



**Fraunhofer** Institut  
Digitale  
Medientechnologie

## **Analyse und Ausarbeitung von Vorschlägen hinsichtlich der Schallbelastung bei Hochspannungsfreileitungen**

Bericht

**Fraunhofer-Institut für  
Digitale Medientechnologie IDMT**

Langewiesener Str. 22  
D-98693 Ilmenau

Dipl.-Ing. Daniel Beer  
Dr.-Ing. Sandra Brix  
Prof. Dr.-Ing. Karlheinz Brandenburg

April 2005

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	2
1. Vorwort.....	3
2. Schallbelastung bei Hochspannungsfreileitungen.....	3
2.1 Begriffserklärungen.....	3
2.2 Koronaentladung an Freileitungen.....	3
2.3 Koronageräusche .....	4
3. Vorhandene Gesetzgebung bzgl. Koronageräusche.....	6
4. Ultraschall.....	8
4.1 Definition .....	8
4.2 Einsatzgebiete.....	8
4.3 Medizindiagnostik und gesundheitliche Risiken .....	8
4.4 Ultraschallschweißmaschinen und Belastungen .....	9
5. Beeinflussung durch elektromagnetische Strahlung .....	9
6. Analyse vorhandener Gutachtenunterlagen .....	10
6.1 Gutachtenunterlagen.....	10
6.2 Umweltverträglichkeitserklärung (UVE).....	10
6.3 Schalltechnisches Gutachten .....	13
6.4 Umweltverträglichkeitsgutachten/ Ergänzungen zu dem Teilgutachten.....	14
6.5 Qualitätsbewertung der Gutachten.....	14
6.6 Weitere Untersuchungen zu Koronageräuschen .....	15
7. Empfehlungen zur weiteren Vorgehensweise.....	15
Quellenverzeichnis .....	15

## 1. Vorwort

Die Gemeinde Empersdorf in Österreich hat an das Fraunhofer IDMT eine Anfrage bezüglich Schallbelastung bei Hochspannungsfreileitungen gestellt. Im folgenden Bericht wird die Analyse der Gutachtenunterlagen und Literatur vorgestellt sowie die Ausarbeitung von Vorschlägen hinsichtlich der Schallbelastung bei Hochspannungsfreileitungen präsentiert.

## 2. Schallbelastung bei Hochspannungsfreileitungen

### 2.1 Begriffserklärungen

Der Begriff **Korona** wird in unterschiedlichen Fachgebieten gebraucht. So steht er u.a. für die sehr dünne Masseschicht der Sonne, die über der Chromosphäre liegt; für die farbigen Ringe um den Mond und als Kurzform für eine elektrische Koronaentladung.

In der Elektrotechnik zählt die **Koronaentladung** zu den Gasentladungen. Gase, wie z.B. Luft, stellen bei Einwirkung niedriger elektrischer Felder naturgegebene Isolierstoffe dar. Im Gegensatz zu festen und flüssigen Isolierstoffen besitzen sie i. d. R. eine deutlich geringere elektrische Festigkeit. Somit treten bei erhöhter Beanspruchung, wie z.B. größeren elektrischen Feldstärken, Entladungserscheinungen zwischen Elektroden auf. Die dazu notwendigen Ladungsträger werden durch Photoionisation, Thermoionisation und Stoßionisation freigesetzt.

Bei der Gasentladung im inhomogenen elektrischen Feld, werden die zur Gasentladung notwendigen Zündbedingungen vorerst nur unmittelbar vor stark gekrümmten Elektrodenkonturen erreicht. Deshalb kommt es erst einmal zu Vorentladungen bzw. äußeren Teilentladungen. Dabei werden Spitzen, Kanten und Leiter mit geringen Radien von einer sichtbaren Leuchterscheinung umhüllt – der Korona.

Die sichtbare Koronaentladung beginnt zunächst mit einer gleichmäßigen Glimmentladung, aus der beim Steigern der Spannung intensiver leuchtende Büschel- und Stielbüschelentladungen hervorgehen.

Bei einer weiteren Spannungserhöhung kommt es dann zum Durchschlag der gesamten Isolationsstrecke mit einer nachfolgenden Bogen- bzw. Funkenentladung (Abb. 1).

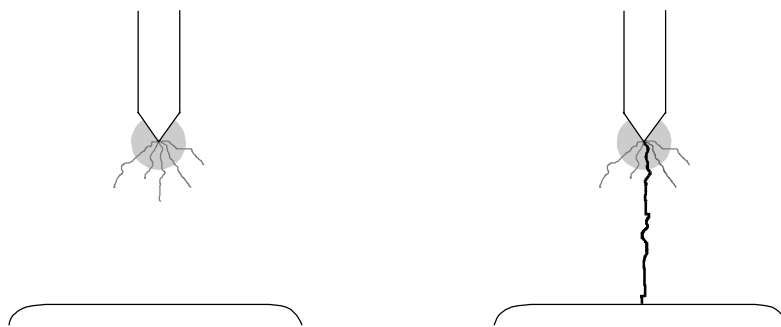


Abb. 1: Koronaentladung (links) und Durchschlag (rechts) im inhomogenen Feld zweier Elektroden

### 2.2 Koronaentladung an Freileitungen

Zur Übertragung von Höchstspannungen ( $\geq 380$  kV) werden i. d. R. Freileitungen benutzt, die aus mehreren Leiterbündeln aufgebaut sind (Abb. 2 Schematische Darstellung einer Freileitung mit einem Dreierbündel-System, bestehend aus drei Dreierbündeln

). Zwischen den einzelnen Leitern und der Erde sowie auf Erdpotential gesetzte Leitungen kommt es aufgrund des Stromflusses zur Entstehung von elektrischen Feldern. Die dazwischen befindliche Luft wirkt dabei als Isolator. Bei der Planung der Leiteranordnung

muss u.a. darauf geachtet werden, dass die elektrische Festigkeit der Luft ausreichend groß gegenüber den auftretenden elektrischen Feldstärken ist.

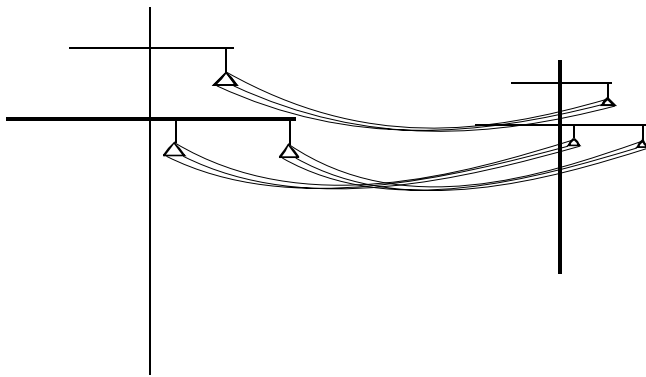


Abb. 2 Schematische Darstellung einer Freileitung mit einem Dreierbündel-System, bestehend aus drei Dreierbündeln

Aufgrund von Ablagerungen an der Leiteroberfläche, wie z.B. Wassertropfen und Staub, bilden sich stark gekrümmte Elektrodenkonturen und damit inhomogenen Felder mit wesentlich höheren elektrischen Feldstärken aus (Abb. 3). Somit werden die für die Koronaentladung notwendigen Zündbedingungen erreicht. Trotz optimierter Leiteranordnung an den betreffenden Stellen kommt es zum Entladungsvorgang.

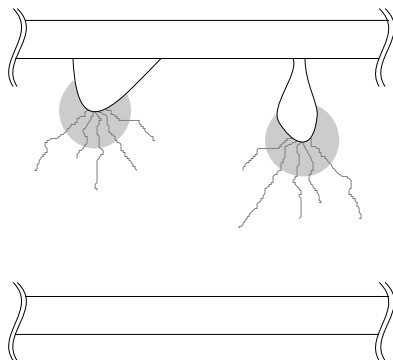


Abb. 3 Koronaentladung zwischen zwei Leitern aufgrund von Wassertropfen

Bei der Koronaentladung kommt es neben den Leuchterscheinungen zur Aussendung elektromagnetischer Wellen, zur Abstrahlung von Schall und Ultraschall sowie zu energetischen Verlusten.

Auf die elektromagnetische Strahlung, die sowohl Auswirkungen auf Mensch und Tier als auch auf elektronische Geräte hat, wird in den weiteren Betrachtungen nicht eingegangen. Gleiches gilt für die hervorgerufenen energetischen Verluste, die in [1] mit 2 kW/km bei gutem Wetter, mit 5 kW/km bei Regen und mit 100 kW/km bei Frost angegeben werden.

### 2.3 Koronageräusche

Durch die Koronaentladung an Freileitungen werden Druckwellen im Hör- und Ultraschallbereich hervorgerufen. Der Hörfrequenzbereich erstreckt sich von 20 Hz bis 20 kHz und geht fließend in den Ultraschallbereich über, der sich wiederum bis 1 GHz erstreckt. Aufgrund des eingeschränkten Hörvermögens des Menschen, wird bei bisherigen Untersuchungen der Ultraschallbereich nicht betrachtet. Demzufolge wurden Messverfahren und Messtechniken eingesetzt, die ausschließlich für den Hörfrequenzbereich geeignet sind. In Folge dessen erstrecken sich die gemessenen Spektren i. d. R. nur bis 20 kHz. Als Beispiel ist das Terzbandspektrum einer einseitigen 380 kV Leitung in 130 m Abstand in Abb. 4 dargestellt [2].

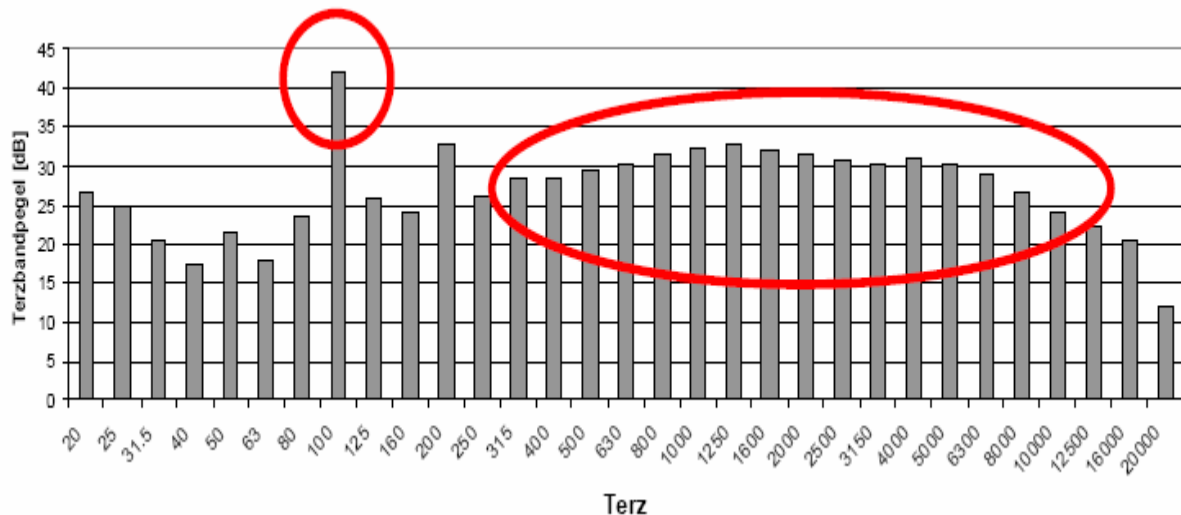


Abb. 4: Terzbandspektrum des Koronageräusches einer einseitigen 380kV Leitung in 130m Abstand [2]

Das Spektrum der Koronageräusche fällt i. d. R. sehr breitbandig aus und zeigt selten tonalen Charakter. Es ist breitbandig aufgrund des impulsartigen Schallereignisses, da wie bei einer Explosion, in sehr kurzer Zeit ein sehr hoher Druck aufgebaut wird.

Das Spektrum in Abb. 4 weist neben einer breitbandigen Anhebung zwischen 1 kHz und 5 kHz zwei deutliche schmale Überhöhungen im Terzband zwischen 100 Hz/125 Hz und 200 Hz/250 Hz auf. Demnach ist neben einem Knistern auch ein Brummen in den 100 Hz Terzband wahrnehmbar.

Da die Koronaentladung von den Verunreinigungen auf der Leiteroberfläche stark beeinflusst wird, variiert das Geräuschspektrum einer Freileitung bezüglich seiner Amplitudenverteilung. Staubablagerungen, Wassertropfen und Frost sind die hauptsächlich Einfluss nehmenden Faktoren. So ist das Koronageräusch bei Regen aufgrund der an den Leiteroberflächen haftenden Regentropfen wesentlich lauter als bei niederschlagsfreiem Wetter [3]. Auch Staubablagerungen, die die Leiteroberfläche aufrauen, zeigen eine deutlich begünstigende Wirkung für Koronaentladungen. In [2] wurden dazu Untersuchungen an einer künstlich aufgerauten Leitung durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abb. 5 dargestellt. Besonders bedeutsam ist dabei, dass durch das Reinigen der Leitungsoberfläche, sowohl das 100Hz Terzbandbrummen als auch das Knistern leiser wurden.

Mit der Erhöhung der zu übertragenden Spannung einer Freileitung nehmen auch die elektrischen Feldstärken zu, was wiederum die Koronaentladungen begünstigt. Ergebnisse zu derartigen Untersuchungen sind in Abb. 6 dargestellt [2].

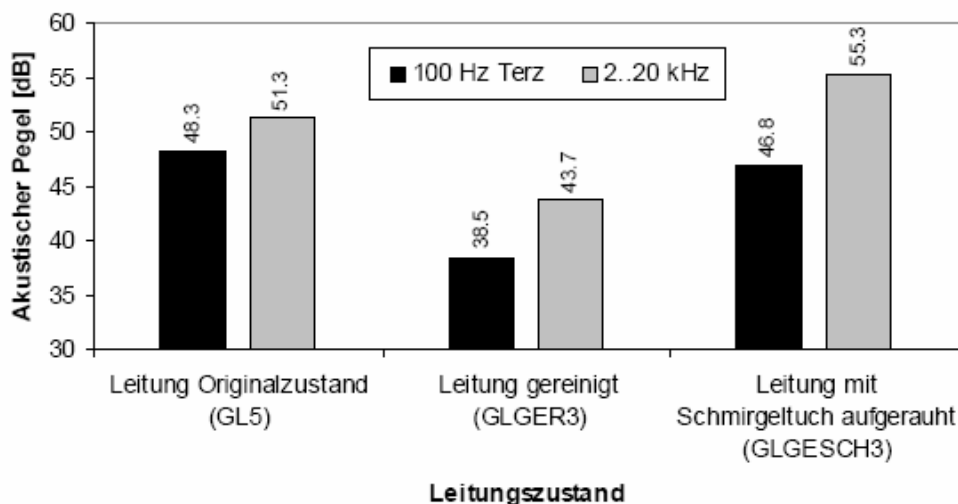


Abb. 5: Koronaentladung bei gleichem Abstand und unterschiedlicher Leiteroberfläche [2]

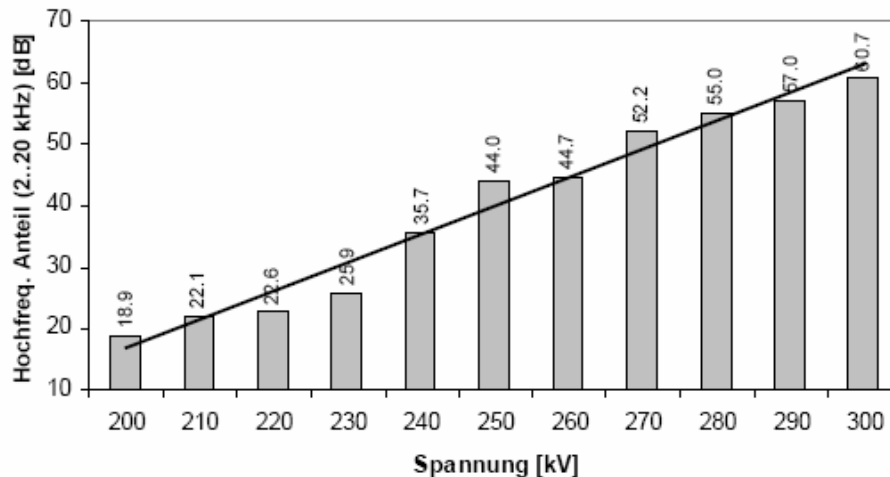


Abb. 6: Teilspektrum des Koronageräusches bei unterschiedlichen Spannungen [2]

Der gleiche Zusammenhang besteht zwischen der Anzahl der verwendeten Leiter pro Phase. Je größer die Anzahl der Leiter bei gleich bleibender zu übertragender Spannung ist, desto kleiner sind die Randfeldstärken der einzelnen Leiter und damit die Ausmaße der Koronaentladungen [3]. Aus diesem Grund werden für z.B. 380 kV Leitungen zunehmend Dreier- statt Zweier-Bündelleiter eingesetzt.

Da zeitgleich viele Entladungen entlang der Leitung stattfinden, erfolgt die Schallabstrahlung im Hörfrequenzbereich gemäß einem Linienstrahler. Das bedeutet, dass sich der Schall in Form von Zylinderwellen ausbreitet. Ein ganz wesentlicher Punkt hierbei ist, dass bei Schallausbreitungen anhand von Zylinderwellen die Schalldämpfung mit nur 3 dB pro Entfernungsverdopplung wirkt. Das heißt, dass z.B. der Pegel einer dicht befahrenen Autobahn in 1000 m Abstand nur 16 dB geringer ist als in 25 m Abstand. Der von einer Freileitung ausgesandte Geräuschpegel in 10m Abstand wird nach 90 weiteren Metern – also in 100 m Entfernung – nur um 10 dB verringert, was einer empfundenen Lautstärkehalbierung entspricht.

Abgesehen von den Betrachtungen im Hörfrequenzbereich, sind in der Literatur so gut wie keine Untersuchungen über die Freisetzung von Schall im Ultraschallbereich in Bezug auf Koronaentladungen vorhanden. Neben technischen Aussagen aus eigenen Untersuchungen von dem Institut für Elektroenergiesysteme und Hochspannungstechnik der Universität Karlsruhe, bestätigen Hersteller von Ultraschalldetektoren wie Chambers-GmbH und Hilo-Test-GmbH, dass sowohl bei der Koronaentladung als auch bei anderen elektrischen Entladungen Ultraschall freigesetzt wird [4, 5].

### 3. Vorhandene Gesetzgebung bzgl. Koronageräusche

Die Beurteilung von Koronageräuschen im Hörfrequenzbereich – 20 Hz bis 20 kHz – ist gesetzlich geregelt. Sie entsprechen dem Lärm von Energieanlagen und werden dem Industrie- und Gewerbelärm gleichgesetzt. Die ÖNORM 5021 und die ÖLA-Richtlinie Nr. 3 enthalten entsprechende Vorgaben bezüglich des maximal zulässigen Schalldruckpegels je nach Kategorie und Tageszeit.

Kategorie	$L_{A,Gg}$ in dB(A)		$L_{A,eq}$ in dB(A)		$L_{A,1}$ bzw. $L_{A,max}$ in dB(A)			
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Abend	Nacht	Sonn- u. Feiertag
1	35	25	45	35	70	65	60	65
2	40	30	50	40	75	70	65	70
3	45	35	55	45	75	70	65	70
4	50	40	60	50	80	75	70	75
5	55	45	65	55	80	75	70	75

Tab. 1: A-bewertete Grenzwerte für die Schalldruckimmission im Freien [6]

Die Kategorien entsprechen verschiedenen örtlichen Gegebenheiten, die wie folgt zugeordnet werden [6]:

Kategorie 1:	Ruhegebiet, Kurgebiet, Krankenhaus
Kategorie 2:	Wohngebiet in Vororten, Wochenendhaus- und ländliches Wohngebiet, Schulen
Kategorie 3:	Städtisches Wohngebiet, Gebiet für Bauten land- und forstwirtschaftlicher Betriebe mit Wohnungen
Kategorie 4:	Kerngebiet (Büros, Geschäfte, Handel, Verwaltung ohne Lärmemission, Wohnungen, Betriebe ohne Lärmemission)
Kategorie 5:	Betriebe mit geringer Lärmemission (Verteilung, Erzeugung, Dienstleistung, Verwaltung)

Je nach Betrachtung werden die nachfolgenden Schalldruckpegeltypen unterschieden: [6]

$L_{A, Gg}$ :	Grundgeräuschpegel; geringster an einem Ort gemessener A-bewerteter Schalldruckpegel, der durch entfernte Geräusche verursacht wird; alternativ auch $L_{A, 95}$ verwendbar
$L_{A, 95}$ :	Basispegel; Der in 95% überschrittene A-bewerteten Schalldruckpegel eines beliebigen Geräusches
$L_{A, eq}$ :	A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel; Einzelangabe, die zur Beschreibung von Schallereignissen mit schwankendem Schalldruckpegel dient. Es ist jener Schallpegel, der bei andauernder gleichmäßiger Einwirkung über eine vorgegebene Bezugszeit denselben Energiegehalt hat wie das schwankende Geräusch.
$L_{A, f}$ :	Mittlerer Spitzenpegel; Der in 1% der Messzeit erreichte bzw. überschrittene Schallpegel als Maß für häufig auftretende Schallpegelspitzen.
$L_{A, max}$ :	Maximalpegel; Der höchste Schallpegel innerhalb der Messzeit.

Die Bezeichnung „A-bewertet“ kennzeichnet, dass die gemessenen unbewerteten Schalldruckpegel mit einer Funktion gewichtet werden, die die frequenzabhängige Hörempfindlichkeit des Menschen berücksichtigt (Abb. 7).

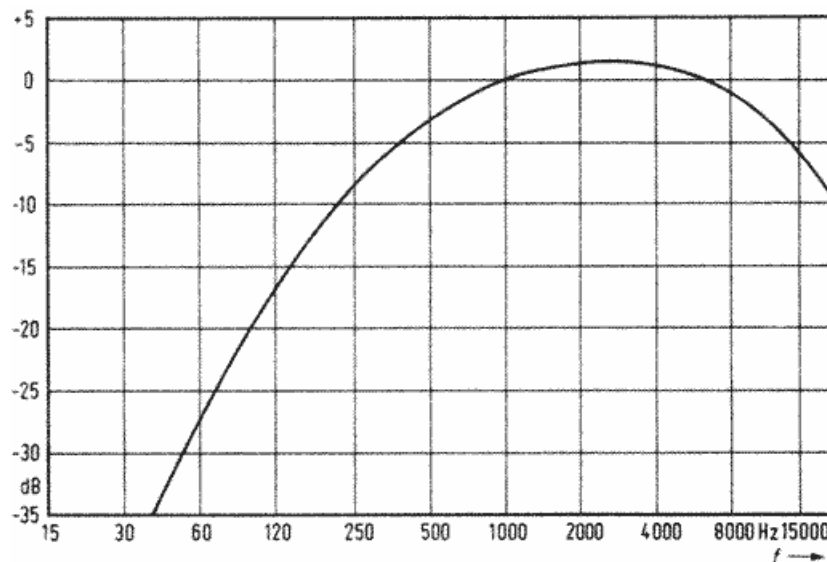


Abb. 7: A-Bewertungskurve nach DIN 45 633 Teil 1 [7]

Neben der A-Bewertung findet eine zusätzliche Gewichtung statt, die die Tonhaltigkeit des Koronageräusches berücksichtigt. Die Tonhaltigkeit wird nach DIN 45681 Teil 1 definiert. Dabei werden Pegeldifferenzen zwischen benachbarten Frequenzen des A-bewerteten Spektrums bestimmt und unter Berücksichtigung eines Terms für die frequenzabhängige Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs (Verdeckungsmaß  $a_v$ ) ggf. mit Tonzuschlag  $K_{Ton}$  ermittelt. Bei der Bildung des Beurteilungspegels  $L_r$  wird je nach Tonhaltigkeit der energieäquivalente Dauerschallpegel  $L_{A, eq}$  mit einem Tonzuschlag  $K_{Ton}$  korrigiert. Darüber hinaus ist für besonders impulsartige Geräusche ein Impulzzuschlag  $K_{Impuls}$  vorgesehen.

Der Beurteilungspegel  $L_r$  ergibt sich somit aus [2]:

$$L_r[\text{dBA}] = L_{A,\text{eq}} + K_{\text{Ton}} + K_{\text{Impuls}}$$

## 4 Ultraschall

Wie im Kap. 2.3 beschrieben werden Druckwellen im Ultraschallbereich durch die Koronaentladung an Freileitungen hervorgerufen. Die Gesetzgebung bezüglich der Koronageräusche beschränkt sich allerdings auf den Hörfrequenzbereich. Eventuelle Schallanteile im Ultraschallbereich sind in der Literatur nicht dokumentiert. Trotzdem können anhand von Richtlinien für den Einsatz von Ultraschall in anderen Tätigkeitsbereichen, erste Abschätzungen des Sachverhalts gemacht werden. Im folgenden Abschnitt wird der Begriff Ultraschall definiert, sein Erzeugungsprinzip dargestellt, Einsatzgebiete beschrieben sowie mögliche biologische Wirkungen zusammengefasst.

### 4.1 Definition

Schallwellen sind longitudinale Materiewellen. Sie können sich in gasförmigen, flüssigen oder festen Medien ausbreiten. Schall in einem Frequenzbereich von 20 Hz bis ca. 20 kHz ist für das menschliche Ohr hörbar. Bei Frequenzen über 20 kHz bezeichnet man ihn als Ultraschall. Tiere können Ultraschall in einem Frequenzbereich von 20 kHz bis 2 MHz erzeugen. Ultraschall dient in der Tierwelt vor allem zur Orientierung. Fledermäuse z.B. erzeugen den Ultraschall mit einer Frequenz von 40 bis 90 kHz. Dies kann aber auch zur Betäubung von Beutetieren oder Feinden eingesetzt werden.

### 4.2 Einsatzgebiete

Die Einsatzgebiete des Ultraschalls sind vielfältig. In der Werkstofftechnik wird Ultraschall z.B. zur zerstörungsfreien Untersuchung von Einschlüssen fremden Materials oder auch von Luft in anderen Stoffen genutzt. Die Ortung der Einschlüsse wird dabei über die Impuls-Echo-Methode durchgeführt, indem die Laufzeit eines gesendeten Impulses gemessen wird und somit Rückschlüsse auf die Materialdicke gezogen werden können.

In gleicher Weise funktioniert auch das von Schiffen verwendete SONAR zur Messung der Tiefe, Ortung von Fischschwärmen und anderen sich unter Wasser befindenden Gegenständen.

Ein weiteres Anwendungsgebiet stellt die Medizin dar. In der medizinischen Diagnostik werden Ultraschallwellen impulsartig eingesetzt, d.h. als Wellenpakete. Der Zeitunterschied zwischen der Signalerzeugung und dem von verschiedenen Gewebearten reflektierten Signal wird gemessen. Aus diesem Wert für die Laufzeit wird unter Verwendung der Schallgeschwindigkeit im Gewebe die Entfernung zwischen dem Sensor am Körper und der reflektierenden Schicht im Inneren des Körpers berechnet. Mit einem Rechner werden diese Abstandsinformationen dann zu einem Bild verarbeitet. Strukturen, die kleiner sind als die Wellenlänge des verwendeten Schalls, können nicht mehr aufgelöst werden. Deshalb sollte Ultraschall mit einer Wellenlänge kleiner als 1 mm verwendet werden. Schall im für Menschen hörbaren Bereich hat eine Wellenlänge der Größenordnung 1 m und ist dementsprechend für die Medizin ungeeignet.

Ultraschall kann auch als Therapie zur Behandlung von Entzündungen im Körper eingesetzt werden. Dabei wird die Durchblutung des beschallten Gewebes angeregt und beschleunigt den Heilungsprozess. Ein weiteres relativ neues Verfahren stellt die ambulante durchgeführte Zerstörung von Nierensteinen ohne Operation dar. Hierfür wird der Ultraschallpuls auf den zu zerstörenden Stein fokussiert. Man erhält dort eine hohe absorbierte Strahlungsenergie, während das den Stein umgebende Gewebe außerhalb des Fokus nicht in Mitleidenschaft gezogen wird.

### 4.3 Medizindiagnostik und gesundheitliche Risiken

In den letzten Jahren ist Ultraschall dank einer günstigen Konstellation von Wellenlänge, Schallgeschwindigkeit und Eindringtiefe ein unentbehrliches Hilfsmittel der medizinischen Diagnostik geworden. Beispiele hierfür sind Untersuchungen an sämtlichen inneren Organen, Schwangerschaftsuntersuchungen, Messung der Blutflussgeschwindigkeit, sowie Tumorerkennung und Tumorunterscheidung mittels Ultraschallkontrastmittel [8].

Es wurden für den Einsatz jedoch Schwellenwerte festgelegt, da ein Ultraschallfeld im durchschallten Gewebe zu lokaler Wärmeerzeugung und Temperaturerhöhung aufgrund der Schallabsorption sowie zu stabiler Kavitation (Schwingungsanregung bereits bestehender Gasbläschen) und zur transienten Kavitation (Hohlraumbildung im Material und anschließender Kollaps mit

Stoßwellenanregung sowie chemischen Folgereaktionen) führen kann. Diese repräsentieren maximale Werte für thermische und Kavitationswirkungen, die, wenn sie überschritten werden, unerwünschte biologische Wirkungen im lebenden Gewebe zur Folge haben. Daher kommt dem Einsatz geeigneter Vorkehrmaßnahmen zur Vermeidung schädigender Expositionen des Patienten hohe Bedeutung zu. Andererseits, um eventuelle gesundheitliche Risiken ausschließen zu können, sind bestimmte Richtlinien bei der medizinischen Anwendung und auch bei der Herstellung der dazu notwendigen Geräte zu beachten. Im Hinblick auf die Herstellung von Geräten für den diagnostischen Ultraschall ist die Europäische Norm DIN EN 61157 wichtig [9]. Hierin werden Grenzwerte angegeben als auch die vom Hersteller anzugebenden sicherheitsrelevanten Parameter vorgeschrieben. Die Kassenärzte in Deutschland sind zur Einhaltung dieser DIN verpflichtet [10] [11].

Eine ausführliche Darstellung der wissenschaftlichen Zusammenhänge der Ultraschalldiagnostik, die physikalischen Wirkungsmechanismen und die beobachteten Formen der biologischen Ultraschallwirkung werden in [13 bis 32] beschrieben. Thermische Risiken werden bei Ultraschallexposition für embryonale oder fetale Gewebe als potentiell schädigend angesehen, wenn eine Temperaturerhöhung von 4°C oder mehr (abhängig von der Expositionsdauer) über der physiologischen Temperaturaufritt [28].

Zum Thema „Machbarkeit von Studien zur schädigenden Wirkung von diagnostischem Ultraschall in der Schwangerschaft auf die Gesundheit der Nachkommen“ hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Untersuchungen von der Universität Bielefeld durchführen lassen [11]. Hierin wird auf mögliche gesundheitliche Risiken der Ultraschalluntersuchung eingegangen.

#### **4.4 Ultraschallschweißmaschinen und Belastungen**

Mit Ultraschall-Schweißmaschinen lassen sich Thermoplaste durch eine Erwärmung des Materials an den Kontaktstellen dauerhaft verbinden. Diese Maschinen werden in der Kraftfahrzeugindustrie oder in Zulieferbetrieben zum Einsatz gebracht. Schall- bzw. Geräuschuntersuchungen zeigen, dass im Ultraschallbereich mittlere Schalldruckpegel bis zu 105 dB gemessen werden konnten. In einigen Fällen klagen Beschäftigte über Gleichgewichtsstörungen, Übelkeit und Kopfschmerzen [42].

## **5 Beeinflussung durch elektromagnetische Strahlung**

Zahlreiche Studien und Untersuchungen wurden im Bereich der biologischen Wirkungen durch elektromagnetische Strahlung bisher durchgeführt (u.a. 34 bis 40). Dabei wurden Menschen, Tieren, Pflanzen bzw. Zell- und Gewebekulturen untersucht.

Die vielfach unter dem Begriff Elektromog zusammengefasste elektromagnetische Strahlung umfasst ein weites Strahlungsspektrum und basiert auf einer Vielzahl von Strahlungsquellen. Die Wirkungen von elektromagnetischen Feldern hängen im Allgemeinen von der Frequenz und der Intensität, aber auch von individuellen Eigenschaften wie zum Beispiel die Körpergröße oder der Ausrichtung zum Feld ab.

Hinsichtlich der gesundheitlichen und biologischen Wirkungen von Hochfrequenzstrahlung wird zwischen thermischen Auswirkungen (Erwärmungseffekte) und nicht-thermischen bzw. athermischen Auswirkungen unterschieden. Unter dem thermischen Effekt ist die Erwärmung des Körpers durch eine Absorption der elektromagnetischen Felder zu verstehen. Der Hauptteil der absorbierten Energie wird im menschlichen Körper in Wärme umgewandelt. Hierdurch können Regelmechanismen des Temperatenausgleiches überfordert werden. Um biologische Wirkungen im Körper auszulösen, muss dazu ein bestimmter Schwellenwert überschritten werden, wie im Kapitel 4 bereits erwähnt. Sehr kontrovers diskutiert werden dagegen die athermischen Auswirkungen der Hochfrequenzstrahlung auf die Gesundheit von Menschen. So wird über spezielle Auswirkungen berichtet, die nicht durch den thermischen Effekt erklärt werden können. Es handelt sich beispielsweise um Migräne und Kopfschmerzen, Schlaf- und Konzentrationsstörungen oder auch Beeinflussungen von Stoffwechselforgängen, des Zentralnervensystems und der Gehirnaktivitäten sowie ein möglicher Einfluss auf Krebserkrankungen. Es besteht Einigkeit in der Wissenschaft, dass insbesondere für den Bereich der athermischen Auswirkungen von Hochfrequenzstrahlung auf die menschliche Gesundheit weiterer Untersuchungsbedarf besteht. Die Datenlage in diesem Bereich ist noch unklar. Es liegen bisher jedoch keine bestätigten Berichte über negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit vor, so dass athermische Effekte bei der Festsetzung der deutschen Grenzwerte (26. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV)) bisher nicht berücksichtigt worden sind. Die 26.BImSch-Verordnung regelt u.a. welche Feldstärken eine Hochspannungsfreileitung an Plätzen, die zum nicht vorübergehenden Aufenthalt von Menschen dienen, nicht überschreiten darf.

Neben den Einwirkungen auf Menschen werden Wirkungen auf Tiere diskutiert. So werden Insekten von den senkrechten Lichtbündeln der Sky-Beamer angezogen. Zudem können die Himmelsstrahler zur Verwirrung und Ablenkung von Zugvögeln führen [36].

Mit der Verordnung über den Schutz vor Elektromag (NISV) [41] will der Bund den Schutz der Bevölkerung verbessern.

## 6. Analyse vorhandener Gutachtenunterlagen

### *6.1 Gutachtenunterlagen*

Dem Fraunhofer IDMT wurden durch Herrn Josef Arnus die folgenden Unterlagen übermittelt:

- **Umweltverträglichkeitserklärung-Fachbereich E-Schall** – Dr. Tromberger
- **Schalltechnisches Gutachten** – Amt der Stmk. Landesregierung, DI Reichl
- **Teilgutachten Immissionstechnik (Luftreinhaltung) und Klima** – Dr. Pongratz
- **Umweltverträglichkeitsgutachten und revidierte Fassung vom Dezember 2004**
- **Ergänzungen zu den Teilgutachten** – Dr. Pongratz, DI Reichl.

Da das Fraunhofer IDMT für den Teilbereich Schallemission und -immission beauftragt wurde, wurden nichtrelevante Kapitel in den Unterlagen übergangen bzw. von Herrn Arnus nicht übermittelt. Das Teilgutachten Immissionstechnik ist ganz von diesem Tatbestand betroffen.

### *6.2 Umweltverträglichkeitserklärung (UVE)*

Die Umweltverträglichkeitserklärung von Dr. Tromberger orientiert sich an den Vorgaben des Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetzes 2000 (UVP-G 2000). Es wird nach einer kurzen einleitenden Problemdarstellung, der Ist-Zustand, die zu erwartende Schallemission und die zu erwartende Schallimmission für die Projektabschnitte: Bauphase, Betriebsphase und Störfall beschrieben.

Für die Ermittlung des Ist-Zustandes wurden Schallmessungen an 13 repräsentativen Messpunkten entlang der geplanten Leitungsstrecke durchgeführt. Als Auswahlkriterium dienten der Abstand zur Freileitung sowie typische Gebäudelagen. Gemessen wurde nachts, da dann das Verhältnis zwischen zu erwartenden Koronageräuschen und dem Ist-Zustand am größten ist. Die Messdauer pro Messpunkt betrug jeweils eine halbe Stunde. Offen bleibt, ob diese einmaligen Messungen repräsentativ für die Ermittlung des Ist-Zustandes sind [UVE Tabelle 2-1].

Für die weiteren Untersuchungen wurden zwölf Nahobjekte bestimmt. Es handelt sich dabei um Gebäude, die weniger als 100m von der geplanten Leitungsachse entfernt und demnach am stärksten von Koronageräuschen betroffen sind. Mit Hilfe der Ist-Zustandsmessungen wurden diese zwölf Messpunkte nach ihrer Empfindlichkeit gegenüber Lärm eingestuft (Tab. 2).

Nahobjekt	Zugeordneter Messpunkt	$L_{A,Gg}$ Nacht [dB]	Sensibilität, Nacht
16	MP20	20	hoch d.h. $L_{A,Gg} < 25$ dB
20	MP20	20	Hoch
21	MP20	20	Hoch
91	MP91	23	Hoch
25	MP20	20	Hoch
43	MP44	17	Hoch
44	MP44	17	Hoch
59	MP59	20	Hoch
66	MP69	41	gering d.h. $L_{A,Gg} > 35$ dB
69	MP69	41	Gering
73	MP85	26	mittel d.h. $L_{A,Gg} = 25$ dB – 35dB
103	MP83	27	Mittel

Tab. 2: Ist-Zustand der untersuchten zwölf Nahobjekte bei Nacht

Deutlich erkennbar ist, dass bei den Nahobjekten 66 und 69 der zulässige Grundgeräuschpegel für die Nacht von 35 dB(A) schon ohne Steiermarkleitung überschritten wird.

Die zu erwartende Schallemission während der Bauphase wurde ohne Messungen ermittelt. Für die Masten-Errichtung wurde beispielhaft die Baustelle eines WA-Mastes betrachtet und dabei die Baustellenbeschreibung von Dr. Fallast zugrunde gelegt. Im ungünstigsten Fall ist mit dem Dauerbetrieb einer Baumaschine mit 50% Auslastung zu rechnen, was einem durchgehenden A-bewerteten Schallleistungspegel von  $L_{w,A} = 102$ dB entspricht. Die gleichen Emissionen werden für die Demontage der 110 kV-Leitung angenommen. Leider geht aus der UVE nicht hervor, wie groß der Abstand zwischen den Mastbaustellen und den betrachteten Nahobjekten ist. Weiterhin werden Hubschrauber für die Seilmontage eingesetzt, die §30 der geltenden Zivilluftfahrt Lärmzulässigkeitsverordnung erfüllen. Der vom Menschen empfundene Lärmpegel  $L_{EPN}$  (effective perceived noise level) bei einem Hubschraubergesamtgewicht von 10 Tonnen wird für Überflüge mit 93 dB angenommen. Für die Bauarbeiten an den Umspannwerken wird im ungünstigen Fall der gleichzeitige Dauerbetrieb zweier Baufahrzeuge mit 100% Auslastung angenommen, was einem A-bewerteten Schallleistungspegel von  $L_{w,A} = 108$  dB entspricht.

Für die Ermittlung der zu erwartenden Schallemission während der Betriebsphase wurden Vergleichsmessungen an der bestehenden 380 kV Burgenlandleitung im Bereich Siegggraben durchgeführt. Gemessen wurde in Bereichen mit Dreier- und mit Zweierbündelung. Was diesbezüglich ungenügend dargestellt ist, ist das Szenario der Messungen. Einziger Anhaltspunkt ist ein Foto (Bild I UVE), das entgegen den Beschreibungen für die Immissionsberechnungen zwei Dreierbündel-Systeme zeigt. Das Gleiche gilt für die Angabe, dass der Emissionspegel immer nur an einem Dreierbündel gemessen wurde. Bedeutet dies, dass ein Dreierbündel eines Systems oder ein komplettes System betrachtet wurde? In beiden Fällen ist unklar, wie der Einfluss der übrigen Dreierbündel verhindert wurde.

Für die Jahreszeiten Sommer und Herbst wurden an jeweils drei Messpunkten (MP1a, MP1b, MP2) am 15. Mai und am 11. November 2003 Messungen durchgeführt. MP1a und MP1b befanden sich im Bereich der Zweierbündelung, MP2 im Bereich der Dreierbündelung. Trotz unterschiedlicher Witterungsbedingungen war nur im Bereich der Zweierbündelung ein deutliches Koronageräusch hörbar und messtechnisch nachweisbar, aber im Bereich der Dreierbündelung dagegen nicht. Leider sind dazu keine Terzbandspektren in der UVE enthalten.

Die Messungen im Winter wurden an anderen Messpunkten (MPe1, MPe2) im Bereich der Dreierbündelung über einen längeren Zeitraum durchgeführt. Hier konnte trotz unterschiedlicher Witterungen kein Koronageräusch messtechnisch nachgewiesen werden, da diese – so Dr. Tomberger – durch die Umgebungsgeräusche verdeckt wurden. Dr. Tomberger rechnet deshalb bei Koronaentladungen mit einem nachweisbaren A-bewerteten Schallpegel in 40 m Entfernung von maximal 23 dB – 25 dB. Diese Schlussfolgerung ist nicht nachvollziehbar, da die verdeckenden Umgebungsgeräusche (Bachrauschen, Waldrauschen, Straßenverkehr) ortsspezifisch waren. Für die durch die Steiermarkleitung betroffenen Wohngebäude können die Umgebungsgeräusche und damit der Grundgeräuschpegel völlig anders sein, weshalb es fragwürdig bleibt, ob diese Messungen für die Steiermarkleitung repräsentativ sein können.

Die Schallemission der Umspannwerke Kainachtal/Zwarig, Oststeiermark/Wünschendorf und Südburgenland/Rothenburg wird durch den jeweiligen Hochspannungstransformator bestimmt. Laut Firma Elin liegt dessen A-bewerteter Emissionspegel inklusive der Lüftungsanlage bei  $L_{wA}=86$  dB. Dieser Schalleistungspegel wurde allen drei Umspannwerken zugeordnet. Bei der Erweiterung des 110 kV Umspannwerkes Neudorf/Werndorf und Hartenberg wird mit einer Schalleistungspegelsteigerung von maximal 3 dB gerechnet. Im Störfall sind nach Auffassung von Dr. Tomberger keine schalltechnisch relevanten Emissionen zu erwarten.

Zur Bestimmung der zu erwartenden Schallimmission wurden anhand der gemessenen Daten Simulationen an einem dreidimensionalen Berechnungsmodell durchgeführt. Die Freileitung ist hierbei als Linienquelle zu betrachten, deren längenbezogener A-bewerteter Schalleistungspegel  $L'_{wA}$  aus dem ermittelten Schalldruckpegel – gemittelt 24 dB – in 40 m Entfernung rückgerechnet wurde. Die Rückrechnung von Dr. Tomberger ist anhand der Unterlagen nicht nachvollziehbar. Er ermittelt unter der Annahme, das Dreierbündel ist eine Linienquelle und einem Abstand  $r=40$  m, einen  $L'_{wA}$  von 44 dB/m. Nach [12] besteht für den vorliegenden Fall folgender Zusammenhang zwischen dem Schalldruckpegel  $L_p$  und dem Schalleistungspegel  $L_w$ :

$$L_p = L_w - 10 \log(l/m) - 10 \log(r/m) - 8 \text{ dB}$$

Für die Berechnung des längenbezogenen Schalleistungspegel vereinfacht sich die Gleichung zu:

$$L_p = L'_w - 10 \log(r/m) - 8 \text{ dB}$$

Daraus folgt für  $L_{pA}=24$  dB ein  $L'_{wA}$  von 48 dB/m. Damit besteht eine Differenz von 4 dB. Da bei der geplanten Steiermarkleitung zwei Dreierbündel-Systeme symmetrisch zum Mast installiert werden sollen, errechnet Dr. Tomberger, ausgehend von einem  $L'_{wA}$  von 44 dB/m, einen längenbezogenen Gesamtschalleistungspegel von  $2 \times 44 \text{ dB/m} = 47 \text{ dB/m}$ .

Wird die Berechnung anhand des nach [12] berechneten  $L'_{wA}$  von 48 dB/m durchgeführt, errechnet sich ein längenbezogener Gesamtschalleistungspegel für zwei Dreierbündel-Systeme von  $2 \times 48 \text{ dB/m} = 51 \text{ dB/m}$ .

Somit besteht die Frage, ob die Immissionswerte der Simulation infolge der 4dB-Abweichung gültig sind. Die spezifischen Immissionspegel der Steiermarkleitung für die zwölf nächstgelegenen Gebäude – dargestellt in Tabelle 4-1 der UVE – sollten andernfalls nach oben korrigiert werden. Als Beispiel ist die Berechnung für die Nahobjekte 16, 20 und 91 nachfolgend aufgeführt (Tab. 3). Verwendet wurde der nach [12] geltende Zusammenhang:

$$L_p = L'_w - 10 \log(r/m) - 8 \text{ dB}$$

Punkt	Abstand [m]	Simulierte Immission Dr. Tomberger [dB]	Schalldruck-Immission bei $L'_{wA}=47 \text{ dB/m}$ [dB]	Schalldruck-Immission bei $L'_{wA}=51 \text{ dB/m}$ [dB]
16	89	20	19,5	23,4
20	67	22	20,7	24,7
91	70	22	20,5	24,5

Tab. 3: Schallimmissionspegel der Steiermarkleitung für die Jahreszeit Winter

Damit kommt es bei Koronaentladungen im Winter für die Gebäude, die mit hoher Sensibilität von Dr. Tomberger eingestuft wurden, zur Überschreitung des nächtlichen Grundgeräuschpegels, was zu deutlicher Wahrnehmbarkeit führt. Beispielhaft die Immissionswerte für die Nahobjekte 16, 20 und 91 (Tab. 2).

Punkt	Schalldruck-Immission bei $L'_{wA}=51 \text{ dB/m}$ [dB]	$L_{A,Gg}$ Nacht [dB]	Sensibilität
16	23,4	20	hoch
20	24,7	20	hoch
91	24,5	23	hoch

Tab. 4: Auswirkungen eines  $L'_{wA}$  von 51 dB/m auf den nächtlichen Grundgeräuschpegel im Winter

Neben der auftretenden Geräuschwahrnehmung ist zu klären, ob bei andauernder koronageräuschbegünstigender Wetterlage, es zu einer Überschreitung des nächtlich zulässigen Grundgeräuschpegels von 35 dB(A) kommen kann.

Damit wird deutlich, dass die Frage nach der Gültigkeit der Berechnung des längenbezogenen Schallleistungspegels geklärt werden muss.

Simuliert wurden darüber hinaus die Schallimmissionen der als Flächenschallquellen ohne Richtcharakteristik angenommenen Baustellen und Umspannwerke. Dabei fehlt aber die Darstellung der zwölf betrachteten Nahobjekte zu den einzelnen Mastbaustellen, wodurch die Simulation unvollständig ist. Diese fehlenden Angaben konnten aber aus dem schalltechnischen Gutachten von DI Reichl entnommen werden. Demnach besitzt das Nahobjekt 20 den geringsten Mast-Baustellenabstand von 90 m. Damit errechnet sich für den veranschlagten Schallleistungspegel einer Baumaschine von  $L_{w,A} = 102$  dB ein A-bewerteter Immissionspegel von 54,9 dB ( $L_{p,A} = L_{w,A} - 20 \log(r) - 8 \text{ dB} = 54,9 \text{ dB}$ ) bei halbkugelförmiger und 51,9 dB ( $L_{p,A} = L_{w,A} - 20 \log(r) - 11 \text{ dB} = 51,9 \text{ dB}$ ) bei kugelförmiger Schallabstrahlung.

Zusätzlich wurde eine Rasterberechnung für den Bereich (bis 250m Abstand) um die Freileitungsstrecke in 5 m Höhe mit einer Skalierung von 5 dB gemacht.

Des Weiteren wurden die in den jeweiligen Situationen auftretenden wesentlichen positiven und negativen Auswirkungen auf die Umwelt aus schalltechnischer Sicht beurteilt und Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Verminderung dieser Auswirkungen vorgestellt. So ist während der Bauphase mit Lärmstörungen durch den Schwerverkehr zu rechnen, die sich aber auf wenige Tage begrenzen. Deshalb sollen nur lärmarme Baumaschinen gemäß der Verordnung über Geräuschemissionen von zur Verwendung im Freien vorgesehenen Geräten und Maschinen eingesetzt werden.

In der Betriebsphase der Steiermarkleitung wird besonders durch Regen der Koronarauschargepegel erhöht, wobei das Prasselgeräusch des Regens die Koronageräusche laut Dr. Tomberger überdeckt. Bei winterlichen Wetterlagen kann es im Freien zu schwach hörbaren Koronaentladungen kommen. Hierbei definiert Dr. Tomberger schwach hörbar mit 5 dB unter bis 5 dB über dem Grundgeräuschpegel. Als Gegenmaßnahme führt Dr. Tomberger die Verwendung von Dreier-Bündelleiter auf, was aber die Grundlage der Betrachtungen war und damit keine verbessernde Gegenmaßnahme darstellt.

Für den Störfall gibt es aus Sicht von Dr. Tomberger keine relevanten Schallemissionen.

In einer abschließenden Stellungnahme legt Dr. Tomberger seine Untersuchungsergebnisse schriftlich dar. Entgegen seinen Aussagen in Tabelle 5-1 der UVE, wo schwach hörbar Koronageräusche für einzelne Wohngebäude vorausgesagt werden, ist er hier der Ansicht, dass durch die Messungen nachgewiesen wurde, dass eine Hörbarkeit für die Wohngebäude nicht gegeben ist.

Zwei Absätze weiter werden dichter Nebel und feuchte Leitungen als nicht zu erwartende Wetterbedingungen aufgeführt, wodurch es dann doch zu wahrnehmbaren Koronageräuschen kommen kann. Sie können sogar so stark sein, dass der Grundgeräuschpegel um bis zu 10 dB überschritten wird.

Aufgrund dieser verwirrenden Ergebnisdarstellung, der offenen Fragen und fehlenden Nachvollziehbarkeit der einzelnen Berechnungen und Schlussfolgerungen, kann die Gültigkeit der Umweltverträglichkeitserklärung von Dr. Tomberger nicht bewertet werden. Es besteht die Möglichkeit, dass die Steiermarkleitung schalltechnisch fehlerhaft beurteilt wurde.

### ***6.3 Schalltechnisches Gutachten***

Das schalltechnische Gutachten von DI Reichl basiert auf den Untersuchungen von Dr. Tomberger. Das Gutachten ist inhaltlich nahezu identisch – oftmals wurden Abschnitte wortwörtlich übernommen. Eine Messung wurde zur Absicherung des von Dr. Tomberger ermittelten Emissionsschalldruckpegels von 24 dB(A) bei 40 m Abstand zur Mastachse durchgeführt. Diese Vergleichsmessung fand in den gleichen Bereichen (MPe1, MPe2) der bestehenden Burgenlandleitung wie die Wintermessung von Dr. Tomberger statt. Der in 10 m Abstand von der Mastachse ermittelte Schalldruckpegel betrug 22 dB(A). Der Unterschied zwischen den 24 dB(A) bei 40 m und den 22 dB(A) bei 10 m kann durch die verschiedenen Wetterlagen hervorgerufen worden sein. Leider fehlen zu dieser Messung sämtliche Messdatendarstellungen. Deshalb kann die Gültigkeit der daraus abgeleiteten Ergebnisse nicht bewertet werden.

Aufgrund des von Dr. Tomberger im Winter ermittelten Schalldruckpegels von 24 dB(A) in 40 m Entfernung und der darauf aufbauenden Simulation, wäre die Überprüfung dieses Wertes anhand einer Vergleichsmessung äußerst sinnvoll gewesen. Leider

wurde keine weitere Messung durchgeführt. Stattdessen wurden die Abschnitte zu den Sommer/Herbst- und Winter-Messungen aus der UVE wortwörtlich übernommen.

Bei der Darlegung der zu erwartenden Schallimmissionen wurde die Rückrechnung von Dr. Tomberger übernommen. Zusätzlich wird eine nicht nachvollziehbare Berechnung des längenbezogenen Schalleistungspegels gemacht, welche die Gültigkeit des längenbezogenen Schalleistungspegels bestätigen soll.

Die Ergebnisdarstellung besteht zum größten Teil aus wortwörtlicher Wiederholung der UVE. Zusätzlich wird ergänzt, dass bei bestimmten Wetterbedingungen trotz Verwendung der Dreierbündelung Koronageräusche direkt unter der Leitung auftreten können, die nicht vom Regen verdeckt werden. Bezogen auf den niedrigen Grundgeräuschpegel einiger Nahobjekte von 17 dB(A) – 20 dB(A) wird sogar die Möglichkeit einer Überschreitung des zumutbaren Störpegels eingeräumt. Ebenso können unter der Leitung Schallpegelspitzen bis 44 dB(A) auftreten. Für die untersuchten Nahobjekte ändert sich dadurch die von Dr. Tomberger aufgestellte Immissionseinschätzung in Tabelle 5-1 der UVE nicht. Die Tabelle wird unverändert übernommen.

Die Darlegung der wesentlichen Auswirkungen unter Überschrift 5 des schalltechnischen Gutachtens, ist ausführlicher als die der UVE. Fraglich ist aber auch hier, ob die Schallausbreitung der Baumaschinen kugel- oder nur halbkugelförmig anzusehen ist. Die Berechnungen, für die wie im Falle der UVE jegliche Darlegung fehlt, werden anhand einer kugelförmigen Schallausbreitung durchgeführt. Für das Nahobjekt 91 wird dabei ein  $L_{A,eq}$  von 56 dB(A) errechnet, wodurch schon bei einer kugelförmigen Schallausbreitung der zulässige Immissionspegel gemäß ÖNORM S 5021-1 von 55 dB(A) überschritten ist. Darauf wird – trotz Erwähnung des zulässigen Immissionspegels im darauf folgenden Absatz – nicht eingegangen.

Unter der Annahme einer halbkugelförmigen Schallausbreitung liegen die Immissionspegel noch 3 dB höher.

Aufgrund der fehlenden Messdatendarstellung, der nicht immer nachvollziehbaren Schlussfolgerungen und Berechnungen, sowie der fehlenden Unabhängigkeit gegenüber den Ausarbeitungen von Dr. Tomberger kann die Gültigkeit des schalltechnischen Gutachtens nicht bewertet werden.

#### ***6.4 Umweltverträglichkeitsgutachten/ Ergänzungen zu dem Teilgutachten***

Beiden Unterlagen konnten so gut wie keine zusätzlichen Informationen im Hinblick auf die Umweltverträglichkeitserklärung und das schalltechnischen Gutachten entnommen werden. Die einzig schalltechnisch relevante Ergänzung besteht darin, dass während der Bauphase durch den Einsatz von Rüttler und Ramme zur Spundwanderrichtung Pegelspitzen bis zu 89 dB(A) in 100 m Entfernung auftreten können. Das Umweltverträglichkeitsgutachten rät deshalb einen Zusammenfall derartiger Maximalpegel mit Tageszeiten wie Aufwachphase und Mittagsruhe zu vermeiden.

Die darüber hinaus aufgeführten Pegelwerte basieren auf den Berechnungen von Dr. Tomberger, wobei wieder nur Ergebnisse aber keine mathematischen Zusammenhänge dargestellt werden.

Außer der Darlegung bekannter Fakten aus der UVE und dem Schalltechnischen Gutachten werden Fragen aus der Bevölkerung beantwortet, daraus können aber keine neuen Erkenntnisse gewonnen werden.

#### ***6.5 Qualitätsbewertung der Gutachten***

Da sich alle Gutachten auf die Messungen und Berechnungen von Dr. Tombergers Umweltverträglichkeitserklärung beziehen, ist die Qualität der Untersuchungsdarstellung dieser Arbeit entscheidend für alle anderen Gutachten. In Folge dessen ist die notwendige Unabhängigkeit der einzelnen Gutachten nicht vollständig gegeben. Dazu kommt, dass teilweise größere Abschnitte wortwörtlich übernommen wurden, obwohl die Art der Darstellung einer näheren Erläuterung bedurft hätte. So werden u.a. Ergebnisse präsentiert, bei denen mathematische Zusammenhänge fehlen. Das Gleiche gilt für die ungenügende Darlegung der Messszenarien und Messergebnisse. Ergänzt durch widersinnige Ergebnisdarlegungen ist es deshalb nicht möglich, die Richtigkeit der Gutachten zu beurteilen. Darüber hinaus wurde der Sachverhalt Koronaentladung und Freisetzung von Ultraschall überhaupt nicht betrachtet.

## **6.6 Weitere Untersuchungen zu Koronageräuschen**

Es sind wenige Veröffentlichungen zur Problematik der Koronarentladung an Freileitungen vorhanden. Ein Großteil davon besteht aus experimentellen Laboruntersuchungen und wird in Fachbüchern zur Darlegung der grundlegenden Problematik der Gasentladung gebraucht. Ausführungen über die Schallemission im Hörbereich sind äußerst selten und wenig tiefgründig. Folgende Literatur ist zu zitieren: Diplomarbeit von Dipl. Ing. Mohamed El Gourzni mit dem Titel „Geräuschemissionen und Energieverluste an Freileitungen“ [43] und eine Powerpointpräsentation von Kurt Heutschi zum Vortrag auf der FKH-/VSE Fachtagung "Hochspannungsfreileitungen: Technik, Ökonomie und Umwelt" am 4. Oktober 2000 in Olten mit dem Thema „Koronaschallemissionen, physikalische Grundlagen und Einflussgrößen“.

## **7. Empfehlungen zur weiteren Vorgehensweise**

Aufgrund der teilweise ungenügenden Darstellungsweise der einzelnen Gutachten, sind die darin enthaltenen schalltechnischen Beurteilungen der Steiermarkleitung nicht bewertbar. Deshalb ist eine nochmalige Überarbeitung der Gutachten und Durchsicht durch das Fraunhofer IDMT zu empfehlen. Andernfalls müssten die gemachten Messungen durch eigene Messungen überprüft und gegebenenfalls die Simulationsergebnisse korrigiert werden.

Bezüglich der noch fehlenden Ultraschalluntersuchungen während der Koronaentladung ist in einem ersten Schritt die Freisetzung von Ultraschall mittels eines Ultraschalldetektors nachzuweisen. In weiteren Schritten sollte ausgehend von theoretischen Vorüberlegungen das Ultraschallspektrum messtechnisch bestimmt werden.

Da negative Auswirkungen infolge des Einwirkens von Ultraschall auf Mensch und Tier nicht auszuschließen sind, sollten im Rahmen einer interdisziplinären Zusammenarbeit Untersuchungen herangezogen werden. Bei diesen Untersuchungen sind Human-, Tiermediziner und Akustiker gefragt. Die Ergebnisse dieser Studie sollen Eckdaten bringen, mit denen Ultraschall bei Koronaentladungen und dessen Auswirkungen auf Menschen und Tiere bewertet werden können.

## **Quellenverzeichnis**

[1] Kießling, F., Nefzger, P., Kaintzyk, U.: Freileitungen – Planung, Berechnung, Ausführung. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg New York, 2001, 5. Auflage.

[2] Heutschi, T.: Koronaschallemissionen, physikalische Grundlagen und Einflussgrößen. FKH-/VSE Fachtagung „Hochspannungsfreileitungen: Technik, Ökonomie und Umwelt“. 4. Oktober 2000 Olten.

[3] Roth, A., de Senarclens, G., Amsler, J.: Hochspannungstechnik. Springer-Verlag, Wien, New York, 1965, 5. Auflage.

[4] <http://www.hilo-test.de/>.

[5] <http://www.chambers-gmbh.de/spion/german/index.htm>.

[6] Steiermärkische Landesregierung, Burgenländische Landesregierung: Umweltverträglichkeitsgutachten zur 380kV-Leitung Südburgenland-Kainach (Steiermarkleitung).

[7] [http://www.theimann.com/Analog/Misc\\_Tech/Mess\\_TB/Teil2.html](http://www.theimann.com/Analog/Misc_Tech/Mess_TB/Teil2.html).

[8] Deutsche Gesellschaft für Biomedizinische Technik im VDE (DGBMT), Deutsche Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin (DEGUM), Deutsche Röntgengesellschaft (DRG): Ultraschall in der Medizin. Frankfurt am Main, September 2004.

[9] DIN EN 6157 Festlegungen für die Deklaration der akustischen Ausgangsgrößen von medizinischen Ultraschall diagnostikgeräten.

[10] Richtlinien der Kassenärztlichen Bundesvereinigung (KBV) für Ultraschalluntersuchungen.

- [11] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Machbarkeit von Studien zur schädigenden Wirkung von diagnostischem Ultraschall in der Schwangerschaft auf die Gesundheit der Nachkommen. Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU 2003-625.
- [12] Cremer, L., Möser M.: Technische Akustik. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2003, 5. Auflage.
- [13] American Institute of Ultrasound in Medicine/National Electrical Manufacturers Association (AIUM/NEMA): Standard for Real-Time display of thermal and mechanical Acoustic Output indices on diagnostic ultrasound equipment. AIUM, Rockville, MD, 1992.
- [14] American Institute of Ultrasound in Medicine (AIUM): Bioeffects & Safety of Diagnostic Ultrasound. AIUM, Laurel Md, 1993.
- [15] Barnett, S. B.; ter Haar, G. R.; Ziskin, M. C.; Nyborg, W. L.; Maeda, K.; Bang, J.: Current status of research on biophysical effects of ultrasound. *Ultrasound Med. & Biol.* 20 (1994) 205-218.
- [16] Bosward, K. L.; Barnett, S. B.; Wood, A. K. W.; Edwards, M.J.; Kossoff, G.: Heating of guinea-pig fetal brain during exposure to pulsed ultrasound. *Ultrasound in Med. & Biol.* 19 (1993) 415-424.
- [17] Child, S. Z.; Hartman, C. L.; Schery, L. A.; Carstensen, E. L.: Lung damage from exposure to pulsed ultrasound. *Ultrasound in Med. & Biol.* 16 (1990) 817-825.
- [18] Duck, F. A.; Starrit, H. C.: A study of the heating capabilities of diagnostic ultrasound beams. *Ultrasound in Med. & Biol.* 20 (1991) 481-492.
- [19] US Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration (FDA): Revised 510(k) Diagnostic Ultrasound Guidance for 1993, 1993.
- [20] US Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration (FDA): Use of Mechanical Index in place of spatial peak pulse average intensity in determining substantial equivalence. 1994.
- [21] Frizell, L. A.; Chen, E.; Lee, C.: Effects of pulsed ultrasound on the mouse neonate: hind limb paralysis and lung hemorrhage. *Ultrasound in Med. & Biol.* 20 (1994) 53-63.
- [22] Henderson, J.; Willson, K.; Jago, L. R.; Wittingham, T. A.: A survey of the acoustic outputs of diagnostic ultrasound equipment in current clinical use. *Ultrasound in Med. & Biol.* 21 (1995) 699-705.
- [23] Kassenärztliche Bundesvereinigung (KBV), Köln: Qualifikationsvoraussetzungen gemäß § 135 Abs. 2 SGB V zur Durchführung von Untersuchungen in der Ultraschall Diagnostik (Ultraschall-Vereinbarung) vom 10. 2. 1993. *Dt. Ärzteblatt* 90 (1993) 8-390-403.
- [24] Miller, D. L.; Thomas, R. M.: Thresholds for hemorrhages in mouse skin and intestine induced by lithotripter shock waves. *Ultrasound in Med. & Biol.* 21 (1995) 249-257.
- [25] National Council on Radiation Protection and Measurements: Exposure criteria for medical diagnostic ultrasound: 1. Criteria based on thermal mechanisms. Bethesda, MD, Report No. 113, 1992.
- [26] Patton C. A.; Harris G. R.; Phillips R. A.: Output levels and bioeffect indices from diagnostic ultrasound exposure data reported to the FDA. *IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelectrics and Freq. Contr.* 41 (1994) 353-359.
- [27] Thomenius, K. E.: Estimation of the potential for bioeffects. In: M. C. Ziskin; P. A. Lewin (eds.), *Ultrasonic Exposimetry*. CRC Press, Boca Raton, 1993.
- [28] World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology (WFUMB): Symposium on Safety and Standardisation in Medical Ultrasound: Issues and recommendations regarding thermal mechanisms for biological effects of ultrasound; eds.: Barnett, S. B.; Kossoff, G., *Ultrasound Med. & Biol. Special Issue* 18/9 (1992).
- [29] World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology (WFUMB): Symposium on Safety of Ultrasound in Medicine: Conclusions and recommendations on thermal and non-thermal mechanisms for biological effects of ultrasound; ed.: Barnett, S. B., *Ultrasound Med. Biol.*
- [30] Williams, A. R.; Delius, M.; Miller, D. L.; Scharze, W.: Investigation of cavitation in flowing media by lithotripter shock waves both in vitro and in vivo. *Ultrasound in Med. & Biol.* 15 (1989) 53-60.
- [31] L. HERFORTH / H. M. WINNER: *Ultraschall – Grundlagen und Anwendungen in Physik, Technik, Industrie, Biologie – und Medizin*. Leipzig, 1958.

- [32] A. G. GURWITSCH: Mitogenetische Strahlen. Berlin, 1932 und Jena, VEB Gustav Fischer, 1959.
- [33] Kuttruff, H.: Physik und Technik des Ultraschalls. S. Hirzel Verlag, Stuttgart, 1988.
- [34] A. S. PRESMAN: Electromagnetic Fields and Life. New York/London: Plenum Press 1970.
- [35] Herbert L. KÖNIG: Unsichtbare Umwelt. Gräfelfing: Heinz Moos 1975, München: König 1977.
- [36] Stadt Gütersloh, FB Umweltschutz; November 2002.
- [37] Bernhardt, J. H. 1990: Mechanismen der Wechselwirkung, biologische Wirkungen, Risikobewertung und Sicherheitsaspekte. In: Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 16. S. 285: Nichtionisierende Strahlung, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York.
- [38] Bobis-Seidenschwanz, A. , Wiedemann, P. M. 1993: Gesundheitsrisiken nieder- und hochfrequenter elektromagnetischer Felder – Bestandsaufnahme der öffentlichen Kontroverse. In: Arbeiten zur Risikokommunikation, Heft 39, Forschungszentrum Jülich.
- [39] Brüggemeyer, H. 1993: Elektromog – Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern auf den Menschen. Niedersächsisches Umweltministerium, Hannover.
- [40] BEMS 2001 Biotechnologie, 23. Jahrestagung der Bioelectromagnetics Society, New letters.
- [41] Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV). Entwurf vom 16. Februar 1999 (mit Bericht), Hg. Eidg. Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation.
- [42] Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz (BIA): Geräuschanalyse von Ultraschallschweißmaschinen. Nr. 0170, 11/2003, Sankt Augustin.
- [43] Gourzni, M.: Geräuschemission und Energieverluste an Freileitungen. Diplomarbeit. Fachhochschule für Technik und Wirtschaft, Berlin, 2001.