

# **Systembetrachtung von Störaussendungs-Messaufbauten bei Komponenten mit Hochvolt- und Niedervolt Bordnetzen hinsichtlich der Masseverbindungen**

Dipl. –Ing. Marc Wiegand, Leopold Kostal GmbH und Co. KG, Hauert 11, 44227 Dortmund

Dipl.-Ing Michael Fromm, Leopold Kostal GmbH und Co. KG, Hauert 11, 44227 Dortmund

## **Abstract**

Komponenten von Elektrofahrzeugen sind im Allgemeinen sowohl mit dem Hochvolt- als auch mit dem Niedervolt-Bordnetz verbunden. Bei den Aufbauten für die Störaussendungsprüfung ist der Prüfling demzufolge auch mit beiden Bordnetzen verbunden. Schematische Skizzen dieser Aufbauten sind z.B. in der CISPR25 [1] zu finden.

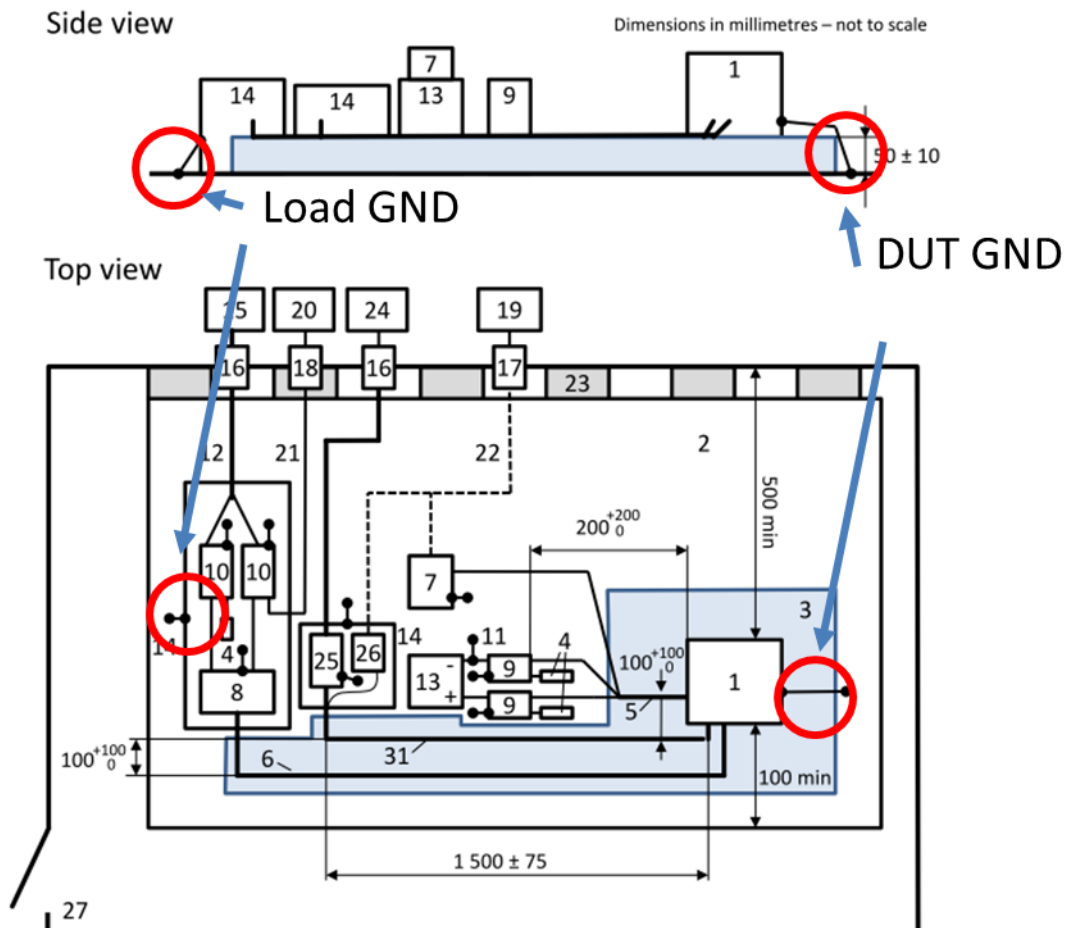
Der Prüfling steht hierbei standardmäßig isoliert, die Verbindung zur Bezugsmasseplatte erfolgt daher über eine Leitung oder über ein Masseband. Ziel sollte es hierbei sein, die Einbausituation im Fahrzeug nachzubilden.

Betrachtet man bei leistungselektronischen Schaltungen übliche Filterschaltungen, so kommen dabei häufig y-Kondensatoren zum Einsatz, welche die vorhandenen Störströme über das Gehäuse zur Störquelle zurückführen sollen.

Ein Teil dieser Störströme fließt allerdings auch über die Masseverbindungen des Prüflings zu Bezugsmassefläche ab. Durch die vorhandenen Impedanzen der Masseverbindungen kommt es nun zum Übersprechen der Störungen zwischen den einzelnen Spannungsebenen. Der Einfluss dieses Übersprechens soll im Folgenden näher untersucht und modelliert werden. Ein Augenmerk dabei liegt dabei darauf, die systembedingten Grenzen verschiedener Entstörmaßnahmen zu ermitteln. Weiterhin sollen Vorschläge zur Optimierung der Messaufbauten diskutiert werden.

## Messaufbauten für Störaussendungsmessungen

In der für Störaussendungsmessungen für Fahrzeugkomponenten zugrunde liegenden CISPR 25 [1] ist die folgende Skizze zum Messaufbau von Fahrzeugladegeräten zu finden:



**Abbildung 1** Messaufbau CISPR25 mit markierten Masseverbindungen von Last und Prüfling

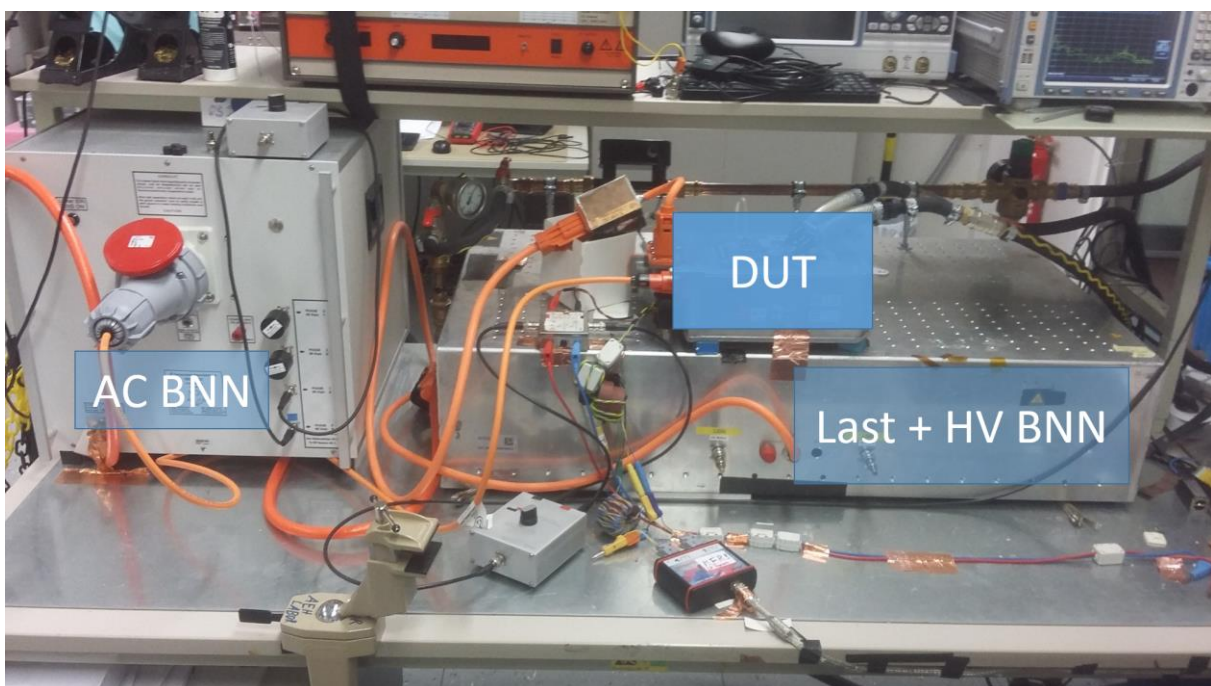
Die Masseverbindungen sind hierbei zwischen Hersteller und Kunde abzustimmen und im Testplan für den jeweiligen Prüfling festzulegen. Freiheitsgrade gibt es dabei insbesondere bei den in der Skizze rot markiert Masseverbindungen von Last und Prüfling. Ziel sollte hierbei sein, eine gute Übereinstimmung zwischen Komponenten- und Fahrzeugmessung zu erreichen.

In [2] wurde gezeigt, dass die Kapazität einer Elektrofahrzeug- Karosserie gegenüber einer Massefläche zwischen 760pf und 880pf beträgt. Bei eigenen Messungen konnten hier Werte bis zu einem Nanofarad festgestellt werden. Diese Kapazität bildet zusammen mit der

Induktivität des Ladekabels einen Schwingkreis. Dieser führt bei Störaussendungsmessung an Fahrzeugen zu Resonanzüberhöhungen im Kurzwellenband. Es ist daher wünschenswert, diesen Effekt bei den Komponentenprüfungen nachzubilden.

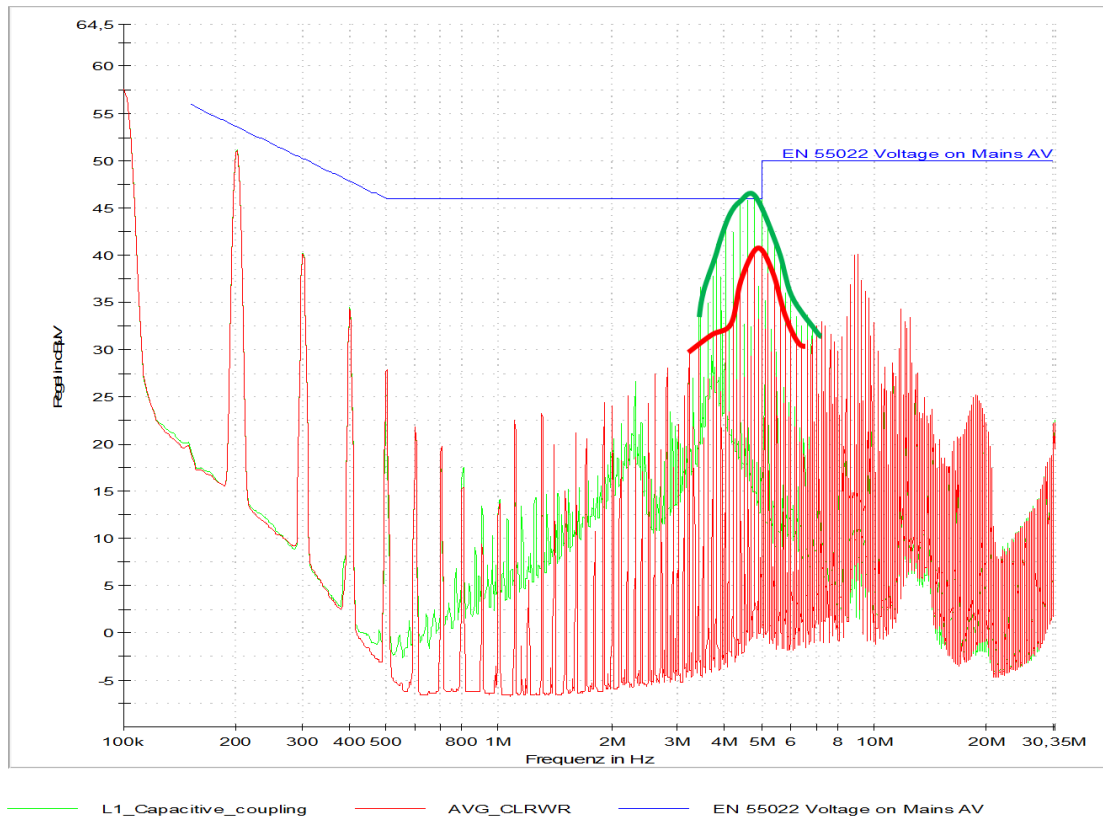
Für Komponentenprüfungen wird daher ein Aufbau gewählt, bei dem die Nachbildung der Karosseriemasse kapazitiv an die Messplatzmasse gekoppelt ist. In der Praxis wird dieses durch den Lastsimulator mit metallischem Gehäuse erreicht, der isoliert auf der Bezugsmasseplatte steht. Über den Abstand zwischen Lastsimulator und Messplatzmasse lässt sich die gewünschte Kapazität einstellen.

Die Netznachbildung der Niedervolt Leitungen bezieht ihre Masse ebenfalls auf den Lastsimulator. Der für die Prüfungen verwendete Messaufbau ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



**Abbildung 2** Messaufbau leitungsgeführte Störungen

Die folgenden Messergebnisse mit einem Fahrzeugladegerät im Ladebetrieb an der AC-Netznachbildung zeigen den Einfluss der Resonanz des Aufbaus. Im Vergleich mit Fahrzeugprüfungen konnte zudem eine gute Übereinstimmung der Messergebnisse festgestellt werden. Exemplarisch wurde hier die Störaussendung auf L1 an einem einphasigen Ladegerät dargestellt.



**Abbildung 3** Vergleich der Störaussendung an der AC-Netznachbildung

Zur besseren Sichtbarkeit wurden die Hüllkurve der Störaussendung im Bereich um 5 MHz hervorgehoben. Beim Aufbau mit isolierter Last zeigt sich eine deutliche Ausprägung der Resonanz. Hierdurch kann die Situation bei der Fahrzeugprüfung mit guter Übereinstimmung nachgebildet werden.

### **Einfluss des Messaufbaus auf die Störaussendung auf den Niedervolt-Leitungen**

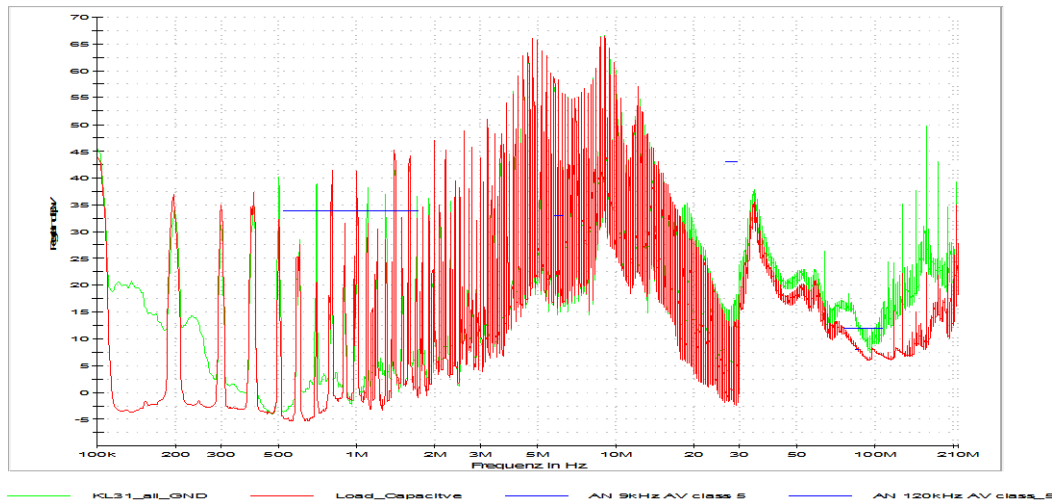
Neben den Freigabepfahrungen nach EN55022 ist auch die Störaussendung auf den Niedervoltleitungen von Interesse. Insbesondere die Verkopplung zum Hochvolt-Teil soll hierbei betrachtet werden.

Bezüglich der Messaufbauten liefern Störströme über die gemeinsame Masseverbindung einen Beitrag zur Verkopplung der Spannungssysteme.

Daher sollen im Folgenden verschiedene Konstellationen der Masseverbindungen und deren Auswirkungen untersucht werden. Hierbei wurde der oben dargestellte Messaufbau verwendet. Die Masseverbindungen wurden mit Cu-Klebeband hergestellt, die Isolation mit einer 5cm hohen Unterlage realisiert.

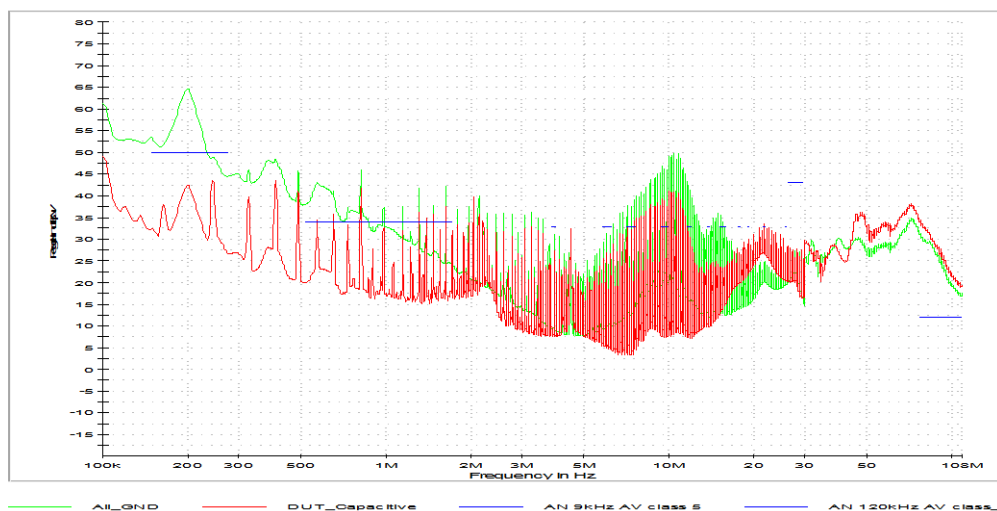
Exemplarisch ist in der folgenden Abbildung der Vergleich von kapazitiver Anbindung des Prüflings zu niederimpedanter Anbindung dargestellt.

Im Mittelwellen – sowie im UKW-Bereich ist eine geringere Störaussendung zu beobachten. In den anderen Bereichen scheinen Störquellen dominant zu sein, die nicht durch die Kopplung über die gemeinsame GND-Impedanz beeinflusst werden.



**Abbildung 4** Störaussendung an der 12V BNN mit kapazitiver und niederimpedanter Masseanbindung, Prüfling 1

Weitere Messungen wurden mit einem Gerät mit verbesserter innerer Entkopplung durchgeführt. Hierbei ist eine um 10-20dBµV geringere Störaussendung auf den Niedervolt-Leitungen bei kapazitiver Anbindung des Prüflings zu erkennen.



**Abbildung 5** Störaussendung an der 12V BNN mit kapazitiver und niederimpedanter Masseanbindung, Prüfling 2

## Modellbildung

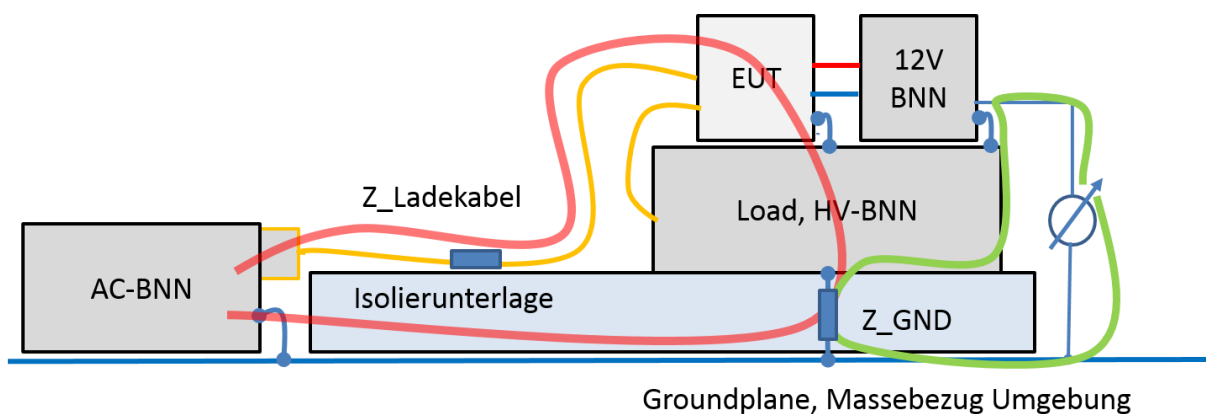
Auf Basis der zuvor durchgeführten Messungen soll nun ein geeignetes Simulationsmodell entwickelt werden.

Zur Modellierung einer einfachen Störquelle wurde auf [3] zurückgegriffen. Hierbei werden die Gleichtaktstörungen einer Schaltstufe über die Koppelkapazität der Halbleiter gegen das metallische Gehäuse, welches gleichzeitig als Kühlkörper dient, abgeleitet.

Die Kopplung zwischen der LV- und HV-Seite wurde durch eine Impedanz modelliert. Diese kann zur Vereinfachung des Modells bei guter Entkopplung innerhalb des Gerätes entfallen.

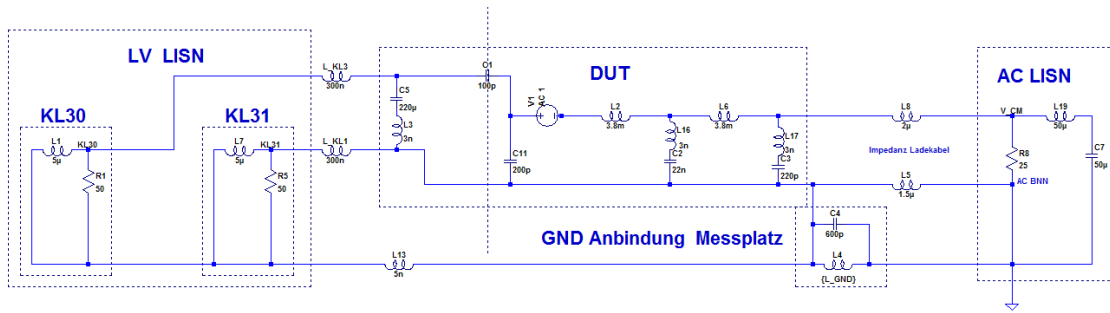
Die Masse (KL31) der LV Seite liegt auf Gehäuse-Potential. Hierdurch ergibt sich eine zusätzliche Kopplung zwischen der HV- und LV Seite, die unter anderem durch den Spannungsabfall an der Induktivität der Gehäuseanbindung bestimmt wird. Dementgegen wirken die Y-Kondensatoren im Gerät, diese führen einen Teil der Störungen zur Quelle zurück.

In der Skizze sind die relevanten Störstrompfade dargestellt:



**Abbildung 6** Störstrompfade Messaufbau

Im Rahmen einer LTSpice Simulation wurde hieraus eine Schaltung mit typischen, abgeschätzten Impedanzen der Leitungssätze und Masseanbindungen entwickelt. Als Gleichtaktstörquelle wurde als einfaches Modell die kapazitive Störeinkopplung der schaltenden Halbleiter über die Kühlflächen in das metallische Gehäuse verwendet. Die Simulation wurde für verschiedene Impedanzen der Masseanbindung des Gehäuses durchgeführt. In der folgenden Abbildung ist die hierbei verwendete Schaltung dargestellt

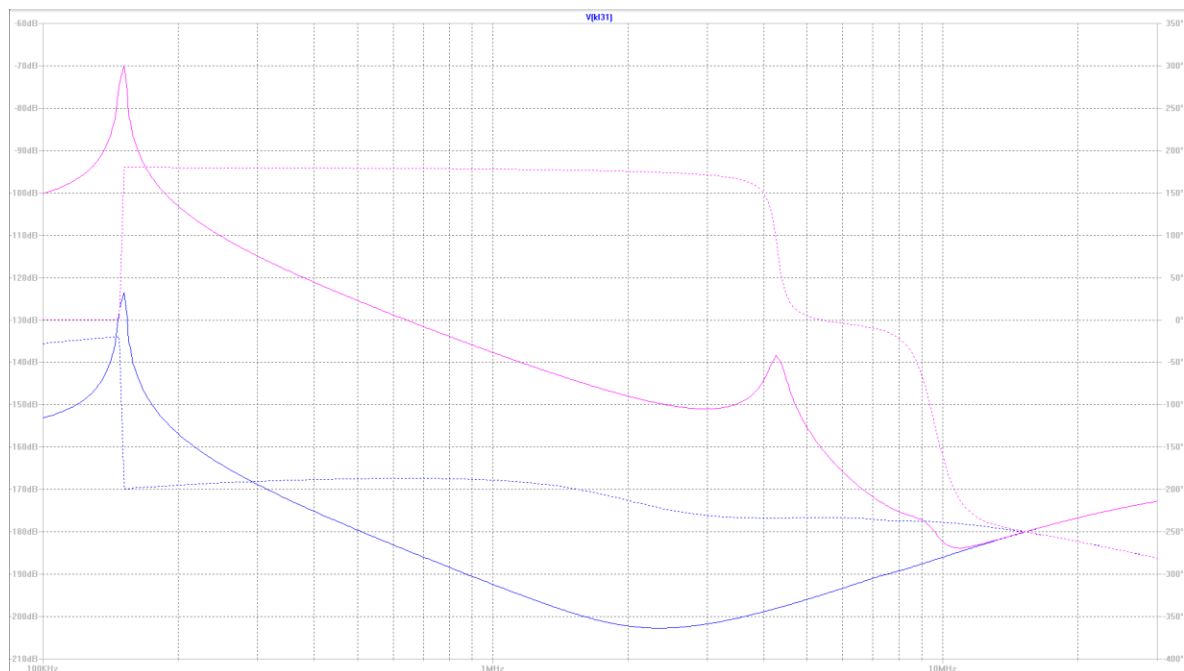


**Abbildung 7** Simulationsmodell zur Untersuchung der Masseanbindung

Der Verlauf der Amplitude an der jeweiligen Netznachbildung ist über der Frequenz dargestellt.

Hierbei zeigte sich eine deutlich geringere Störaussendung bei niederimpedanter Anbindung des Prüflings. Diese deckt sich nicht mit den Ergebnissen der durchgeführten Messungen, hier konnte eine deutliche Verringerung der Störaussendung bei kapazitiver Anbindung beobachtet werden.

Exemplarisch ist im folgenden Diagramm der Frequenzgang der Störung für eine rein kapazitive Anbindung der Prüflingsmasse (pinke Kurve), sowie für eine niederimpedante Anbindung (blaue Kurve) dargestellt.



**Abbildung 8** Frequenzgang der Störung an der Klemme 31 Netznachbildung

Neben dem unterschiedlichen Betrag der Störaussendung ist auch die zuvor gemessene Resonanz bei etwa 4,5 MHz bei kapazitiver Anbindung zu erkennen.

Die absoluten Werte der Störaussendung bei der Simulation sind im Vergleich zur Messung recht gering. Es wird daher vermutet, dass andere Effekte dominieren. Diese sind im verwendeten einfachen Simulationsmodell offensichtlich nicht erfasst. Zur vollständigen Nachbildung der Messergebnisse sind daher weitere Untersuchungen notwendig.

## **Zusammenfassung**

Es wurde ein Messaufbau für Komponentenprüfungen an HV-Komponenten vorgestellt, der durch kapazitive Anbindung die Resonanzverhältnisse bei der Fahrzeugprüfung geeignet nachbildet. Dieser Aufbau kann dazu dienen, vorhandene Margen bei den Grenzwerten der leitungsgeführten Komponentenprüfung zu minimieren.

Bei diesem Aufbau ergibt sich bei dem untersuchten Prüfling eine deutlich verringerte Störaussendung auf den Niedervolt-Leitungen.

Eine schlüssige Modellierung dieses Effektes gelingt mit dem verwendeten einfachen Simulationsmodells bislang nicht. Hierzu sind weitere Untersuchungen notwendig. Weiterhin sollte die Eignung des vorgestellten Messaufbaus anhand von weiteren Fahrzeugmessungen verifiziert werden.

## **Literaturangaben**

[1] CISPR/D/425A/CDV

[2] Dipl. – Ing. Marc Maarleveld, M. Sc. Sebastian Jeschke, Prof. Dr.-Ing Holger Hirsch, Emissionsverhalten von Elektrofahrzeugen im Ladebetrieb, Konferenzband EMV2104

[3] Jacques Laeuffer, Basics of Electromagnetic Compatibility (EMC) of Power Systems, Konferenzband PCIM 2013