

Auslegungsvermerk der Gemeinde
 (Anhörungsverfahren § 43a EnWG i.V.m. § 73 VwVfG)

Der Plan hat ausgelegen in der Zeit vom 20....
 bis 20....

in der Gemeinde.....

Gemeinde

Siegel

Planfeststellungsvermerk der Planfeststellungsbehörde

Nach § 43b EnWG i.V.m. § 74 VwVfG planfestgestellt durch Beschluss vom 20....

Planfeststellungsbehörde

Siegel

Auslegungsvermerk der Gemeinde
 (Planfeststellungsbeschluss und festgestellter Plan (§ 43b EnWG i.V.m. § 74 VwVfG))

Der Planfeststellungsbeschluss und Ausfertigung des festgestellten Planes
 haben ausgelegen in der Zeit vom 20....
 bis 20....

in der Gemeinde.....

Gemeinde

Siegel

Veröffentlichung zum Thema: Geräuschemission und Geräuschimmission durch Koronaentladungen


380-kV-Höchstspannungsfreileitung

Wesel – Pkt. Meppen, Bl. 4201

Abschnitt: Pkt. Bredenwinkel – Pkt. Borken Süd

380-kV-Höchstspannungskabel

KÜS Löchte – KÜS Diestegge, KBl. 4230

Stand:	2004	 Genehmigungen / Umweltschutz Leitungen
Inhalt:	Seiten 181 - 193	

Genehmigungsverfahren für Hochspannungsfreileitungen – Geräuschemission und Geräuschimmission durch Koronaentladungen

von Hans-Ulrich Paul, Christoph Dörnemann und Erich Krämer*)

Summary

Änderungen des Energiewirtschafts- und des Umweltrechtes haben erhebliche Veränderungen und Auswirkungen auf die gesetzlichen Rahmenbedingungen für die Genehmigungsverfahren von Hoch- und Höchstspannungsfreileitungen mit sich gebracht. Eine wesentliche Neuerung ist dabei die im Rahmen des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) zu bewertende Geräuscheinwirkung eines Vorhabens auf den Menschen. Beim Betrieb von 380-kV-Hochspannungsfreileitungen können Geräuschemissionen auftreten, die zu beschreiben und zu quantifizieren sind.

1. Allgemeines

Mit der Inkraftsetzung des Gesetzes zur Umsetzung der UVP-Änderungsrichtlinie, der IVU-Richtlinie und weiterer EG-Richtlinien am 27. Juli 2001 wurde auch das Energiewirtschaftsgesetz vom 24. April 1998 mit Einführung des § 11 a Planfeststellungsverfahren für Energieanlagen geändert.

Hiermit wurde in Form der Planfeststellung ein neues Zulassungsinstrument für Hochspannungsfreileitungen, ausgenommen Bahnstromfernleitungen, mit einer Nennspannung von 110 kV oder mehr sowie für Gasversorgungsleitungen mit einem Durchmesser von mehr als 300 mm geschaffen, sofern nach dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) durchzuführen ist.

Hierbei stellt das Planfeststellungsverfahren das Trägerverfahren für die Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung dar. Mit diesem Verfahren sollen die Auswirkungen bestimmter öffentlicher und privater Vorhaben auf die Umwelt frühzeitig und umfassend ermittelt, beschrieben und bewertet werden.

Die Umweltverträglichkeitsprüfung umfasst dabei die unmittelbaren und mittelbaren Auswirkungen eines Vorhabens auf

- Menschen, Tiere und Pflanzen,
- Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft,
- Kulturgüter und sonstige Sachgüter sowie
- die Wechselwirkung zwischen den vorgenannten Schutzgütern.

In diesem Zusammenhang stellt sich also insbesondere die Frage, welche Auswirkungen durch den Bau und Betrieb einer Hochspannungsfreileitung auf den Menschen zu betrachten sind.

Neben dem visuellen Effekt einer Freileitung [1], den im Nahbereich einer Freileitung vorhandenen elektrischen und magnetischen Feldern [2] spielt die Frage der Geräuschemission von Freileitungen eine im Sinne des UVPG relevante Rolle, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

2. Geräuschemissionen von Hochspannungsfreileitungen

Die Betriebsspannung, mit der die Hauptleiter eines Freileitungstromkreises beaufschlagt werden, hat ein elektrisches Feld in der Umgebung einer Freileitung zur Folge. An der Oberfläche eines Hauptleiters tritt die höchste elektrische Feldstärke auf.

*) Prof. Dr.-Ing. H.-U. Paul und Dr.-Ing. Ch. Dörnemann sind Mitarbeiter der RWE Transport-netz Strom GmbH, Dortmund
Dr. rer. nat. E. Krämer ist Mitarbeiter der TÜV Industrie Service GmbH, TÜV SÜD Gruppe, Eschborn

In der unmittelbaren Umgebung des Hauptleiters treten daher Effekte auf, wie Stoßionisationen (lawinenartiges Anwachsen freier Elektronen durch das elektrische Feld) und die Bildung von positiven und negativen Ionen, die durch das elektrische Feld angezogen und abgestoßen werden.

Dadurch entsteht ein Ionenwind, der je nach Stärke zu entsprechenden Luftbewegungen führen kann, die mit Geräuschbildungen verbunden sein können, insbesondere durch einen 100-Hz-Brummtönen [3]. Je nach Witterung und Höhe der Feldstärke können dabei hörbare Entladungsgeräusche entstehen (Brutzeln, Knistern, Prasseln oder Rauschen und eventuell ein niederfrequenter Brummtönen), weiterhin können Leuchterscheinungen auftreten. Die beschriebenen Entladungen werden zusammenfassend als Korona bezeichnet.

Bezüglich des 100-Hz-Brummtönen kommen neuere Untersuchungen [4] und [5] auch zu der Erkenntnis, dass dieser Anteil stark von der Präsenz von Wassertropfen abhängig ist. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die 100-Hz-Komponente nicht nur durch elektrische Entladungen, sondern auch durch die elektrostatisch angeregten Deformationen der Wassertropfen auf der Oberfläche eines unter Spannung stehenden Leiterseiles entsteht.

Zur Vermeidung oder zur Minimierung von Koronaentladungen ist die Feldstärke an der Oberfläche der Hauptleiter (Randfeldstärke) zu reduzieren, d. h. Abmessungen und Konfigurationen der Hauptleiter haben Auswirkungen auf die Höhe der Randfeldstärke an den Hauptleitern und den daraus resultierenden Koronaentladungen. Bei 380-kV-Freileitungen werden entsprechend dem anerkannten Stand der Technik die Hauptleiterseile in der Regel jeweils als Vierer- oder auch als Dreierbündel ausgebildet, bei denen die Einzelseile einen Abstand von 40 cm aufweisen. Die Armaturen der Isolatoren werden zur Reduzierung der elektrischen Feldstärke so konstruiert, dass ihre Oberflächenradien der angelegten maximalen Betriebsspannung angepasst sind. Hierzu werden Potenzialsteuerringe oder ähnliche Einrichtungen verwendet.

Die Feldstärke an der Oberfläche eines Hauptleiters, die zur Stoßionisation (Lawinenbildung) führt, wird Korona-Einsatzfeldstärke genannt. Die Hauptleiter sind so auszuwählen, dass die Korona-Einsatzfeldstärke nicht überschritten wird. Der Richtwert der Randfeldstärke, bei dem die Anforderung an die Geräuschentwicklung eingehalten wird, liegt bei etwa 17 kV/cm bei trockenem Leiter.

Hierbei ist auch zu berücksichtigen, dass mechanische Störstellen (Spitzen) an der Oberfläche der Hauptleiter durch Kratzer, Graten oder Schmutzteile Anlass für Koronaentladungen sein können. Der reale Oberflächenzustand mit mechanischen Störstellen erfährt an diesen lokal erhöhte Feldstärken und gerät damit im Gegensatz zu einer ideal glatten und sauberen Oberfläche eher in den Bereich der Korona-Einsatzfeldstärke.

Durch Wassertropfen bei Regen, Nebel oder Tau können an Leiterseilen Koronaentladungen auftreten, die im trockenen Zustand koronafrei sind. Im Gegensatz dazu kann sich durch „Abwittern“ von scharfen Graten, Schmutzteilchen oder Fettresten eine Verringerung der Koronaerscheinungen von neuen Leitungen ergeben. Dieser Effekt des Abwitterns ist in den ersten Monaten des Betriebes einer Freileitung zu beobachten (vgl. [6]).

3. Wahrnehmungspsychologische Wertung von Geräuschen

Bezüglich des subjektiven Wahrnehmungsempfindens der Koronageräusche und deren Bewertung ist zu berücksichtigen, dass es sich bei Koronageräuschen nicht um allgemein ortsübliche Umgebungs- oder Nachbarschaftsgeräusche wie z. B. Verkehrsgeräusche, Windgeräusche oder Blätterrauschen handelt.

Koronageräusche sind, bezogen auf die allgemeinen Umweltergeräusche, viel mehr atypische Geräusche, die dazu noch von einer großen elektrischen Leitung ausgehen, deren physikalischer Hintergrund sich für die meisten Menschen nicht erschließt und dadurch Unsicherheiten oder Unbehagen aufkommen lassen kann.

Objektivierbare Faktoren	Subjektiv-individuelle Faktoren
• Art der Geräuschquelle	• Gesundheitszustand
• Stärke der Geräusches	• Alter
• Dauer des Geräusches	• Gewöhnung
• Tageszeit des Auftretens	• Einstellung zum Geräuscherzeuger
• Häufigkeit des Auftretens	• Tätigkeit während der Einwirkung
• Frequenzzusammensetzung	• Erziehung, Tradition, Kulturkreis
• Auffälligkeit (Töne, Impulse, Informationen)	• Erwartung der Umwelt- und Wohnqualität
• Ortsüblichkeit	• Einsicht in die Notwendigkeit
	• Kontrollierbarkeit der Schallquelle

Tabelle 1: Objektiv erfassbare und subjektiv wirksame Geräuschmerkmale [7]

Das Frequenzspektrum des hörbaren Koronageräusches unterscheidet sich von dem des Verkehrsgeräusches oder anderer weit verbreiteter Geräusche. Es reicht noch bis in den Ultraschallbereich hinein, wohingegen z. B. Verkehrsgeräusche derartige hohe Frequenzanteile nicht enthalten.

Die Art des Geräusches, z. B. Brutzeln, Knistern oder Prasseln ist daher auffälliger als allgemein übliche Umgebungsgerausche, selbst wenn es leiser ist als diese. Damit kann es psychoakustisch störend wirken.

Um eine Geräuschsituation im Allgemeinen beurteilen zu können, sind die objektiv erfassbaren und die subjektiv wirksamen Geräuschmerkmale angemessen zu berücksichtigen.

Tabelle 1 enthält eine Übersicht zu objektivierbaren und subjektiv-individuellen Faktoren [7].

Um Geräuscheinwirkungen erfassen und bewerten zu können, stehen unterschiedliche Mess- und Bewertungsverfahren zur Verfügung, deren Entwicklung zum Teil historisch bedingt ist.

Bei den meisten Messverfahren wird eine Nachbildung des Hörempfindens angestrebt, das dem frequenzabhängigen Hörempfinden des menschlichen Ohres entspricht.

Hierzu sind Bewertungskurven von Filtern eingeführt worden, die für eine ganz bestimmte Lautstärke ein ähnliches Frequenzverhalten wie das menschliche Ohr haben. Durchgesetzt hat sich national und international die Bewertungskurve A.

Anhaltswerte der Geräuschpegel verschiedener Geräuschquellen enthält Tabelle 2:

Geräuschpegel In dB(A)	Geräuschquelle
110-130	Presslufthammer
105-130	laute Automobilhupe in 1 m Entfernung
70-80	innerhalb eines Busses
70-85	mittlerer Straßenverkehr
60-70	Unterhaltungssprache
50-60	Geschäftsbüro
40-50	Wohnzimmer in einem Vorstadtbereich
30-40	Bücherei
20-30	Schlafzimmer nachts

Tabelle 2: allgemeine Geräuschpegel in Anlehnung an [3]

Dabei ist der bewertete Schallpegel weder eine physiologische noch eine physikalische Messgröße. Unter Berücksichtigung gewisser Eigenschaften des menschlichen Gehörs beruht er in objektiv festgelegter und reproduzierbarer Weise auf der physikalischen Größe des Schalldrucks bzw. des Schalldruckpegels.

Um mehr Informationen über psychoakustische Effekte des hörbaren Koronageräusches zu bekommen, sind verschiedene Studien durchgeführt worden. [8], [9], [10], [11].

Die zusammenfassenden Ergebnisse dieser Studien ergeben folgendes:

- Es existieren verschiedene Arten von Koronageräuschen, die sich sowohl im Frequenzspektrum als auch im relativen Belästigungsgrad unterscheiden.
- Für dieselben A-bewerteten Geräuschpegel erhöht sich die Lautstärke des Koronageräusches mit einem Anstieg der 100-Hz-Komponente.
- Ein Vergleich zwischen Koronageräuschen und drei anderen Geräuschtypen (1000-Hz-Geräusch, Verkehrsgeräusch und Geräusche durch überlagerte Stimmen) hat ergeben, dass für denselben A-bewerteten Geräuschpegel die Lautstärke des Koronageräusches niedriger ist als die des Verkehrsgeräusches und höher als die des 1000-Hz-Geräusches und der Stimmengeräusche.
- Für eine begrenzte Stichprobe von Vergleichsgeräuschen wurde herausgefunden, dass Koronageräusche in Bezug auf ihren Belästigungsgrad ungefähr dem Geräusch einer Klimaanlage eines Raumes gleichzusetzen sind.
- Die hochfrequenten Rausch- und Knisterkomponenten von Koronageräuschen rufen mehr Unbehagen hervor als die niederfrequenten Brumm- und Summgeräusche.

Die Ergebnisse der durchgeführten psychoakustischen Studien beinhalten eine Reihe von Problemen, die mit der Bewertung der hörbaren Koronageräusche verbunden sind. Die Forschung auf diesem Gebiet kann wohl auch kaum als abgeschlossen angesehen werden. Die Anwendung der A-bewerteten Pegel zur Beurteilung von Geräuschen, auch der hörbaren Koronageräusche, hat sich in der Praxis durchgesetzt [3].

4. Bewertung von Geräuschen, technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TALärm

Geräusche als Immission unterliegen den Regelungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes.

Bei der TA Lärm handelt es sich um die „Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz“

in der zur Zeit gültigen Fassung vom 26. August 1998 [12]. Im Kapitel 1. Anwendungsbereich der TA Lärm ist definiert, dass sie dem Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche sowie der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen dient.

Die Immissionsrichtwerte für den Beurteilungspegel betragen für den Immissionsschutz außerhalb von Gebäuden

- a) in Industriegebieten
70 dB(A)
- b) in Gewerbegebieten
tags 65 dB(A)
nachts 50 dB(A)
- c) in Kerngebieten, Dorfgebieten und Mischgebieten
tags 60 dB(A)
nachts 45 dB(A)
- d) in allgemeinen Wohngebieten und Kleinsiedlungsgebieten
tags 55 dB(A)
nachts 40 dB(A)
- e) in reinen Wohngebieten
tags 50 dB(A)
nachts 35 dB(A)
- f) in Kurgebieten, für Krankenhäuser und Pflegeanstalten
tags 45 dB(A)
nachts 35 dB(A)

Einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen dürfen die Immissionsrichtwerte am Tage um nicht mehr als 30 dB(A) und in der Nacht um nicht mehr als 20 dB(A) überschreiten.

Der Anhang zur TA Lärm enthält Ausführungen zur Ermittlung von Geräuschimmissionen:

- Allgemeine Vorschriften für die Ermittlung der Geräuschimmissionen,
- Methoden zur Ermittlung der Geräuschimmissionen durch Prognose,
- Methoden zur Ermittlung der Geräuschimmissionen durch Messung.

Die TA Lärm ist auch Grundlage zur Beurteilung von Koronageräuschen an Hochspannungsfreileitungen. Hierbei ist allerdings im Bezug auf Berechnungsmethoden zu berücksichtigen, dass es sich bei Hochspannungsfreileitungen um prinzipiell andere Geräuschquellen handelt als z. B. Hauptverkehrsstraßen, Eisenbahnstrecken oder Flughäfen. Aus diesem Grund sind für Hochspannungsfreileitungen spezielle empirische Berechnungsformeln entwickelt worden [3].

Aufgrund der schnell fortgeschrittenen Entwicklung der Hard- und Softwaretechnik in den letzten Jahren stehen heute auch Berechnungsverfahren zur Verfügung, mit denen z. B. Linienschallquellen zur Nachbildung der Leiterseile einer Hochspannungsfreileitung berücksichtigt werden können.

5. Schalltechnische Anforderungen an Hochspannungsfreileitungen

Hochspannungsfreileitungen stellen nicht genehmigungsbedürftige Anlagen im Sinne der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV – dar. Solche Anlagen sind nach § 22 Abs. 1 Nr. 1. und 2. des Bundes-Immissionsschutzgesetzes so zu errichten und betreiben, dass

1. schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind und
2. nach dem Stand der Technik unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindermaß beschränkt werden.

Im Rahmen der öffentlich-rechtlichen Zulassung einer nicht genehmigungsbedürftigen Anlage im Sinne der 4. BImSchV ist bei immissionsschutzrechtlichen Prüfungen ein vereinfachtes Verfahren nach Pkt. 4.2 der TA Lärm anzuwenden. Hier ist insbesondere zu prüfen, ob die Geräuschimmissionen der zu beurteilenden Anlage die o. g. Immissionsrichtwerte nach Pkt. 6 der TA Lärm nicht überschritten werden.

Für Hochspannungsfreileitungen sind hierbei nur die Nacht-richtwerte von Interesse, die von einzelnen kurzzeitigen Ge-

räuschspitzen um nicht mehr als 20 dB(A) überschritten werden dürfen. Nachtzeit ist der Zeitbereich von 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr. Maßgebend für die Beurteilung der Nachtsituation ist die volle Nachtstunde mit dem Beurteilungspegel, zu dem die zu beurteilende Anlage beiträgt, d. h. die Nachtstunde mit den geringsten Geräuschen anderer Schallquellen.

Die Richtwerte gelten für die Gesamtbelastung durch Geräusche, die sich aus der Zusatzbelastung der zu beurteilenden Anlage und der Vorbelastung durch Anlagen, die in den Geltungsbereich der TA Lärm fallen, zusammensetzt.

Die Berücksichtigung einer Vorbelastung ist im Rahmen der vereinfachten Regelfallprüfung nach der TA Lärm nur dann erforderlich, wenn aufgrund konkreter Anhaltspunkte absehbar ist, dass die neu hinzukommende Anlage durch ihren Betrieb relevant zu einer Überschreitung der Immissionsrichtwerte beitragen wird. Sofern die neu hinzukommende Anlage die Immissionsrichtwerte am maßgeblichen Ort um 6 dB unterschreitet, ist ein relevanter Beitrag zur Gesamtgeräuschsituation auszuschließen.

6. Geräuschemissionsmessungen an 380-kV-Hochspannungsfreileitungen

Um in Genehmigungsverfahren für 380-kV-Freileitungen bei notwendig werdenden Umweltverträglichkeitsprüfungen nach dem UVPG belastbare Aussagen zur Geräuschentwicklung durch Koronaentladungen treffen zu können, hat die RWE Transportnetz Strom GmbH für ein 30 km langes 380-kV-Leitungsprojekt in Hessen in Abstimmung mit der zuständigen Immissionsschutzbehörde des Landes Hessen entsprechende Messungen durchführen lassen.

Dies geschah auch vor dem Hintergrund, dass für den vorgesehenen Zweck der Verwendung in einem Planfeststellungsverfahren keine geeigneten Messwerte vorlagen. Dies hängt damit zusammen, dass seit Inbetriebnahme des 380-kV-Hochspannungsnetzes mit Vierer-Bündel-Ausgestaltung der Hauptleiterseile keine störenden Geräuschemissionen aufgetreten sind.

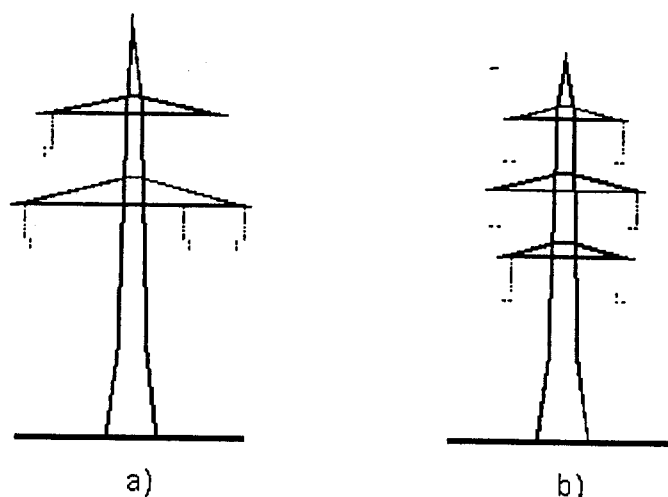


Bild 1: Untersuchte 380-kV-Freileitungen mit jeweils zwei Stromkreisen und den typischen Mastbildern a) Donau und b) Tonne

Da im 380-kV-Höchstspannungsbereich des RWE-Netzes vorwiegend Donau- oder Tonnen-Masten (Bild 1) eingesetzt werden, wurden zur Erhaltung einer repräsentativen Aussage an Leitungen, die mit diesen Masttypen ausgerüstet sind, Geräuschemissionsmessungen vom TÜV Süddeutschland, Region Nordwest, durchgeführt. Im Nachstehenden werden die Messungen einschließlich der gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse näher beschrieben [13].

6.1 Messorte

Die Geräuschemissionsmessungen wurden an zwei 380-kV-Hochspannungsfreileitungen mit 4er-Bündel-Beseilung durchgeführt. Es wurden drei Messorte festgelegt:

- Messort Kirberg mit Masttyp Tonne
- Messort Niederroßbach mit Masttyp Donau
- Messort Rehe mit Masttyp Donau

Die Messorte wurden so ausgewählt, dass für die nächtlichen Messzeiten möglichst wenig Fremdgeräusche erwartet wurden.

Für alle drei Messorte wurde die gleiche Messgeometrie gewählt mit jeweils 3 Messpunkten der Mikrofone senkrecht zur Leitungsmittellinie mit unterschiedlichen Abständen, um die zu erwartende Geräuschpegelabnahme mit größer werdenden Abständen der Messpunkte von der Leitung zu erfassen. Es wurden folgende Messpunkte festgelegt:

Messpunkt 1 (MP1):	38 m
Messpunkt 2 (MP2):	63 m
Messpunkt 3 (MP3):	88 m

Die Messungen an den drei Messpunkten je Messort erfolgten jeweils simultan. Die Mikrofonhöhe lag jeweils 1,5 m über dem Erdboden.

6.2 Messzeit und Wetterbedingungen

Um möglichst geringe Fremdgeräuscheinflüsse zu garantieren, wurden alle Messungen innerhalb des Zeitblockes von 02:00 – 04:00 Uhr nachts durchgeführt. Bei den Messungen wurden folgende Witterungszustände erfasst:

- trocken
- leichter Regen
- diesiges Wetter
- Nieselregen
- unmittelbar nach starkem Regen

6.3 Durchgeführte Messungen

Die Messungen wurden entsprechend den allgemein üblichen Messanforderungen mit kalibrierten Schallpegelmessern als beobachtete Emissionsmessungen durchgeführt, bei denen der jeweilige Sachverständige immer anwesend war. Die vom Sachverständigen wahrnehmbaren Geräusche und Eigenarten der

jeweiligen Geräusche wurden jeweils protokolliert. Folgende wesentliche Messgrößen wurden ermittelt:

- Mittelungspegel L_{Aeq}
- Minimaler Pegel L_{AFmin}
- Mittlerer Maximalpegel L_1 (1 %-Überschreitungspegel)
- Hintergrundgeräuschpegel L_{95} (95 %-Überschreitungspegel)
- Taktmaximal-Mittelungspegel L_{AFTeq}

Neben den genannten Schalldruckpegeln wurde auch die spektrale Verteilung gemessen. Alle lokalisierbaren Fremdgeräusche wurden – soweit dies möglich war – ausgeblendet.

Einen Einfluss auf den Mittelungspegel L_{Aeq} hatten auch Hintergrundgeräusche (z. B. entferntes Straßenverkehrsrauschen).

6.4 Messergebnisse

Die detaillierten Einzelmessungen mit den zugehörigen Beobachtungsprotokollen sind in [13] enthalten. Hier werden nur die wesentlichen Ergebnisse zum Geräuschverhalten von 380-kV-Freileitungen wiedergegeben und erörtert sowie das Abstandsverhalten der Geräusche untersucht.

Im Hinblick auf die Beurteilungssystematik der TA Lärm (Mittlung über die lauteste Nachtstunde) wurde an allen Messpunkten ein Mittelungspegel zwischen 02:00 und 03:00 Uhr sowie zwischen 03:00 und 04:00 Uhr bestimmt. Die Wahl der Messzeiten zwischen 02:00 und 04:00 Uhr berücksichtigt Erfahrungen, die im Rahmen der Untersuchungen der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg gewonnen wurden [14].

Datum 2003	Nr.	Uhrzeit	Ort	Mittelungspegel L_{Aeq} in dB (A)			Geräuschbeschreibung	Witterung	Masttyp/Bemerkung
				MP1	MP2	MP3			
24.04.	1	2-3	Kirberg	32,2	30,9	32,3	Leitung nicht hörbar	trocken	Tonne
24.04.	1	3-4	Kirberg	30,0	29,7	29,9	Zwitschern	trocken	Tonne
01.05.	2	2-3	Niederroßbach	36,2	35,7	36,1	Windgeräusche, Blätterrauschen	Messung nach Regen	Donau
01.05.	2	3-4	Niederroßbach	35,7	35,4	34,6	Windgeräusche, Blätterrauschen	Messung nach Regen	Donau
07.05.	3	2-3	Niederroßbach	28,6	28,6	28,4	Zwitschern	trocken	Donau
07.05.	3	3-4	Niederroßbach	26,1	26,4	26,7	ganz leises Summen	trocken	Donau
07.05.	4	2-3	Rehe	28,6	27,5	26,5	Prasseln	trocken	Donau
07.05.	4	3-4	Rehe	27,9	26,5	25,3	Prasseln ganz schwach	trocken	Donau
14.05.	5	2-3	Kirberg	32,6	31,2	31,4	nur Fremdgeräusch, Wind	trocken	Tonne
14.05.	5	3-4	Kirberg	33,8		32,9	nur Fremdgeräusch, Wind	trocken	Tonne
14.05.	6	2-3	Niederroßbach	31,3	23,5	23,3	ganz schwaches Summen	leichter Regen	Donau, 100 Hz
14.05.	6	3-4	Niederroßbach	30,8	22,8	22,6	ganz schwaches Summen	leichter Regen	Donau, 100 Hz
14.05.	7	2-3	Rehe	28,3	26,5	25,3	Knistern	leichter Regen	Donau
14.05.	7	3-4	Rehe	25,6	25,3	24,7	Knistern	leichter Regen	Donau
22.05.	8	2-3	Kirberg	37,9	38,3	39,1	Vogelzwitschern und Wind	Messung nach Regen	Donau
22.05.	8	3-4	Kirberg	36,8	36,4	36,5	Vogelzwitschern und Wind	Messung nach Regen	Donau
22.05.	9	2-3	Niederroßbach	27,8	25,9	25,6	Knistern	Messung nach Regen	Donau, 100 Hz
22.05.	9	3-4	Niederroßbach	27,2	24,5	24,5	Knistern	Messung nach Regen	Donau, 100 Hz
24.06.	10	2-3	Kirberg	29,1	29	29,5	ganz schwaches Wispern	trocken	Tonne
24.06.	10	3-4	Kirberg	27,1	26,9	27,2	ganz schwaches Wispern	trocken	Tonne

Tab. 3: Zusammenfassung aller stündlichen Mittelungspegel

Messpunkte:

MP1 mit 38 m Abstand von der Leitungsmittellinie

MP2 mit 63 m Abstand von der Leitungsmittellinie

MP3 mit 88 m Abstand von der Leitungsmittellinie

	Leitung nicht hörbar, nur Fremdgeräusche
	Leitung hörbar über Fremdgeräuschrauschen
	Leitung hörbar über Fremdgeräuschrauschen, ungünstigste Nachtstunde

Die in der Tabelle 3 dargestellten Messergebnisse sind in drei Kategorien eingeteilt worden:

- subjektiv wahrnehmbare Fremdgeräusche, keinerlei Geräusche der jeweiligen Hochspannungsfreileitung
- jeweilige Hochspannungsfreileitung zumindest am Messpunkt MPI (dichteste Annäherung zur Leitung) hörbar auch bei Fremdgeräuschrauschen
- wie vor, jedoch ungünstigste Nachtstunde

Da die lauteste Nachtstunde als Beurteilungskriterium entsprechend der TA Lärm heranzuziehen ist, wurden die jeweiligen Messwerte zur weiteren Auswertung in die Tabelle 4 überführt.

Der Mittelwert aus den 7 Einzelmessungen für den Messpunkt MPI beträgt 29,2 dB(A), die Schwankungsbreite der Einzelmessungen liegt zwischen 30 dB(A) und 27,8 dB(A) und ist damit sehr gering.

Weiterhin lässt Tabelle 4 den Einfluss von Fremdgeräuschen an den einzelnen Messpunkten und Messorten erkennen, der dadurch gekennzeichnet ist, dass sich die Messwerte an den

einzelnen Messpunkten trotz unterschiedlicher Abstände zur Freileitung gar nicht oder nicht wesentlich unterscheiden.

Die Abstandsabhängigkeit der Schalldruckpegel hängt vom Schallemissionsverhalten der Leitung ab. Zur Erstellung eines Prognosemodells ist die Art der Abstrahlquelle – Punkt- oder Linienquelle oder deren Kombination – von Bedeutung, ebenso wie das zeitliche Abstrahlverhalten von den Leiterseilen der Freileitung. Da die abgestrahlten Geräusche zeitlich durchaus erheblich schwanken können, ist davon auszugehen, dass die Leiterseile der Freileitung keine synchronen Zeitverläufe aufweisen.

Bei den Messungen wurde von den Sachverständigen festgestellt, dass die Leitungen nicht immer als Linienquellen abstrahlen, da auch Schallentstehungsorte längs der Leitung – zumindest von der Richtung her – lokalisiert werden konnten.

Im Folgenden wird theoretisch das Abstrahlverhalten für verschiedene Fälle untersucht. Hierzu werden exemplarisch für den Messort Niederroßbach Schallausbreitungsberechnung unter Anwendung der DIN ISO 9613-2 für folgende Fälle untersucht:

Da die lauteste Nachtstunde als Beurteilungskriterium entsprechend der TA Lärm heranzuziehen ist, wurden die jeweiligen Messwerte zur weiteren Auswertung in die Tabelle 4 überführt.

Messung Nr.	Datum 2003	Uhrzeit	Ort	Mittelungspegel L_{Aeq} in dB (A)			Geräuschbeschreibung	Witterung	Masttyp/Bemerkung
				MP1	MP2	MP3			
1	24.04.	3-4	Kirberg	30,0	29,7	29,9	Zwitschern	trocken	Tonne
3	07.05.	2-3	Niederroßbach	28,6	28,6	28,4	Zwitschern	trocken	Donau
4	07.05.	2-3	Rehe	28,6	27,5	26,5	Prasseln	trocken	Donau
6	14.05.	2-3	Niederroßbach	31,3	23,5	23,3	ganz schwaches Summen	leichter Regen	Donau, 100 Hz
7	14.05.	2-3	Rehe	28,3	26,5	25,3	Knistern	leichter Regen	Donau
9	22.05.	2-3	Niederroßbach	27,8	25,9	25,6	Knistern	Messung nach Regen	Donau, 100 Hz
10	24.06.	2-3	Kirberg	29,1	29,0	29,5	ganz schwaches Wispern	trocken	Tonne

Mittelwert Messung 1, 3, 4, 6, 7, 9, 10	29,2	27,6	27,5
Mittelwert ohne Messung 6 und 9, ohne 100-Hz-Effekt	27,5	26,9	26,8

Messpunkte:

MP1 mit 38 m Abstand von der Leitungsmittellinie

MP2 mit 63 m Abstand von der Leitungsmittellinie

MP3 mit 88 m Abstand von der Leitungsmittellinie

Tabelle 4: Zusammenfassung der Mittelungspegel mit hörbarer Leitung für die lauteste Nachtstunde

1. Gleichverteilung der Schallemission auf alle 6 Leiterseile als Linienschallquelle
2. Schallabstrahlung nur des dem Mikrofon nächstgelegenen Leiterseiles als Linienquelle
3. Abstrahlung des entferntesten Leiterseiles als Linienschallquelle
4. Abstrahlung des entferntesten Leiterseiles als Linienschallquelle
5. Schallabstrahlung als ferngelegene Punktschallquelle
6. Schallabstrahlung als nächstliegende Punktschallquelle auf dem nächstliegenden Leiterseil

men für die Gleichverteilung (Linienquellen) auf einem „Leiterseil nah und fern“ sowie die „Punktquelle fern“ in einem Kollektiv, dem damit ein hoher Vertrauensgrad in Bezug auf die Abstandscharakteristik für die von einer Hochspannungsfreileitung ausgehenden Schalldruckpegel zugeordnet werden kann.

Die theoretische Pegelabnahme für eine Linienquelle auf einem „Leiterseil fern“ liegt etwas oberhalb des genannten Kollektivs und dürfte mit ihrem Abstandsverhalten zu Werten führen, die auf der sicheren Seite liegen.

Die Pegelabnahme für eine „Punktquelle nah“ fällt aus der Kurvenschar der übrigen Betrachtungen deutlich heraus und würde ein zu günstiges Pegelabnahmeverhalten liefern.

Die Schallemission wurde so angepasst, dass sich für den Messpunkt MP1 der aus Tabelle 4 bestimmte Mittelwert von 29,2 dB(A) ergab. Die Berechnung der Bodendämpfung erfolgt auf Grundlage der Gleichung 10 nach DIN ISO 9613-2. Als Ausgangsparameter für die Berechnung der meteorologischen Dämpfung wurde der allgemein übliche Wert von $C_0 = 2$ dB gewählt.

Um einen direkten Vergleich zwischen den theoretischen Schalldruckpegelabnahmen und den Messwerten herzustellen, wurden für jede Messung entsprechend Tabelle 4 jeweils die Differenzen Δ (MP1, MP2) und Δ (MP1, MP3) gebildet, Tabelle 5, und in das Bild 2 übernommen.

Die Berechnungen wurden für die geometrischen Verhältnisse am Messort Niederroßbach durchgeführt, wobei der Durchhang der einzelnen Leiterseile in das geometrische Modell eingearbeitet wurde.

Die weitgehende Übereinstimmung der Messpegel einer Messung an den drei Messpunkten oder nur an den weiter von der Leitung entfernten Messpunkten MP2 und MP3 ist durch Fremdgeräuscheinflüsse, die das von der Freileitung herrührende Geräusch überdecken, zu erklären. Nur bei den Messungen Nr. 4 und 7 ist ein derartiger Einfluss nicht zu erkennen, die Messwerte entsprechend Tabelle 5 lassen hier eine Abstandsabhängigkeit mit zunehmender Entfernung des Messpunktes von Freileitung erkennen.

Bild 2 zeigt den Vergleich der theoretischen Pegelabnahme zwischen Messpunkt MP1 und MP3 für verschiedene theoretische Ansätze der Schallquellenverteilung längs der Hochspannungsfreileitung. Hierbei liegen die theoretischen Pegelabnah-

Messung Nr.	Δ (MP1, MP2) in dB(A)	Δ (MP1, MP3) in dB(A)
1	- 0,3	- 0,1
3	- 0	- 0,2
4	- 1,10	- 2,10
6	- 7,8	- 8,0
7	- 1,8	- 3,0
9	- 1,9	- 2,2
10	- 0,1	+ 0,4

Tabelle 5: Schalldruckpegeldifferenzen

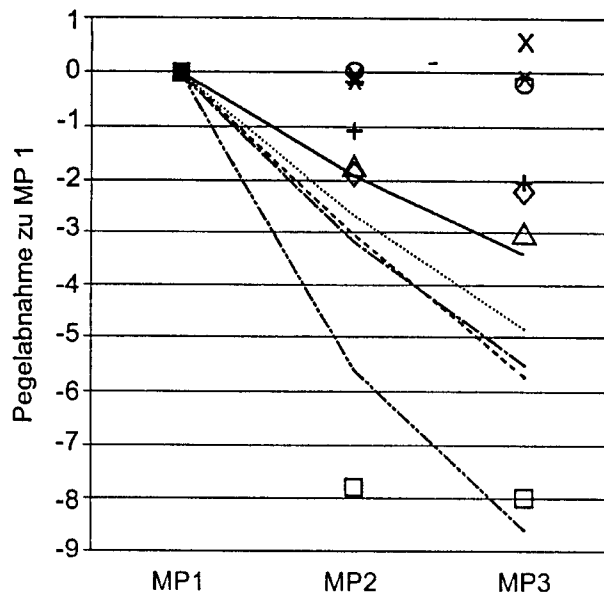


Bild 2: Berechnete Abstandsabhängigkeit und Messwerte

MP1 ... MP3 Messorte

- * Messung 1 O Messung 3 + Messung 4 □ Messung 6
- Δ Messung 7 ◇ Messung 9 x Messung 10
- Gleichverteilung auf 6 Leiterseile ---- Gleichverteilung auf 1 Leiterseil (nah)
- Gleichverteilung auf 1 Leiterseil (fern) - - - - Punktquelle fern
- · - · - Punktquelle nah

Bei Messung 6 ist zwischen dem Messort 1 und dem Messort 2 ein Pegelsprung in der Anzeige des Schallpegelmessers von fast 8 dB beobachtet worden. Ein solcher Pegelsprung ist noch nicht einmal für den Extremfall einer Punktschallquelle auf dem nächstgelegenen Leiterseil zu erwarten. Es handelt sich bei Messung 6 um eine Messung, bei der der Schallpegelmessers eine besonders auffällige dominierende 100-Hz-Komponente anzeigte. Diese 100-Hz-Komponente war weder am Messpunkt MP2 noch am Messpunkt MP3 zu beobachten. Rechnet man den Beitrag der 100-Hz-Komponente an Messpunkt MP1 heraus, so erhält man einen Schalldruckpegel, der den Werten an MP2 und MP3 entspricht. Dies ist ein weiteres Indiz, dass es sich bei der beobachteten 100-Hz-Komponente nicht um einen abstandsrelevanten akustischen Effekt handelt, da die Pegelabnahme zwischen MP1 und MP2 durch keine übliche akustische Schallausbreitung erklärbar ist.

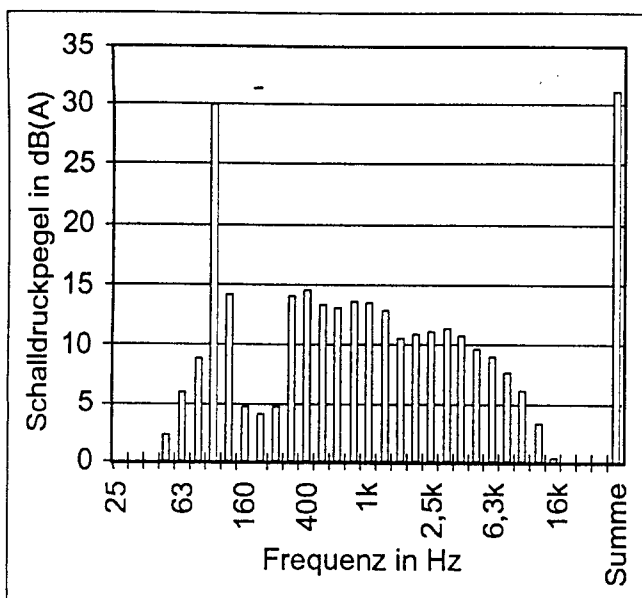
Ergänzend zu den Bestimmungen der Mittelungspegel wurden auch Geräuschspektren in Echtzeit ermittelt. Bild 3 zeigt das Terzspektrum für den Messort Niederroßbach.

Dabei wurden die Terz- und Oktavspektren jeweils tabellarisch und grafisch ausgewertet. Auffallend ist hierbei die ausgeprägte 100-Hz-Komponente.

Das gleiche Verhalten zeigte auch noch Messung 9, beide Messungen fanden zu unterschiedlichen Tagen am Messort Niederroßbach bei leichtem Regen (Messung 6) bzw. nach Regen (Messung 9) statt.

Die 100-Hz-Komponente lässt im Verhältnis zum übrigen Spektrum typischerweise in der Beschreibung des subjektiv wahrgenommenen Geräuschs ein Brummen erwarten, wie er z. B. bei Ummagnetisierungen auftreten kann (Transformatoren, Drosselspulen mit Eisenkern).

Die Geräusche wurden vom Sachverständigen jedoch nicht als Brummen, sondern mal als Summen, mal als Knistern beschrieben. Ob diese 100-Hz-Geräusche auf den eingangs beschriebenen Ionenwindeffekt oder auf andere Effekte zurückzuführen



f Hz	L _{Aeq} in dB(A)		
	f · 1 Hz	f · 10 Hz	f · 100 Hz
25	<0	4,6	11,0
31,5	<0	14,0	11,3
40	<0	14,5	10,7
50	2,2	13,2	9,7
63	5,9	13,0	8,9
80	8,8	13,5	7,7
100	29,9	13,4	6,1
125	14,2	12,7	3,2
160	4,7	10,6	0,3
200	4,0	10,8	<0

Bild 3: Tertspektrum am Messort Niederroßbach, Messpunkt MP1, Messung Nr. 6

ist, bleibt unklar. Dies ist auch insbesondere vor dem Hintergrund zu sehen, dass derartige Effekte nur bei zwei Messungen und auch nur am Messort Niederroßbach beobachtet werden konnten.

7. Ermittlung der Geräuschimmissionen

Die anhand der Messungen gewonnenen Ergebnisse sowohl in Bezug auf die Höhe der Immissionen als auch in Bezug auf die Abstandscharakteristik der Geräuschemissionen sind auf die jeweils in der Nähe der Hochspannungsfreileitung zu betrachtenden Immissionsorte zu interpolieren.

7.1 Beurteilungspegel

Zur Bestimmung der Einwirkung der von der Hochspannungsfreileitung ausgehenden Geräusche auf ein Objekt (z. B. Wohnhaus, Bauernhof) oder ein Gebiet (z. B. Gewerbegebiet, Dorfgebiet, Mischgebiet) ist die Bildung des Beurteilungspegels erforderlich.

Entsprechend Kap. 2.10 der TA Lärm ist der Beurteilungspegel L_r wie folgt definiert:

Der Beurteilungspegel L_r ist der aus dem Mittelungspegel L_{Aeq} des zu beurteilenden Geräusches, der Einwirkungszeit und gegebenenfalls aus Zuschlägen gemäß dem Anhang der TA Lärm für Ton- und Informationshaltigkeit, Impulshaltigkeit und für Tageszeiten mit erhöhter Empfindlichkeit gebildete Wert zur Kennzeichnung der mittleren Geräuschbelastung während jeder Beurteilungszeit.

Auf den Beurteilungspegel L_r beziehen sich die im Abschnitt 4 aufgeführten Immissionsrichtwerte a) bis f).

Die Beurteilungspegel für die untersuchten Immissionsobjekte errechnen sich aus dem Mittelungspegel durch Addition eines Impulzzuschlages und eines Tonzuschlages. In der überwiegenden Zahl der Beobachtungen war das Geräusch stationär und nicht impulshaltig. Bei manchen Geräuschen, die mit Prasseln etc. zu beschreiben sind, kann bei strenger Betrachtungsweise das Geräusch möglicherweise als leicht impulshaltig angesehen werden. Um die Ergebnisse auf die sichere Seite zu legen, wird in dieser Betrachtung ein Impulzzuschlag angewandt, welcher der Differenz zwischen Taktmaximal-Mittelungspegel-Mittelungspegel L_{AFTeq} und der Mittelungspegel L_{Aeq} entspricht. Der bei den vorliegenden Messungen erfasste Impulzzuschlag beträgt 2,3 dB.

Dem Beurteilungspegel L_r ist weiterhin in Abhängigkeit von der Situation am Immissionsort ein Tonzuschlag K_r zu erteilen, wenn aus dem Gesamtgeräusch ein oder mehrere Einzeltöne deutlich hervortreten.

Bei geringen sonstigen Umgebungsgeräuschen und geringem Abstand zur Leitung kann im Einzelfall ein deutlich subjektiv wahrnehmbarer Einzelton festgestellt werden. In einem solchen Fall ist ein Tonzuschlag $K_T = 3$ dB gerechtfertigt. Bei größeren Entfernungen wird wahrscheinlich dieser Einzelton einer Hochspannungsfreileitung nicht mehr deutlich oder überhaupt nicht mehr wahrnehmbar sein. Im Sinne einer Maximalbetrachtung wird daher für alle in dieser Studie untersuchten Immissionsobjekte ein Tonzuschlag von $K_T = 3$ dB angewandt.

7.2 Immissionsorte

Für die zu betrachtenden Immissionsorte ist der jeweilige Beurteilungspegel L_r in Abhängigkeit vom Abstand zur Leitungsmittellinie sowie der Art der Bebauung für die Nachtzeit zu bestimmen und mit dem zugehörigen Immissionsrichtwert der TA Lärm in Beziehung zu setzen.

Dabei wird unterstellt, dass der gemessene Mittelungspegel permanent über die lauteste Nachtstunde vorhanden ist.

Der an Messpunkt MP1 gemessene Mittelungspegel von 29,2 dB (A) wird auf die maßgebenden Entfernungen der verschiedenen Objekte umgerechnet. Ein Teil der Objekte liegt weiter von der Leitung entfernt als MP1, ein anderer Teil liegt näher an der Leitung. Für die Punkte, die weiter entfernt sind als MP1, wird ein Abstandsverhalten gemäß „Gleichverteilung auf 1 Leiterseil fern“ (Bild 2) zugrunde gelegt. Dies führt zu Ergebnissen, die ebenfalls wieder auf der sicheren Seite liegen. Für die Extrapolation zu geringeren Abständen wird die Kurve für „Gleichverteilung auf 6 Leiterseile“ angesetzt (Bild 2).

Die ermittelten Beurteilungspegel liegen alle deutlich mehr als 6 dB (A) unter den entsprechend der TA Lärm jeweils zu berücksichtigenden Immissionsrichtwerten. Aus diesem Grund sind die ermittelten Immissionswerte entsprechend Pkt. 3.2.1, Absatz 2 der TA Lärm als nicht relevant einzustufen. Eine nach der TA Lärm zulässige kurzfristige Überschreitung des Nachtrichtwertes von 20 dB(A) wird nicht im Entferntesten erreicht.

Wegen der fehlenden Relevanz der ermittelten Immissionsbeiträge der geplanten 380-kV-Hochspannungsfreileitung ist eine Berücksichtigung einer Vorbelastung durch andere, unter die

TA Lärm fallende Anlagen entsprechend Pkt. 4.2.6 der TA Lärm nicht erforderlich.

Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang, dass bei der Bestimmung der Geräuschemissionswerte von konservativen Annahmen ausgegangen wird.

Im Einzelnen sind dies:

- Zugrundelegung der Messwerte der lautesten Nachtstunde,
- Berücksichtigung einer 100-Hz-Komponente (Messung 6), die nicht durch eine übliche akustische Schallausbreitung zu erklären ist,
- Zugrundelegung der ungünstigsten berechneten Abstandsabhängigkeit („Gleichverteilung auf 1 Leiter fern“, Bild 2),
- Ansatz eines Impulszuschlages von 2,3 dB und
- Ansatz eines Tonzuschlages von $K_T = 3$ dB.

8. Zusammenfassung

Im Rahmen von Umweltverträglichkeitsprüfungen bei Planfeststellungsverfahren für Hochspannungsfreileitungen sind auch Geräuschemissionen, die von den Leiterseilen einer entsprechenden Leitung ausgehen können, zu berücksichtigen.

Das Empfinden der Geräuschemissionen von Hochspannungsfreileitungen durch den Menschen unterliegt subjektiv-individuellen Faktoren, die ein unterschiedliches Bewerten dieser Geräusche mit sich bringen. Maßgebend für die Bewertung und Einstufung von Geräuschen ist die TA Lärm.

Um für eine geplante 380-kV-Hochspannungsfreileitung aussagefähige Angaben im Rahmen eines Planfeststellungsverfahrens treffen zu können, hat die RWE Transportnetz Strom GmbH vom TÜV Süddeutschland ein Gutachten zur Ermittlung der Geräuschemissionen von 380-kV-Hochspannungsfreileitungen erstellen lassen.

In diesem Gutachten wurde auch das Abstandsverhalten der von einer Freileitung ausgehenden Schalldruckpegel messtechnisch und theoretisch ermittelt. Dadurch konnte gezeigt werden, dass die Messungen in der Regel Fremdgeräuschanteile, d. h. Geräuschanteile, die nicht von der Hochspannungsfreileitung herrühren, enthalten.

Bei größeren Abständen führen die Fremdgeräusche zu einer Überdeckung der von der Hochspannungsfreileitung herrührenden Geräusche.

Alle relevanten Geräuschimmissionen liegen mit mehr als 6 dB (A) trotz des konservativen Ansatzes für ihre Bestimmung erheblich unter den jeweiligen Immissionsrichtwerten nachts der TA Lärm.

Dies bedeutet, dass der von einer 380-kV-Hochspannungsfreileitung mit einer dem anerkannten Stand der Technik entsprechenden Bündelleiter-Ausgestaltung verursachte Immissionsbeitrag nicht als relevant im Sinne der TA Lärm einzustufen ist.

Mit den durchgeführten Untersuchungen liegen nunmehr aktuelle Daten und Erkenntnisse vor, die eine Beurteilung und Bewertung vergleichbarer Situationen erlauben.

9. Literatur

- [1] Paul, H.-U.; Uther, D.; Neuhoff, M.; Winkler-Hartenstein, K.; Schmidtkunz, H.; Großnick, J.: GIS-gestütztes Verfahren zur Bewertung visueller Eingriffe durch Hochspannungsfreileitungen. Naturschutz und Landschaftsplanung, Zeitschrift für angewandte Ökologie, Verlag Eugen Ulmer, 36. Jahrgang 5/2004
- [2] Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) vom 16. Dezember 1996
- [3] INTERFERENCES PRODUCED BY CORONA EFFECT OF ELECTRIC SYSTEMS (Description of Phenomena and Practical Guide for Calculation. CIGRE working Group 36.01, December 1996, CIGRE 21 rue d'Artois – F – 75008 PARIS
- [4] Bräunlich, Reinhold; Teich, Timm; Weber, Hans-Jürgen; - Heutschi, Kurt; Reduktionsmaßnahmen für Koronaschallemissionen an Hochspannungsfreileitungen. Bulletin SEV/VSE 18/01
- [5] Teich, Timm; Weber, Hans-Jürgen: Origin and abatement of tonal emission from high voltage transmission lines. Elektrotechnik und Informationstechnik e & I vol. 119 No. 1 (2002), pp 22-27
- [6] Hirsch, F.: Beeinflussung durch Koronaentladungen an Hochspannungsanlagen. Erschienen in: Band 203, Kapitel 11, Karl-Heinz Feist, Starkstrom-Beeinflussung; Sindelfingen: expert verlag 1986
- [7] Hoffmann, M.: Lärmschutz in Baden-Württemberg. 25 Jahre LfU-Jahresbericht 1998/99, S. 118-120
- [8] J.A. Molino, G. A. Zerdt, N.P. Lerner, D.L. Harwood, "Use of the 'Acoustic Menu' in Assessing Human Response to Audible (Corona) Noise from Electric Transmission Lines", J. Acoust. Soc. AM, 66 (5), Nov. 1979, pp. 1435-1445
- [9] M. Fiorina, R. Piazza, F. Rosa, "Loudness annoyance of the acoustic noise produced by corona discharges in A. C. Power lines", Paper C3-5, 12th Intern congress on acoustics Toronto, July 14-31, 1986
- [10] M. Fiorina, R. Piazza, F. Rosa, "Effect of audible noise on UHV power line design", Paper C3-7, 12th International congress on acoustics Toronto, July 24-31, 1986
- [11] R. Cortina, F. Rosa, W. Serravalli, E. Brosio, R. Piazza, "Experimental investigation in the anechoic chamber on the loudness of acoustic noise caused by A.C. corona", IEEE Trans., Vol. PAS-100, No. 9, September 1981, pp. 4225-4232
- [12] Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm. Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 26. August 1998 (GMBI. Nr. 26 vom 28.08.1998 S. 503)
- [13] TÜV Süddeutschland, Bau und Betrieb, Gutachten Nr. L 5058, 19. August 2003
- [14] Immissionen durch Hochspannungsfreileitungen, Untersuchung der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg vom Mai 1999