

Analyse und Design zur Nutzung einer mobilen Modenverwirbelungskammer in einer Absorberhalle

Waldemar Schädel, Hochschule-Osnabrück/ Daimler AG, TP/ EMV
Alexander Rommel, Daimler, TP/ EMV

1 Einleitung

Der Megatrend Connectivity macht auch vor der Nutzfahrzeugbranche nicht halt. Jeder möchte und muss überall verbunden sein. Um dieses gewährleisten zu können steigt die Anzahl der Funkdienste sowie deren Kanalauslastung. Doch die vorhandenen Frequenzbänder reichten nicht mehr aus, weshalb auf freie höhere Frequenzen ausgewichen werden musste.

Neben der Connectivity steht in der Automobilindustrie auch die Sicherheit und störungsfreie Funktionalität im Vordergrund, weshalb auch der zu untersuchende Frequenzbereich von Störfestigkeitsprüfungen bis in den Super High Frequency (SHF) Frequenzbereich erweitert wurde.

Doch bekanntlich nimmt die Abschattungsthematik in einer Absorberhalle mit steigender Frequenz zu, während die Sendekeulen der Messantennen abnehmen. Um dennoch die gewünschte Testabdeckung zu gewährleisten sind mit steigender Frequenz immer mehr Antennenpositionen notwendig. Besonders lange und große Fahrzeuge sind davon stark betroffen.

Das Messverfahren in einer Modenverwirbelungskammer (MVK) weist diese Problematik nicht auf. Durch die gewollten Reflexionen an den Kammerwänden wird der Prüfling durch die statistische Feldhomogenität von allen Seiten und Richtungen auf einmal mit dem Prüffeld beaufschlagt.

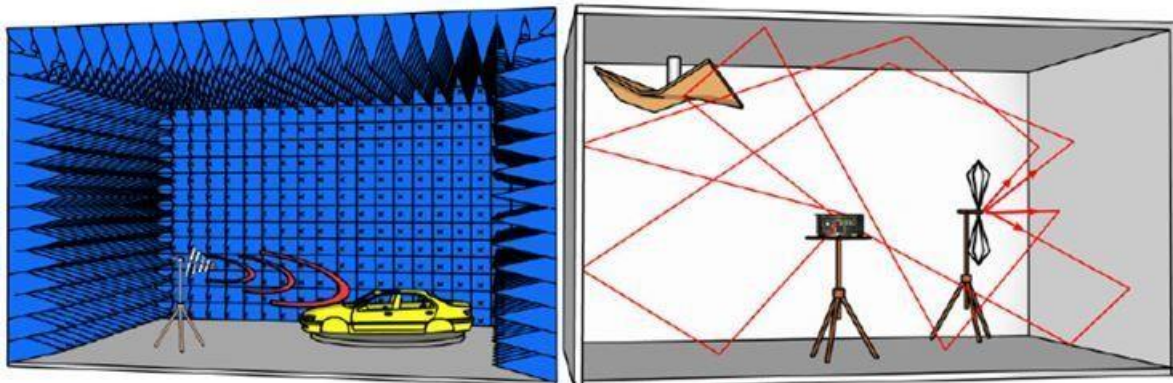


Abbildung 1: Systemaufbau von Absorberhalle und Modenverwirbelungskammer im Überblick [1]

Doch dieses Verfahren besitzt auch Nachteile. Zunächst wird die kleinste nutzbare Frequenz f_{LUF}^1 von den Raumabmessungen der MVK begrenzt [2,3]. Die Feldhomogenität im Raum muss mit einem komplexen und teuren Modenrührer erzeugt

¹ f_{LUF} : Kleinste nutzbare Frequenz englisch lowest usable frequency

werden. Außerdem ist das Verfahren unter Experten teilweise umstritten und so existiert noch keine MVK für Nutzfahrzeuge.

Ein Eigenbau für LKW und Busse würde viele Millionen Euro kosten. Hinzu kommt eine lange Planungs- und Bauphase, weshalb hier eine kostengünstige und schnell umsetzbare Alternative zu dem Neubau einer Modenverwirbelungskammer gesucht wurde, welche die vorhandene Infrastruktur nutzt.

2 Hybrid Kammer

Beim Vergleich der Bauteile weist eine Modenverwirbelungskammer einen großen Deckungsanteil mit einer Absorberhalle auf:

- Schirmkabine
- Rollenprüfstand
- Antennen
- Verstärker
- Prüfstand (Bedien-/Messgeräte)

Lediglich in einem Punkt unterscheiden sich die Hallen. Statt der Absorber benötigt die Modenverwirbelungskammer reflektierende Wände und einen Modenrührer. Wodurch die Idee entstand, in einer vorhandenen Absorberhalle temporär eine MVK zu errichten. Eine solche Hybrid Kammer brächte wesentliche Vorteile, so wäre diese im unteren Frequenzbereich als Absorberhalle und im höheren Frequenzbereich als MVK nutzbar. Die Realität würde so besser wiedergespiegelt werden, im unteren Frequenzbereich werden wenige Sendemasten mit großer Sendeleistung eingesetzt. Anders im oberen Frequenzbereich, hier agieren viele Sendequellen mit geringerer Sendeleistung.

Doch wie dies in einer akzeptablen Zeit ohne großen Invest zu realisieren ist, war ein Teil der durchgeführten Masterarbeit.

2.1 Zelt als MVK

Die besten Reflexionseigenschaften besitzen massive metallische Bleche, jedoch sind diese schwer temporär in einer Absorberhalle vor den Absorbern zu montieren. Bei der gewünschten MVK-Größe von 26 m x 8 m x 6 m wären die Wände ggf. noch als Ständerwände mit einem Gabelstapler montierbar, doch spätestens an der Realisierung der Decke würde dieses Unterfangen nicht nur aus zeitlichen Gründen scheitern.

Da die MVK jedoch in einer vorhandenen Absorberhalle betrieben werden soll, muss diese nicht 100% „HF-Dicht“ sein. So lassen sich die Wände und Decke der MVK auch durch leichte reflektierende Stoffe realisieren s. Abbildung 2 und 3. Die entweichende Leistung muss jedoch dann der Verstärker durch mehr Leistung ausgleichen. Was bei einer derartig großen Halle ein Thema sein könnte.

Solche Zelte sind bereits als sog. Vibrating Intrinsic Reverberation Chamber (VIRC) oder mobile Modenverwirbelungskammer bekannt und sind für den Außeneinsatz ausgelegt [4]. Da die Störfestigkeitsprüfung in einer Absorberhalle mit metallischen Boden befinden reichte eine einfachere Version der VIRC als Zelt aus. So ist hier kein extra Boden oder zusätzliche Abdichtung notwendig. Die Aufhängung des Zeltes erfolgt an dem vorhandenen Rahmen der Stripline, welcher über einen Seilzug senkrecht verfahrbar ist. Zusätzlich angebrachte Ausleger spannten das Zelt auf die Gewünschte Fläche auf s. Abbildung 2 und 3. Damit wird ein separates Gestell, wie bei der VIRC, nicht benötigt. Ebenso sind keine HF-dichten Durchführungen der Lichtwellenleiter und Koaxialleitungen notwendig. Diese Leitungen lassen sich einfach am Boden liegend unter dem Zelt hindurchführen s. Abbildung 4.

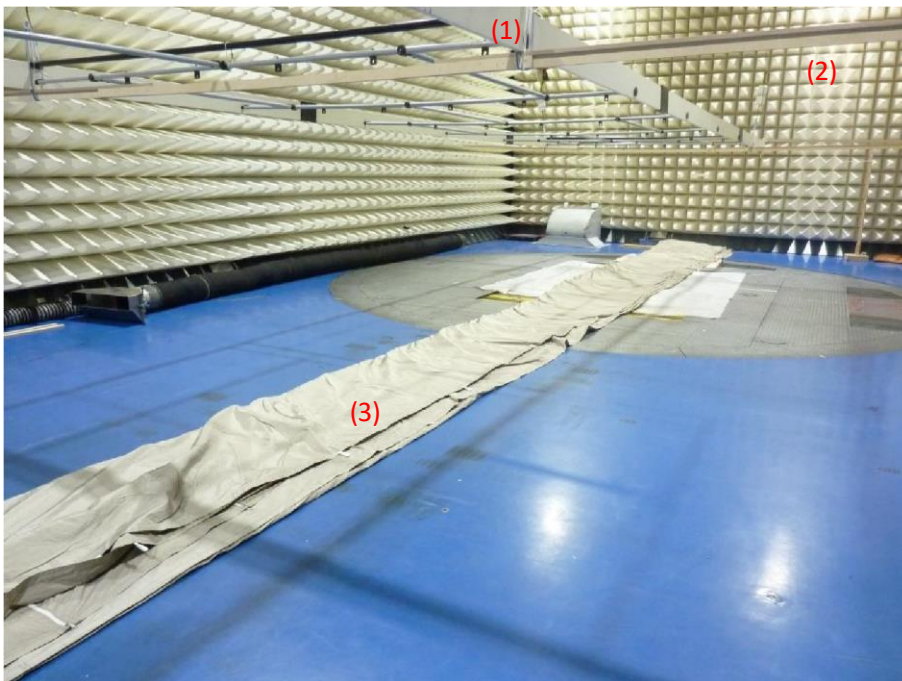


Abbildung 2: Stripline (1) mit Auslegern (2) über ausgerolltem Zelt-Prototyp (3) in der Absorberhalle



Abbildung 3: Entfaltung des Zelt-Prototypen an Stripline beim Hochfahren

Der Stoff des 26 m x 8 m x 6 m großen Zeltes besteht aus einer 100%igen Kupfer-Nickellegierung, der mittels einer speziellen Webetechnik als reisfestes RIP-Stop-Gewebe ausgeführt ist. Das Zelt besitzt ein Tor für die Fahrzeuge und eine Tür für den Nutzer. Alle Öffnungsmöglichkeiten im Zelt lassen sich durch Reisverschlüsse und HF leitenden Klettverschlüssen mit Überlappungen verschließen. Ein Überlappungsbereich von einem $\frac{1}{4}$ m stellte die Verbindung zwischen den Wänden und dem Boden der Halle dar s. Abbildung 4.



Abbildung 4: Ansicht außerhalb der VIRC, links Wand der VIRC und rechts Absorber der Halle

2.2 Moden Rührer

Es existieren mehrere Möglichkeiten die Moden in einer MVK zu verwirbeln [2,5]. Zum einen kann man die Position der Antenne variieren bzw. die Phasenlage verändern. Doch hierzu müsste die Antenne mechanisch bewegt werden oder ein Phasenschieber angeschafft werden. Die zweite Alternative ist einen Moden-Rührer zu verwenden. Doch für eine Halle dieser Größenordnung hätte dieser Rührer immense Ausmaße. Was für eine temporäre MVK keine geeignete Lösung darstellt. Daher viel die Entscheidung auf die dritte Möglichkeit. Analog dem Prinzip der VIRC erfolgte die Verwirbelung der Moden durch Schwingungen an senkrechten Kanten des Zelts. Hierzu wurde ein Schwingvorrichtung genutzt, diese regte mit einem Scheibenwischermotor (1) und einem Hebelarm das Zelt an s. Abbildung 5 und 6.

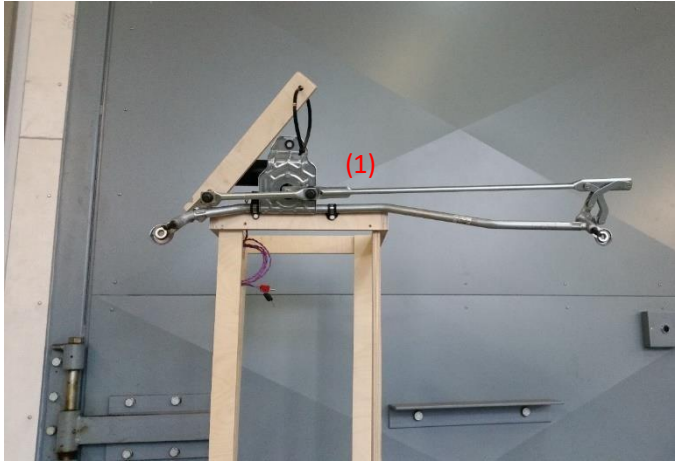


Abbildung 5: Schwingvorrichtung zum Anregen der Zeltwände der VIRC, Gestell(1) mit Scheibenwischermotor

Die gestrichelten Linien in Abbildung 6 markieren die Wellen der wellenförmigen Ausbreitung, die Wellen breiten sich längst der Stoffwand mit einer schwachen mechanischen Dämpfung aus.

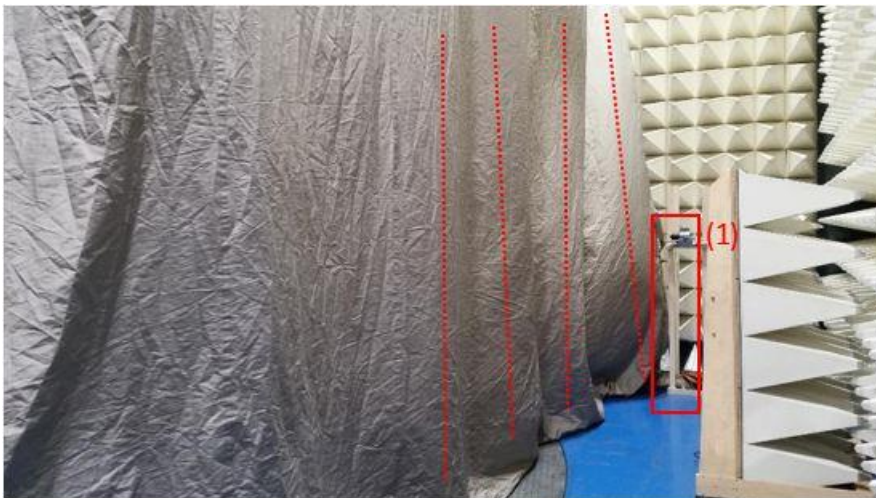


Abbildung 6: Zeltwand der VIRC wird von der Schwingvorrichtung (1) angeregt, gestrichelte Geraden bilden die fortlaufenden mechanischen Wellen der Zeltwand hin.

2.3 Die Messung

Bekanntlich gibt es zwei verschiedene Messmöglichkeiten in einer MVK. Einmal den „Tuned-Mode“ bei dem der Modenrührer schrittweise gedreht und dann gemessen wird und den „Stirring-Mode“ bei dem kontinuierlich gedreht und gleichzeitig gemessen wird.

Der „Tuned-Mode“ erfordert zum einen feste Wände und einen Rührer. Zum anderen benötigt das Messverfahren extrem viel Zeit, da jede Rührerstellung zu messen ist und eine Ausschwingzeit gefordert wird. Was keinen zeitlichen Vorteil gegenüber mehreren Antennen Positionen darstellt und somit für die Automobilindustrie uninteressant ist.

Bleibt der „Stirring-Mode“ bei dem sich während der Messung eine mittlere Feldstärke am Prüfling einstellt. Welche mittlere Feldstärke sich einstellt, hängt von der Kammer, dem Rührer und dem Prüfling selbst ab. Eine reine Steuerung des Verstärkers (Open-Loop) über Kennlinien, würde eine zeitaufwändige Kalibrierung erfordern. Weshalb hier die Wahl auf ein feldstärkegeregeltes System mit 8 schnellen Feldsonden (Closed-Loop) viel.

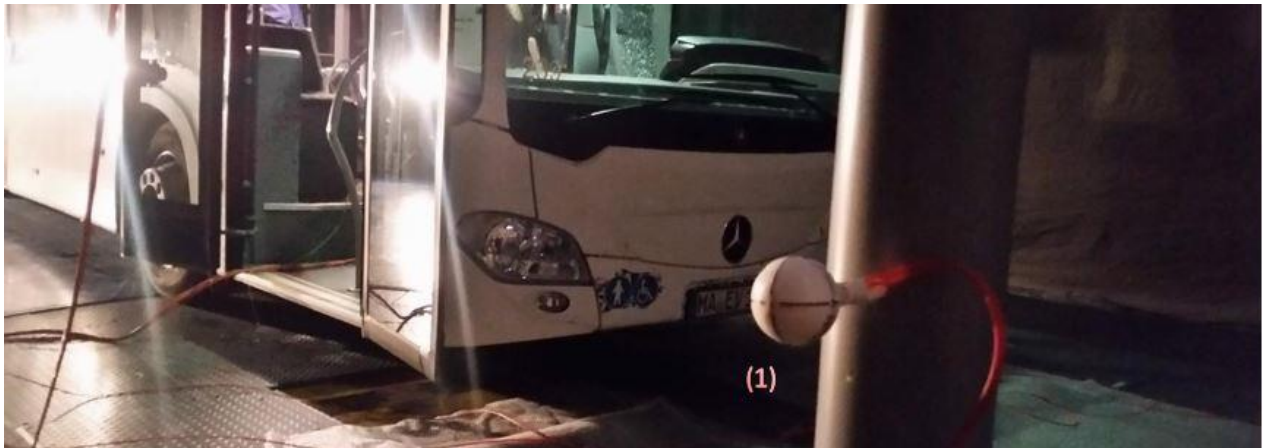


Abbildung 7: Bus im Prüffeld, Feldsonde am Maste (1)

Die 8 Sonden s. Abbildung 7 (1) spannen dabei das Prüfvolumen auf. Sie sind dazu an vier PVC-Masten um das Fahrzeug herum positioniert. Der Abstand sollte $> 1\text{m}$ zum Fahrzeug sowie mehr als $\lambda/4$ der unteren Frequenz von den Wänden betragen [6]. Die Antenne sollte nicht direkt auf das Fahrzeug, sondern in Richtung der Schwingvorrichtung hinter der bewegten Wand ausgerichtet werden.



Abbildung 8: LKW in Prüffeld, definiertes Prüfvolumen innerhalb der Säulen wird mit einer LogPer-Antenne bestrahlt.

Laut [7] herrscht im Prüfvolumen einer VIRC ein statistisch homogenes Feld, wenn die Standardabweichung (bei $f \geq 400\text{ MHz}$) der Feldstärke aller Sonden $\sigma = 3$ unterschreitet.

Das verwendete Mehrsonden-Messsystem lieferte diesen Wert automatisch mit, womit auf eine Kalibrierung verzichtet werden konnte.

3 Ergebnisse der Machbarkeitsstudie

Zur Absicherung der Machbarkeit wurden zwei Fahrzeuge (Bus/ Lkw) speziell für diese Messung mit auffälligen Elektroniken ausgerüstet und deren Störschwellen in der klassischen Absorberhalle ermittelt. Eine Wiederholung der Versuche in der MVK führte zu den gleichen Ergebnissen bei gleicher Feldstärke. Ein drehen oder verschieben des Fahrzeuges innerhalb des Prüfvolumens hatte keinerlei Einfluss auf das Ergebnis.

Im oberen Frequenzbereich ist die Standardabweichung gut ($\sigma < 3$) s. Abbildung 10, allerdings wird diese im unteren Frequenzbereich um 100 MHz schlechter s. Abbildung 9. Bei der Nutzung von zwei Motoren zur Bewegung der Wände wurde die Standardabweichung schneller erreicht.

Die erwartete geringe Speiseleistung einer VIRC wurde im Frequenzbereich unter 1 GHz in der Untersuchung bestätigt. So ließ sich schon mit 500 W ein Feld von knapp 100 V/m im Frequenzbereich 100-1000 MHz erzeugen. Bei dem verwendeten Bus (12 m) erzeugt eine Verstärkerleistung von 150 W über 1 GHz ein mittleres Feld von etwa 60 V/m. Bei dem kleineren Lkw werden mit 150 W rund 30 V/m mehr erreicht.

4 Fazit und Ausblick

Der Aufbau des Prototyps hat positive Ergebnisse mit sich gebracht. Die Aufbauzeit des großen Zelttes kann sich unter der vorgenommenen Stunde belaufen, wenn die Halle über eine angepasste Aufhängung für das Zelt verfügt. Allerdings sind noch Lösungen für die Absaugung vorzusehen, damit sich das Zelt nicht zusammenzieht. So reagierten die Wände empfindlich auf die Absaugung in der Halle, weswegen diese punktuell beschwert werden mussten.

Für Aussagen über exakte Eigenschaften über alle Frequenzen und Leistungen wie den Q-Faktor, PDF, CDF, RFV, VSWR, SR und SFU [8] werden weitere Messreihen und Auswertungen benötigt. Ein schneller Motor zur Anregung der Wände würde die statistische Verteilung schneller hervorrufen. Ob zusätzliche bewegliche Elemente eine weitere Verbesserung bringt, wäre ebenfalls zu klären.

Wünschenswert wäre eine Antenne die eine Art „Vorverwirbelung“ mit einer groben Abstrahlrichtung aufweist. Ebenso wäre ein Modenwoofer denkbar; Eine Art Subwoofer mit elektrisch leitender Membran, die in Abhängigkeit der getesteten Wellenlänge ausgelängt wird.

Seitens der Verstärker werden wird die benötigte Leistung auf 500 bis 1000 W über den gesamten Frequenzbereich benötigen. Dabei muss der Verstärker für eine 100 %ige Rückwärtsleitung konzipiert sein.

Die Nutzung einer VIRC in einer Absorberhalle kann bei konventionellen Störfestigkeitsmessungen von großen und langen Fahrzeugen Zeitvorteile und

Messvorteile mit sich bringen, speziell bei höheren Frequenzen ab 1 GHz ist diese Messung optimal. Der Betreiber der Absorberhalle wird die VIRC als Erweiterungsmodul in die Absorberhalle optimieren und integrieren. Um sich damit den entstehenden Wettbewerbsvorteil zu schaffen.

Literaturangaben

- [1] Siepel: Reverberation Chambers Handbook, Siepel Handbook (2016), S. 15
- [2] Hillgärtner: Hohlraumresonanzgüte in Modenverwirbelungskammern, TU Dortmund (2016), S. 13-45
- [3] W. K. Adolf J. Schwab: Elektromagnetische Verträglichkeit, Buch (2010), S 223-225
- [4] Frank Leferink: High field strength in a large volume: the intrinsic reverberation chamber, IEEE Symposium on EMC (1998), S. 25-27
- [5] Siepel: Reverberation Chambers Handbook, Siepel Handbook (2016), S. 1- 50
- [6] DIN: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) –Teil 4-21: Prüf- und Messverfahren – Verfahren für die Prüfung in der Modenverwirbelungskammer, DIN EN 61000-4-21 (2017), S. 18-28
- [7] DIN: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) –Teil 4-21: Prüf- und Messverfahren – Verfahren für die Prüfung in der Modenverwirbelungskammer, DIN EN 61000-4-21 (2017), S. 42
- [8] F. Leferink, J. C. Boudenot, W. van Etten: Experimental Results Obtained in the Vibrating Intrinsic Reverberation Chamber, IEEE (2000), S. 1-6