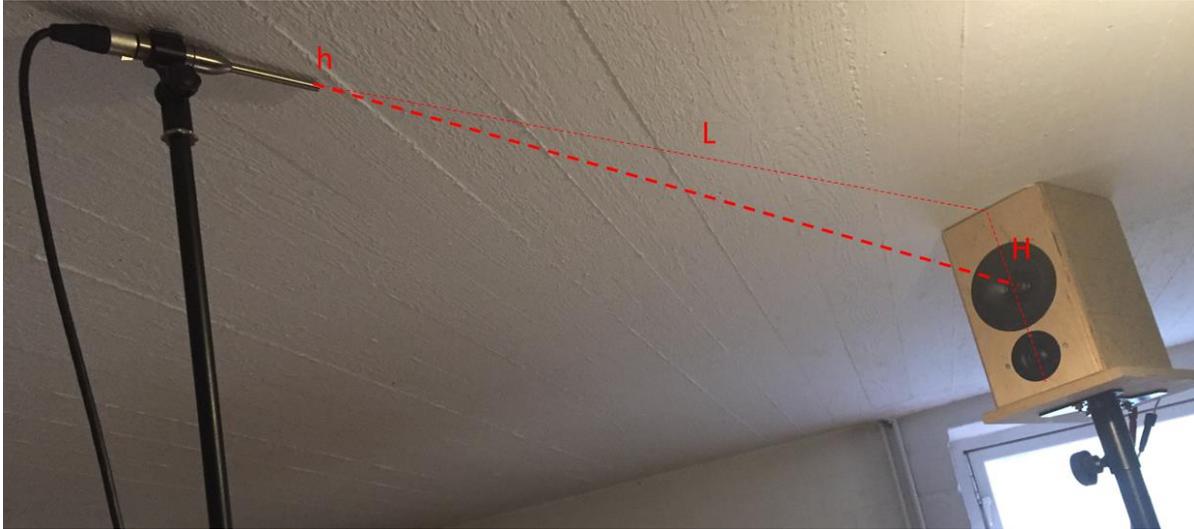
wie folgt:

- Direktschall = 1,0 m = 2,9 ms
- Seitenreflexion = $2 \cdot (0,5^2 + 2,5^2)^{0,5} = 5,1 \text{ m} = 14,8 \text{ ms}$
- Kopf- und Rückwandreflexion = $1,0 + 2 \cdot 2,5 \text{ m} = 6,0 \text{ m} = 17,4 \text{ ms}$
- Bodenreflexion = $2 \cdot (0,5^2 + 2,5^2)^{0,5} = 5,1 \text{ m} = 14,8 \text{ ms}$

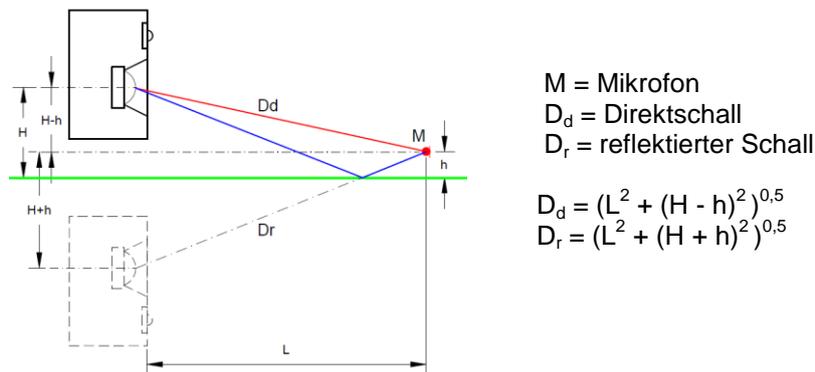
Das verbleibende Fenster beträgt also $14,8 \text{ ms} - 2,9 \text{ ms} = 11,9 \text{ ms} = 84 \text{ Hz}$. Bei einer normalen Messung in halber Raumhöhe - bei gleichem Messabstand - ist das Zeitfenster mit $4,9 \text{ ms} = 203 \text{ Hz}$ deutlich kleiner.

Die Seiten- und die Bodenreflexion haben in diesem Beispiel einen ca. 14,1 dB und die Kopf- und Rückwandreflexion einen ca. 20,8 dB geringeren Pegel im Vergleich zum Direktschall.

Was wird für eine GPM unter der Decke benötigt: Ein etwas höherer Boxenständer und ein längeres Mikrofonstativ. Bei üblichen Deckenhöhen von 2,40 m bis 2,60 m ist das kein Problem, wie auch im nachfolgenden Bild zu sehen ist.



In welchen Bereichen hat die GPM nun Gültigkeit? Hierzu bemühen wir den bereits erwähnten Anhang aus der Veröffentlichung von Mark Gander [01]. Im nachfolgenden Bild ist die Situation aus dem oben gezeigten Foto abgebildet.



Ground Plane Geometrie, aus [01]

Für den oben auf dem Foto gezeigten kleinen Lautsprecher waren folgende Bedingungen gegeben:

H =	145 mm
h =	10 mm
L =	1000 mm
D_d =	1009,07 mm
D_r =	1011,94 mm
ΔD =	2,87 mm
ΔdB =	-0,02 dB

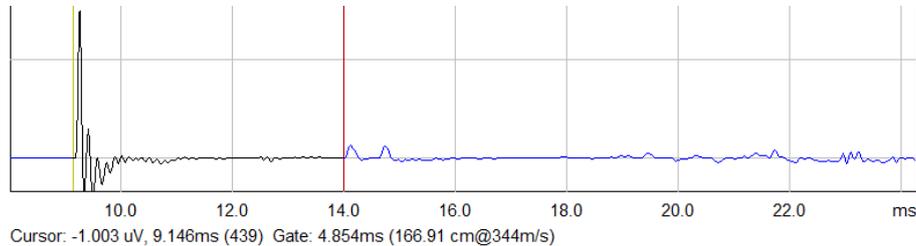
Es ist zu sehen, dass sich die Laufwege von direktem und reflektiertem Schall kaum unterscheiden (2,87 mm). Die „Bodenreflexion“ würde bei einem Abstand des Mikrofons von 10 mm von der Decke bei ca. 110 kHz auftreten, ist also nicht mehr relevant.

Laut Gander ergibt sich bei einer Phasenverschiebung von 54° zwischen direktem und reflektiertem Schall eine Abschwächung von -1dB. Dies tritt in unserer Konstellation bei ca. 18

kHz auf. Die GPM ist demzufolge diesbezüglich uneingeschränkt vergleichbar mit einer Freifeldmessung.

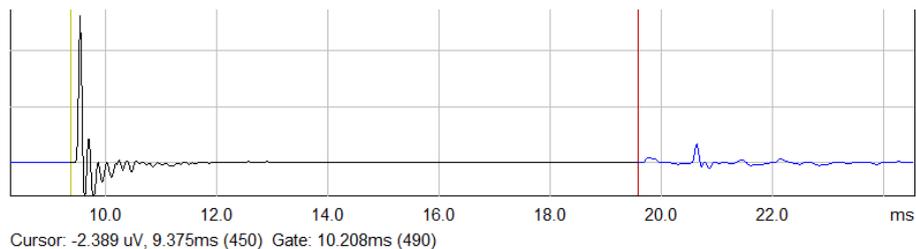
Wie sehen nun die zugehörigen Messungen aus?

Die Impulsantwort der Normalmessung liegt mit 4,85 ms (206 Hz) bzgl. des nutzbaren Zeitfensters im Rahmen der obigen Berechnung. Deutlich zu sehen sind die Boden- und die Deckenreflexion direkt rechts neben dem roten Marker.



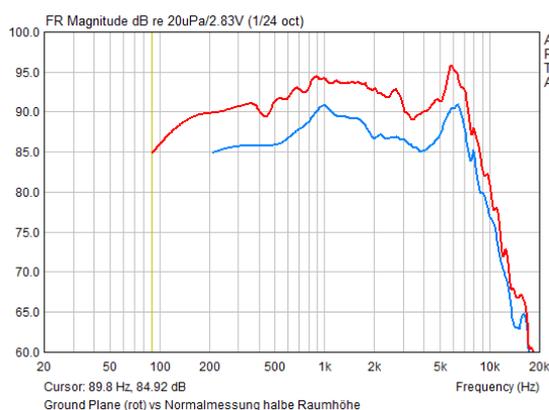
Impulsantwort Normalmessung halbe Raumhöhe

Die Impulsantwort der GPM weist ein doppelt so breites Zeitfenster wie die Normalmessung aus, es beträgt ca. 10,2 ms (98 Hz) und ist 1,7 ms kürzer als berechnet! Bei einer Erweiterung des Fensters bis zur zweiten, größeren Reflexion wären es 11,2 ms (89 Hz), was in etwa der Berechnung entspricht.

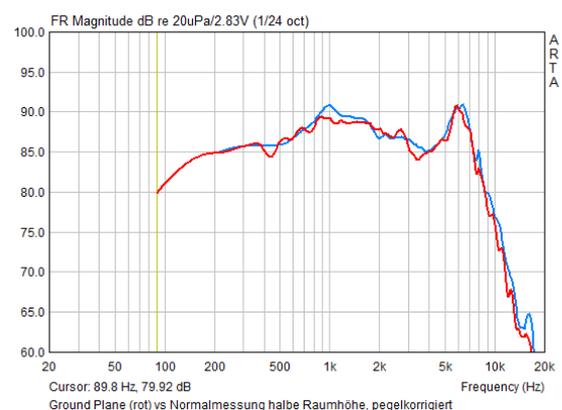


Impulsantwort Ground Plane

Das nächste Diagramm zeigt die zu den Impulsantworten zugehörigen Frequenzgänge. Der Pegel der GPM liegt wie erwartet 6 dB über der Normalmessung und reicht gut eine Oktave tiefer.



1/T begrenzte Messungen



Pegelkorrigiert

Ground Plane Messung (rot) vs. Normalmessung halbe Raumhöhe

GPM unter der Decke funktioniert wie erwartet. Sie bringt in etwa eine Verdopplung des nutzbaren Zeitfensters und kann bei der Weichenentwicklung mit tiefer Trennfrequenz eine Hilfestellung sein.

Literatur

- [01] Mark R. Gander, Ground-Plane Acoustic measurement of Loudspeaker Systems, JAES Vol. 30, 1982 October
- [02] Mark Sanfilipo, Subwoofer Measurement Tactics, 2007
- [03] Joe D'Appolito, Measuring Loudspeaker Low Frequency Response, Audiomatica
- [04] Audio Precision Application Note: Loudspeaker Electroacoustic Measurements, 2018