

Abschätzung der Direktivität bei parasitären Strahlern

M. Sc. Matthias Hirte, Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Deutschland

Abstract

Zur Bestimmung der gestrahlten Störaussendung existieren alternative Messverfahren, mit denen z.B. die abgestrahlte Leistung bestimmt wird, die sich nicht direkt in eine messbare Feldstärke umrechnen lässt. Für die Umrechnung zwischen der maximalen Feldstärke, die ein Prüfling erzeugt, und der gemessenen abgestrahlten Leistung wird die Direktivität benötigt, die bei parasitären Strahlern in der Regel nicht bekannt sind. Bekannte Modelle zur Abschätzung der Direktivität basieren auf Modellen, bei denen die Abstrahlung aus einer bestimmten Anzahl zufällig verteilter Quellen statistisch ausgewertet wird. Inwieweit dieser Ansatz die statistische Verteilung der Direktivität realer Prüflinge beschreibt, wurde bislang nur unzureichend untersucht.

In dieser Arbeit wurde im ersten Schritt die Direktivität eines Prüflings messtechnisch ermittelt. Der Prüfling bestand aus einer metallischen Box, auf der eine strahlende Stromschleife angebracht ist. Die Parameter des Prüflings wurden im ersten Schritt sowohl durch Messungen als auch durch numerische Simulationen bestimmt und verglichen. Im zweiten Schritt wurde durch die Variation von Anzahl, Größe und Position der strahlenden Elemente des numerischen Modells eine Vielzahl von Prüflingen erzeugt, deren Direktivität durch Simulation bestimmt wurde. Durch eine statistische Auswertung der Daten wurde eine Abschätzung für die Direktivität von unbekanntem Prüflingen gewonnen, welche mit dem vorhandenen Modell verglichen wurde.

1 Ziel der Untersuchungen

Die gestrahlte Störfestigkeit wird bei der etablierten Messmethode in der Absorberhalle gemessen. Daneben gibt es alternative Messverfahren zur Störaussendung, z.B. die Messung in der Modenverwirbelungskammer, bei der nicht die maximale Feldstärke sondern die mittlere abgestrahlte Leistung gemessen wird. Um diese beiden Größen ineinander umzurechnen, muss die Direktivität des Prüflings bekannt sein, welche in der Regel bei parasitären Strahlern nicht bekannt ist und nur abgeschätzt werden kann. Zur Grenzwertumrechnung zwischen den Messverfahren nach CISPR 16-4-5 [1] muss neben der Direktivität auch die Unsicherheit ermittelt werden. Bisherige Abschätzungsverfahren basieren auf rein analytischen Modellen [2]. Es ist nicht abschließend geklärt, ob die statistische Verteilung der Direktivität dieser Modelle denen von realen Prüflingen entspricht. Zusätzlich ist die Unsicherheit der Direktivität zu bestimmen.

Ziel der Untersuchungen war die Abschätzung der Direktivität von Strahlern, die nicht nur auf analytischen Methoden, sondern aus einer Auswertung von realen Prüflingen basiert. Die Ergebnisse wurden durch numerische Simulationen gewonnen, die durch Messungen validiert wurden.

2 Aufbau des Prüfling

Bei der Konstruktion und Auslegung des Prüflings wurden folgende Punkte beachtet:

- Der Prüfling sollte über einen großen Frequenzbereich abstrahlen.
- Das Objekt musste „elektrisch groß“ wirken.
- Der Prüfling sollte bezüglich seines Abstrahlverhaltens numerisch simulierbar sein.

Für die Untersuchung wurde ein Prüfling gewählt, der aus einer metallischen Box besteht, auf der strahlende Schleifen angebracht sind. Die Box hat eine Abmessung von 110 cm x 50 cm x 50 cm. Die Anzahl und Größe der Schleifen kann variiert werden. Der untersuchte Frequenzbereich wurde so gewählt, dass die Abmessungen der Box im Verhältnis zur Wellenlänge zwischen 0,1 und 4 liegen und der Prüfling elektrisch groß ist.

2.1 Verifizierung des Prüflings

Der Prüfling wurde aufgebaut und vermessen. Die gleiche Konfiguration wurde auch mit CST Microwave Studio simuliert. Die strahlende Schleife hatte in der untersuchten Version eine Abmessung von 100 cm x 20 cm und war diagonal auf der Box angebracht (siehe Abbildung 1).

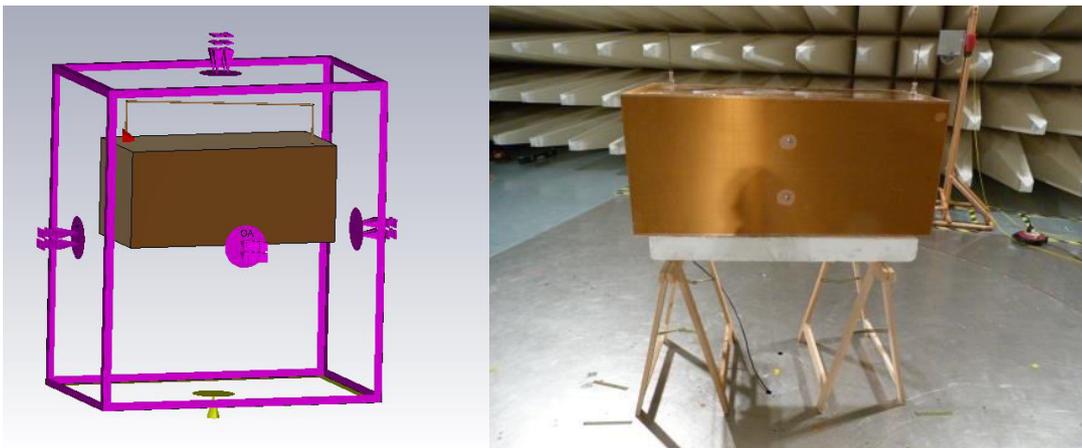


Abbildung 1: Vergleich des Messaufbaus mit dem Simulationsmodell

Da die Direktivität messtechnisch schwer zu bestimmen ist, wurde die Richtcharakteristik als Vergleichsgröße verwendet. Dazu wurden drei Ebenen um den Prüfling vermessen. Da in der Absorberhalle nur in einer Ebene gedreht werden kann, wurde für die anderen Ebenen die Lage des Prüflings verändert. Der Vergleich zwischen Messung und Simulation wurde bei der ersten und zweiten Resonanzfrequenz der strahlenden Schleife durchgeführt und ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Simulationsergebnisse stimmen sehr gut mit den Messergebnissen überein, so dass die weiteren Untersuchungen rein numerisch durchgeführt wurden. Dabei ist zu beachten, dass durch reine Messungen die erforderlichen Stichproben für statistische Auswertungen nicht generiert werden können.

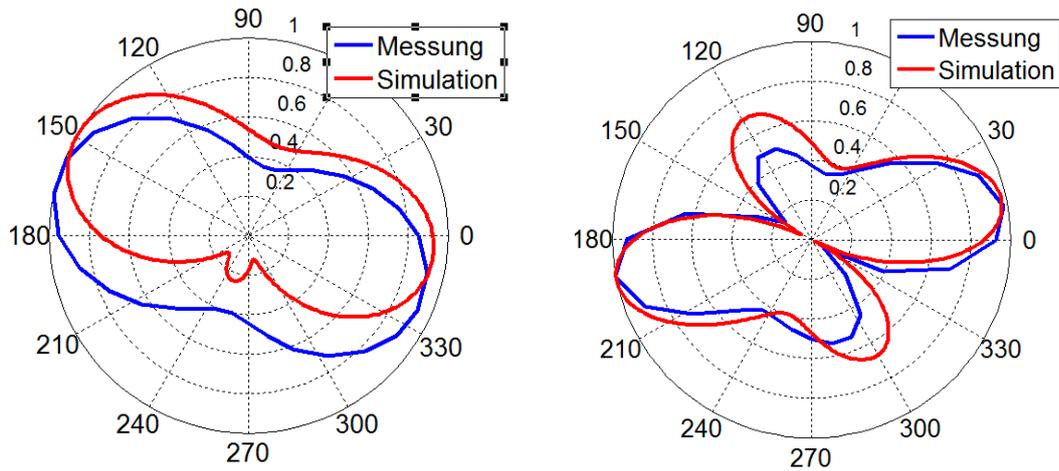


Abbildung 2: Vergleich der gemessenen und simulierten Richtcharakteristik bei 130 MHz (links) und 250 MHz (rechts)

2.2 Variation des Prüflings

Zur Generierung der erforderlichen Stichprobe für die statistische Auswertung wurde die Anzahl der Schleifen, sowie deren Position und Abmessungen verändert, wie es exemplarisch in Abbildung 3 dargestellt ist. Die einzelnen Parameter wurden mit einem Zufallsgenerator innerhalb gewisser Grenzen ermittelt und sind in der Tabelle 1 zusammengefasst.

Parameter	Schwankungsbereich	Bemerkungen
Anzahl Schleifen	1-2	Immer auf unterschiedlichen Seiten der Box
Ausrichtung auf der Box	16 Winkel	22,5° Schritte
Länge der Schleife	200 cm – 1000 cm	
Höhe der Schleife	100 cm – 1000 cm	Höhe nicht größer als die Länge
Position		Freie Positionierung, aber immer 10 cm Platz zum Rand

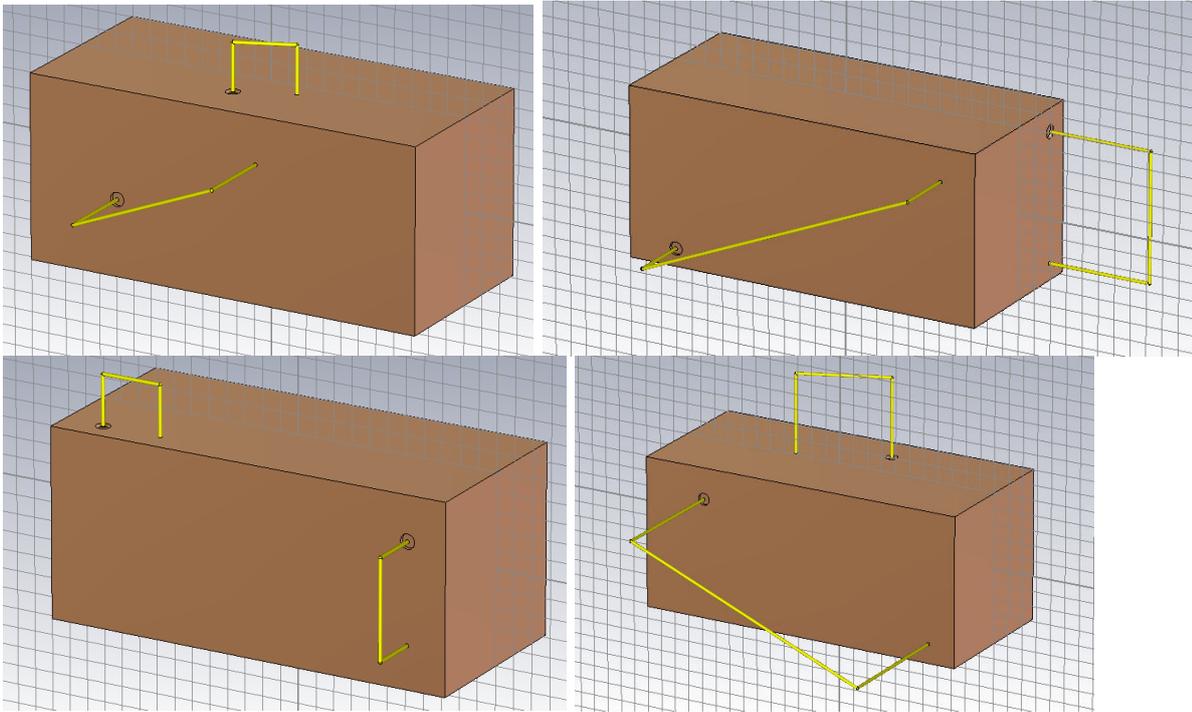


Abbildung 3: Beispiele für Prüflinge mit 2 Schleifen

Durch die Variation der Parameter wurden insgesamt 1110 Prüflinge erzeugt, die sich in den Abstrahlungseigenschaften stark unterscheiden. Diese Prüflinge wurden numerisch simuliert und die Direktivität ermittelt.

3 Statistische Auswertung

Die gewonnenen Simulationsergebnisse wurden statistisch ausgewertet. Wichtige Parameter sind der Mittelwert der Direktivität sowie deren Standardabweichung (Unsicherheit) in Abhängigkeit von der elektrischen Größe. Die Abbildung 4 zeigt den Mittelwert der Direktivität.

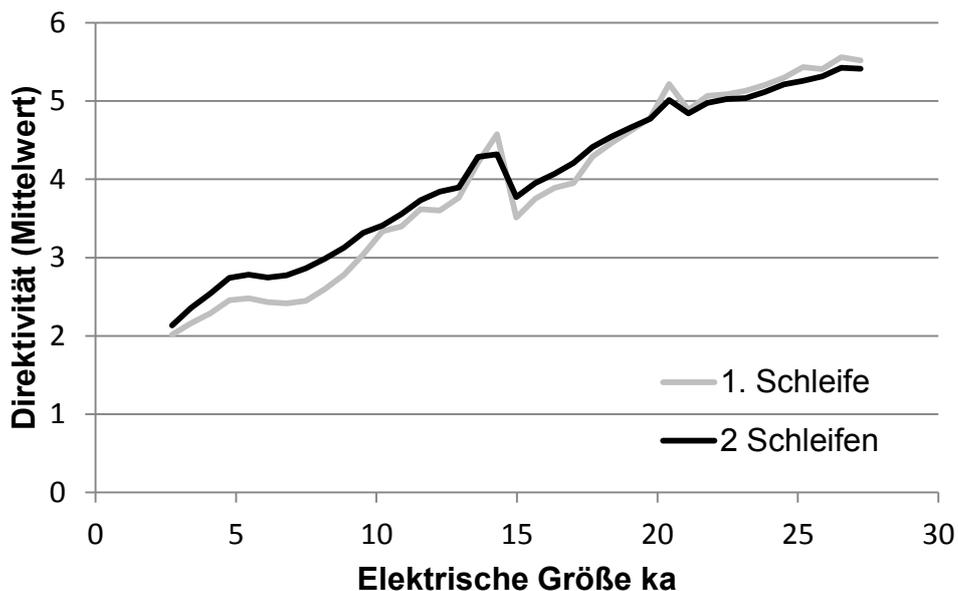


Abbildung 4: Mittelwert der Direktivität

Der Mittelwert der Direktivität steigt erwartungsgemäß mit zunehmender elektrischer Größe an. Dieses ist auch aus anderen Veröffentlichungen bekannt. Die Standardabweichung für Prüflinge mit 2 strahlenden Schleifen ist in Abbildung 5 dargestellt.

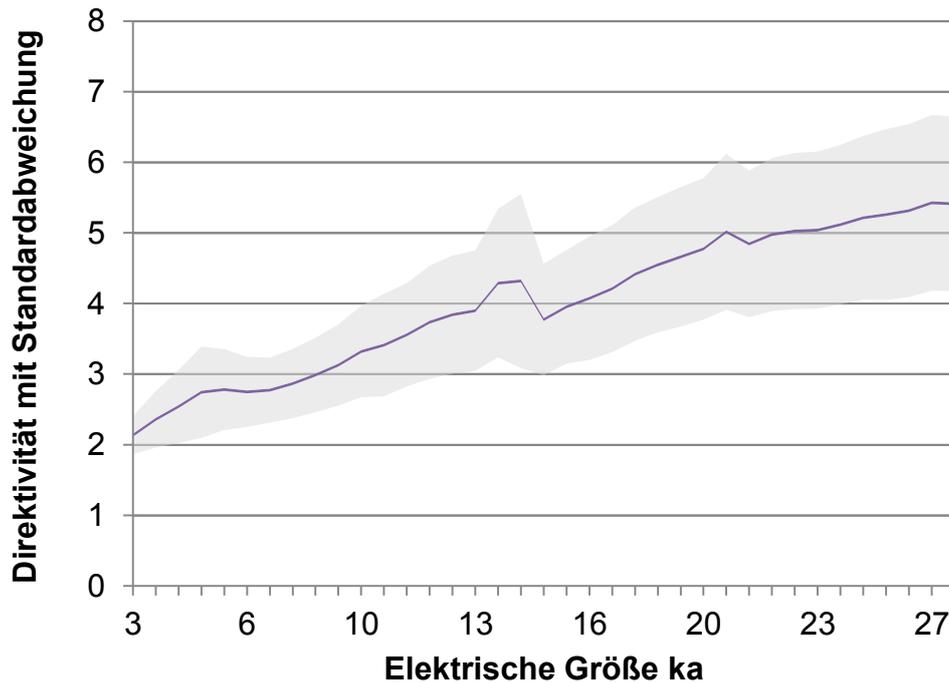


Abbildung 5: Mittelwert mit Standardabweichung für Prüflinge mit 2 strahlenden Schleifen

Die Abbildung 6 zeigt die prozentuale Standardabweichung im Verhältnis zum Mittelwert. Sie liegt für elektrisch sehr große Prüflinge konstant zwischen 20% und 25%. Die durchschnittliche Abweichung der Direktivität vom Mittelwert und damit die Unsicherheit beträgt umgerechnet ca. 1 dB.

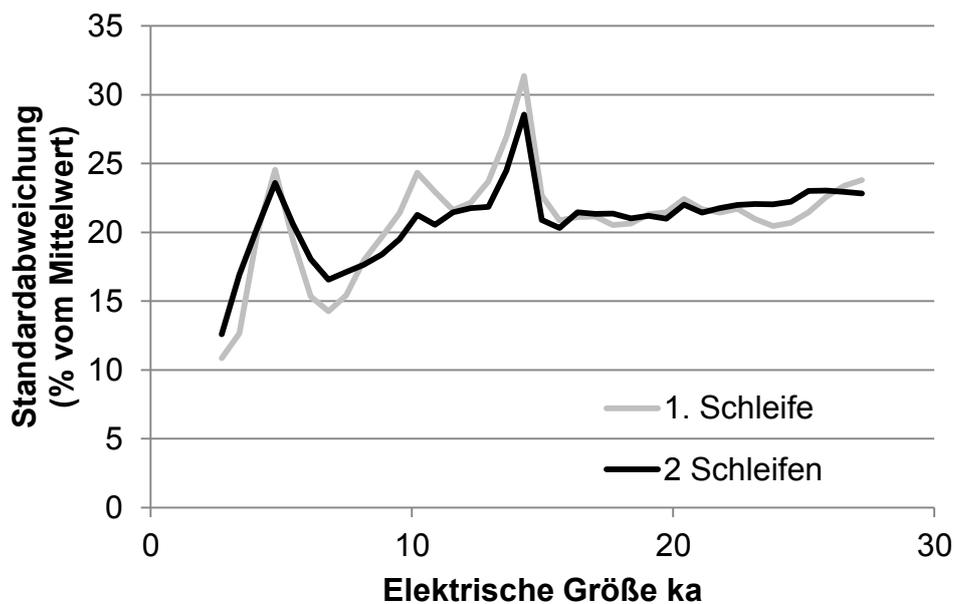


Abbildung 6: prozentuale Standardabweichung

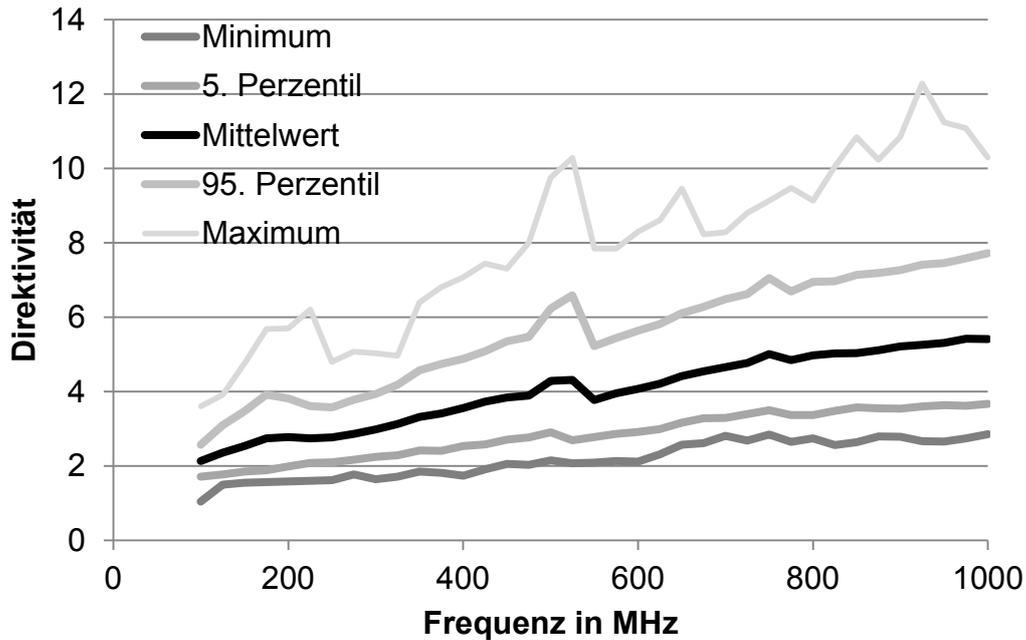


Abbildung 7: Statistische Verteilung des Mittelwertes

4 Vergleich mit bisherigen Abschätzungsverfahren

Die gewonnenen Ergebnisse wurden mit der bekannten Abschätzung [3]. Die Abschätzung basiert auf einer statistischen Auswertung von Strahlungsquellen, die zufällig auf einer Kugel eines bestimmten Radius verteilt sind. Die Abschätzung ist von der elektrischen Größe abhängig. Als weiterer Vergleichswert wurde die Direktivität eines langen Dipols herangezogen. Die Enden des Dipols sind leerlaufend, so dass Resonanzen entstehen, die deutlich im Graphen zu erkennen sind.

Sind die Abmessungen des Prüflings kleiner als die Wellenlänge, zeigt der ermittelte Direktivitätsverlauf eine sehr gute Übereinstimmung mit der Abschätzung nach Wilson [3]. Dies ist in Abbildung 8 zu erkennen. Wird der Prüfling elektrisch größer, nimmt die Direktivität stärker zu als die Abschätzung nach Wilson prognostiziert und nähert sich eher der Direktivität eines langen Dipols an. Bei der Näherung nach Wilson wird von einer sehr flächenhaften Abstrahlung, die über die gesamte Oberfläche verteilt ist, ausgegangen. Bei realen Prüflingen erfolgt die Abstrahlung oft entlang von Linien (Kabel, Leitungen, Schlitze), wobei solche Linienstrahler einen anderen Direktivitätsverlauf aufweisen [4]. Ob der realisierte Prüfling eher realistischen Anordnungen von Prüflingen entspricht, muss noch verifiziert werden.

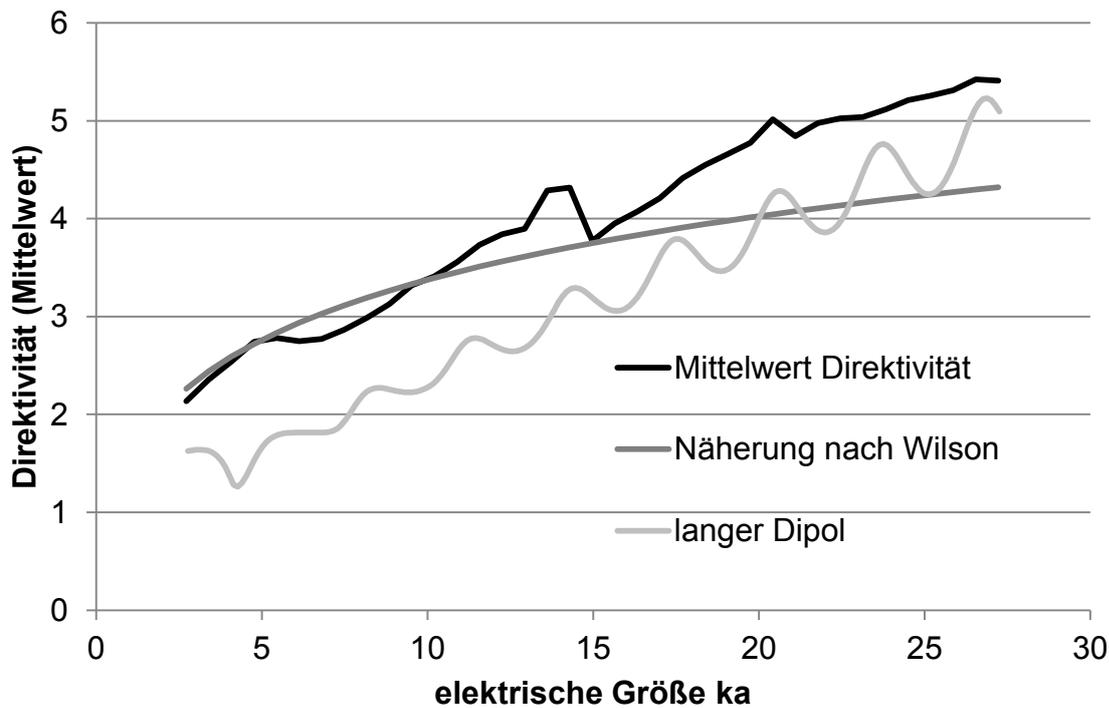


Abbildung 8: Vergleich mit bekannten Näherungsformeln

5 Zusammenfassung und Ausblick

Durch die vorgestellten Untersuchungen konnte sowohl der Mittelwert als auch die Unsicherheit der Direktivität von einer großen Anzahl von elektrisch großen Prüflingen bestimmt werden. Die Analyse basiert auf der Simulation von über 1000 Prüflingen, von denen einer exemplarisch hergestellt und vermessen wurde. Dabei wurde eine gute Übereinstimmung von Messung und Simulation erreicht, wodurch die Simulation validiert wurde. Dadurch wurde auf die Vermessung weiterer Prüflinge verzichtet.

Die ermittelte Direktivität zeigt in Abhängigkeit von der elektrischen Größe der Prüflinge bis in den Bereich der Wellenlänge eine gute Übereinstimmung mit der Näherungsformel nach Wilson. Ist der untersuchte Prüfling elektrisch größer, steigt die Direktivität stärker an und nähert sich der Direktivität eines langen Linienstrahlers an. Die Unsicherheit der Direktivität lag bei der Untersuchung bei ca. 1 dB.

Weitere Untersuchungen an kleineren Prüflingen und Prüflingen mit Schlitzen sind angedacht.

6 Literaturverzeichnis

- [1] CISPR 16-4-5 Part 4-5: Uncertainties, statistics and limit modelling – Conditions for the use of alternative test methods, IEC, 2006
- [2] Krauthäuser, H. G.: Statistical Analysis of the Correlation of Emission Limits for Established and Alternative Test Sites, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, PP(99), 1 - 13, 2011
- [3] Wilson, P. F./Hill, D. A./Holloway, C. L.: On determining the maximum emissions from electrically large sources. In: IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol.44, no. 1, pp. 79 – 86, 2002
- [4] Balanis, Constantine A. Antenna Theory: Analysis and Design, Wiley, 2005