Zur neuen DIN SPEC 8987 Koronageräusche von Hochspannungsfreileitungen II – praktischer Teil

Markus Gooßens[1], Wolfgang Tausend[2]

[1] *TÜV Technische Überwachung Hessen GmbH, 60486 Frankfurt am Main, markus.goossens@tuevhessen.de*
[2] *TransnetBW GmbH, Pariser Platz, Osloer Straße 15-17, 70173 Stuttgart, w.tausend@transnetbw.de*

Einleitung

Knistern, Prasseln oder Brummen an Höchstspannungsfreileitungen, so genannte Koronageräusche, werden durch elektrische Entladungen an Störstellen auf der Oberfläche der Spannung führenden Leiter verursacht. Bei Niederschlag entsteht entlang der Leiter eine große Anzahl solcher Störstellen durch Wassertropfen. Hauptsächlicher Einflussfaktor, außer der Witterung selbst, ist die elektrische Randfeldstärke an der Leiteroberfläche, die von der Betriebsspannung und der Konstruktion der Leitung bestimmt wird. Hierbei spielen die Anzahl und der Durchmesser der Leiter, die in Bündeln zusammengefasst sind, die größte Rolle. Die bisher in Deutschland ausschließlich mit Wechsel- bzw. Drehstrom (AC) betriebenen Höchstspannungsfreileitungen erzeugen bei Regen oder Schneefall die höchsten Schallpegel. Aufgrund verschiedener Besonderheiten ist diese „Betriebsart“ mit Niederschlag bei der Beurteilung nach TA Lärm ggf. als Sonderfall einzustufen.

Im Folgenden werden diese Besonderheiten, eine in der neuen DIN SPEC 8987 vorgesehene Konvention für Lärmprognosen auf einheitlicher Basis sowie Messerfahrungen beschrieben, die das gewählte Standardisierungskonzept als zweckmäßig und der Praxis angemessen erscheinen lassen.

Betriebsarten

Am Beispiel einer 380-kV-Drehstromleitung (AC) sind in Abbildung 1 Immissionspegel bei unterschiedlichen Wetterbedingungen aufgetragen.

Nachweislich werden für AC-Leitungen bei Trockenwetter, das mit > 80% der Jahresstunden vorherrscht, deutlich geringere Emissionen als mit Niederschlag gemessen. Dagegen können für Gleichstrom-(DC-)Leitungen bei Trockenwetter **ohne Niederschlag** durch Anlagerung von Staub, Schmutz oder Insekten an den Leitern höhere Emissionen als bei Niederschlag entstehen (u.U. worst case). Die Betriebsart ohne Niederschlag ist zugleich der meteorologisch vorherrschende Regelfall für alle übrigen Anlagengeräusche gemäß TA Lärm und nach DIN 45645-1 der messtechnisch nachzuweisende Betriebszustand (Ziff. 6.4 in DIN 45645-1).

Für AC-Leitungen erscheint die Betriebsart **mit Regenniederschlag** im Vergleich zu Schneefall und Raureif im Hinblick auf Häufigkeit und Emissionspegel als die ungünstigste Betriebsart. Sie ist beurteilungsrelevant, denn dieser Zustand kann zum höchsten nächtlichen Immissionspegel („lauteste“ Nachtstunde) beitragen, wenn auch mit < 20% der Jahresstunden zeitlich nicht vorherrschend, so aber aufgrund der Pegelintensität und möglicher tonaler Geräuschcharakteristik (vergleiche Abb. 1, 6 und 7).

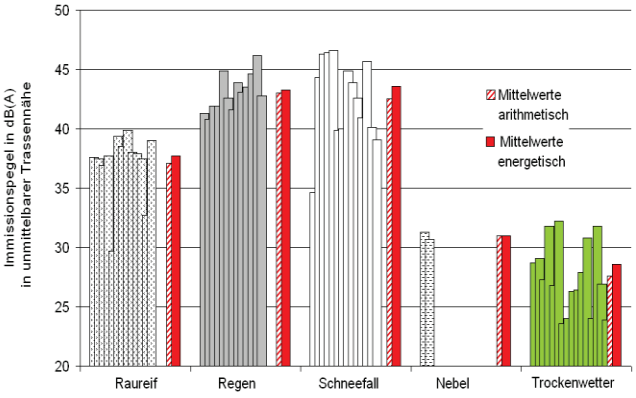

Abbildung 1: Gemessene Geräuschimmissionspegel unmittelbar an einer 380-kV-Leitung (AC) bei unterschiedlichen Wetterbedingungen (Quelle: [1])

Konvention

Ausgehend von einer mit der Niederschlagsintensität (Niederschlags-/Regenrate) ansteigenden Schallemission einer bestimmten Leitungsanordnung wird diejenige Regenrate als bestimmungsgemäß angenommen, die innerhalb der Grundgesamtheit von 365 Nächten zum höchsten Beurteilungspegel je Nacht führt. Da zugleich extreme Wettersituationen mit hohen Fremdgeräuschpegeln (Platzregen, Gewitter, Sturmböen) in Anlehnung an TA Lärm Ziffer 7.2 für seltene Ereignisse (10 Tage oder Nächte pro Jahr) ausgeblendet werden sollen, ist dies die elfthöchste der 365 (jeweils höchsten nächtlichen) Regenraten in mm/h. Dies entspricht dem 97% Perzentil einer entsprechenden relativen Summenhäufigkeit.

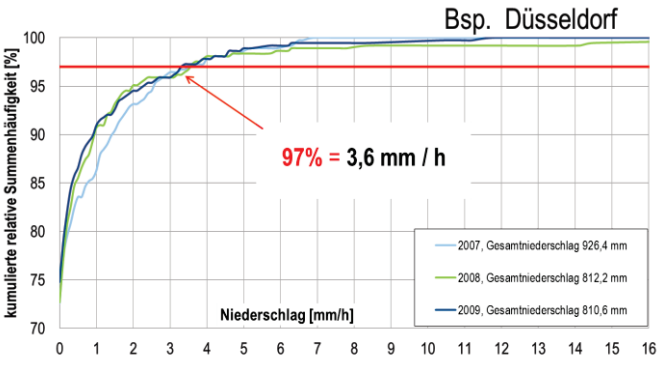

Abbildung 2: Beispiel: bestimmungsgemäße Regenrate als 97% Perzentil gemäß Konvention der DIN SPEC 8987

Der entsprechend dem Konzept der neuen DIN SPEC 8987 nach EPRI [4] zu berechnende längenbezogene Schallleistungspegel L'_{WA} der Leiterbündel einer Freileitung ist somit entsprechend der bestimmungsgemäßen Regenrate zu korrigieren.

Aus dem Beispiel in Abbildung 2, einer Auswertung von Wetterstationsdaten eines Dreijahreszeitraums für Düsseldorf, geht eine maßgebliche Regenrate von etwa 3,6 mm/h hervor. Ähnliche Regenraten zeigen auch entsprechende Auswertungen anderer Wetterstationen (z.B. Hannover, Freiburg, Köln). Auch die bei praktischen Langzeitmessungen aufgezeichneten Regenraten liegen in dieser Größenordnung [1], [2].

Besonderheiten des Anlagengeräuschs „Korona“

Die folgenden Eigenarten machen Koronageräusche in der Betriebsart mit Niederschlag gegenüber anderen Anlagengeräuschen zu einem besonderen Fall:

- Die Betriebsart entsteht ohne möglichen Einfluss des Betreibers auf Zeitpunkt und Niederschlagsintensität
- Die Koronageräusche sind evident an Regen-Fremdgeräusche gekoppelt
- Die Spektralverteilungen von Korona- und Regenfremdgeräuschen sind – bis auf tonale Anteile – nahezu identisch
- Dadurch werden regenbedingte Koronageräusche mit wachsendem Abstand von der Quelle durch das Regenfremdgeräusch zunehmend maskiert bis verdeckt

Diese und weitere Gründe, die in der Herkömmlichkeit und sozialen Adäquanz der Leitungsgeräuschimmissionen, einer besonderen Standortbindung oder auch einem überragenden Allgemeininteresse an einer sicheren Stromversorgung liegen können, sprechen auch aus juristischer Sicht für das Vorliegen eines Sonderfalles im Sinne von Ziff. 3.2.2 TA Lärm (Quelle: [3]).

Fremdgeräusch durch Regenniederschlag

Die Höhe des Fremdgeräuschpegels von Regenniederschlag hängt von der Art der Umgebung ab. Aus Messreihen an einer unbebauten Wiese, einem landwirtschaftlichen Aussiedlerhof und einer Ortsrandlage, drei typischen Umgebungen von Hochspannungsfreileitungen, entstand die Grafik in Abbildung 3.

Die Grafik macht deutlich, dass nächtliche Immissionsrichtwerte für Wohngebiete bereits bei niedrigen Regenraten überschritten werden und die Wahrscheinlichkeit einer Überdeckung von Koronageräuschen mit steigender Regenrate zunimmt.

Offenbar kann der Regelfall der TA Lärm mit 6 dB unter dem IRW – beispielsweise für ein Reines Wohngebiet mit 29 dB(A) – und eine Zusatzbelastung durch Koronageräusche in der Betriebsart mit Regenniederschlag nicht nachgewiesen werden, wenn der L95% Hintergrundpegel des reinen Regenfremdgeräusches bereits 10 dB(A) oder noch deutlicher darüber liegt.

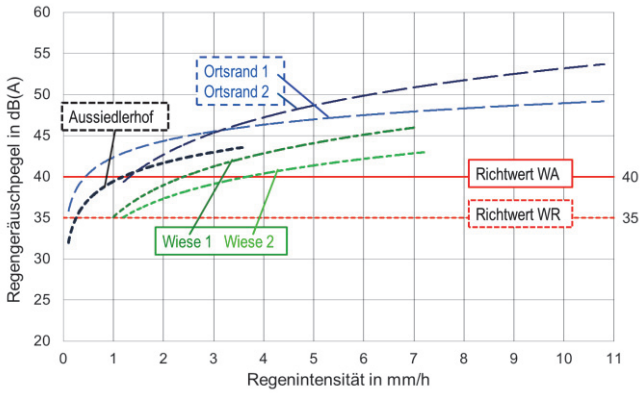

Abbildung 3: Regengeräuschpegel in unterschiedlichen Umgebungen (Quelle: [1], ergänzt nach [2])

Emissionsmessungen im Freifeld

Für Emissionsmessungen niederschlagsbedingter Koronageräusche eignen sich Standorte in nicht urbaner, nicht bewaldeter Umgebung ohne Bach- oder Flusslauf, möglichst ohne Verkehr oder sonstige Fremdgeräuschquellen. Der Untergrund sollte möglichst eben, schallweich und homogen sein. Zusätzlich zum eigentlichen Messpunkt (MP 0) in unmittelbarer Nähe (aber sicherem vertikalem Abstand, z. B. 10 m) zu den Hochspannungsleitern bedarf es eines zweiten Messpunkts (MP FG) in vergleichbarer Anordnung abseits der Leitung, an dem Regen- und ggf. weitere Fremdgeräuschanteile simultan überwacht werden können. Eine solche prinzipielle Messanordnung ist in der Abbildung 4 dargestellt:

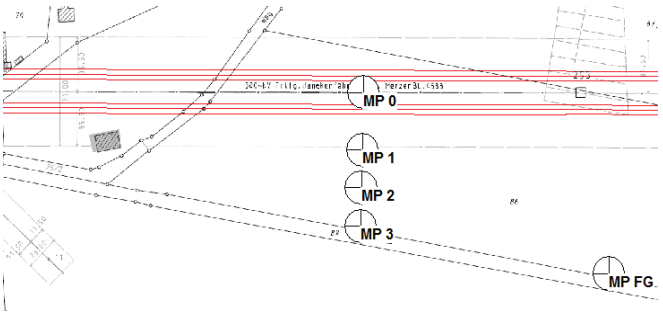

Abbildung 4: Anordnung für Dauermessstationen (MP 0 und MP FG) mit beobachteten Immissions-Stützmessungen an MP 1, MP 2 und MP 3 (Quelle: [2])

Weitere Anforderungen für Messung und Auswertung sind:

- Klasse 1 Geräte: wetterfeste, geeichte Mikrofonketten mit hohem Eigenrauschabstand und Abschirmung gegen hohe E-Felder
- Niederschlagsmessung mit einer Auflösung von mindestens 0,1 mm / 5 min
- Fremdgeräuschvermeidung: Wind < 9 km/h, Körperschallpegel am Stativ vermeiden
- Fremdgeräuschkorrektur nach DIN 45645-1
- Klassierung nach den Betriebsarten
  - Trockenheit (Regelfall)
  - mit Niederschlag (Sonderfall), definierte Regenraten

– Zeitlich gewichtete, energetische Mittelwertbildung nach DIN 45641
– Berechnung von Vertrauensbereichen nach VDI 3723-1

Die Messaufbauten werden üblicherweise mehrere Wochen zu betreiben sein, da die erforderlichen Wetterbedingungen nicht häufig anzutreffen sind. Im Zuge einer Dauermessung werden beobachtete Einzelmessungen in definierten Abständen von der Freileitung dringend empfohlen. Das verwendete Emissionsmodell kann so verifiziert und die Tonalität des Anlagengeräuschs vor Ort bewertet werden (vergleiche hierzu Abbildungen 4, 5, 6 und 7).

Abbildung 5 zeigt eine Gegenüberstellung von gemessenen Hintergrundpegeln durch Regen und rechnerisch prognostizierten Immissionspegeln (gemessene Emission mit Ausbreitung nach DIN ISO 9613-2) für eine typische 380-kV-Doppelleitung – bei einerseits leichtem bis mittlerem, andererseits starkem Regen. Im ersteren Fall liegt das reine Regengeräusch in 90 m Abstand von der Leitung im Mittel bereits etwa 10 dB(A) über dem Pegel des Anlagengeräuschs. Im zweiten Fall kann das Anlagengeräusch bereits in geringerem Abstand überdeckt sein.

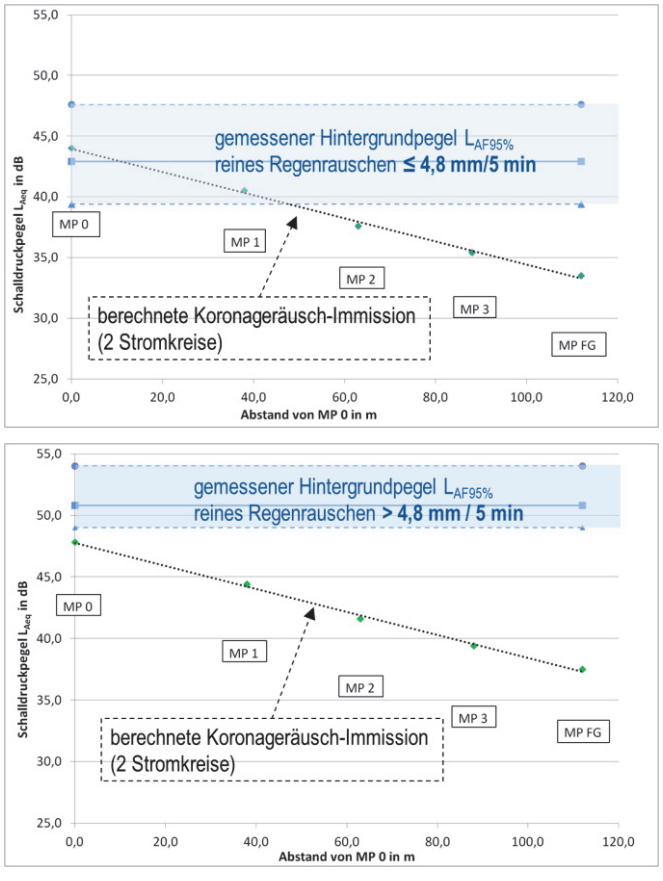

Abbildung 5: Immissionspegel Koronageräusch einer typischen 380-kV-Leitung mit zwei Stromkreisen und Regengeräusch in variiertem Abstand von der Leitung (Quelle: [2])

Die Verhältnisse laut Abbildung 5 sind aber nicht allgemein, sondern nur für die gezeigte Konstellation gültig. Bei der Verdeckung durch Fremdgeräusche kommt der Hörbarkeit der 100-Hz- oder auch 200-Hz-Komponente des Koronageräuschs eine besondere Bedeutung zu. In kritischen Fällen und bei geringen Entfernungen sollte dies einer gutachterlichen Bewertung mit spektraler Prüfung im Einzelfall unterzogen werden. Eine solche Prüfung mit spektraler Überdeckungssituation illustriert Abbildung 6:

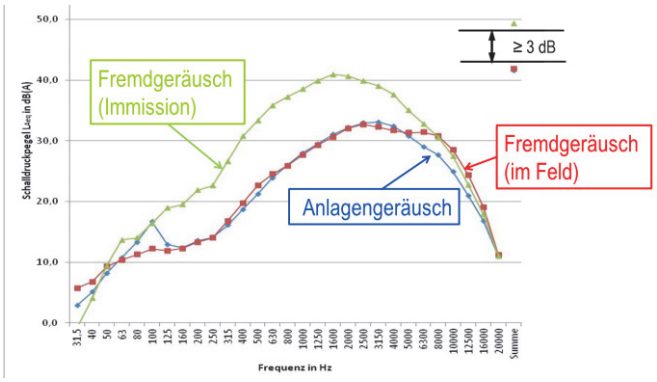

Abbildung 6: Terzspektren von Regen in urbaner Umgebung (Immission) bzw. im Freifeld, einschließlich überdecktem Anlagengeräusch

Sie zeigt ein in 63 m Abstand von einer Leitung gemessenes, leicht tonales Koronageräusch (blau), das mit dem im idealisierten Freifeld (115 m Abstand) zeitgleich gemessenen Regenfremdgeräusch (rot) maskiert wird, dessen Tonalität aber noch erkennbar und möglicherweise auffällig bleibt. Für einen Immissionsort in urbaner Dorfrandlage mit gemessenem Regengeräusch gleicher Intensität stellt sich eine geänderte Situation ein, in der das Regengeräusch (grün) mit einem über 3 dB(A) höheren Summenpegel das Anlagengeräusch einschließlich seiner 100-Hz-Komponente vollständig verdeckt.

Auch beobachtete simultane Freifeldmessungen zeigen, dass Tonalitäten wegen des maskierenden Regengeräuschs nicht mehr in allen Fällen gehört werden, selbst wenn sich im Terzspektrum noch ein erhöhter 100-Hz-Ton erkennen lässt. Das höherfrequente „Knistern“ und „Prasseln“ erreicht in Kombination mit dem simultan gemessenen Regen bei 0,4 mm/5 min deutlich höhere Pegel, weshalb das Brummen ab 63 m überdeckt und nicht mehr wahrgenommen wurde, siehe Abbildung 7.

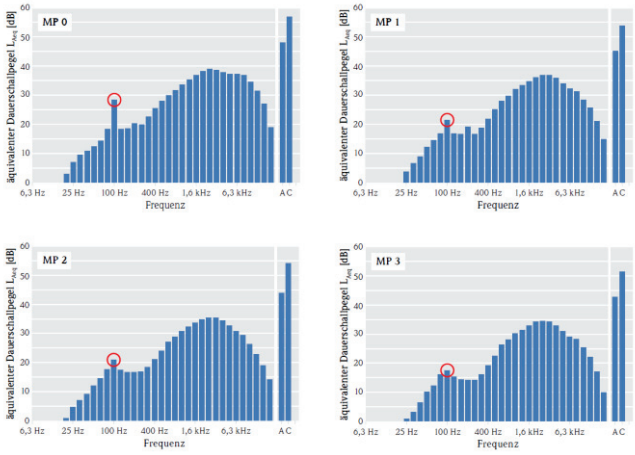

Abbildung 7: Simultan gemessene Terzspektren an 4 Messpunkten bei 0,4 mm/ 5 min unmittelbar unter bzw. in zunehmendem Abstand (38 m, 63 m, 88 m) von einer 380-kV-Freileitung (Quelle: [2])

Emissionsauswertung mit Regenniederschlag

Aus u.U. mehrere Monate dauernden Langzeitmessungen müssen verwertbare, repräsentative Wetterbedingungen mit entsprechenden Kennzeichnungszeiten durch Nachbereitung gefiltert und klassiert werden. Die folgenden Zeitverläufe als Teilergebnis veranschaulichen diese Zusammenhänge.

Aus dem gemessenen Schalldruckpegel am MP 0 und der simultan aufgezeichneten Niederschlagsstärke in Abbildung 8 sind die zeitliche Korrelation beider Verläufe und eine ein bis zwei Stunden andauernde Periode mit für eine DIN-konforme Messung sicher ausreichendem Fremdgeräuschabstand zu erkennen. Aus den entsprechend der Regenrate klassierten Pegeln werden anschließend längenbezogene Schallleistungspegel mit einem zugehörigen 3D-Modell bestimmt.

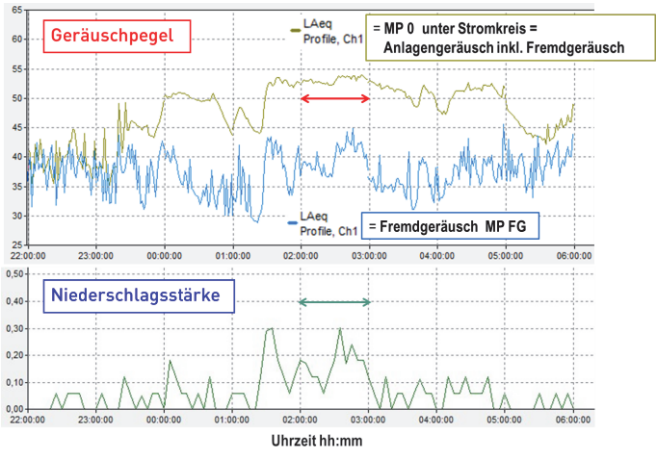

Abbildung 8: Gemessene zeitliche Verläufe von Schalldruckpegel von Anlagen- und Fremdgeräusch sowie Niederschlagsintensität während einer Regennacht

Nullsummenspektrum zu DIN Emissionsansatz

Aus derart ausgewerteten Emissionsmessungen wurde für die DIN SPEC 8987 der terzspektrale Emissionsansatz nach Abbildung 9 erstellt:

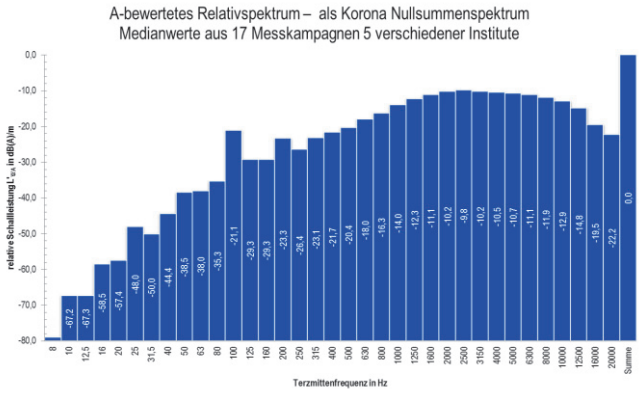

Abbildung 9: Gemitteltes A-bewertetes Relativspektrum von niederschlagsbedingten Koronageräuschen an 380-kV-Leitungen

Abbildung 9 stellt ein A-bewertetes Relativspektrum (Nullsummenspektrum) niederschlagsbedingter Koronageräusche dar. Hierbei wurden die Ergebnisse von 17 Messungen (Standorten) von 6 Instituten einbezogen und aus allen Terzpegeln der Medianwert ermittelt. Ausgehend von einem nach EPRI berechneten Summenpegel ist damit ein breit abgestützter spektraler Emissionsansatz verfügbar.

Vergleich von Mess- und Rechenergebnissen

Für einen repräsentativen Fall in dörflich-urbaner Umgebung konnte die beschriebene Schallleistungsermittlung mit einer Ausbreitungsberechnung nach DIN ISO 9613-2 für insgesamt 20 Immissionsaufpunkte überprüft werden. Eine umfängliche immissionsseitige messtechnische Prüfung bestätigte das Rechenmodell mit einer mittleren Abweichung von 0,6 dB bis 1,3 dB, je nach verwendeter Gleichung für die Bodendämpfung A_{gr} [2].

Das folgende erweiterte Diagramm aus [1] vergleicht die von 6 verschiedenen Instituten für Koronageräusche ermittelten längenbezogenen Schallleistungspegel mit den nach EPRI berechneten Werten in Abhängigkeit der für die Leitungsanordnung charakteristischen Randfeldstärke für eine mittlere Regenrate von 3-4 mm/h. Abbildung 10 zeigt, dass sich im gewählten linearen Näherungsmodell die gemäß Konzept der DIN SPEC 8987 [4] errechneten Prognosepegel überwiegend im 95-%-Vertrauensintervall der Messergebnisse wiederfinden.

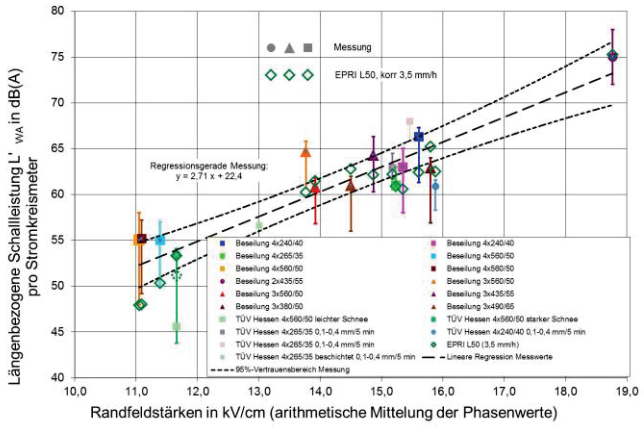

Abbildung 10: Vergleich von messtechnisch zu rechnerisch (gemäß Konzept DIN SPEC 8987 nach EPRI) ermittelten längenbezogenen Schallleistungen für 380-kV-Freileitungen (AC) bei 3-4 mm/h Niederschlag

Zukünftige Messungen sollten geschilderte Zusammenhänge für die DIN SPEC noch weiter ergänzen und überprüfen.

Literatur

[1] Engelen, J. et al:„Ermittlung und Beurteilung von Koronageräuschen an Höchstspannungs-freileitungen“, Lärmbekämpfung Bd. 6 Nr.4, Juli 2012

[2] Goossens, M., Sames, P.: Messtechnische Feldunter-suchungen zu Korona-Geräuschen, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie; Heft 5 Jahrgang 2015; ISBN987-389026-576-6; ISSN 1610-594X

[3] Elspaß, M., Ernst, L.: Geräuschbezogener Immissions-schutz bei Höchstspannungsfreileitungen, im Erscheinen der Zeitschrift Umwelt– und Planungsrecht

[4] Schröder, B., Möllenbeck, S.: Zur neuen DIN SPEC 8987 Koronageräusche von Hochspannungsfreileitungen, I – theoretischer Teil, Beitrag zur DAGA 2016, Aachen