

Ermittlung und Beurteilung von Koronageräuschen an Höchstspannungsfreileitungen

Justus Engelen, Karl Fischer, Christian Hettig, Klaus-Georg Krapf, Roland Kurz, Klaus Meyer, Marc Ruttloff, Ueli Straumann, Wolfgang Tausend, Stefan Völlmecke, Clemens Weidemann

Zusammenfassung Entladungsgeräusche an Höchstspannungsfreileitungen, sog. Koronageräusche, treten witterungsbedingt auf und erreichen bei Niederschlag die höchsten Werte. Die maßgebenden Pegel im individuellen Fall zu ermitteln und entsprechend den Anforderungen der TA Lärm einschließlich begleitendem Regelwerk zu beurteilen, ist angesichts der eher seltenen Bedingungen für das Auftreten und wegen der enormen Schwankungsbreite eine anspruchsvolle Aufgabe. Der im Zuge der Energiewende beschleunigt notwendige Ausbau des Höchstspannungsnetzes erzeugt zudem Druck auf Genehmigungsbehörden, bei entsprechenden Verfahren trotz spärlich vorhandener konkreter Vorgaben schnell und zugleich ausgewogen zu entscheiden. Der vorliegende Beitrag beschreibt das Phänomen der Geräuschenstehung an Höchstspannungsfreileitungen auf der Grundlage jüngster wissenschaftlicher Erkenntnisse. Die Vorgehensweisen bei Messungen im Rahmen zahlreicher Feldversuche werden erläutert, die Ergebnisse konkret und umfassend dargelegt und Vorschläge zu deren Beurteilung im vorgegebenen Rechtsrahmen erarbeitet.

Determination and assessment of audible noise caused by EHV overhead lines

Summary Audible noise by electrical discharges on extra-high-voltage (EHV) overhead lines, so-called corona noise, occurs due to wet or humid weather conditions. The highest values are achieved during precipitation. It is a challenging task to determine the relevant noise levels in individual cases and to assess them according to the German noise regulation "TA Lärm" and its accompanying set of rules, due to the enormous variation of the potential noise levels, while also considering the rather rare conditions for the occurrence. Since of the recent turnaround in German energy policy, which necessitates an accelerated expansion of the EHV grid, authorities are required to make decisions both quickly and in a well-justified way. However there are hardly any practical guidelines for the line-noise issue. This article describes the phenomenon of audible noise generation on EHV overhead line conductors based on recent scientific evidence. The procedures for measurements are explained in the context of various long-term investigations on site, and their results are presented. An appropriate evaluation of line noise immissions, according to the given regulatory framework, will also be suggested.

Der zur Umsetzung der Energiewende erforderliche Ausbau des Stromnetzes führt zu verstärkter Neu- und Umbauplanung von Höchstspannungsleitungen. Das Thema der witterungsbedingten Lärmimmissionen solcher Leitungen fällt hierbei zwar nicht als vorrangiges Problem unmittelbar ins Auge, kann jedoch zahlreiche und schwerwiegende Fragen aufwerfen. Im Rahmen eines Planungsverfahrens müssen realistische Prognosen erstellt und diese angemessen und möglichst rechtssicher beurteilt werden. Der vorliegende Beitrag soll dazu Hilfestellung geben.

Seit den 1920er Jahren wird elektrische Energie über größere Entfernungen im deutschen bzw. europäischen 220- und 380-kV-(Höchstspannungs-)Verbundnetz fast ausschließlich (in Deutschland zu 99,7 %, [1]) über Freileitungen übertragen. Die Übertragungstechnologie ist hier Wechsel- bzw. Drehstrom mit einer Frequenz von 50 Hz. Im Gegensatz zu Kabeln sind die Leiter einer Hochspannungsfreileitung durch die Umgebungsluft voneinander und gegen den Erdboden isoliert. Im Rahmen dieser Arbeit stehen Leitungen mit der Nennspannung 380 kV im Fokus, weil deren Planung und immissionsschutzrechtliche Prüfung im Zuge eines verstärkten Netzausbaus in den nächsten Jahren am häufigsten anstehen wird.

Die meist in Stahlgitterbauweise konstruierten Masten solcher Leitungen haben unterschiedliche Formen, in Deutschland sind z. B. die Mastbilder „Donau“, „Tonne“ oder „Tanne“ (siehe **Bild 1**) gebräuchlich. Die Abmessungen der Maste werden vor allem durch die Anzahl der Stromkreise – bei Drehstromübertragung besteht jeder Stromkreis aus je drei Leitern bzw. „Phasen“ – die Abstände zwischen je zwei Masten und den Durchhang der Leiterseile bestimmt. Die Leiter sind jeweils als Bündel mit mindestens zwei, überwiegend aber drei oder vier parallel verlaufenden einzelnen Leiterseilen ausgeführt, die üblicherweise 40 cm Abstand voneinander haben, vgl. **Bild 2**). Die einzelnen Leiterseile wiederum bestehen überwiegend aus einer mechanisch tragenden Stahlseele und darüber angeordneten Drahtlagen aus reinem oder legiertem Aluminium für die Stromführung.

Neben den ursächlichen Wetterbedingungen und der Anordnung der gesamten Freileitung in der Geländetopologie ist vor allem die Art und Beschaffenheit der Leiterbeseilung für die Geräuschemissionen maßgebend [2].

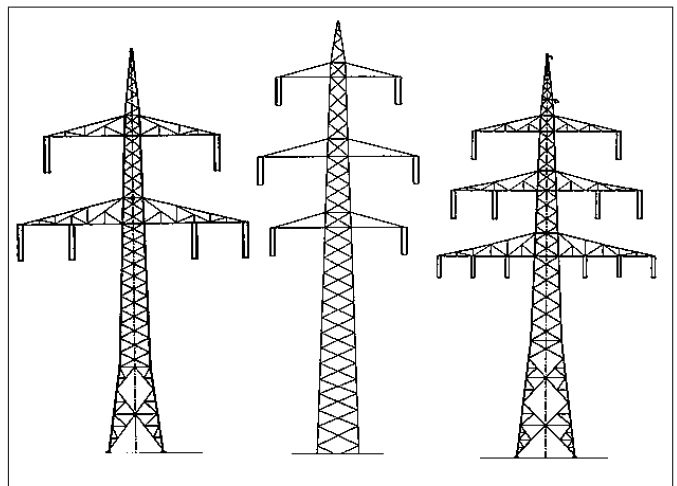


Bild 1 Mastbilder.

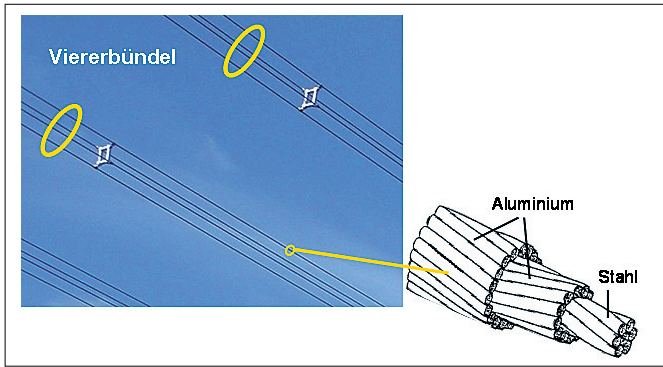


Bild 2 Bündelbeseilung (Beispiel).

Physikalische und meteorologische Grundlagen von Leitungsgeräuschen

Mechanismus der Geräusentstehung

Durch die elektrische Dimensionierung der Höchstspannungsfreileitungen ist bei sauberen und unbeschädigten Leiteroberflächen im Normalfall keine Korona-Aktivität zu erwarten. Weicht der Zustand der Leiterseile durch Schmutzpartikel [3] oder Wasser, Schnee und Eis [4] von diesem Idealzustand ab, so kann das elektrische Feld an diesen Störstellen Werte erreichen, die eine lokale Stoßionisation der Luft (Korona-Entladung) zur Folge haben. Finden diese Korona-Entladungen nicht kontinuierlich, sondern unstetig in Form eines elektrischen Pulses statt, so wird die Luft am Ort der Ionisation geringfügig, aber schockartig erwärmt und ein akustischer Puls in Form einer N-förmigen Welle wird emittiert [5; 6]. Die Summe der Pulse führt zu einem relativ breitbandigen knisternden oder prasselnden Geräusch.

Dieses Geräusch wird häufig durch ein tonales Geräusch mit zweifacher Netzfrequenz (also 100 Hz in Europa) und deren höheren Harmonischen begleitet [7]. Während das knisternde bzw. prasselnde Geräusch seinen Ursprung in den einzelnen Korona-Entladungen hat, geht das tonale Geräusch auf die Bewegung der durch die Ionisation gebildeten Ionen zurück [8]. Diese driften aufgrund des elektrischen Feldes in der Umgebung der Leiterseile, wo sie der Luft über Stoßprozesse Impulse übertragen. Die Summe all dieser Impulse bewirkt in der Luft eine Wärmezufuhr und eine beschleunigende Kraft [8].

Einflussgrößen

Die Korona-Aktivität, der Ursprung von Geräuschemissionen, ist stark von den Störstellen (z.B. Wassertropfen) wie auch von der vorherrschenden Randfeldstärke auf bzw. an den Leitern abhängig. Sie kann durch Verwendung größerer Leiter-Bündel verringert werden. Zu beachten ist jedoch, dass durch die Vergrößerung des Bündels die Vergrößerung der Fläche mit Korona den Effekt durch die Verringerung der Randfeldstärke schmälert. Beispielsweise ist die Verwendung des 4 x Al/St 560/50¹⁾-Leiterbündels statt eines 4 x Al/St 265/35-Bündels vor diesem Hintergrund zu sehen.

Sind die Störstellen auf den Leitern durch Wassertropfen gegeben (die Situation bei Regen oder u. U. auch Nebel), so lassen sich diese durch eine Veränderung des Oberflächenzustands der Seile

¹⁾ Hier und nachfolgend verwendete alte Bezeichnung von (Aluminium-Stahl-)Leitungseilen nach DIN 48201; die entsprechend aktuelle Bezeichnung für Leiter für Freileitungen aus konzentrisch verseilten runden Drähten nach DIN EN 50182, Dezember 2001 lautet z. B. „562-AL1/49-ST1A“.

beeinflussen. In diesem Zusammenhang haben sich hydrophile Oberflächeneigenschaften als sehr günstig erwiesen. Insbesondere bei Leiterseilen, die der Witterung ausgesetzt sind, entsteht diese Eigenschaft mit zunehmenden Seilalter auf natürliche Weise [9]. Nach Inbetriebnahme neuer Leiterseile nehmen daher die Geräusche merklich ab, wie z. B. 8 dB über den Zeitbereich von drei Jahren [10]. Zu beachten ist, dass eine Zunahme der hydrophilen Oberflächeneigenschaft der Leiterseile im Fall hoher Randfeldstärke (wie sie beispielsweise bei üblichen Zweierbündeln bei Betriebsspannungen bis zu 420 kV erreicht werden) wirkungslos ist. Nur bei geringeren Randfeldstärken macht sich die Hydrophilie geräuschreduzierend bemerkbar [11].

Aufgrund dieser Umstände wurden in den letzten Jahren Verfahren entwickelt, um neue Leiterseile schon während ihrer Fabrikation in den hydrophilen Zustand gealterter Seile zu bringen, etwa durch geeignete Aufrauungen der Seiloberfläche oder hydrophile Beschichtungen [12]. Die gemessenen Geräuschreduktionen durch Aufrauung der Seile betragen etwa für ein 4 x Al/St 560/50-Leiterbündel einer 380-kV-Leitung 9 dB [12; 13].

Tonhaltigkeit und Interferenzeffekt

Auf den A-bewerteten Gesamtpegel, der in Lärmvorschriften wie insbesondere der TA Lärm [14] in erster Linie maßgeblich ist, hat die tonale Geräuschkomponente der Freileitungen nur einen verschwindend kleinen Einfluss: Mit der A-Bewertung verliert der 100-Hz-Beitrag mehr als 19 dB, wodurch der A-bewertete Gesamtpegel durch die knisternde bzw. prasselnde Geräuschkomponente bestimmt wird. Da jedoch tonale Anteile vom menschlichen Ohr als besonders störend wahrgenommen werden, wird die Präsenz

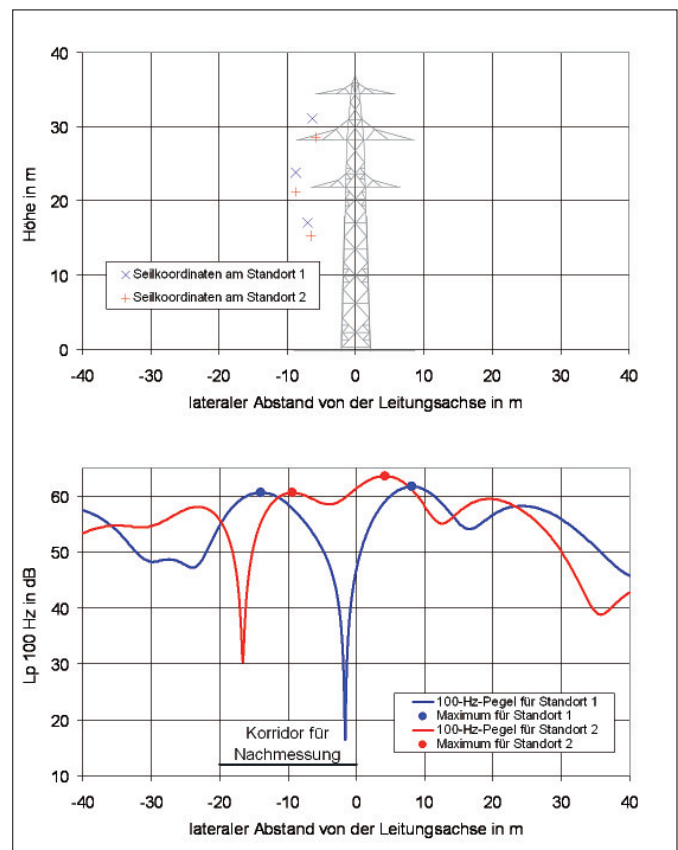


Bild 3 Leiterkoordinaten (oben) und Interferenzmuster (unten) für zwei Standorte an einer 380-kV-Leitung, aus [15].

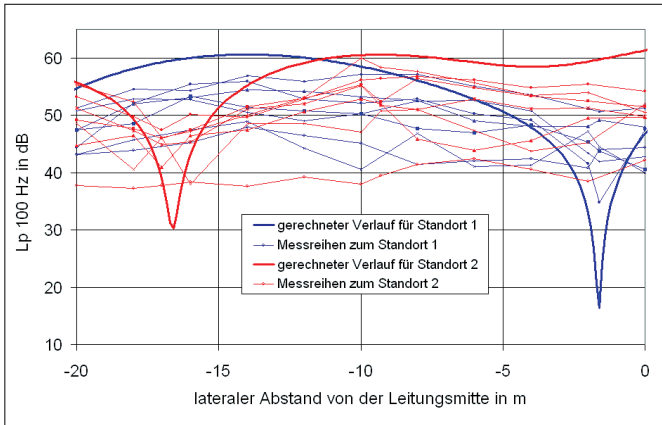


Bild 4 Interferenzmuster: Rechnung und Nachmessung im Korridor nach Bild 3, aus [16].

Teilleiteranzahl n_2	2	3	4
k_1	1	1	1,12
k_2	2	3,48	4,24

Tabelle 1 Werte für k_1 und k_2 in Abhängigkeit von der Teilleiteranzahl n_2 .

einer solchen Komponente nicht nur in der deutschen Lärmverordnung ausdrücklich gewichtet.

Die tonale 100-Hz-Komponente von Koronageräuschen an Höchstspannungsleitungen kann auch zu wahrnehmbaren Interferenzeffekten führen. Da die 100-Hz-Emission an die Netzfrequenz gebunden ist, sind alle Leiterseilbündel als kohärente Quellen aufzufassen, die gemäß dem Drehstromsystem phasenversetzt abstrahlen. Dementsprechend überlagern sich die Anteile an einem Beobachtungspunkt entsprechend dessen örtlicher Lage bezüglich der einzelnen Leiterbündel. Die dabei entstehenden konstruktiven oder destruktiven Interferenzen lassen sich unter vereinfachenden Annahmen rechnerisch modellieren [15]. In **Bild 3** sind die entsprechend ermittelten Interferenzmuster für zwei Standorte in benachbarten Mastfeldern einer 380-kV-Leitung ersichtlich. Dort sind für die beiden Standorte – jeweils im Querschnitt – die Koordinaten der Leiterbündel (Bild 3 oben) sowie der bodennahe Schalldruck der 100-Hz-Komponente (Bild 3 unten) entlang des lateralen Abstands zur Trassenachse aufgetragen.

Für die Beurteilung der Tonhaltigkeit des Emissionsspektrums sind gemäß der theoretischen Rechnung möglichst Beobachtungsorte an den Maxima der jeweiligen Interferenzmuster (siehe Bild 3 unten) in Betracht zu ziehen, weil dort der ungünstigste Fall erfasst wird.

In der gemessenen Praxis erweisen sich die Interferenzextrema bei einer Leitungsgeräuschsituation bei Niederschlag jedoch nur schwach ausgeprägt, wie die Messreihen in **Bild 4** zeigen ([16]).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der tonale Anteil von Koronageräuschen besonderen Gesetzmäßigkeiten unterliegt, in der wissenschaftlichen Literatur aber nur gelegentlich kommentiert wird. Der Schwerpunkt liegt dort – wie auch in der vorliegenden Arbeit – eindeutig auf dem A-bewerteten Gesamtpegel.

Leiter	Al/St 560/50			Al/St 380/50	Al/St 265/35
Anzahl der Teilleiter	2	3	4	3	4
Durchmesser der Teilleiter in mm	32,2			26,7	22,4
Randfeldstärke in kV/cm	17,2	13,7	11,5	15,9	15,4

Tabelle 2 Elektrische Randfeldstärken verschiedener Beseilungen einer Freileitung bei einer Betriebsspannung von 420 kV.

Berechnung nach EPRI

In der Literatur sind zahlreiche Formeln zur Berechnung des Gesamtpegels zu finden. Die wohl am breitesten abgestützte Rechenprozedur, die zusätzlich eine Berücksichtigung des Klimas oder der Wetterbedingung beinhaltet, ist jene von EPRI [17]. Kernstück der Rechenprozedur ist die Bestimmung der längenbezogenen Schallleistungspegel pro Leiterbündel, wobei die wesentlichen Einflussgrößen die Teilleiteranzahl im Bündel, die Leiterdurchmesser und die Randfeldstärken sind.

Die elektrischen Randfeldstärken ergeben sich aus der Betriebsspannung an den Leitern sowie aus der Leitungs- und Leitergeometrie, wobei bei Leitungen mit mehreren Stromkreisen auch die Lage der anderen Leiter und deren Zuordnung im Drehstromsystem eine Rolle spielen. Mit numerischen Verfahren bzw. entsprechenden Rechentools lassen sich zum einen für jedes Bündel die Schallleistungspegel sowie für jedes einzelne Seil der Wert der Randfeldstärke bzw. deren Verlauf über dem Umfangswinkel bestimmen. Die mittlere Randfeldstärke E_m eines Stromkreises auf einer Einfachleitung mit drei Leiterbündeln kann nach [18] aus Gl. (1) berechnet werden. **Tabelle 1** gibt dazu die Werte für k_1 und k_2 in Abhängigkeit von der Teilleiteranzahl n_2 an.

$$E_m = \frac{1 + k_2 \cdot r_T / s}{n_2 \cdot r_T} \cdot \frac{1}{\ln \left[D_M / \left(r_B \cdot \sqrt{1 + (D_M / 2h_M)^2} \right) \right]} \cdot \frac{U}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

$$k_2 = 2(n_2 - 1) \cdot \sin(\pi/n_2)$$

$$D_M = (D_{AB} \cdot D_{AC} \cdot D_{BC})^{1/3}$$

$$h_M = (h_A \cdot h_B \cdot h_C)^{1/3}$$

$$r_B = r_T (k_1 \cdot s / r_T)^{(n_2-1)/n_2}$$

mit:

- r_T : Teilleiterradius des Bündels
- s : Teilleiterabstand des Bündels
- n_2 : Teilleiteranzahl des Bündels
- $D_{AB, AC, BC}$: Abstände zwischen den Leitern (= Phasen) A, B, C eines Stromkreises
- D_M : mittlerer geometrischer Abstand der Leiter eines Stromkreises
- $h_{A, B, C}$: Höhe der Leiter über dem Boden
- h_M : mittlere geometrische Leiterhöhe über dem Boden
- U : Betriebsspannung zwischen den Leitern (verkettete Spannung) in kV
- k_1 und k_2 : Parameter
- r_B : Bündelersatzradius

Praxiswerte für elektrische Randfeldstärken liegen zwischen 10 und 20 kV/cm (vgl. **Tabelle 2**). Im Hinblick auf die Intensität von Geräuschen und auf andere unerwünschte Effekte (Funkstörungen, Verluste), die mit der Randfeldstärke zunehmen, wird ein Richt-Maximalwert von 17 kV/cm als Stand der Technik angesehen.

Niederschlagsgeschehen

Die Tropfenbildung auf spannungsführenden Leiterseilen einer Höchstspannungsfreileitung als potenzielle Lärmquelle ist eng mit dem örtlichen Wetter- und insbesondere dem Niederschlagsgeschehen verknüpft.

Für Baden-Württemberg etwa gibt die Niederschlagskarte in **Bild 5** die regionalen Unterschiede wieder. Die Karte entstand aus den Daten von 370 Messstationen. Die Spanne reicht von 600 mm im Main-Tauber-Gebiet und in Flussniederungen an Rhein und Neckar bis zu 2 200 mm auf den Berghöhen des Schwarzwalds und im württembergischen Allgäu. Die Häufigkeit und Dauer von Niederschlagsereignissen ist allerdings nur aus zeitlich höher aufgelösten Messdaten zu gewinnen, wie etwa mm-Höhen im Verlauf eines Stunden- oder 5-Minuten-Intervalls, die nur von entsprechend ausgerüsteten und nicht flächendeckend verfügbaren Messstationen erfasst werden.

Beispielhaft zeigt **Bild 6** die kumulative Häufigkeit von Nachtstunden mit Niederschlagshöhen oberhalb eines bestimmten Schwellenwerts auf der Abszissenskala. Insbesondere geht aus diesem Diagramm hervor, dass es am Ort der Station pro Jahr rund 20 Nachtstunden mit Niederschlag von mindestens 3 mm/h gibt. Für eine Intensität über 0,5 mm/h, einer Schwelle, unterhalb der i. d. R. keine relevant erhöhten Leitungsgeräusche mehr zu erwarten sind, können ca. 175 Nachtstunden oder 2 % der gesamten bzw. 6 % der Nachtstunden abgelesen werden.

Wie lange Niederschlagsereignisse einer bestimmten Intensität andauern, ist wiederum aus noch höher aufgelösten Messungen auswertbar. **Bild 7** veranschaulicht für Freiburg, einem verhältnismäßig niederschlagsreichen Standort, den in der Tendenz reziproken Zusammenhang zwischen der Dauer und der Häufigkeit entsprechender Ereignisse. Kurze Schauer sind am weitaus häufigsten, während es eine Stunde oder länger ununterbrochen andauernde Niederschläge mit mehr als 0,1 mm/5 min (entspricht 1,2 mm/h) nur noch in 90 Fällen, wegen des zehnjährigen Betrachtungszeitraums also im Mittel neunmal pro Jahr gab. Ein einzelnes offenbar herausragend langes Ereignis dauerte fünfeinhalb Stunden, die mittlere Dauer der Ereignisse beträgt allerdings nur 20 bis 25 min.

Für größere Intensitäts-Schwellenwerte verschiebt sich das Niederschlagsgeschehen hin zu kürzeren Ereignissen, wobei auch deren Gesamtzahl abnimmt.

Im Hinblick auf die Immission von Leitungsgeräuschen ist einerseits der im Bereich 1 bis 8 mm/h in erster Näherung proportionale Anstieg der Emissionspegel mit der Niederschlagsintensität zu beachten. Andererseits halten starke Schauer nur kurz an und gehen häufig mit Wind oder auch Gewitter einher. Für die Bestimmung und Beurteilung von niederschlagsbedingten Leitungsgeräuschimmissionen hat sich daher eine Referenz-Niederschlagsstärke von 0,25 bis 0,3 mm/5 min, entsprechend 3 bis 4 mm/h („Landregen“) etabliert, bei dem deutlich erhöhte, möglicherweise störende Emissionspegel auftreten können, die auch in der Praxis mess- und vergleichbar sind.

Regengeräusch als Fremdgeräusch

Regenfälle verursachen insbesondere in der Umgebung von belaubter Vegetation, befestigten

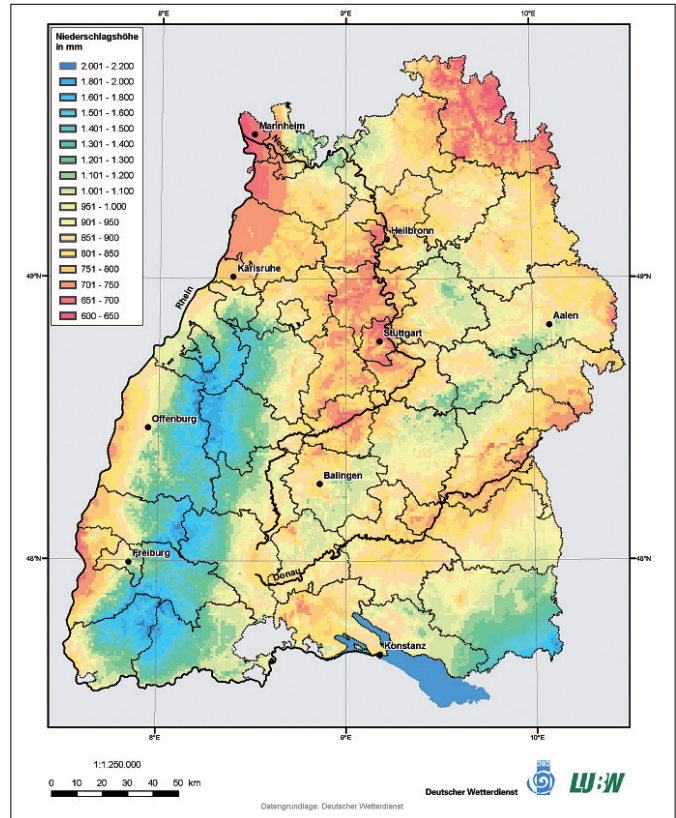


Bild 5 Niederschlagsmengen in Baden-Württemberg im Referenzzeitraum 1971 bis 2000. Quelle: [19]

Bodenflächen oder Gebäudedächern Geräusche, deren Pegel mit der Intensität des Niederschlags steigen. Diese Geräusche sind, abhängig vom Pegelabstand zum Anlagengeräusch, bei der Beurteilung von Koronageräuschen als Fremdgeräusch zu berücksichtigen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Geräuschimmissionen durch Regenfälle und Wind speziell in Ortsrandlagen und an Aussiedlerhöfen, also in solchen Umgebungen näher untersucht, in denen ggf. Koronageräusche häufig und typischerweise im Rahmen von Planungsverfahren immissionsschutzrechtlich zu prüfen sind.

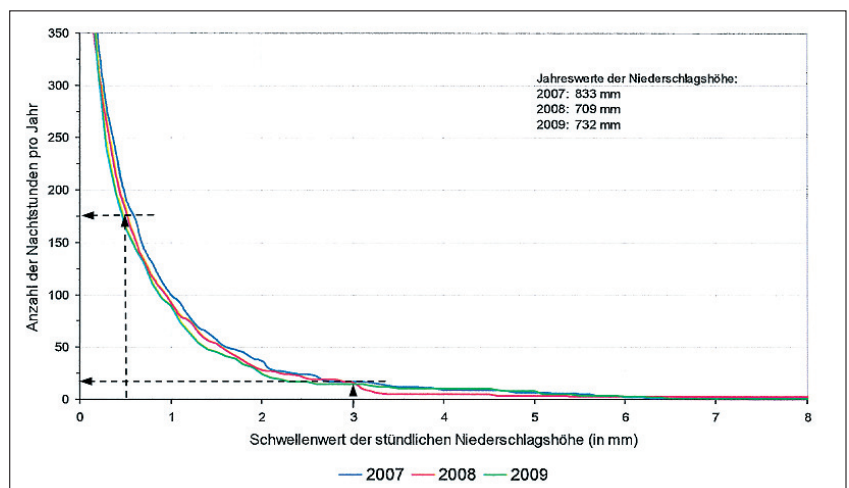


Bild 6 Kumulative Häufigkeit von Nachtstunden mit bestimmten Niederschlagshöhen. Quelle: DWD, Hydrometeorologie, [20]

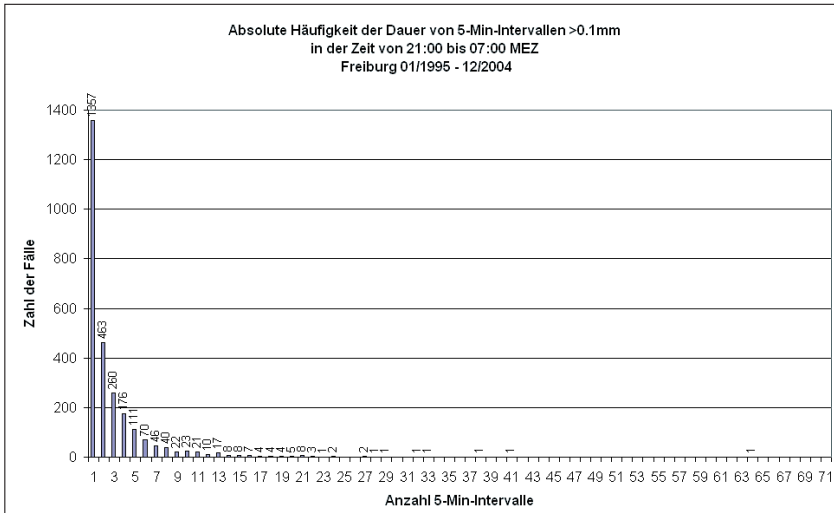


Bild 7 Häufigkeit der Dauer von Niederschlagsereignissen mit einer Stärke von > 0,1 mm pro 5-min-Intervall, entsprechend 1,2 mm/h

Quelle: DWD, Hydrometeorologie, [21]

Typische Ortsrandlagen mit schützenswerter Wohnbebauung zeichnen sich oft durch verdichtete Bebauung sowie vorgelagerte Gärten mit Rasenflächen und lockerer Busch- bzw. Baumbepflanzung aus. Daran grenzen meist landwirtschaftlich genutzte Flächen an, die z. T. mit Feldwegen durchzogen sind.

Aussiedlerhöfe bestehen aus Funktions-, Stall- und Wohngebäuden, die in eher großzügigem Abstand voneinander angeordnet sind. Die Flächen zwischen den Gebäuden sind i. d. R. befestigt. Am Rand der Grundstücke bzw. um die Wohngebäude herum befindet sich verdichtete Bepflanzung jeglicher Art (**Bild 8**).

Die Schalluntersuchungen zeigen, dass der wetterbedingte Fremdgeräuschpegel – erfasst wurden die Hintergrundgeräuschpegel L_{A95} – bei Regenintensitäten unter 4 mm/h und geringen Windgeschwindigkeiten (0,5 m/s bis 2,0 m/s) gleichermaßen aus Wind- und Regengeräuschen entsteht. Bei höheren Windgeschwindigkeiten dominiert der Windeinfluss.

Im Vergleich der beiden Situationen miteinander erweisen sich die wetterbedingten Fremdgeräuschpegel in der Aussiedlerhofsituation i. d. R. als stärker windabhängig als an einem typischen Ortsrand mit wenig und niedriger Bepflanzung.

Im Ergebnis werden insbesondere Koronageräusche, die in der Größenordnung des nächtlichen Immissionsrichtwerts nach TA Lärm für reine Wohngebiete von 35 dB(A) liegen, letztlich

durch wetterbedingte Hintergrundgeräusche überdeckt, die in Ortsrandlagen schon bei geringsten Windgeschwindigkeiten und Regenintensitäten mindestens 38 bis 39 dB(A) betragen. Bei stärkerem Regen > 3 mm/h sind dort 45 dB(A) und mehr zu erwarten. In der Situation eines landwirtschaftlichen Gehöfts im Außenbereich oder vergleichbarer Umgebungen liegen die gemessenen Hintergrundgeräuschpegel bei Regenintensitäten bis 4 mm/h zwar etwas niedriger als in Ortsrandlagen, schon bei geringen Windgeschwindigkeiten reichen sie jedoch ebenfalls an 45 dB(A) heran (siehe **Bild 9**).

Typische Regengeräuschspektren aus Messungen (bei geringen Windgeschwindigkeiten) sowie ein typisches Koronageräusch-Spektrum, gemessen in der Nähe einer Anlage, sind in **Bild 10** dargestellt.

Vergleich mit anderen Wetterbedingungen

Unmittelbar vergleichbare und zudem statistisch belastbare Messergebnisse von Leitungs-

geräuschen bei verschiedenen typischerweise geräuschträchtigen Wetterbedingungen sind nicht in großer Menge verfügbar. Sowohl die ausgewerteten Ergebnisse von Vor-Ort-Messungen [22] (**Bild 11**) als auch Erkenntnisse aus Laborversuchen [23] lassen aber folgende Aussagen zu:

- Bei Trockenheit liegen die Geräuschemissionspegel wesentlich – im Beispiel 10 bis 20 dB(A) – unterhalb denen bei Niederschlag und sind für eine immissionsschutzrechtliche Beurteilung in aller Regel belanglos.

- Regen und Schneefall erzeugen im Vergleich aller möglichen Wetterbedingungen die höchsten Immissionen.

- Raureif kann ebenfalls erhöhte Immissionen an Leitungen verursachen; gemessene Werte liegen aber noch deutlich (die Mittelwerte im Beispiel > 5 dB) unterhalb der entsprechenden Werte bei Niederschlag. Beobachtungen von natürlichen Raureifbelägen an Leitungsseilen und laborexperimentelle Erfahrungen zeigen keinen eindeutigen Zusammenhang der Geräuschemission mit der Dicke bzw. Menge des Belags, lassen jedoch eine Abhängigkeit von seiner individuellen, in der Natur weitgehend zufällig entstehenden Kristallstruktur vermuten. Neben der Höhe der Summenpegel werden dadurch auch tonale Anteile der entsprechenden Geräuschspektren beeinflusst. Raureifablagerungen können bei Minustemperaturen (bevorzugt < - 8 °C) auftreten, wenn zugleich



Bild 8 Ortsrandlage und Aussiedlerhof als typische Situationen für die Untersuchung von Regengeräuschen.

neblige und windstille oder windschwache Wetterlagen oder auch starker Dunst vorliegen [24]. Solche Bedingungen können regional über mehrere Tage anhalten. Aus langjährigen Erfahrungen der Höchstspannungsnetzbetreiber in Baden-Württemberg lässt sich jedoch schließen, dass auffällig erhöhte und für Anwohner störende Leitungsgeräusche infolge Raureifbesatz auf Leiterseilen nur selten ($< 1/a$) auftreten.

● Schneefall ist im Hinblick auf die Pegel von Leitungsgeräuschen im Grundsatz ähnlich wie Regenniederschlag zu werten. Wegen des geringen Anteils von Schneefall in Bezug auf die Gesamtniederschlagsstunden werden die Besonderheiten schneefallbedingt erhöhter Pegel nicht näher betrachtet.

● Nebel kann im Vergleich zu Trockenwetter ebenfalls zu erhöhten Geräuschemissionen führen. Die entsprechenden Schallpegel können zwar lang andauern, sie liegen jedoch noch weit unter denjenigen bei Regen oder Schneefall. Dies legen einerseits Messergebnisse, andererseits die bei Nebel nur in kleinsten Ausmaßen vorhandenen Wassertropfen als Ursache niederschlagsbedingt erhöhter Emissionen nahe. Im Beispiel der Messungen nach [22], bei denen allerdings nur auf zwei vergleichbare Ergebniswerte zurückgegriffen werden kann, beträgt die Differenz noch über 10 dB(A).

Schallemissionsermittlung

Grundsätzliches

Um mögliche Geräuschemissionen einer bestimmten Leitung bei ungünstigen Wetterbedingungen zu bestimmen, bieten sich semiempirische, d. h. teilweise mit experimentell gewonnenen Daten „gefittete“ Formeln aus der Literatur an, z. B. nach [17]. Die Vielfalt der angebotenen Formeln und die zwangsläufig divergierenden Ergebnisse für ein und denselben Fall können den Anwender jedoch verunsichern, zumal die große Bandbreite der Wetterbedingungen oft nur vage in die Berechnungen eingeht. Schallmessungen vor Ort sind andererseits mit hohem zeitlichen und technischen Aufwand verbunden. Im Gegensatz zu einer Berechnung bilden sie, so weit sie sich auf die gegenständliche oder eine in allen Belangen gleichartige Leitung beziehen, mehr oder weniger unmittelbar die Realität ab.

Schwerpunktmäßig in den Jahren 2006 und 2007 wurden deshalb im Auftrag der EnBW Transportnetze AG²⁾ Feldversuche an unterschiedlichen Leitungstypen durchgeführt.

Anforderungen an geeignete Messorte

Im Verlauf der jeweiligen Leitung muss zunächst ein geeigneter Messort mit besonderen Eigenschaften gefunden werden, nämlich

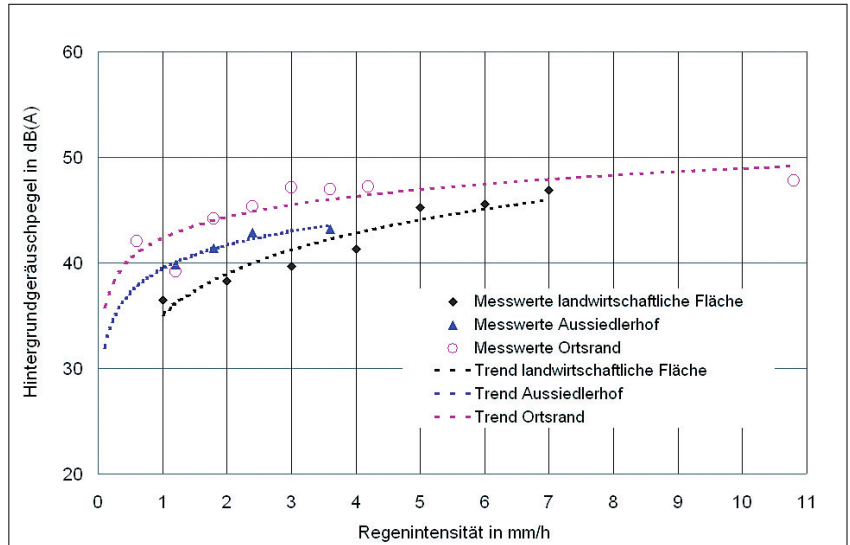


Bild 9 Messtechnisch untersuchte Eigengeräuschpegel von Regenfällen in unterschiedlichen Umgebungen.

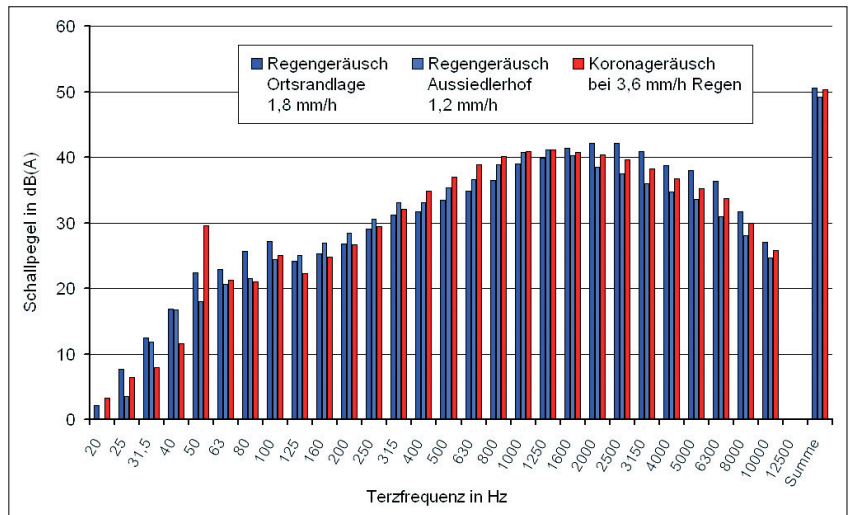


Bild 10 Terzspektren von Regenfällen und Koronageräuschen im Vergleich.

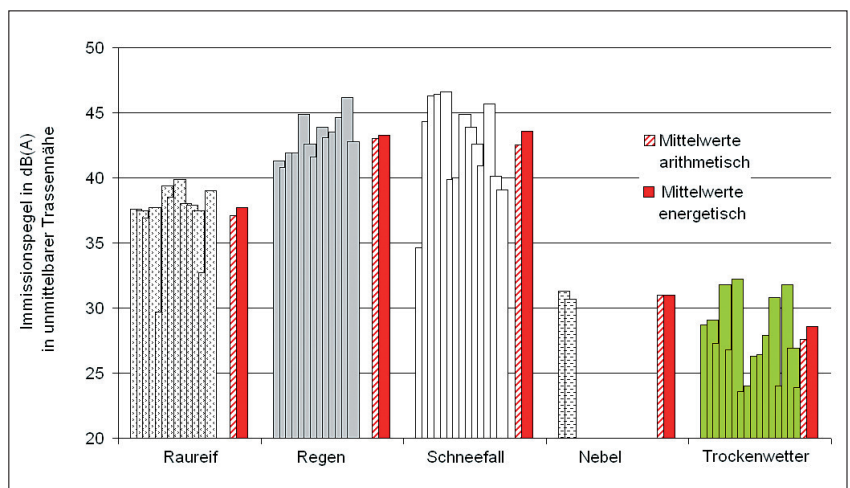


Bild 11 Messergebnisse Geräuschemissionen an einer 380-kV-Leitung bei verschiedenen Wetterbedingungen; Daten aus [22].

²⁾Seit 2012: TransnetBW GmbH, www.transnetbw.de.

- fern von Ansiedlungen und Verkehrswegen, aber dennoch mit möglicher Pkw-Zufahrt,
- möglichst reflexionsarme Bodenflächen, z. B. Wiese mit niedrigem Grasstand oder Acker,
- ebenes oder nur leicht geneigtes bzw. wenig hügeliges Gelände,
- möglichst ohne Bäume, Sträucher und mit ausreichend Abstand zu Wäldern oder auch Seen, Flüssen, Bächen,
- keine weiteren, möglicherweise geräuschemittierenden Höchstspannungsleitungen oder evtl. sonstige Fremdgeräuschquellen in der Nähe,
- bevorzugt 230-V-Stromanschluss in der Nähe zum Betrieb automatisierter Messstationen.

Automatisierte und geführte Messung

Üblicherweise sind die Versuchsaufbauten mindestens zwei bis drei Monate lang zu betreiben, bis die gewünschten Wetterbedingungen hinreichend oft anzutreffen und die Daten in statistisch brauchbarem Umfang zu gewinnen sind. Dies kann sowohl vollautomatisiert geschehen oder es können teilautomatische Anordnungen zum Einsatz kommen, deren Ergebnisse durch Beobachtungen eines anwesenden Messingenieurs ergänzt werden. Bei dieser Synthese können alle messgünstigen Wetterbedingungen genutzt und gleichzeitig Unsicherheiten bei der Interpretation der Ergebnisse minimiert werden, vor allem bei Beeinflussung durch Wind-, Regen- und sonstige Fremdgeräusche.

Zur Ermittlung der längenbezogenen Koronaemission der Leitung dient ein erhöht angeordneter Messpunkt in der Nähe der Leiterseile, wobei der erforderliche Sicherheitsabstand (empfohlen mindestens 5 m) einzuhalten ist. Zur Überwachung der unvermeidbaren Fremdgeräuscheinflüsse in der Umgebung bedarf es eines zweiten Mikrofonstandorts in etwas größerem Abstand von der Leitung. Alternativ dazu ist bei beobachteten Messungen auch mit nur einem Messpunkt eine Fremdgeräusch-Abschätzung zur sicheren Seite möglich.

Die Mikrofone müssen uneingeschränkt regenresistent und – bei Verwendung in unmittelbarer Nähe der Freileitungsseile – auch immun gegen die Einwirkungen relativ hoher elektrischer und magnetischer Felder sein. Wegen der besonderen Umgebungsbedingungen ist zudem auf gute Erdung der Geräte und elektromagnetisch verträgliche Verkabelung zu achten. Das Equipment für Stromversorgung und Überwachung der Geräte sowie für das Datenmanagement sind in einem wettergeschützten, abschließbaren Container oder Pkw-Anhänger unterzubringen.

Schließlich sind für die Messung der momentanen Niederschlagsintensität sowie weiterer Wetterdaten wie Temperatur, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit entsprechende Sensoren in der Nähe des Messorts zu installieren.

Die Erfassungsgrenze von Niederschlägen beträgt mit automatisch arbeitenden Wetterstationen bei der kleinsten Auflösung des Messgeräts meist 0,1 mm/5 min entsprechend 1,2 mm/h = 1,2 l/m²h. Die Auswertung der Messergebnisse erfolgt in Abhängigkeit von Regengruppen, z. B. in Vielfachen der kleinsten Regenstärke 1,2 mm/h. Unter der Annahme eines in erster Näherung linearen Zusammenhangs zwischen Niederschlagsintensität und Schalldruckpegel kann dieser für eine bestimmte Niederschlagsstärke – so etwa die Referenzstärke 3 bis 4 mm/h – mittels linearer Regressionsanalyse aus mehreren Datenreihen bzw. Stützpunkten bestimmt werden.

Messverfahren und Fremdgeräuschkorrektur

Insbesondere die automatisierte Messung erfordert zwei simultane unabhängig voneinander arbeitende Messketten. Das Mikro-

fon zur Aufnahme der Anlagengeräusche (Anlagenmesspunkt) wird auf einem Stativ z. B. in 2 bis 4 m Höhe unmittelbar unter oder mit nur wenig seitlichem Abstand zu den emittierenden Leiterseilbündeln aufgestellt. Das zweite Mikrofon in 50 bis 200 m Abstand vom ersten (Referenzmesspunkt) dient dem Zweck, Fremdgeräusche standortnah aber mit möglichst untergeordnetem Anlagengeräuschanteil zu erfassen. Einerseits können so etwa durch Verkehrsgeräusche oder Tierlaute nicht verwertbare Aufzeichnungssequenzen ausgeblendet oder auch der Immissionspegel um eher kontinuierliche Fremdgeräuschanteile, z. B. durch Regen, nach verschiedenen Verfahren korrigiert werden.

Messintervalle

Während der interessierenden Zeiträume mit Niederschlag werden die Zeitverläufe der Schallpegel frequenzabhängig für Terzfrequenzen zwischen 20 Hz und 20 kHz für unterschiedliche Mittelungszeiten aufgezeichnet. Als Periodenlängen können beispielsweise 1, 2 oder 20 s oder auch 5 min gewählt werden. Eine sinnvolle Verknüpfung eines Beurteilungspegels mit den entsprechenden Wetterbedingungen, insbesondere mit einer bestimmten Niederschlagsintensität, erfordert jedoch eine Betrachtungsdauer von mindestens 5 min oder länger. Diese kann unmittelbar durch Messung oder auch indirekt durch Zusammenfassung und Mittelung von Kurzintervallpegeln realisiert werden.

Fremdgeräuschkorrektur

Mit dem Ziel, Beurteilungspegel der Anlage mit möglichst geringem Fremdgeräuschgehalt zu gewinnen, wird bei allen Messungen eine Vorselektierung durchgeführt. Daten aus Zeitintervallen mit zu hohen Fremdgeräuschpegeln oder zu geringem Abstand zwischen Anlagen- und Fremdgeräusch werden hierbei verworfen. Weitergehende Auswertungen und die Fremdgeräuschkorrektur der verwertbaren Immissionspegel wurden bei verschiedenen Messinstituten unterschiedlich gehandhabt.

Perzentilpegel L_{AF95}

Zur Berücksichtigung teils häufig einwirkender aber nicht weiter quantifizierbarer Fremdgeräusche favorisiert ein Messinstitut die Verwendung des Perzentilpegels L_{AF95} (Hintergrundgeräuschpegel). Diese Vorgehensweise stellt sicher, dass diskontinuierliche, den energetischen Mittelungspegel L_{Aeq} maßgebend beeinflussende Fremdgeräusche innerhalb der fünfminütigen Messzeiträume nicht dem kontinuierlichen Anlagengeräusch (Koronaentladungen) zugeordnet werden.

Korrektur nach DIN 45645-1 bzw. DIN EN ISO 3744

($K_{1,3744}$)

Am häufigsten findet die Fremdgeräuschkorrektur nach DIN 45645-1 [25] bzw. DIN EN ISO 3744 [26] Anwendung. Sie ist zulässig, soweit der jeweils genannte Mindest-Fremdgeräuschabstand $\Delta L = L_{Anlage} - L_{Referenz}$ vorliegt. Der Korrekturwert K_1 kann dann aus ΔL bestimmt und vom Gesamtgeräusch am Anlagenmesspunkt abgezogen werden. Bei nur teilweise erfüllten Anforderungen an den Mindest-Fremdgeräuschabstand gilt nach [25] eine Obergrenze des Korrekturwerts von $K_{1,3744} = 1,3$ dB.

Energetische Subtraktion (K_1)

Bei der auf energetischer Subtraktion basierenden Fremdgeräuschkorrektur wird der Einfluss des Anlagenpegels am Referenzmesspunkt wegen des geometrischen Abstands als vernachlässigbar angenommen und als reiner Fremdgeräuschpegel L_{FG} mit gleicher Intensität wie am Anlagenmesspunkt betrachtet. Somit

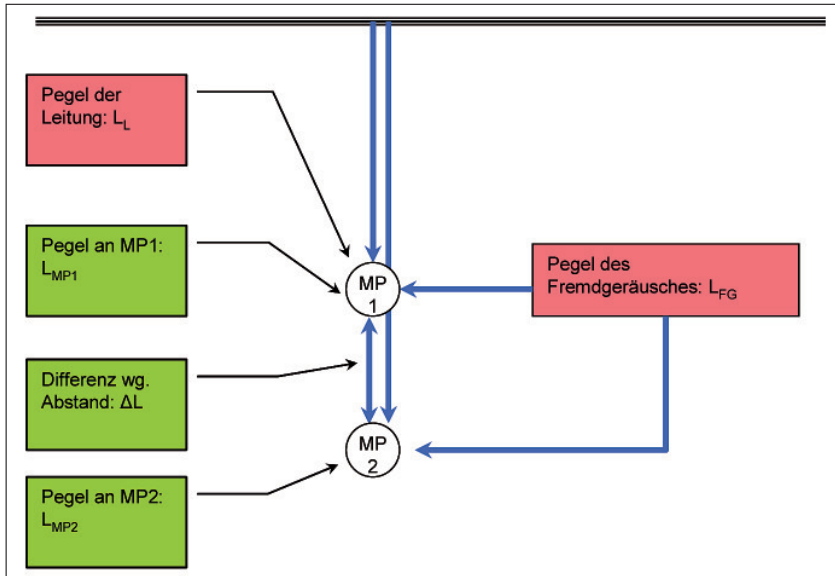


Bild 12 Fremdgeräuschkorrektur nach dem Differenzpegelverfahren.

ergibt sich der korrigierte Immissionspegel für den Anlagenmesspunkt zu:

$$L1_{K1} = 10 \log (10^{0,1 \cdot L1} - 10^{0,1 \cdot L2})$$

mit

L1 Schallpegel am Anlagenmesspunkt

L2 Schallpegel am Referenzmesspunkt

Die Fremdgeräuschkorrektur K1 erfolgt in allen Terzpegeln. Bei kleinen oder negativen Differenzen ist:

$$L1_{K1} = L1 - 10 \text{ dB}$$

Differenzpegelverfahren, iterativ (L2)

Eine weitere, mit L2 bezeichnete Methode zur Fremdgeräuschkorrektur basiert auf einem analytischen nichtlinearen Ansatz mit iterativem Lösungsverfahren. Der Einfluss des Anlagenpegels LL am Referenzmesspunkt und das rechnerisch ermittelte Abstandsmaß ΔL_1 werden dabei berücksichtigt. Die Höhe des Fremdgeräuschpegels L_{FG} wird für beide Messpunkte als gleich groß vorausgesetzt (**Bild 12**).

Der Lösungsansatz für das Korrekturmodell L2 lautet:

$$L_{MP1} = 10 \log (10^{0,1 \cdot LL} + 10^{0,1 \cdot LFG})$$

$$L_{MP2} = 10 \log (10^{(0,1 \cdot LL - 0,1 \cdot \Delta L)} + 10^{0,1 \cdot LFG})$$

mit

LL Schallpegel der Leitung

LFG Fremdgeräuschpegel

ΔL Abstandsmaß: $\Delta L = L1 - L2$

Die Fremdgeräuschkorrektur L2 erfolgt in allen Terzpegeln.

Geräuschtrennverfahren nach [27; 28]

Dieses Verfahren wird üblicherweise bei höher abgetasteten Schallpegelzeitverläufen eingesetzt und bedarf daher bei der Dauerüberwachung einer aufwendigeren Messtechnik als die, die im Rahmen der dokumentierten Untersuchungen eingesetzt werden konnte. Die Auswertung erfolgte daher nur exemplarisch – und nur für den Summenpegel. Vorteile des Geräuschtrennverfahrens nach [27] sind vor allem

- die qualitätsgeprüfte Auswertung und Dokumentation des Endergebnisses „Beurteilungspegel mit Aussagesicherheit“,

- die Ermittlung von oberen und unteren Vertrauensbereichsgrenzen der ermittelten Ergebnisse,

- Nachweis und Dokumentation der im Vollzug der Immissionsschutzbestimmungen (TA Lärm) vorgeschriebenen Geräuschtrennung von Anlagen- und Fremdgeräusch.

Die bereits bei dieser exemplarischen Auswertung erzielten Ergebnisse lassen erwarten, dass das Verfahren in der Lage ist, Anlagen- und Fremdgeräusch auch unter zusätzlich erschwerten Bedingungen (etwa zusätzliches Verkehrsgeräusch) bei entsprechender Verwendung geeigneter Messtechnik TA-Lärm-konform voneinander zu trennen (**Bild 13**).

Ermittlung der Schalleistungen

Die Rückrechnung zum längenbezogenen Schalleistungspegel L'_{WA} in dB(A) aus den Immissionspegeln und -spektren wird üblicherweise anhand der Ermittlung des Schallquellenkorrekturfaktors aus dem Hüll-

flächeninhalt vorgenommen. Wegen der komplexen Geometrie einer Hochspannungsfreileitung mit linienförmigen Quellen – je nach Anzahl der Stromkreise 3, 6 oder mehr Leiterbündel mit Durchhang – bedarf die Berechnung eines dreidimensionalen Modells der jeweiligen Ausbreitungssituation. Die Rückrechnung erfolgt frequenzselektiv nach dem detaillierten Verfahren nach DIN ISO 9613-2 [29]. Für die Bodendämpfung wurde entsprechend den örtlichen Gegebenheiten am Messort – stark absorbierender Boden (Gras- oder Ackerfläche), meist mit Feldweg – ein Bodenfaktor $G = 0,8$ angenommen (**Bild 14**).

Bei der Rückrechnung wurde ursprünglich im ersten Ansatz angenommen, dass sich alle Leiterbündel akustisch gleich verhalten. Aus der begleitenden theoretischen Berechnung nach EPRI gehen jedoch – gelegentlich erhebliche – Unterschiede der einzelnen Leiterbündel (Phasen) hervor, was auf unterschiedliche Abstände zu den übrigen Leiterbündeln und demnach auf ein unterschiedliches Niveau der elektrische Randfeldstärken zurückzuführen ist. Aus der Kenntnis der berechneten Einzelschalleistungen können die aus der Messung ermittelten Emissionsansätze analog phasenweise gewichtet und dadurch noch besser an die realen Verhältnisse angepasst werden.

Ergebnisse – Schalleistungen in der Zusammenschau

Die elektrische Randfeldstärke an Leiterseilen einer Höchstspannungsfreileitung ist nicht die einzige, aber die deutlich dominierende Einflussgröße für die Schallemission bei einer bestimmten Niederschlagsstärke. Die Randfeldstärken beinhalten als Einflussgrößen bereits alle geometrischen Eigenschaften der Leitung und ihrer Umgebung sowie die Betriebsspannung.

In **Bild 15** sind Schalleistungen, die einerseits aus den Messungen im Rahmen der Feldstudien und andererseits aus der EPRI-Berechnung stammen, in Abhängigkeit von einem der Leitungsanordnung entsprechenden Randfeldstärkewert für die Leiterseile bei 410 kV Betriebsspannung aufgetragen.

Die als ausgefülltes Dreieck, Quadrat oder kreisrund ausgewiesenen Datenpunkte repräsentieren für jede Leitungsanordnung gemittelte, jedoch auf der sicheren Seite liegende Prognose-schallwerte. Aus den entsprechenden Datenreihen wurden diese meist durch Mittelung und Addition der Messunsicherheit gewonnen. Die Vertrauensbereiche für diese Schallwerte wer-

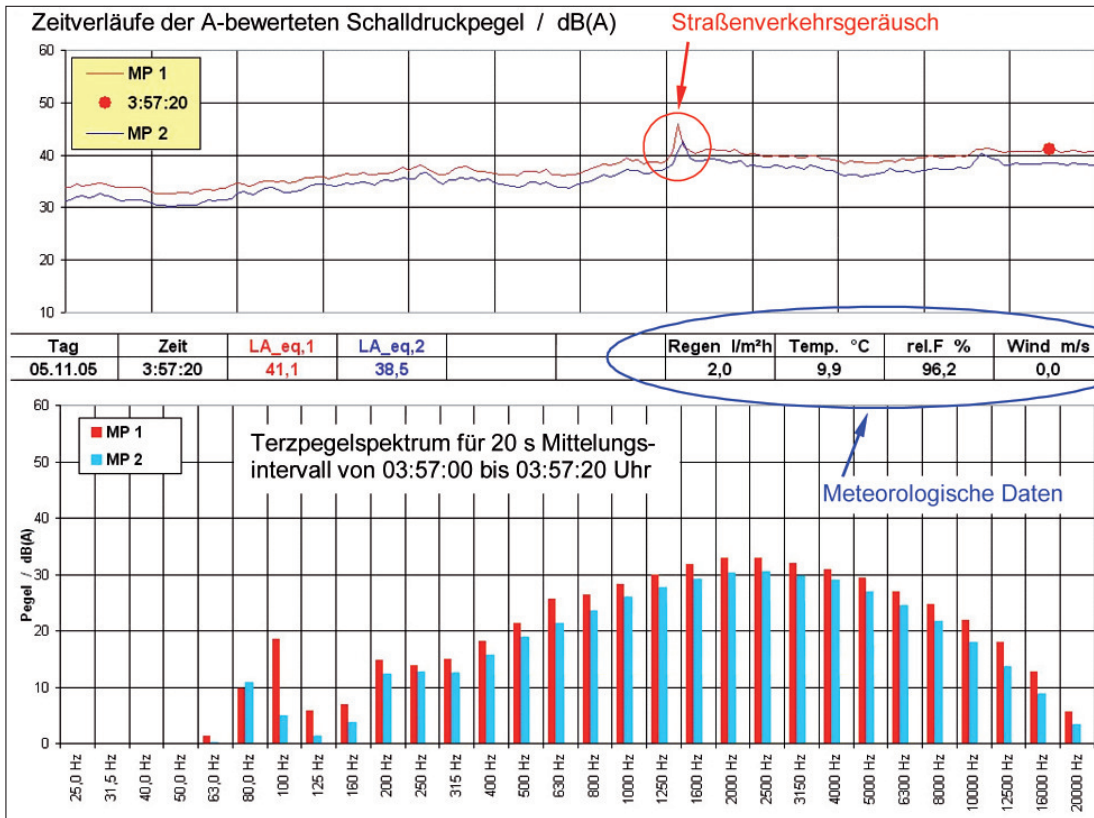


Bild 13 Dokumentation der Terzspektren an den Messorten MP1 und MP2.

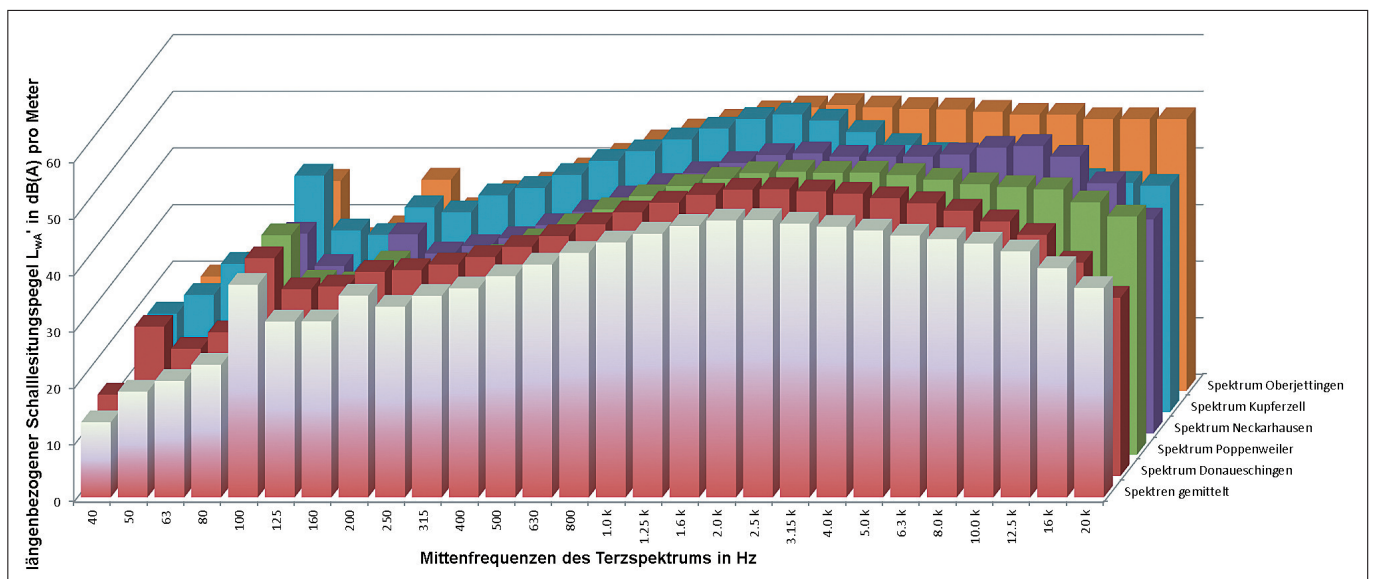


Bild 14 Emissionsspektren von Koronageräuschen bei Regen, normiert auf $L'_{WA} = 60$ dB(A) pro Meter.

den durch senkrechte Balken entsprechender Länge gekennzeichnet.

Die als Abszissenwert zugewiesene „Randfeldstärke in kV/cm“ jeder Leitungsanordnung ist das arithmetische Mittel der Randfeldstärkewerte der einzelnen Bündel (= Phasen) eines Leitungsstromkreises, das wiederum durch arithmetische Mittelung der Einzelseil-Maxima jedes Bündels bestimmt wird.

Die beträchtliche Streuung der Ergebnisse – sowohl innerhalb der einzelnen Messreihen als auch im Vergleich verschiedener Messorte an Leitungen mit ähnlichen Randfeldstärken – spiegelt die realen

Bedingungen bezogen auf die (einige Minuten dauernden) Messintervalle wider. Im Vergleich mit den Rechenwerten nach EPRI liegen die Messwerte jedoch ausnahmslos höher, was die prinzipiell vorhandene Beurteilungssicherheit erkennen lässt. Die verbleibende Streubreite des Ergebnisses nach oben ist gering. Bei der definierten Niederschlagsintensität und bezogen auf die jeweils gewählte Messintervalldauer beträgt die Wahrscheinlichkeit einer Überschreitung < 5%.

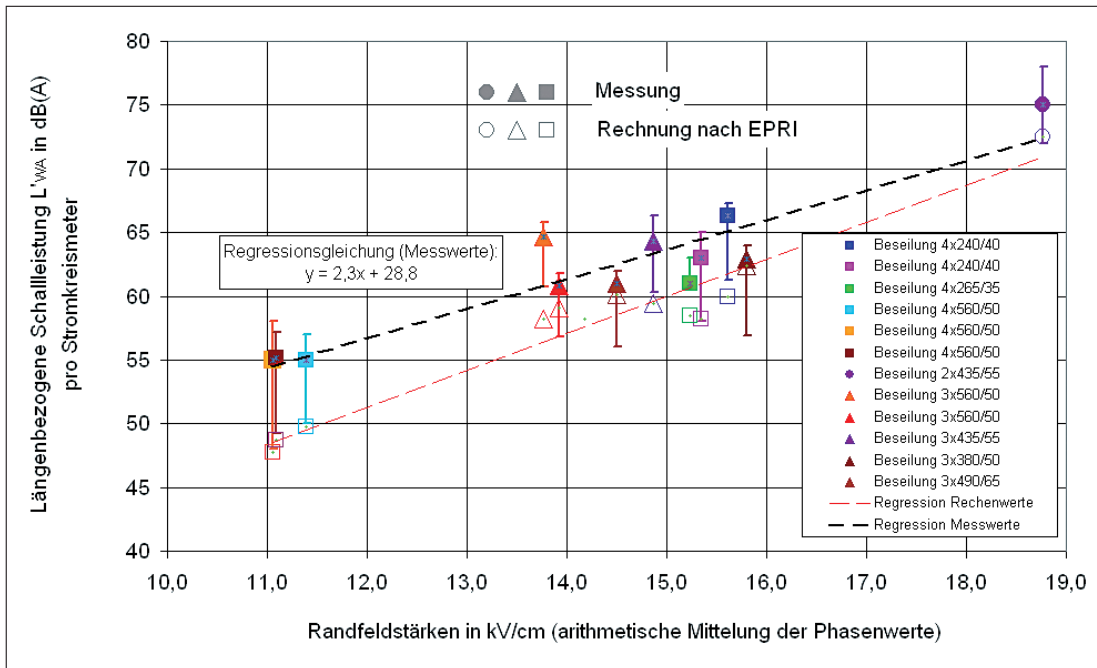


Bild 15 Schalleistungen in Abhängigkeit elektrischer Randfeldstärken. Vermutliche Ursache auffällig großer Abweichungen der Messergebnisse über die Schalleistung gemäß Regressionsgerade: Fremdgeräuschkorrektur nur mit hoher Unsicherheit (z. B. Baumbestand und Wind). Mögliche Ursache des nicht parallelen Verlaufs der Regressionsgeraden für Mess- und EPRI-Rechenwerten: geringer werdende Unsicherheiten durch Fremdgeräuscheinfluss bei lauterem Leitungen mit höheren Randfeldstärken. Die Randfeldstärke (Abszissenachse) kann für Leitungen mit einem Stromkreis mit der Formel (1) bestimmt werden.

Randbedingungen für die rechnerisch und messtechnisch gewonnenen Ergebnisse

Niederschlagsgeschehen

Alle Ergebnisse beziehen sich auf 3,5 mm/h Regen (EPRI-Berechnung) bzw. 3 bis 4 mm/h Niederschlag (Messung), was als Referenzintensität für die spätere Beurteilung dient. Bei der EPRI-Rechnung wird von mit Wasser gesättigten Leiterseilen ausgegangen. Dies setzt kontinuierlichen, nicht nachlassenden Regen der angegebenen Intensität sowie entsprechend starken bzw. lang anhaltenden Regen zuvor voraus. Real gemessene Niederschlagsintensitäten werden als gesammelte Wassermenge während eines 5-Minuten-Intervalls erfasst und nur durch einen einzigen Messwert beschrieben. Dieser berücksichtigt weder einen genaueren Niederschlagsverlauf während des Messintervalls noch die Bedingungen davor.

Oberflächenzustand der Leiterseile

Für die EPRI-Berechnung wird ein Alter der Leiterseile von ein bis zwei Jahren und damit eine eher geringe Hydrophilie der Oberfläche zugrunde gelegt. Die in den Feldstudien gemessenen Leitungen waren überwiegend deutlich älter, z. T. > 20 Jahre.

Als Referenz für niederschlagsbedingte Schalleistungen vorhandener oder geplanter Leitungen werden aus diesem Grund sowie auch im Hinblick auf langfristige Prognosen alte bzw. entsprechend vorbehandelte neue Leiterseile empfohlen.

Betriebsspannung

Für die berechneten Schalleistungen und Randfeldstärken wird eine Betriebsspannung von 410 kV zugrunde gelegt. Die reale Betriebsspannung an den messtechnisch untersuchten Leitungen schwankte gemäß den unterschiedlichen Bedingungen des Netzbetriebs und lag überwiegend zwischen 400 und 420 kV.

Bei den Feldstudien verbleiben also schwankende bzw. in der Praxis nicht oder nur ungenau bekannte Parameter, wie Alter und Zustand der Leiterseile, Regen mit feinen oder groben Tropfen, Graupel, Schneefall, Vorsättigung der Leiterseile, Betriebsspannung. Da trotz mehrmonatiger Erfassung der Umfang verwertbarer Daten begrenzt ist können diese Unsicherheiten zu einer erhöhten Streuung der Ergebnisse in Bezug auf den Gesamttrend führen.

Ergebnistrends

Aus den genannten Gesetzmäßigkeiten sowie den vorliegend messtechnisch ermittelten Schallwerten sind anhand der Zusammenschau folgende Aussagen und Trends ableitbar:

- Die längenbezogene Schalleistung einer Leitung L'_{WA} in dB(A) ist in erster Näherung linear von der mittleren Randfeldstärke auf der Beseilung abhängig, siehe Regressionslinien. Im Hinblick auf die verfügbare Datenmenge bezieht sich diese Trendaussage schwerpunktmäßig auf Leitungen mit Dreier- und Viererbündelbeseilung sowie auf eine Leitung mit Zweierbündel.
- Die durch Messung gewonnenen Schalleistungen liegen ausnahmslos und in den meisten Fällen sehr deutlich über den nach den EPRI-Formeln berechneten Schalleistungen.
- Die Vertrauensbereiche der Einzelergebnisse berühren oder überdecken die Linie „Regression Messung“ in den meisten Fällen. In den drei Fällen ohne Überdeckung liegt der Vertrauensbereich komplett unterhalb des Trends, es wurden aus den Messungen also deutlich geringere Schalleistungen ermittelt als die entsprechende Regressionslinie angibt.

Fazit und Ablesung von längenbezogenen Schalleistungen projektierte Leitungsanordnungen für Prognosezwecke

Die Schalleistungspegel können in erster Näherung und im Mittel als Funktion von der Randfeldstärke ausgedrückt werden, wobei diese Funktion näherungsweise mit einer Geraden beschrieben wird.

Wegen der vermuteten Ursachen, nämlich meist zufällige und kurzfristig, jedoch nicht willkürlich veränderliche Einflussgrößen, erscheint die Mittelung über verschiedene Leitungsanordnungen gerechtfertigt und im Hinblick auf eine möglichst breite Datenbasis sogar empfehlenswert.

Der enorme Aufwand geeigneter Langzeit-Schalluntersuchungen sowie das in Deutschland erst seit der Novellierung der TA Lärm 1998 erwachsene Interesse an niederschlagsbedingt höchsten Leitungsgeräuschpegeln erklärt, weshalb der Umfang vorliegend präsentierter Daten hoher Qualität bisher einzigartig ist. Für Immissionsprognosen an 380-kV-Leitungen beliebiger Geometrie, deren Randfeldstärken berechenbar und deren Leiterseile gealtert oder

entsprechend vorbehandelt sind, kann somit aus dem Verlauf der Linie „Regression Messung“ ein Kurzzeit-Schallleistungspegel für 3 bis 4 mm/h Niederschlag entnommen werden, der bei beliebigen Leitungsanordnungen mit entsprechenden Randfeldstärken an den Leiterseilen mit großer Wahrscheinlichkeit in der Praxis nicht überschritten werden wird. Prognosesicherheitsaufschläge sind bereits in der Regressionsgeraden enthalten, sodass weitere Sicherheitszuschläge im Hinblick auf die beschriebenen Hintergründe nicht für notwendig erachtet werden.

Immissionsermittlung, Bildung der Beurteilungspegel

Immissionsermittlung

Hoch- und Höchstspannungsleitungen zählen zu den „nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen“ im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes [30]. Bei der Prüfung der Pflichten des Anlagenbetreibers nach § 22 dieses Gesetzes erfolgt die Ermittlung der Art und des Ausmaßes der von der Anlage ausgehenden Emissionen sowie der Immissionen im Einwirkungsbereich der Anlage nach TA Lärm [14]. Die TA Lärm gibt im Anhang unter Abschnitt A.2.3. die Vorgehensweise bei der Erstellung einer Prognose vor. Bei der Prognose von Anlagengeräuschen sind demnach Situationen im sog. „Regelbetrieb“ zu betrachten, die zu den höchsten Beurteilungspegeln führen.

Besonderheiten bei einer Leitungsgeräuschprognose

Bedingungen, die zu relevanten Schallemissionen von Höchstspannungsleitungen führen, sind nicht beeinflussbar und schwanken jahreszeitlich, täglich oder mitunter stündlich. Dies führt dazu, dass Leitungsgeräusche i. d. R. ausschließlich anhand der empfindlicheren nächtlichen Immissionsrichtwerte beurteilt und über eine Stunde gemittelt werden müssen. Beurteilungspegel für die lauteste Nachtstunde werden jedoch täglich Differenzen zum Vortag und zum Folgetag aufweisen.

Nach [14] bzw. [25] sollen bei ungeeigneten Messbedingungen keine Messungen von Anlagengeräuschen durchgeführt werden. Hierzu zählt insbesondere stärkerer Regen, Schneefall o. ä. Andererseits führen aber gerade solche „ungeeigneten“ Wetterbedingungen, die zudem lokal nur schwer vorhersagbar sind und einer wechselhaften statistischen Unsicherheit unterliegen, bei Geräuschen von Höchstspannungsanlagen zu den höchsten Beurteilungspegeln. Nach TA Lärm sind mithin solche „ungeeigneten“ und stark schwankenden Bedingungen für eine Beurteilung heranzuziehen. Hier besteht ein offensichtlicher Widerspruch im Umgang mit solchen Geräuschen nach TA Lärm.

Neben dem Dilemma, bei einer Beurteilung von niederschlagsbedingten Leitungsgeräuschen immer gegen eine oder mehrere Festlegungen in der TA Lärm verstoßen zu müssen, hat der Gutachter mit statistisch höchst unsicheren Ansätzen umzugehen, etwa dem des „mittleren“ Schalleleistungspegels in der jeweiligen Einwirkzeit oder dem der Einwirkzeit selbst, die durch das Wettergeschehen bestimmt ist. Vor diesem Hintergrund erscheint eine 16-h-Mittelung, die zur Bildung eines Beurteilungspegels für den Tagzeitraum gefordert ist, noch schwieriger als die 1-h-Mittelung, wenn nicht sogar unmöglich.

Der Ansatz hoher Niederschlagsstärken, die für die Beurteilung von Koronageräuschen auf die „sichere Seite“ führt, lässt sich andererseits kaum mehr dem begrifflichen Sinn eines Regelbetriebs zuordnen, sondern stößt statistisch gesehen alsbald an die Grenzen für „seltene Ereignisse“ (zehn Tage oder Nächte im Jahr mit voraussehbaren Besonderheiten).

Die Erfahrungen im Umgang mit Koronageräuschen auf der Basis der zuvor gemachten Ausführungen zeigen, dass folgende Vorgehensweise in der Praxis den Anforderungen nach TA Lärm am ehesten gerecht wird.

Ansätze für den Regelbetrieb, Ausbreitungsberechnung

Für den Regelbetrieb wird vorgeschlagen, eine Regenintensität von 3 bis 4 mm/h heranzuziehen und darauf bezogene längenbezogene Schalleleistungspegel (z. B. aus Bild 15) zu verwenden. Dieser Ansatz berücksichtigt die höchste zu erwartende Schallabstrahlung von Höchstspannungsleitungen mit einer nächtlichen Einwirkdauer, die mehrfach nicht deutlich unter einer vollen Stunde liegt. Die Ausbreitungsberechnung sollte entsprechend den Ausführungen in Abschnitt A.2.3. der TA Lärm frequenzabhängig durchgeführt werden. Dabei sollte die Luftabsorption für 10 °C und 90 % relative Luftfeuchte berechnet werden. Dies entspricht nach den Erfahrungen bei den Feldversuchen den Bedingungen bei einem Regenereignis in einer Herbstnacht.

Bei der Bildung der Beurteilungspegel für den Nachtzeitraum sollte als Einwirkzeit im Sinne einer „worst-case“ Betrachtung realer Regenperioden eine volle Stunde angesetzt werden.

Für die Ausbreitungsberechnung nach DIN ISO 9613-2 [29] kommen – auch für Leitungsgeräusche – einschlägig bekannte und nach [31] qualitätsgeprüfte Softwaretools zum Einsatz. Daneben wurde auch ein vereinfachtes Rechenwerkzeug speziell für Leitungsgeräuschprognosen entwickelt [32].

Korrekturen, Zuschläge

Der Beurteilungspegel berechnet sich nach Gl. G2 der TA Lärm, wobei eine Reihe von Korrekturen und Zuschlägen zu beachten sind.

Die meteorologische Korrektur C_{met} soll berücksichtigen, dass i. d. R. nicht während des ganzen Jahres eine leichte Mitwindsituation vorliegt. Bei der Ausbreitungsberechnung wird jedoch eine solche berücksichtigt und auch bei den Schallimmissionsmessungen nach TA Lärm soll eine solche vorliegen. Der Korrekturfaktor C_{met} führt daher im Rahmen der Bildung eines Langzeitmittelungspegels immer zu einer Verminderung des Beurteilungspegels. Im Folgenden wird noch diskutiert, wie ein für die besondere Situation von Leitungsgeräuschen geeigneter Langzeitkorrekturfaktor für die jährliche Verteilung der Regenmengen aussehen könnte.

Der Zuschlag für Ton- und Informationshaltigkeit K_T soll die subjektiv erhöhte Störwirkung von reinen Tönen (z. B. Summen einer Mücke) oder echter Informationsinhalte (z. B. verständliche Lautsprecherdurchsagen) berücksichtigen. Dieser Zuschlag ist dann zu geben, wenn er am Immissionsort subjektiv wahrnehmbar ist. Der Zuschlag kann 3 dB oder 6 dB betragen. Leitungsgeräusche enthalten einen aus den umliegenden Frequenzbändern hervortretenden Ton mit 100 Hz, seltener und ggf. meist schwächer ausgeprägt mit höheren Harmonischen der Netzfrequenz. Insbesondere bei regenbedingten Leitungsgeräuschen stechen diese Einzeltöne jedoch meist nicht deutlich über den Gesamtverlauf des Geräuschspektrums hinaus. Bei Prognosen und bei Schallimmissionsmessungen, bei denen die Leitungsgeräusche nicht durch andere Geräusche verdeckt oder verändert werden, ist daher ein Zuschlag von 3 dB gerechtfertigt.

Eine Berücksichtigung des Regengeräuschs als Fremdgeräusch lässt die TA Lärm zwar nur für solche Fälle zu, in denen kein Zuschlag für Ton- oder Impulshaltigkeit erforderlich ist. Die rechnerische Überlagerung der Spektren von Koronageräuschen mit denen der Regen-Eigengeräusche (siehe Bild 10) offenbart jedoch schon bei geringen Abständen vor allem zu einer eher „leisen“ Leitung ein

hohes Maß an Überdeckung, sodass die Berücksichtigung eines Tonzuschlags nicht mehr geboten ist.

Aus Abstandsmessungen [33] geht hervor, dass auch bei relativ hohen Emissionspegeln insbesondere in größeren Entfernungen (≥ 100 m) und nach subjektiver Beurteilung die Voraussetzungen für einen Tonzuschlag nicht mehr grundsätzlich gegeben sind.

Der Vergleich im Bild 10 zeigt, dass sich Corona- und Regen- geräusche in ihrer Charakteristik ähnlich sind. Insbesondere bei rund 1 bis 4 kHz haben beide Geräuscharten Maxima, wobei die Regengeräusche breitbandiger sind. Wegen der Überdeckung kann davon ausgegangen werden, dass sich die Zuordnung der Geräusche dem menschlichen Ohr nur aus der geometrischen Ortung und nicht mehr aus der Geräuschcharakteristik der Schallquellen erschließt.

Der Zuschlag für Impulshaltigkeit K_I soll die subjektiv erhöhte Störwirkung von impulshaltigen Geräuschen berücksichtigen. Auch dieser Zuschlag soll nur gegeben werden, wenn die Störwirkung am Immissionsort auftritt. Leitungsgeräusche sind nicht impulshaltig, sodass auch kein Impulzzuschlag gerechtfertigt ist. Zwar können Leitungsgeräusche anschwellen und dann wieder abfallen. Ein solches Geräuschverhalten tritt aber, anders und häufig in stärkerem Maß als durch die Abhängigkeit von der Regenmenge, auch bei anderen technischen Anlagen auf und wird gleichwohl auch hier nicht mit einem gesonderten Zuschlag berücksichtigt.

Der Zuschlag für Tageszeiten mit erhöhter Empfindlichkeit (Ruhezeit) K_R soll dem erhöhten Schutzanspruch für bestimmte Tageszeiträume innerhalb von Wohngebieten Rechnung tragen und ist unabhängig von der Art der Geräusche zu geben. Da jedoch Leitungsgeräusche ohnehin nur während der Nachtstunden beurteilt werden, hat diese Regelung hier keine Bedeutung.

Langzeitbeurteilungspegel von Koronageräuschen

Für die Prognose ist die Ausbreitungsberechnung nach DIN ISO 9613-2 [29] durchzuführen. Darin sind spezielle Terme für eine schallausbreitungsgünstige Witterungssituation (Mitwind und/oder Inversion) dargestellt. Abweichungen von dieser Ausgangssituation für unterschiedliche Windsituationen werden bei der Ermittlung des sog. langfristigen Mittels zugelassen. Die Norm [29] spricht gar davon, dass häufig ein A-bewerteter Langzeitbeurteilungspegel benötigt wird, dessen Zeitintervall mehrere Monate bis ein ganzes Jahr umfasst.

Für die Bildung eines Langzeitbeurteilungspegels bei Geräuschen durch Höchstspannungsanlagen ist das Verfahren der Bewertung der Häufigkeiten unterschiedlicher Windrichtungen in Bezug auf Mitwind, Querwind und Gegenwind und den damit zusammenhängenden Pegelminderungen ungeeignet. Es existiert flächendeckend keine Statistik, die solche Windrichtungen mit Regenereignissen in einem entsprechend ausreichend hochauflösenden Zeitverlauf in Zusammenhang bringen. Nur eine solche Statistik wäre jedoch sinnvoll, um eine entsprechende Korrektur anzubringen.

Für die Beurteilung von Koronageräuschen an Höchstspannungsleitungen wird daher ein aus dieser Methodik abgeleitetes Verfahren vorgeschlagen, das als Ersatz für die Berücksichtigung von C_{met} den Faktor „ $C_{Niederschlag}$ “ bestimmt [34]. Eine zukünftig breite Akzeptanz in der Fachwelt hierzu wäre wünschenswert.

Faktor $C_{Niederschlag}$

Das Korrekturglied $C_{Niederschlag}$ für die Häufigkeit des Auftretens von Niederschlagsereignissen wird den genannten Umständen bei

der Beurteilung von Koronageräuschen gerecht. Dabei kann dieses Korrekturglied sowohl bei der Bildung eines Langzeitbeurteilungspegels verwendet werden, also auch bei einer Sonderfallprüfung. In diesem Fall wird diese Korrektur aus fachlich-formaler Sicht als ein Maß betrachtet, in dem eine Überschreitung der Immissionsrichtwerte als noch zumutbar erscheint.

Zur Bestimmung des Korrekturglieds $C_{Niederschlag}$ wird empfohlen, das von der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) vorgeschlagene statistische Korrekturverfahren analog anzuwenden, das die Häufigkeiten des Auftretens unterschiedlicher Windrichtungen berücksichtigt, siehe Auslegungshinweise zur TA Lärm [35]. Dazu wird zwischen einem detaillierten Verfahren und einem einfachen Verfahren unterschieden.

Beim detaillierten Verfahren wird Gl. G2 aus [35] entsprechend den vorliegenden Erkenntnissen aus den Feldversuchen auf die Niederschlagsituationen übertragen.

$$|C_{Niederschlag}| = 10 \cdot \log \left(\frac{T_S}{100} \cdot 10^{K_S/10} + \frac{T_L}{100} \cdot 10^{K_L/10} + \frac{T_{KR}}{100} \cdot 10^{K_{KR}/10} \right) \leq 5 \text{ dB}$$

Dabei bedeuten:

T_S, T_L, T_{KR} : Anteile von Wetterlagen mit starkem Regen (Index S), leichtem Landregen (Index L) und keinem Regen bzw. Nebelsituationen o. ä. (Index kR), in Prozent der nächtlichen Jahresstunden K_S, K_L, K_{KR} : Pegelabweichungen für Wetterlagen mit starkem Regen (Index S), leichtem Landregen (Index L) und keinem Regen (Index kR) gegenüber dem Auslegungsfall, dem leichtem Landregen.

Hierbei wird folgende Einteilung zugrunde gelegt:

Sprühregen bis leichter Landregen: $\geq 0,5$ mm/h bis < 4 mm/h

starker Regen: ≥ 4 mm/h bis < 8 mm/h

Starkregen/Gewitterregen³⁾: ≥ 8 mm/h

Aus den Ergebnissen der Feldstudien ergeben sich folgende Pegelabweichungen:

Sprühregen bis leichter Landregen (Auslegungsfall): $K_{LR} \pm 0$ dB

starker Regen: $K_S + 3$ dB

kein Regen: $K_{KR} - 5$ dB⁴⁾

Rechtliche Einordnung

Errichtung und Betrieb sowie die Änderung von Hoch- und Höchstspannungsfreileitungen mit einer Nennspannung von 110 kV oder mehr bedürfen gemäß § 43 Satz 1 Nr. 1 Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) [36] der Planfeststellung. Die Durchführung des energierechtlichen Planfeststellungsverfahrens ist in §§ 43 ff. EnWG und in §§ 72 ff. Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfG) [37]⁵⁾ geregelt. Diese Vorschriften gelten auch für die im Jahre 2009 durch das Gesetz zum Ausbau von Energieleitungen (Energieleitungsausbaugesetz – EnLAG) [38] definierten 24 Ausbauprojekten mit besonderer energiewirtschaftlicher Dringlichkeit.

³⁾ Wegen der Seltenheit und begleitender meist hoher Fremdgeräuschanteile werden solche Regenereignisse nicht weiter betrachtet und statistisch wie starker Regen berücksichtigt.

⁴⁾ Mittlere Pegelabweichung für trockenes oder feuchtes Wetter ohne Niederschlag, mit Nebel oder Niederschlag bis zu $< 0,5$ mm/h sowie Raureif.

⁵⁾ Hierzu im Einzelnen Hoppe/Schlarmann/Buchner/Deutsch, Rechtsschutz bei der Planung von Verkehrsanlagen und anderen Infrastrukturvorhaben, 4. Aufl. 2011, Rn. 177 ff.; Hennig/Lühmann, UPR 2012, 81 (83 ff.).

Für länderübergreifende und grenzüberschreitende Höchstspannungsleitungen ist in §§ 18 ff. des Netzausbaubeschleunigungsgesetzes Übertragungsnetz (NABEG) [39] ein neuer Rechtsrahmen vorgesehen⁶⁾. Auch hierfür finden ergänzend die allgemeinen Grundsätze gemäß §§ 43 ff. EnWG i. V. m. §§ 72 ff. VwVfG Anwendung, soweit das NABEG keine Sonderregelungen enthält (§ 18 Abs. 3 2 NABEG).

Damit werden Leitungsausbauvorhaben aller Spannungsebenen durch Planfeststellung zugelassen. In materieller Hinsicht unterliegen die Anlagenbetreiber den gesetzlichen Grundpflichten für nicht genehmigungsbedürftige Anlagen; die immissionsschutzrechtliche Zumutbarkeit von Koronageräuschen beurteilt sich nach § 22 Abs. 1 S. 1 BImSchG⁷⁾ [30]: Schädliche Umwelteinwirkungen, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind, sind zu verhindern (Nr. 1), und nach dem Stand der Technik unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen sind auf ein Mindestmaß zu beschränken (Nr. 2).

Grundlage für die immissionsschutzrechtliche Beurteilung ist regelmäßig eine Immissionsprognose auf der Grundlage eines qualifizierten Schallgutachtens, wie in Nr. 4.2 lit. b TA Lärm vorgesehen⁸⁾. Die Grundzüge des rechnerischen Verfahrens sind im Anhang der TA Lärm unter A. 2.3 festgelegt. Die konkrete Vorgehensweise wurde oben eingehend erläutert.

Vermeidungsgebot nach § 22 Abs. 1 Satz 1 Nr. 1 BImSchG

Für nicht genehmigungsbedürftige Anlagen gibt es kein striktes Gebot zur Vermeidung schädlicher Umwelteinwirkungen. Auch wenn sie „schädlich“ sind im Sinne von § 3 Abs. 1 BImSchG, sind Umwelteinwirkungen nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen nach § 22 Abs. 1 S. 1 Nr. 1 BImSchG nur und erst dann unzulässig, wenn sie „nach dem Stand der Technik vermeidbar“ sind. Die Schwelle zur „Schädlichkeit“ von Geräuschimmissionen wird in der TA Lärm festgelegt⁹⁾.

Regelfallprüfung

Bei der Regelfallprüfung konkretisieren die für die Gebietsart des jeweiligen Immissionsortes relevanten Immissionsrichtwerte das Vermeidungsgebot nach § 22 Abs. 1 S. 1 Nr. 1 BImSchG¹⁰⁾. Die Immissionsrichtwerte sind keine strikten Grenzwerte, sondern Richtgrößen, die eine wertende Berücksichtigung der Umstände des Einzelfalls grundsätzlich zulassen¹¹⁾.

Dies gilt jedenfalls insoweit, als die TA Lärm selbst entsprechende Bewertungsspielräume eröffnet¹²⁾. Für die Nachtzeit von 22.00 bis 6.00 Uhr (Nr. 6.4 Abs. 1 TA Lärm) gelten besonders strenge Immissionsrichtwerte. Maßgebend für die Beurteilung ist gemäß Nr. 6.4 Abs. 3 S. 2 TA Lärm die volle Nachtstunde mit dem höchsten Beurteilungspegel, zu dem die zu beurteilende Anlage relevant beiträgt.

Für Hoch- und Höchstspannungsfreileitungen dürfte regelmäßig nur die Nachbarschaft zu Kern-, Dorf- oder Mischgebieten (Nr. 6.1 lit. c TA Lärm), zu allgemeinen Wohn- oder Kleinsiedlungsgebieten (Nr. 6.1 lit. d TA Lärm), reinen Wohngebieten (Nr. 6.1 lit. e TA Lärm) oder Kurgebieten, Krankenhäusern oder Pflegeanstalten (Nr. 6.1 lit. f TA Lärm) problematisch sein. Für diese Gebietsarten werden vergleichsweise strenge Nachtwerte von 45, 40 bzw. 35 dB(A) festgelegt.

Die Zuordnung der Immissionsorte zu den einzelnen Baugebietstypen richtet sich gemäß Nr. 6.6 S. 1 TA Lärm nach den Festsetzungen in den Bebauungsplänen. Im unbeplanten Innenbereich (§ 34 BauGB) ist die Schutzwürdigkeit des Gebiets anhand einer wertenden Betrachtung zu bestimmen, um auf dieser Grundlage die maßgeblichen Immissionsrichtwerte nach Nr. 6.1 TA Lärm zu bestimmen¹³⁾. Liegt der Immissionsort im Außenbereich, findet nach gefestigter Rechtsprechung der Immissionsrichtwert für Mischgebiete gemäß Nr. 6.1 lit. c TA Lärm Anwendung¹⁴⁾. Diese Grundsätze gelten nach der Rechtsprechung auch bei Grundstücken, die unmittelbar an den Außenbereich angrenzen; dann soll sogar in reinen Wohngebieten ein Nachtwert von 45 dB (A) gemäß Nr. 6.1 lit. c TA Lärm maßgeblich sein¹⁵⁾. Für solche Grundstücke der „ersten Reihe“ zum Außenbereich sind zumindest um 5 dB(A) erhöhte Immissionsrichtwerte anzuwenden¹⁶⁾.

Sonderfallprüfung

Um über die Bewertung rein physikalischer Größen hinaus die konkreten Besonderheiten des Einzelfalls wertend berücksichtigen zu können, sieht Nr. 3.2.2 TA Lärm eine ergänzende Sonderprüfung im Einzelfall vor. Im Rahmen der Sonderfallprüfung müssen alle konkreten Gegebenheiten, die die Schutzbedürftigkeit und die Schutzwürdigkeit für den Betroffenen potenziell beeinflussen, abwägend beurteilt und bewertet werden¹⁷⁾. Obwohl die Regelung in Nr. 3.2.2 TA Lärm an sich nur genehmigungsbedürftige Anlagen betrifft, kommt eine Sonderfallprüfung nach ganz überwiegender

⁶⁾ Grundlegend hierzu *Moench/Ruttloff*, NVwZ 2011, 1040 ff.; *Appel*, UPR 2011, 406 ff.; *Grigoleit/Weisensee*, UPR 2011, 401 ff.; *Wagner*, DVBl. 2011, 1453 ff.; *Kment*, RdE 2011, 341 ff.; *Erbguth*, DVBl. 2012, 325 ff. Zur verfassungsrechtlichen Einordnung *Durner*, DVBl. 2011, 853 ff.; *Mikešic/Strauch*, RdE 2011, 347 ff.

⁷⁾ Vgl. zur Geltung der §§ 22 f. BImSchG im planfeststellungsrechtliche Genehmigungsverfahren für Hoch- und Höchstspannungsleitungen *BVerwG*, NVwZ 2010, 1486 (1487) sowie anschließend *BVerwG*, Gerichtsbescheid v. 21.09.2010, 7 A 7/10, Rn. 17 f. (Juris); allgemein hierzu *Steinberg/Berg/Wickel*, Fachplanung, 3. Aufl. 2000, § 3 Rn. 17.

⁸⁾ *Selner/Reidt/Ohms*: „Immissionsschutzrecht und Industrieanlagen“, 3. Aufl. 2006, 1. Teil Rn. 88; *Feldhaus/Tegeteder*, UPR 2005, 208 (211).

⁹⁾ Vgl. hierzu grundlegend *BVerwGE* 129, 209 (Rn. 11, 14); *Jarass*, BImSchG, 9. Aufl. 2012, § 22 Rn. 47.

¹⁰⁾ Vgl. *BVerwGE* 129, 209 (Rn. 14); *Jarass*, BImSchG, 9. Aufl. 2012 § 48 Rn. 26.

¹¹⁾ Vgl. *BVerwGE* 50, 49 (54); *BVerwG*, Beschl. v. 08.02.1991, 4 B 10/91, NVwZ-RR 1991, 456 (457); *Kutscheidt*, NVwZ 1999, 577 (578); *Halama/Stüer*, NVwZ 2003, 137 (139).

¹²⁾ Vgl. *BVerwGE* 129, 209 (Rn. 12).

¹³⁾ *Hansmann*, in: *Landmann/Rohmer*: Umweltrecht, Stand: 62. EL (2011), Nr. 6.1 TA Lärm, Rn. 15.

¹⁴⁾ *OVG Münster*, Beschl. v. 03.09.1999, 10 B 1283/99, NVwZ 1999, 1360; Beschl. v. 13.05.2002, 10 B 671/02, NVwZ 2002, 1131 (1132); *Urt. v. 18.11.2002*, 7 A 2127/00, NVwZ 2003, 756 (757); *Urt. v. 06.08.2003*, 7a D 100/01, NVwZ-RR 2004, 644 (645); *OVG Lüneburg*, Beschl. v. 04.03.2005, 7 LA 275/04, NVwZ-RR 2005, 401 (402); *OVG Berlin-Brandenburg*, Beschl. v. 31.03.2011, OVG 2 N 105/10, Rn. 4 (Juris).

¹⁵⁾ *VGH Kassel*, *Urt. v. 30.10.2009*, 6 B 2668/09, ZNER 2009, 420 f., unter Verweis auf *BVerwG*, Beschl. v. 18.12.1990, 4 N 6/88, Buchholz 406.11, § 1 BauGB Nr. 50. Die durch den *VGH Kassel* zitierte Entscheidung des Bundesverwaltungsgerichts ist jedoch nicht zu den Immissionsrichtwerten der TA-Lärm ergangen, sondern bezog sich auf die damalige DIN 18005.

¹⁶⁾ Vgl. hierzu aus der Rechtsprechung *VGH Kassel*, *Urt. vom 30.10.2009*, 6 B 2668/09, ZNER 2009, 420 f.; *VGH München*, Beschl. v. 02.02.2001, 14 ZS 01/179, Rn. 5 (Juris); *Urt. v. 24.08.2007*, 22 B 05/2870, BayVBl. 2008, 405 (407); *OVG Münster*, Beschl. v. 04.11.1999, 7 B 1339/99, Rn. 23 (Juris); *OVG Weimar*, Beschl. v. 22.02.2006, 1 EO 708/05, Rn. 66 (Juris); *VGH Mannheim*, *Urt. v. 23.04.2002*, 10 S 1502/01, NVwZ 2003, 365 (366).

¹⁷⁾ Vgl. *BVerwGE* 50, 49 (54 f.); 51, 15 (29 f.); 68, 62; 77, 285 (289 f.); *VGH München*, *Urt. v. 01.03.2002*, 22 B 99.338, Rn. 21 (Juris); *Hansmann*, in: *Landmann/Rohmer*, Umweltrecht, Stand: 62. EL (2011), Nr. 3 TA-Lärm, Rn. 48; *Müggenborg*, NVwZ 2003, 1025 (1032).

Auffassung in Rechtsprechung¹⁸⁾ und Literatur¹⁹⁾ bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen erst recht in Betracht.

Einer Sonderfallprüfung steht nicht entgegen, dass vergleichbare Einzelfälle in größerer Zahl vorkommen²⁰⁾. Es genügt, dass Umstände oder Besonderheiten vorliegen, die im Rahmen der Regelfallprüfung nicht oder nicht hinreichend erfasst werden oder die nach Art und Gewicht wesentlichen Einfluss auf eine vom Ergebnis der Regelfallprüfung abweichende Beurteilung haben können (vgl. Nr. 3.2.2 S. 1 TA Lärm). In Nr. 3.2.2 S. 2 TA Lärm sind hierzu Kriterien aufgeführt, die allerdings nicht abschließend sind („insbesondere“)²¹⁾. Bei Koronageräuschen rechtfertigt sich eine Sonderfallprüfung schon aufgrund der Herkömmlichkeit und der sozialen Adäquanz der Immission (vgl. Nr. 3.2.2 S. 2 lit. d TA Lärm). Hoch- und Höchstspannungsleitungen dienen der allgemeinen Stromversorgung und damit einem gesellschaftlich anerkannten Grundbedürfnis. Als Vorhaben der öffentlichen Versorgung mit Elektrizität sind Freileitungen nach § 35 Abs. 1 Nr. 3 BauGB im Außenbereich privilegiert zulässig²²⁾. Im Rahmen der „Energie-wende“ – aber auch schon vorher – bescheinigt der Gesetzgeber dem Netzausbau zudem ein herausragendes öffentliches Interesse²³⁾. Auch diese gesetzlichen Wertungen sind „besondere Gesichtspunkte der Herkömmlichkeit und der sozialen Adäquanz der Geräuschimmission“, die bei Freileitungen eine Sonderfallprüfung „erforderlich machen“ im Sinne von Nr. 3.2.2 S. 2 lit. d) TA Lärm.

Darüber hinaus sieht Nr. 7.2 TA Lärm für seltene Ereignisse, die nicht häufiger als zehnmal pro Jahr auftreten, eine spezielle Sonderfallprüfung vor²⁴⁾. Für diese seltenen Ereignisse gelten nach Nr. 6.3 Abs. 1 TA Lärm in allen Gebietsarten maximale nächtliche Immissionsrichtwerte von 55 dB(A). Aus nutzungs- oder anlagen-spezifischen Gründen kann eine Immissionswertüberschreitung der Nachbarschaft im Interesse eines sinnvollen Betriebs auch bei mehr als zehn seltenen Ereignissen pro Kalenderjahr zumutbar sein, wenn in der übrigen Zeit der maßgebliche Immissionsrichtwert signifikant unterschritten wird²⁵⁾. Dieser Rechtsgedanke findet auch für den Bereich der Koronageräusche Anwendung. Diese treten stark schwankend, ausschließlich in Schlechtwettersituationen und nur zu einem Bruchteil der nächtlichen Jahresstunden auf – auch wenn eine Häufigkeit von mehr als zehn Ereignissen pro Jahr nicht auszuschließen ist. Abgesehen von diesen unbeeinfluss-

baren wetterbedingten Ausnahmesituationen sind diese Anlagen emissionsarm. Soweit die Koronageräusche die für die Nacht kritische Schwelle von 55 dB(A) unterschreiten, kann im Rahmen einer Sonderfallprüfung die Vereinbarkeit mit den immissionsschutzrechtlichen Vorgaben festgestellt werden.

Beschränkungsgebot nach § 22 Abs. 1 Satz 1 Nr. 2 BImSchG

Können schädliche Umwelteinwirkungen auch bei Beachtung des Stands der Technik nicht vermieden werden, verpflichtet § 22 Abs. 1 Satz 1 Nr. 2 BImSchG den Betreiber dazu, diese „auf ein Mindestmaß“ zu beschränken. In Nr. 4.3 TA Lärm sind mögliche Maßnahmen aufgeführt, die in Betracht zu ziehen sind, um unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß zu beschränken²⁶⁾. Kommt eine Immissionsbeschränkung durch Maßnahmen zur Lärminderung nicht in Betracht, kann eine Freileitung trotz Überschreitung des maßgeblichen Immissionsrichtwerts zugelassen werden²⁷⁾.

Es müssen alle Maßnahmen nach dem Stand der Technik ergriffen werden, die – bei gleicher Leistung und objektiv wirtschaftlicher Eig-nung²⁸⁾ – eine Lärminderung bewirken können. Wie schon ausgeführt, stehen bei Koronageräuschen nur die Herstellung einer hydrophilen Oberflächeneigenschaft der Leiterseile und die Verwendung dicker Leiterbündel als mögliche Lärminderungsmaßnahmen zur Verfügung. Das Mindestmaß im Sinne von § 22 Abs. 1 S. 1 Nr. 2 BImSchG zielt auf die Zumutbarkeit der Geräuschimmission ab, die aufgrund einer umfassenden multipolaren Abwägung zu bestimmen ist²⁹⁾. Im Rahmen dieses Abwägungsvorgangs kommen ähnliche Gesichtspunkte zum Tragen, wie sie auch im Rahmen der Sonderfallprüfung gemäß Nr. 3.2.2 TA Lärm zu berücksichtigen sind: Die Interessen der Allgemeinheit wie auch des Anlagenbetreibers sind den Interessen der Betroffenen gegenüberzustellen. Zumindest die Anwendung von § 22 Abs. 1 S. 1 Nr. 2 BImSchG wird also in der Praxis zum Ergebnis führen, das nach der hier vertretenen Auffassung schon im Rahmen der Sonderfallprüfung möglich ist: Entweder sind Koronageräusche trotz Richtwertüberschreitung nach Maßgabe der Sonderfallprüfung schon nicht als schädliche Umwelteinwirkung zu beurteilen, oder eine weitere Reduzierung der unvermeidbaren Geräuschimmission kommt bei Berücksichtigung aller Umstände gemäß § 22 Abs. 1 S. 1 Nr. 2 BImSchG nicht in Betracht bzw. ist dem Betreiber nicht zuzumuten.

¹⁸⁾ Vgl. OVG Münster, Beschl. v. 08.01.2008, 7 B 1741/07, NVwZ-RR 2008, 450 (451 f.); Urt. v. 06.09.2011, 2 A 2249/09, Rn. 178 ff. (Juris); OVG Lüneburg, Urt. v. 24.03.1993, 1 L 116/89, NVwZ-RR 1994, 555 (556); VGH München, Urt. v. 01.03.2002, 22 B 99.338, Rn. 21 (Juris); Beschl. v. 09.12.2003, 22 ZP 03.3011, NVwZ-RR 2004, 829 (830); OVG Berlin, Beschl. v. 18.07.2001, 2 S 1/01, NVwZ-RR 2001, 722 (725); VG Braunschweig, Urt. v. 17.12.2003, 2 A 12/02, Rn. 50 (Juris); VG Ansbach, Beschl. v. 15.11.2005, AN 18 S 05.02588, Rn. 50 (Juris).

¹⁹⁾ *Feldhaus/Tege*, in: *Feldhaus*: BImSchR, Bd. 4, Stand: 166. EL (2012), Nr. 4 TA Lärm, Rn. 16; *Hansmann*, in: *Landmann/Rohmer*, Umweltrecht, Stand: 62. EL (2011), Nr. 3.2.2 TA Lärm, Rn. 30; Nr. 4 TA Lärm Rn. 8, 23, 24.; *Kutscheidt*, in: *Landmann/Rohmer*, Umweltrecht, Stand: 62 EL (2011), § 3 BImSchG, Rn. 19 h; ders., NVwZ 1999, 577 (580); *Jarass*, GewArch 2007, 305 (306).

²⁰⁾ *Sellner/Reidt/Ohms*: Immissionsschutzrecht und Industrieanlagen, 3. Aufl. 2006, 1. Teil, Rn. 105.

²¹⁾ *Feldhaus/Tege*, in: *Feldhaus*, BImSchR, Bd. 4, Stand: 166. EL (2012), Nr. 3 TA Lärm, Rn. 55; *Hansmann*, in: *Landmann/Rohmer*, Umweltrecht, Stand: 62. EL (2011), Nr. 3 TA Lärm, Rn. 34, 43; *Müggenborg*, NVwZ 2003, 1025 (1032).

²²⁾ Zur Berücksichtigungsfähigkeit einer privilegierten Zulässigkeit im Außenbereich OVG Münster, Beschl. v. 08.01.2008, 7 B 1741/07, NVwZ-RR 2008, 450 f.; ähnlich *Hansmann*, ZUR 2002, 207 (210); *Hinsch*, ZUR 2008, 567 (570); *Sparwasser/v. Komorowski*,

VBIBW 2000, 348 (354 f.).

²³⁾ Vgl. § 1 Abs. 2 S. 2 EnLAG, § 1 S. 3 NABEG – hierzu bereits oben; ferner *Schenk*, in: *Birkel*, Praxishandbuch des Bauplanungs- und Immissionsschutzrechts, Stand: 74. EL (2012), F 20 Rn. 20, zur Berücksichtigung der Energieversorgung als relevantes öffentliches Interesse.

²⁴⁾ Vgl. *Chotjewitz*, LKV 1999, 47 (49).

²⁵⁾ *Sellner/Reidt/Ohms*: Immissionsschutzrecht und Industrieanlagen, 3. Aufl. 2006, 1. Teil Rn. 104.

²⁶⁾ *Jarass*, BImSchG, 9. Aufl. 2012, § 48 Rn. 26.

²⁷⁾ *Feldhaus/Tege*, in: *Feldhaus*, BImSchR, Bd. 4, Stand: 166. EL (2012), Nr. 4 TA Lärm, Rn. 21; *Jarass*, GewArch 2007, 305 (307).

²⁸⁾ *Jarass*: BImSchG, 9. Aufl. 2012, § 22 Rn. 36; ders., GewArch 2007, 305.

²⁹⁾ VGH Mannheim, Beschl. v. 08.06.1998, 10 S 3300/96, NVwZ-RR 1999, 569 (569 f.); *Hansmann/Röckinghausen*, in: *Landmann/Rohmer*, UmweltR, Stand: 62. EL (2011), § 22 Rn. 22; *Czajka*, in: *Feldhaus*, BImSchG, Stand: 166. EL (2012), § 22 Rn. 28; *Schenk*, in: *Birkel*, Praxishandbuch des Bauplanungs- und Immissionsschutzrechts, Stand: 74. EL (2012), F 20 Rn. 20, ausdrücklich auch für eine Berücksichtigung der Energieversorgung als relevantes öffentliches Interesse.

Eine absolute Grenze wird durch den Verweis von Nr. 4.3 S. 3 TA Lärm auf § 25 Abs. 2 BImSchG aufgestellt. Auch Koronageräusche von Freileitungen sind unzumutbar und unzulässig, wenn sie zu einer konkreten Gesundheitsgefährdung führen³⁰⁾. Dies ist bei jährlich nur vereinzelt auftretenden Ereignissen wie Koronageräuschen nach der Wertung von Nr. 6.3 Abs. 1 TA Lärm unterhalb eines Immissionsrichtwerts von 55 dB(A) für die Nacht im Allgemeinen auszuschließen. Nach der verwaltungsgerichtlichen Rechtsprechung ist eine Gesundheitsgefährdung erst ab nächtlichen Lärmimmissionen oberhalb von 60 dB(A) zu befürchten³¹⁾.

Exkurs: Bestandsschutz bei Erneuerung bestehender Leitungen

Ein besonderer Aspekt ist zu berücksichtigen, wenn bereits bestehende Freileitungen lediglich neu beseilt werden. Zwar kann eine neue Beseilung vorübergehend zu erhöhten Emissionen führen. Dieser Effekt kann durch eine entsprechende Oberflächenbehandlung von Beginn an deutlich gemindert werden und normalisiert sich durch den natürlichen Alterungsprozess. Die Schutzwürdigkeit der betroffenen Wohnbebauung ist jedoch schon im Ausgangspunkt gemindert, wenn eine bereits bestehende Freileitung nur erneuert wird³²⁾. Dieser Gesichtspunkt ist im Rahmen der immissionsschutz-

rechtlichen Interessenabwägung und Bewertung maßgeblich zu berücksichtigen, wenn eine unanfechtbare Genehmigung zu einer Vorbelastung der betroffenen Grundstücke geführt hat³³⁾. Zumindest „der Status Quo der Lärmbelastung genießt insoweit Bestandsschutz“³⁴⁾.

B. Eng. **Justus Engelen**, Dipl.-Ing. **Stefan Völlmecke**, Uppenkamp und Partner GmbH, Sachverständige für Immissionsschutz, Ahaus.
Dipl.-Ing. (FH) **Karl Fischer**, TECUM GmbH, Kempten.
Dipl.-Ing. (FH) **Christian Hettig**, **Roland Kurz**, Kurz und Fischer GmbH Beratende Ingenieure, Bauphysik, Winnenden.
Dr.-Ing. **Klaus-Georg Krapf**, Wölfel Beratende Ingenieure GmbH + Co KG, Höchberg.
Dipl.-Ing. (FH) **Klaus Meyer**, TÜV Süd Industrie Service GmbH, Filderstadt.
Dr.-Ing. **Ueli Straumann**, Fachgruppe Hochspannungstechnik, ETH Zürich.
Prof. Dr. **Clemens Weidemann**, Dr. **Marc Ruttloff**, Rechtsanwälte GLEISS LUTZ, Stuttgart/Berlin.
Dipl.-Ing. **Wolfgang Tausend**, TransnetBW GmbH, Stuttgart.

³⁰⁾ BVerwGE 55, 118 (122); *Hansmann*, in: *Landmann/Rohmer*, UmweltR, Bd. 4, Stand: Stand: 62. EL (2011), Nr. 4 TA-Lärm, Rn. 28; *Czajka*, in: *Feldhaus*, BImSchR, Stand: 166. EL (2012), § 22 Rn. 27; *Jarass*, BImSchG, 9. Aufl. 2012, § 22 Rn. 38; ders., *GewArch* 2007, 305 (306).

³¹⁾ BVerwGE 125, 11 (Rn. 368); Urt. v. 23.02.2005, 4 A 4.04, NVwZ 2005, 803 (807); OVG Münster, Urt. v. 17.04.2008, 7 D 110/07.NE, Rn. 222 (Juris); Urt. v. 21.12.2010, 2 D 64/08.NE, Rn. 126 (Juris).

³²⁾ Zur verminderten Schutzwürdigkeit in solchen Fällen BVerwG, Beschl. v. 22.07.2010, 7 VR 4/10, KommJur 2011, 224 (229).

³³⁾ *Sellner/Reidt/Ohms*: Immissionsschutzrecht und Industrieanlagen, 3. Aufl. 2006, 2. Teil Rn. 185.

³⁴⁾ *Müggenburg*, NVwZ 2003, 125 (134). Allgemein zum Bestandsschutz genehmigter Anlagen *Weidemann/Krappel*, DVBl 2011, 1385 ff.

Literatur

[1] European Network of Transmission System Operators for Electricity. www.entsoe.eu

[2] *Castaño-Perez, P.; Hettig, C.; Kurz, R.*: Koronageräusche an Hochspannungsfreileitungen. DAGA 2007, Stuttgart.

[3] *Newell, H. H.; Tseng-Wu L.; Warburton, F. W.*: Corona and RI caused by particles on or near EHV conductors: I – Fair weather. IEEE Trans. PAS 86 (1967) Nr. 11, S. 1375-1383.

[4] *Newell, H. H.; Tseng-Wu L.; Warburton, F. W.*: Corona and RI caused by particles on or near EHV conductors: II – Foul weather“, IEEE Trans. PAS 87 (1968) Nr. 4, S. 911-927.

[5] *Bartnikas, R.; McMahon, E. J.*: Engineering dielectrics. Vol. I – Corona measurement and interpretation, S. 327-408. Nummer STP 669. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials (ASTM) 1979.

[6] *Trinh, N. G.*: Analysis of the second harmonic (120 Hz) audible noise generated by line coronas., IEEE Power Eng. Soc. PES Summer Meeting, Bd. A75, S. 1-9, San Francisco, CA, USA, July 1975.

[7] *Taylor, E. S.; Chartier, V. L.*: Audible noise and visual corona from HV and EHV transmission lines and substation conductors

– laboratory tests. IEEE Trans. PAS 88 (1969) Nr. 5, S. 666-679.

[8] *Straumann, U.*: Mechanism of the tonal emission from ac high voltage overhead transmission lines. J. Phys. D: Appl. Phys. 44 (2011) Nr. 7. doi:10.1088/0022-3727/44/7/075501

[9] *Booker, J. R.*: Natural aging of non-energized aluminium conductors. IEEE Trans. on Power Delivery PWRD 1 (1986), Nr. 4, S. 269-274.

[10] *Comber, M. G.; Nigbor, R. J.*: Audible noise performance of regular and asymmetric bundles and effect of conductor aging on project UHV's three-phase test line. IEEE Trans. PAS 98 (1979) Nr. 2, S. 561-572.

[11] *Nigbor, R. J.; Pokorny, W. C.*: Corona performance of aged and new 765 kV conductors – a test cage comparison. IEEE 1980 Power Society Winter Meeting, 1980, S. A80 029-9/1-9.

[12] *Straumann, U.; Weber, H. J.*: Potential reduction of audible noise from new and aged overhead transmission line conductors by increasing their hydrophilicity. Cigré Session 2010, Paris, France, 22-27 August 2010.

[13] *Röhsler, H.*: AC corona line noise. RTE-Seminar „Research & Prospective Studies on High Voltage Networks“, Paris, 7. April 2009.

[14] Sechste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26. August 1998. GMBI. Nr. 26 vom 28. August 1998.

[15] *Straumann, U.*; *Weber, H.-J.*: Abschlussbericht zum Projekt Corona Noise Reduction (CONOR II). Fachgruppe Hochspannungstechnologie. ETH Zürich 2009.

[16] *Fischer, K.*: Schallpegelmessungen zur Überprüfung von Interferenzmustern im 100-Hz Terzband („): Bericht TECUM GmbH vom 7. Juni 2010.

[17] *Comber, M.*; *Nigbor R. J.*; *Zaffanella, L. E.*: Transmission line reference book – 345 kV and above., Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, 1987.

[18] *Kießling F.*; *Nefzger, P.*; *Kaintzyk, U.*: Freileitungen – Planung, Berechnung, Ausführung. Berlin: Springer 2001.

[19] Klimaatlas Baden-Württemberg. Hrsg.: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. www2.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/abt5/klimaatlas_bw

[20] *Malitz, G.*: Kumulative Häufigkeit von Nachtstunden mit bestimmten Niederschlagshöhen. DWD, Hydrometeorologie, Berlin 2010.

[21] *Dietzer, B.*: Spezielle Niederschlagsauswertung. DWD, Offenbach, November 2006.

[22] *Fischer, K.*: Schalltechnische Untersuchung. Bericht 01005.1/F, TECUM GmbH, Kempten 2002.

[23] *Hille, C.*; *Schnettler, A.*: Leitungsgeräusche unter Raureifbedingungen – „Hoar Frost Noise. Untersuchungsbericht des Instituts für Hochspannungstechnik, RWTH Aachen, Juli 2009.

[24] *Wichura, B.*: Einschätzung der Häufigkeit von Eisablagebedingungen im Raum Ravensburg. Ausarbeitung DWD, Regionales Gutachtenbüro Potsdam 2002.

[25] DIN 45645-1: Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen, Teil 1: Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft. Berlin: Beuth Verlag 1996.

[26] DIN EN ISO 3744: Akustik: Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen. Berlin: Beuth Verlag 1995.

[27] *Krapf, K.-G.*; *Heiß, A.*: Qualitätssicherung von Schallimmissionsmessungen – Trennung von Quellengeräusch und Fremdgeräusch durch Anwendung der Perzentilpegel-Vertrauensbereiche. VDI-Berichte Nr. 1386. Düsseldorf: VDI Verlag 1996.

[28] *Heiß, A.*; *Krapf, K.-G.*: Qualitätsmonitoring durch Online-Ermittlung von Vertrauensbereichen für Schallmessung und Geräuschtrennung. Lärmbekämpf. 4 (2009) Nr. 3, S. 127-134.

[29] DIN ISO 9613-2: Akustik: Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien, Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren. Berlin: Beuth Verlag 1999.

[30] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) vom 26. September 2002. BGBl. I Nr. 71 vom 4. Oktober 2002, S. 3830, zul. geänd. durch Art. 1 des Gesetzes vom 21. Juli 2011. BGBl. I, S. 1474.

[31] DIN 45687: Akustik – Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschimmission im Freien – Qualitätsanforderungen und Prüfbestimmungen. Berlin: Beuth Verlag 2005.

[32] CoronaPlus II – Software zur Berechnung der Schallimmissionen von Koronageräuschen. Hrsg.: Kurz und Fischer GmbH. Winnenden 2012.

[33] *Fischer, K.*: Schalltechnische Untersuchung, Bericht 00032.1/F. Kempten: TECUM GmbH 2000.

[34] *Hettig, C.*; *Kurz, R.*: Witterungsbedingte Geräuschimmissionen von Höchstspannungsfreileitungen: Messung und Beurteilung. DAGA 2012, Darmstadt.

[35] Auslegungshinweise zur technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm vom 26. August 1998 – TA Lärm – für Baden-Württemberg. Hrsg.: Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg. Stand Juni 1999. Eingeführt durch Erlass des Ministeriums für Umwelt und Verkehr über Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm – vom 19. Juli 1999. Az. 43-8822.10/77

ANZEIGE

IMMI



**NEU:
Version 2012**

Wölfel

Lärm an Hochspannungsleitungen

Von der Schallemission zum Immissionsort mit IMMI 2012

- Beurteilung der optimalen Trassenführung
- Planungsgrundlage im Genehmigungsverfahren
- Festlegung von Lärminderungsmaßnahmen

Weitere Informationen, speziell zur Anwendung an Hochspannungsleitungen: ☎ +49 931 49 708 500

www.woelfel.de/immi

[36] Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz – EnWG) vom 7. Juli 2005. BGBl. I, S. 1970-3621, zul. geänd. durch Art. 2 des Gesetzes vom 16. Januar 2012. BGBl. I, S. 74.

[37] Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Januar 2003. BGBl. I, S. 102, zul. geänd. durch Art. 2 Absatz 1 des Gesetzes vom 14. August 2009. BGBl. I, S. 2827.

[38] Gesetz zum Ausbau von Energieleitungen (Energieleitungs-

ausbaugesetz – EnLAG) vom 21. August 2009. BGBl. I, S. 2870, zul. geänd. durch Gesetz vom 7. März 2011. BGBl. I, S. 338.

[39] Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz (NABEG) vom 28. Juli 2011. BGBl. I, S. 1690.

[40] Baugesetzbuch (BauGB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. September 2004. BGBl. I, S. 2414, zul. geänd. durch Art. 1 des Gesetzes vom 22. Juli 2011. BGBl. I, S. 1509.