TAGUNGSUNTERLAGEN ZUR FACHTAGUNG

„Emissionen beim Stromtransport“

28. Februar 2023

an der Technischen Universität Graz

VORWORT

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe SCHICHLER

Technische Universität Graz

Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement

Sehr geehrte Damen und Herren!

Ein Leben ohne Strom und Elektrizität ist in unseren Breiten für kaum jemanden mehr vorstellbar. Strom ist praktisch allgegenwärtig.

Mit steigendem Verbrauch und einem stetig komplexer werdenden Energieversorgungssystem kommt dem sicheren Stromtransport vom Erzeuger zum Verbraucher in Zeiten der anstehenden Energiewende – Dekarbonisierung der Stromerzeugung 2030 und des Gesamtenergiebedarfes 2040 – eine zentrale Rolle zu. Die Freileitung, betrieben mit Drehstrom, hat sich insbesondere für den überregionalen Stromtransport bewährt. Diese Drehstrom-Freileitungen und die von ihnen verursachten elektrischen und magnetischen Felder (EMF) bilden den Fokus des Seminars. Das nach 2016 und 2019 in diesem Jahr erneut veranstaltete Seminar legt seinen Fokus auf das Themenfeld EMF und gibt mit sechs Vorträgen einen aktuellen Überblick und Antworten zu den unterschiedlichsten interdisziplinären Fragestellungen.

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. BSc Oliver Pischler (TU Graz) stellt in seinem Vortrag ***Elektrische und magnetische Felder beim Stromtransport*** die Grundlagen der Physik hinter den Emissionen von Freileitungen vor und stellt diese in Zusammenhang mit Emissionsquellen, denen wir alltäglichen begegnen.

Der Vortrag ***20 Jahre Erfahrung Genehmigungsverfahren EMF und Ausblick*** von Dipl.-Ing. Oskar Oberzaucher (APG) und Dipl.-Ing. Klemens Reich (APG) zeigt auf, welche Herausforderungen sich für einen Übertragungsnetzbetreiber in Genehmigungsverfahren ergeben. Weiterhin wird ein Formulierungsvorschlag für eine verbindliche Grenzwertregelung eingebracht, welcher mehr Rechtssicherheit bringen soll.

Dr. Christian Onz (ONZ & Partner Rechtsanwälte GmbH) stellt in seinem Beitrag ***Verbindliche Festlegungen für EMF in Österreich?*** dar, wie eine verbindliche Grenzwertreglung in Österreich umgesetzt werden könnte und welche Risiken in Genehmigungsverfahren sich für Projektwerber aufgrund der aktuellen Situation ergeben.

Dipl.-Ing. Alexander Wollny (Amprion GmbH) beleuchtet in seinem Beitrag ***EMF beim Netzausbau in Deutschland - Die Anforderungen der 26. BImSchV in Genehmigungsverfahren***, wie das Thema EMF in Genehmigungsverfahren in Deutschland, auf Basis der dort verbindlichen Grenzwerte, gehandhabt wird.

Die beiden Beiträge ***Gesundheitliche Wirkungen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder*** von Dr. rer. nat. Sarah Drießen (RWTH Aachen) und ***Menschliche Wahrnehmung elektrischer Gleich- und Wechselspannungsfelder*** von Dr. phil. Michael Kursawe (RWTH Aachen) geben einen Einblick in den aktuellen Stand der medizinisch-wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit dem Thema EMF.

Es kristallisiert sich heraus, dass zur Erreichung der Zielsetzungen der Energiewende ein massiver Ausbau der bestehenden Strominfrastruktur die Grundvoraussetzung für die Netzintegration von erneuerbaren Energieträgern darstellt. Es werden verschiedenste Maßnahmen zur Beschleunigung von Genehmigungsverfahren von Leitungsprojekten erforderlich sein. Im Fall der EMF ist dies eine verbindliche Grenzwertregelung für Genehmigungsverfahren.

Im vorliegenden Tagungsband finden Sie zu allen Vorträgen Kurzfassungen und die präsentierten Folien.

Wir hoffen wieder ein ansprechendes Programm gestaltet zu haben.

Graz, im Februar 2023

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Schichler

Inhalt

VORWORT ... **3**
Tagungsprogramm ... **7**
Elektrische und magnetische Felder beim Stromtransport ... **9**
Referent Ass.Prof. Dr. Oliver PISCHLER ... 9
Zusammenfassung ... 10
20 Jahre Erfahrung in Genehmigungsverfahren Thema EMF und Ausblick ... **17**
Referent DI Oskar OBERZAUCHER ... 17
Referent DI Klemens REICH ... 18
Zusammenfassung ... 19
EMF beim Netzausbau in Deutschland ... **27**
Referent:in DI Alex WOLLNY ... 27
Zusammenfassung ... 29
Gesundheitliche Wirkungen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder ... **33**
Referentin Dr. rer. nat. Sarah DRIEßEN ... 33
Zusammenfassung ... 34
Menschliche Wahrnehmung elektrischer Gleich- und Wechselspannungsfelder ... **39**
Referent Dr. Michael KURSAWE ... 39
Zusammenfassung ... 40
Verbindliche Festlegungen für EMF in Österreich? ... **47**
Referent Mag. Dr. Christian ONZ ... 47
Zusammenfassung ... 48
Anhang ... **55**

Tagungsprogramm

12:00 – 13:00 **Eintreffen**, **Anmeldung** und **kleines Mittagsbuffet**

13:00 **Begrüßung und Eröffnung**
Begrüßung durch Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Schichler (TU Graz)

13:15 – 15:15 **Vortragsblock I**

Elektrische und magnetische Felder beim Stromtransport
Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. BSc Oliver Pischler (TU Graz)

20 Jahre Erfahrung Genehmigungsverfahren EMF und Ausblick
Dipl.-Ing. Oskar Oberzaucher / Dipl.-Ing. Klemens Reich (APG)

EMF beim Netzausbau in Deutschland - Die Anforderungen der 26. BImSchV in Genehmigungsverfahren
Dipl.-Ing. Alexander Wollny
(Immissionsmanagement Leitungen, Amprion GmbH)

15:15 – 15:45 **Kaffeepause**

15:45 – 17:45 **Vortragsblock II**

Gesundheitliche Wirkungen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder
Dr. rer. nat. Sarah Drießen (RWTH Aachen)

Menschliche Wahrnehmung elektrischer Gleich- und Wechselspannungsfelder
Dr. phil. Michael Kursawe (RWTH Aachen)

Verbindliche Festlegungen für EMF in Österreich?
Dr. Christian Onz (ONZ & Partner Rechtsanwälte GmbH)

17:45 **Schlussworte Tagungsleitung**

18:00 **Come together**

Elektrische und magnetische Felder beim Stromtransport

Referent

Ass.Prof. Dr. Oliver PISCHLER

Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement, TU Graz

Inffeldgasse 18
A-8010 Graz
☏ +43 (0)316 873 7417
✉ oliver.pischler@tugraz.at

Kurzbiographie

Ausbildung

- 2011 – 2016: Studium der Elektrotechnik, TU Graz, Graz
- 2016 – 2020: Promotion zum Dr.techn., TU Graz, Graz

Berufliches

- seit 2021 Assistant Professor, Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement, TU Graz
- 2016 - 2021 Universitätsassistent, Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement, TU Graz

Forschungsschwerpunkte

- Freileitungstechnik
- Geräuschemissionen von Freileitungen
- Numerische Feldberechnung
- Hochspannungsmess- und Prüftechnik
- Isolierstoffe und Isoliersysteme

Mitgliedschaften

- OVE, VDE, DKE, CIGRE

Elektrische und magnetische Felder beim Stromtransport

Ass.Prof. Dr. Oliver Pischler

(Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement,
Technische Universität Graz)

Zusammenfassung

Neben elektrischen und magnetischen Feldern, denen der Mensch seit jeher ausgesetzt ist, verursachen auch unterschiedliche technische Einrichtungen elektrische und magnetische Felder. Die im Bereich der Übertragung elektrischer Energie auftretenden Feldbelastungen sind hierbei von besonderem Interesse und im Sinne des Gesundheitsschutzes kritisch zu hinterfragen. Zur Annäherung an diesen Themenkomplex werden im Folgenden zunächst die physikalischen Hintergründe elektrischer und magnetischer Felder erörtert, wobei im Detail auf die messtechnische Erfassung und die Schirmung dieser Felder eingegangen wird. Anschließend wird anhand von Richtlinien, Normen und Regeln ein Überblick über die Grenzen zum Schutz der Allgemeinbevölkerung sowie bei beruflicher Exposition gegeben. Zur Betrachtung der beim Stromtransport auftretenden elektrischen und magnetischen Felder werden die von unterschiedlichen Übertragungstechnologien hervorgerufenen Feldverteilungen diskutiert und damit verbundene Maßnahmen zur Expositionsreduktion vorgestellt. Abschließend werden die typischerweise an Kabeln und Freileitungen auftretenden Feldstärken anhand mehrerer Beispiele und einer österreichweit durchgeführten Studie illustriert.

Einleitung

Da sich die Frequenzen der im Zusammenhang mit dem Transport elektrischer Energie auftretenden Ströme und Spannungen auf den niederfrequenten Bereich (0 Hz – 100 kHz) beschränken, können die damit verbundenen elektrischen und magnetischen Felder getrennt voneinander und ohne Berücksichtigung etwaiger Kopplungs- bzw. Welleneffekte betrachtet werden. Sowohl das elektrische als auch das magnetische Feld beschreiben letztlich im Sinne der elektromagnetischen Wechselwirkung die von ruhenden und bewegten elektrischen Ladungen auf Materie (bzw. andere Ladungen) im Raum ausgeübten vektoriellen Kraftwirkungen. Beiden Feldtypen ist hierbei gemein, dass sie theoretisch über unendliche Reichweite verfügen. Die Feldwirkung kann jedoch durch Superposition eines zweiten, entgegengesetzten Feldes vollständig neutralisiert werden (Absättigbarkeit).

Elektrische Felder kommen nicht nur in technischen Anlagen, sondern auch häufig als Naturphänomen vor. Als Beispiele hierfür können das Schönwetterfeld der Erde (das elektrische Feld zwischen Ionosphäre und Erdoberfläche) oder die elektrische Aufladung infolge Reibungserscheinungen dienen. In technischen Anwendungen treten elektrische Felder an allen spannungsführenden Teilen auf. Ein Stromfluss ist hierzu grundsätzlich nicht nötig. Geschlossene elektrische Felder können auch durch die Induktionswirkung

alternierender magnetischer Felder erzeugt werden. Die messtechnische Bestimmung der elektrischen Feldstärke gestaltet sich grundsätzlich herausfordernd. Ursächlich hierfür ist der Umstand, dass elektrische Felder durch Einbringung von Materie in den Feldraum lokal verzerrt werden, wodurch eine rückwirkungsfreie Bestimmung der Feldstärke erschwert wird. Ungünstig gestaltete Feldsonden, metallene Stative oder Personen, welche das entsprechende Messgerät in Händen halten, können bereits zu einer signifikanten Verfälschung führen. Als Sensoren für elektrische Gleich- und Wechselfelder kommen beispielsweise Feldmühlen, oder neuerdings auch MEMS in Frage. Die elektrische Feldstärke nimmt umgekehrt proportional zur Entfernung der Quelle ab und lässt sich durch allseitig geschlossene Hüllen aus einem elektrisch leitfähigen Material vollständig abschirmen (Faraday’scher Käfig).

Magnetische Felder beschränken sich ebenfalls nicht auf technische Anwendung. Das Magnetfeld der Erde oder magnetische Materialien mögen als Beispiele natürlicher Quellen dienen. Im Gegensatz zu elektrischen Feldern können magnetische Felder nur durch Ströme, jedoch nicht durch ruhende Ladungen erzeugt werden. Der Strombegriff schließt hierbei nicht nur bewegte Ladungen, sondern auch den Verschiebungsstrom infolge zeitlich veränderlicher elektrischer Felder ein. Für die Quantifizierung magnetischer Felder wird üblicherweise nicht die magnetische Feldstärke, sondern die magnetische Flussdichte herangezogen, wodurch die Magnetisierbarkeit des jeweiligen Mediums infolge der materialabhängigen Permeabilität Berücksichtigung findet. Das magnetische Feld kann nur durch die Einbringung ferromagnetischer Werkstoffe mit entsprechend hoher Permeabilität verzerrt werden. Die Messung der magnetischen Flussdichte gilt daher als unproblematisch und kann durch diverse physikalische Effekte (v. a. Halleffekt) oder durch Messspulen erfolgen. Analog zur elektrischen Feldstärke nimmt die magnetische Flussdichte zumindest umgekehrt proportional zur Entfernung der Quelle ab. Im Falle von Spulen bzw. Wicklungen, die in vielen Geräten verbaut sind, nimmt die Flussdichte sogar mit dem Quadrat der Entfernung ab. Eine effektive Schirmung niederfrequenter magnetischer Felder ist auf passivem Wege jedoch im Wesentlichen unmöglich. Mit hochpermeablen Materialien können zumindest Verdrängungseffekte erzielt werden, welche die Realisierung sogenannter Nullfeldkammern für technische Zwecke ermöglichen, deren Volumina allerdings nicht nennenswert sind.

Grenzwerte

Während elektrische und magnetische Felder keine Ionisierung bewirken können, üben sie neben der mittelbaren Wirkung infolge direkten Kontakts insbesondere auch unmittelbare Wirkungen auf Materie aus, wobei im gegenständlichen Fall die Wirkung auf den menschlichen Organismus im Vordergrund steht. Hinsichtlich der unmittelbaren Wirkung sind dabei die im menschlichen Gewebe hervorgerufenen Ströme bzw. intrakorporalen elektrischen Feldstärken von großem Interesse, da diese bei exzessiven Feldbelastungen zur Stimulation von Nerven- und Muskelzellen führen können.

Zum Schutz der Allgemeinbevölkerung (ungeachtet des Geschlechts, Alters und Gesundheitszustands) vor etwaigen negativen gesundheitlichen Auswirkungen gibt in Österreich die OVE Richtlinie R 23-1 verbindliche Regularien hinsichtlich statischer und

niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder vor [1]. Arbeitnehmer*innen werden durch die „Verordnung elektromagnetische Felder“ (VEMF) vor schädlichen Einwirkungen geschützt [2]. Die VEMF stellt dabei die nationale Umsetzung der EU-Richtlinie 2013/35/EU dar [3]. Die in den erwähnten Richtlinien genannten Grenzwerte gehen dabei auf die Arbeit der International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) zurück, welche sich als unabhängige internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung versteht und Analysen und Bewertungen des Kenntnisstands zur gesundheitlichen Wirkung von elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern durchführt [4, 5]. Für die OVE Richtlinie R 23-1 wurden im Wesentlichen die von ICNIRP empfohlenen Grenzwerte übernommen. Im Falle der VEMF bzw. der 2013/35/EU werden darüberhinausgehende, differenziertere Betrachtung angestellt.

Allen Richtlinien ist jedoch gemein, dass sie zwischen Basis- (R 23-1) bzw. Expositionsgrenzwerten (VEMF) und Referenz- (R 23-1) bzw. Auslösewerten (VEMF) unterscheiden. Die Basis- bzw. Expositionsgrenzwerte begrenzen hierbei die durch externe elektrische und magnetische Felder hervorgerufene körperinnere (intrakorporale) elektrische Feldstärke auf Werte unterhalb der Stimulations- bzw. Effektschwellen. Die intrakorporale elektrische Feldstärke ist messtechnisch jedoch nicht zugänglich und nur simulativ erfassbar, wodurch deren Einhaltung nicht überprüfbar ist. Um die Einhaltung dennoch sicherstellen zu können, werden für die elektrische Feldstärke bzw. die magnetische Flussdichte, welche beide die intrakorporale elektrische Feldstärke verursachen, entsprechende Referenz- bzw. Auslösewerte als konservative Limitwerte herangezogen. Es ist dabei zu beachten, dass diese Werte nur für die ungestörte Feldsituation Gültigkeit besitzen.

Die Festlegung der Basis- bzw. Expositionsgrenzwerte basiert auf jener intrakorporalen elektrischen Feldstärke oberhalb welcher mit ersten sensorischen Wahrnehmungen (s. g. Phosphenen) zu rechnen ist. Diese sensorische Schwelle ist grundsätzlich frequenzabhängig und weist im Bereich von f = 10 – 25 Hz ein Minimum von Ei = 50 mV/m auf, welches in allen zuvor genannten Regelwerken als Basis- bzw. Expositionsgrenzwert für nicht unterwiesene Arbeitnehmer*innen gilt. Im Falle unterwiesener Arbeitnehmer*innen wird eine maximale Feldstärke von Ei = 800 mV/m zugelassen. Hiermit wird immer noch ein Sicherheitsfaktor von 5 zur Schwelle, ab welcher mit Nervenstimulationen zu rechnen ist, eingehalten. Für die Allgemeinbevölkerung wurde ein Sicherheitsfaktor von 5 zur sensorischen Schwelle eingeführt, womit die maximal zulässige intrakorporale elektrische Feldstärke bei Ei = 10 mV/m liegt. Dieser Wert gilt für das zentrale Nervensystem. Im Falle des peripheren Nervensystems werden Ei = 40 mV/m zugelassen. Die Frequenzabhängigkeit der Basis- bzw. Expositionsgrenzwerte wird in [5] dargestellt.

Im Bereich der Netzfrequenz gilt für die Allgemeinbevölkerung gemäß OVE Richtlinie R 23-1 ein Referenzwert für die elektrische Feldstärke von E = 5 kV/m. Für Arbeitnehmer*innen sieht die VEMF einen (niedrigen) Auslösewert von E = 10 kV/m vor. In Ausnahmefällen kann auch der hohe Auslösewert von E = 20 kV/m herangezogen werden. Für die magnetische Flussdichte gilt für die Allgemeinbevölkerung im Bereich der Netzfrequenz gemäß R 23-1 ein Referenzwert von B = 200 µT. Im Falle von Arbeitnehmer*innen sind gemäß VEMF drei Bereiche des menschlichen Körpers zu unterscheiden (Kopf, Rumpf, Extremitäten). Im Bereich

des Kopfes gilt bei Netzfrequenz der geringste Auslösewert von B = 1 mT. Im vorübergehenden Ausnahmefall gilt im Bereich des Kopfes ein Auslösewert von B = 6 mT. Für Darstellungen zur Frequenzabhängigkeit der Referenz- bzw. Auslösegrenzwerte und für Angaben zu den weiteren Körperbereichen sei an dieser Stelle auf die weiterführende Literatur verwiesen. Die OVE Richtlinie R 27 liefert ebenfalls weitere Einblicke [6].

Elektrische und magnetische Felder im Alltag

Es ist an dieser Stelle festzuhalten, dass die diskutierten Referenz- bzw. Auslösewerte im Alltag im Allgemeinen nicht überschritten werden. Dies ist einerseits den vergleichsweise geringen Spannungen bzw. Strömen und andererseits dem erwähnten entfernungsbedingten Abklingen geschuldet. Im Falle der elektrischen Feldstärke treten signifikante Werte nur in jenen Bereichen auf, wo netzbetriebene Geräte in unmittelbare Nähe zum menschlichen Körper betrieben werden (z. B. Heizdecken). Gleiches gilt im Falle der magnetischen Flussdichte. Auch hier sind vor allem jene Anwendungsfälle kritisch, wo Geräte in unmittelbarer Nähe des Menschen betrieben werden (z. B. Rasierapparat). Leistungsstarke Haushaltsgeräte weisen zwar im Nahbereich nennenswerte Flussdichten auf, im Abstand weniger Zentimeter wird aber nur noch ein Bruchteil des zulässigen Referenzwertes ausgeschöpft.

Anders verhält es sich im Falle mancher speziellen arbeitsbedingten Feldbelastungen, wo kurzzeitig hohe Flussdichten auftreten können (z. B. Schweißarbeiten auf begrenztem Raum). Die VEMF liefert für derartige Sonderfälle jedoch spezielle Vorgaben.

Elektrische und magnetische Felder beim Stromtransport

Im Bereich des Transports elektrischer Energie kann der Mensch sowohl elektrischen als auch magnetischen Feldern ausgesetzt sein. Die wesentlichen Einflussfaktoren stellen hierbei die Betriebsspannung und der Leiterstrom der zu betrachtenden Leitung dar. Sowohl bei Kabelstrecken als auch bei Freileitungen wirkt sich die Phasenbelegung und die geometrische Anordnung der Leiter auf die Höhe der auftretenden Felder, deren räumlichen Verteilung und deren Abklingverhalten aus.

Freileitungen können sowohl elektrische als auch magnetische Felder verursachen. Angesichts der invarianten Betriebsspannung kann die elektrische Feldstärkeverteilung als zeitlich konstant angenommen werden. Der fluktuierende Betriebsstrom wirkt sich jedoch in zweierlei Hinsicht auf die auftretende Flussdichteverteilung aus. Einerseits ist die magnetische Flussdichte dem Betriebsstrom proportional. Andererseits ändert sich der Leiterseildurchhang mit dem Betriebsstrom, was sich auf die geometrischen Verhältnisse auswirkt.

Im Gegensatz zu Freileitungen stellen Kabel aufgrund des in allen Mittel- und Hochspannungskabeln vorhandenen Schirms keine Quelle elektrischer Felder dar. Der Schirm beeinflusst die aus dem Leiterstrom resultierende Flussdichte jedoch nicht. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass sich die von Freileitungen und Kabeln erzeugten Flussdichteverteilungen grundlegend unterscheiden. Aufgrund der räumlichen ausgedehnten Anordnung der Leiterseile (Mastkopfgeometrie) klingt die magnetische Flussdichte im Falle

von Freileitungen im Vergleich zu Kabeln mit der Entfernung langsamer ab. Da die Distanzen zwischen den einzelnen Phasenleitern im Falle von Kabeln üblicherweise geringer als Bei Freileitungen sind, klingt die Flussdichte im Fernfeld wesentlich schneller ab. Im Nahbereich kann es jedoch zu deutlich höheren Flussdichten kommen. Erschwerend kommt hinzu, dass Personen Kabelstrecken wesentlich näher kommen können als Freileitungsseilen (z. B. Kabelverlegung unter Wegen).

Die geringste Feldbelastung geht von gasisolierten (Rohr-)Leitern aus. Aufgrund der Schirmwirkung des dickwandigen metallischen Hüllrohrs und des darin fließenden Rückstroms treten im Falle dieser Art der Übertragungsleitung keine elektrischen und nur sehr geringe magnetische Feldstärken auf.

Neben den Übertragungsleitungen können im Bereich des Transports elektrischer Energie auch die in Umspannwerken bzw. an Freileitungen montierten Transformatoren signifikante Flussdichten erzeugen. In diesem Zusammenhang gelten insbesondere die niederspannungsseitigen Leiter als relevante Feldquellen.

Eine Minimierung der durch Freileitungen und Kabeln hervorgerufenen magnetischen Flussdichten ist beispielsweise durch eine Erhöhung des minimal auftretenden Abstands möglich. Im Falle von Freileitungen kann dies z. B. durch eine Erhöhung des Bodenabstands (Mastaufstockung) erzielt werden. Bei Kabelstrecken kann die Verlegetiefe angepasst werden. Im Sinne einer effizienten Feldkompensation ist sowohl bei Freileitungen als auch bei Kabeln eine Reduktion der Leiterabstände erstrebenswert, wobei eine etwaige Erhöhung der Flussdichte im Nahbereich zu berücksichtigen ist. Im Falle von Kabelstrecken ist überdies eine Verlegung in Dreiecksanordnung vorzuziehen. Sowohl bei Kabeln als auch bei Freileitungen kann insbesondere bei mehrsystemigen Übertragungsstrecken durch die Wahl der Außenleiterbelegung (Verdrillung) Einfluss auf die Feldkompensation genommen werden [7].

Untersuchungen haben gezeigt, dass die zuvor erwähnten Referenz- bzw. Auslösewerte selbst im Nahbereich von Kabeln und Freileitungen im Allgemeinen nicht überschritten werden. Im Falle einer untersuchten 380-kV-Freileitung betrug die elektrische Feldstärke direkt unterhalb der Leitung E = 5 kV/m. In 50 m Abstand ist die Feldstärke bereits auf E < 1 kV/m abgeklungen. Die korrespondieren Flussdichtewerte betrugen B = 15 µT bzw. B = 2 µT [8].

Im Zuge einer ganz Österreich umfassenden Studie wurden die entlang des österreichischen Übertragungsnetzes auftretenden magnetischen Flussdichten durch den Betreiber analysiert. Es wurden hierbei ca. 8200 Nahbereichsobjekte mit einem Abstand von bis zu ± 70 m zur Leitungstrasse betrachtet. Die Auswertung wurde dabei für jenen Punkt an der Gebäudeaußenkante durchgeführt, welcher der jeweiligen Leitung am nächsten ist. Es zeigte sich, dass die Flussdichte im Falle von 4510 Nahbereichsobjekten kleiner als B = 1 µT ist. Bei 1569 Nahbereichsobjekten lag die Flussdichte im Bereich B = 1 – 2 µT und bei 694 im Bereich B = 2 – 3 µT. Bei lediglich 179 Nahbereichsobjekten wurde B = 10 µT überschritten, wovon 118 unter B = 15 µT lagen.

Literatur

[1] OVE Richtlinie R 23-1:2017: Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz – Teil 1: Begrenzung der Exposition von Personen der Allgemeinbevölkerung.

[2] Österreichische Verordnung Elektromagnetische Felder (VEMF) vom 7. Juli 2016 (BGBl. II Nr. 179/2016).

[3] Parlament und Rat der Europäischen Union: Richtlinie 2013/35/EU über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer durch physikalische Einwirkung (elektromagnetische Felder), 20. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16, Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG und zur Aufhebung der Richtlinie 2004/40/EG.

[4] ICNIRP 2009: Guidelines on limiting exposure to static magnetic fields, Health Physics, Vol. 96(4):818-836, 2009.

[5] ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz – 100 kHz), Health Physics, Vol. 99(6):818-836, 2010.

[6] OVE Richtlinie R 27:2019: Verfahren zum Nachweis der Einhaltung der Auslösewerte gemäß Verordnung Elektromagnetische Felder im Bereich elektrischer Energieversorgungsanlagen für Frequenzen von 0 bis 100 kHz.

[7] OVE Richtlinie R 23-3-1:2021: Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz – Teil 3-1: Magnetische Felder – Maßnahmen zur Expositionsreduktion für die Allgemeinbevölkerung bei Errichtung oder wesentlichen Änderung ortsfester Anlagen und Leitungen der Stromversorgung.

[8] EMF Portal der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen: https://www.emf-portal.org.

20 Jahre Erfahrung in Genehmigungsverfahren Thema EMF und Ausblick

Referent
DI Oskar OBERZAUCHER

Austrian Power Grid AG

Wagramer Straße 19
A-1220 Wien
☎ +43 (0) 664 883 42 976
✉ oskar.oberzaucher@apg.at

Kurzbiographie

Ausbildung

- 2007-2013 Masterstudium Elektrotechnik an der TU Wien
  Fachrichtung: Energietechnik

Berufliches

- seit 2013 Austrian Power Grid AG
  Einsatzgebiete/Qualifikationen:
  Anlagenmanagement/Schwerpunkt Emissionen (EMF/Schall) sowie Innovative Technologien

Arbeitsgruppen

- Österreichs Energie Arbeitskreis EMF
- Mitglied in OVE-Normungsgruppen

20 Jahre Erfahrung in Genehmigungsverfahren Thema EMF und Ausblick

Referent
DI Klemens REICH

Austrian Power Grid AG

Wagramer Straße 19
A-1220 Wien
☏ +43 (0) 664 828 54 99
✉ klemens.reich@apg.at

Kurzbiographie

Ausbildung

- Dipl.-Ing der Elektrotechnik (Energietechnik), TU Wien 2002

Berufliches

- 2007 Koordinator Assetmanagement - Leitungen
- 2002 Austrian Power Grid AG

Forschungsschwerpunkte

- Innovationen im Bereich Freileitungen

Arbeitsgruppen

- OVE Normungsgremium für elektrische und Magentische Felder
- OVE Normungsgremium für Freileitungen
- CIGRE – Austrian Representative SC C3 (Umweltthemen), seit 2022
- CIGRE – Austrian Representative SC B2 (Freileitungen), 2014-2022

Mitgliedschaften

- OVE
- CIGRE

20 Jahre Erfahrung in Genehmigungsverfahren Thema EMF und Ausblick

Dipl.-Ing. Oskar Oberzaucher / Dipl.-Ing. Klemens Reich
(Austrian Power Grid AG)

Zusammenfassung

Im Jahr 2006 startete APG mit der 380-kV-Steiermarkleitung in ihr erstes UVP-Projekt. Es handelte sich dabei um das erste Leitungsgroßprojekt, welches nach dem damals neuen UVP-Gesetz abgewickelte wurde. Nach nun gut 20 Jahren und insgesamt 6 UVP-Verfahren zeigt die Erfahrung, dass die Anforderungen an die Projektwerber immer größer werden und zugleich immer wieder die gleichen Themen von vorne aufgerollt werden (Doppelprüfung).

Ein Beispiel von solchen Doppelprüfungen in UVP-Verfahren für neue Leitungen sind die elektrischen und magnetischen Felder (EMF). Mangels eines verbindlichen österreichischen Grenzwertes wurden in UVP-Verfahren die Anwendung von verschiedensten Normen und Richtlinien sowie von Publikationen in den Fachgutachten wiederholt sehr umfangreich und zeitintensiv geprüft.

Im Angesicht der großen Herausforderungen der Energiewende an das Übertragungsnetz ist es an der Zeit für mehr Rechtssicherheit und schnellere Genehmigungsverfahren zu Sorgen. Ein verbindlicher Grenzwert für elektrische und magnetische Felder wäre dazu eine wichtige Maßnahme.

Einleitung

Die Austrian Power Grid AG (APG) betreibt das österreichische Hochspannungsnetz, welches mit den anderen Hochspannungsnetzen in Europa zusammengeschalten ist (ENTSO-E Netz). Aufgrund der gesetzlichen Verpflichtungen muss APG das Netz sicher und zuverlässig betreiben und ausbauen. APG ist verantwortlich für den sicheren und effizienten Betrieb von 65 Umspannwerke, 12.000 Freileitungsmasten und 3.500 km Trassenkilometer Freileitungsnetz in den Spannungsebenen 380 kV, 220 kV und 110 kV.

Das Funktionieren unseres Gesellschaftssystems ist heute untrennbar mit einer sicheren, zuverlässigen, umweltverträglichen und zu wirtschaftlichen Bedingungen verfügbaren Stromversorgung verbunden. Die Stromnetze (Übertragungs- und Verteilernetze) sind in diesem Zusammenhang das Rückgrat für eine sichere und zuverlässige Stromversorgung. Die österreichischen Stromnetze stehen aber zugleich auch vor großen Herausforderungen, die im Zusammenhang mit den Zielsetzungen der Energiewende und für den Klimaschutz bewältigt werden müssen. Eine Optimierung bzw. ein Ausbau der bestehenden Strominfrastruktur ist dabei eine Grundvoraussetzung für die Netzintegration von

erneuerbaren Energieträgern und die Erreichung der Zielsetzungen der Energiewende. Die in Abbildung 1 dargestellten Zubauziele welche sich aus dem Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz – EAG ergeben geben einen deutlichen Eindruck von den anstehenden Herausforderungen.

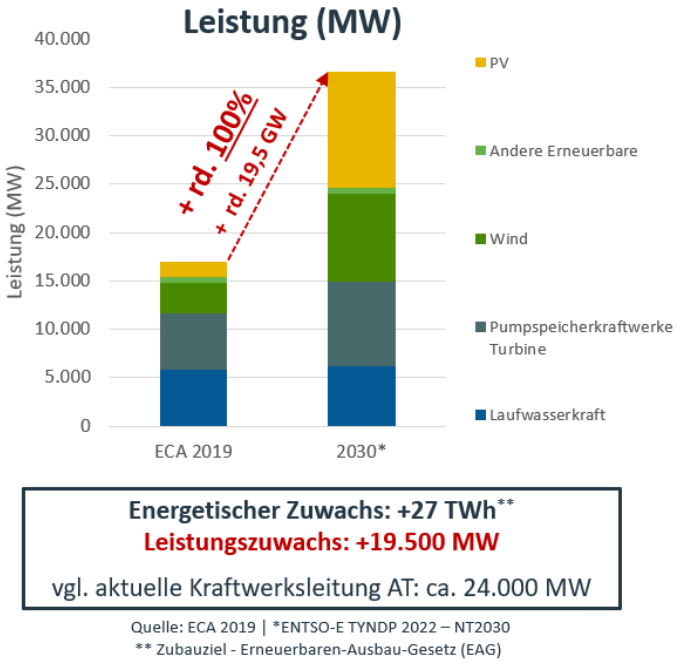


Abbildung 1: Zubauziele gemäß EAG

Großprojekte der APG sind entweder nach dem UVP Gesetz *UVP-G 2000* oder nach dem Starkstromwegegesetz *StWG 1968* zu genehmigen. Auf einen der Hauptaspekt in den Verfahren – die elektrischen und magnetischen Felder (EMF) – wird im Zuge dieses Aufsatzes eingegangen und es werden einerseits die bisherigen Erfahrungen aufzeigt, sowie andererseits ein Ausblick darauf gegeben, welcher Gestalt eine zukünftige Grenzwertregelung sein könnte.

Großprojekte der letzten 20 Jahre

Im Jahr 2006 startet APG mit der 380-kV-Steiermarkleitung in ihr erstes UVP-Projekt. Es handelte sich dabei um das erste Leitungsgroßprojekt, welches nach dem damals neuen UVP-Gesetz abgewickelt wurde. Nach nun gut 20 Jahren und insgesamt 7 UVP-Verfahren zeigt die Erfahrung, dass die Anforderungen an die Projektwerber immer größer werden und zugleich immer wieder die gleichen Themen von vorne aufgerollt werden.

Die Tabelle 1 führt für die UVP-Verfahren der APG sowohl die Verfahrensdauer als auch die Anzahl an Einwendungen an.

Tabelle 2 führt die Zahlen von drei StWG-Großprojekte an. Dabei ist anzumerken, dass einzelne Einwendungen meist eine Vielzahl an Themenbereichen behandeln, es aber oftmals auch viele gleichlautende Einwendungen (Mustervorlagen) gibt.

Tabelle 1: Verfahrensdauern uns Einwendungen der UVP-Projekte der letzten 20 Jahre bei APG

Projekt	Verfahrensdauer	Anzahl Einwendungen
380-kV-Steiermarkleitung	3 Jahre	157
380-kV-Salzburgleitung, Abschnitt 1 (St. Peter-Salzburg)	3 Jahre	119
380-kV-Salzburgleitung, Abschnitt 2 (Salzburg-Tauern)	6 Jahre	>1400
380-kV-Deutschlandleitung	1 Jahr (rechtsgültig in 1. Instanz)	3
380-kV-Weinviertelleitung	2 Jahre	57
220/110-kV-Zentralraum Oberösterreich	1 Jahr - laufend	66
220-kV-Italienleitung	Vorarbeiten - laufend	

In Abbildung 2 werden die Verfahrensdauern der abgeschlossenen UVP-Projekte dargestellt.

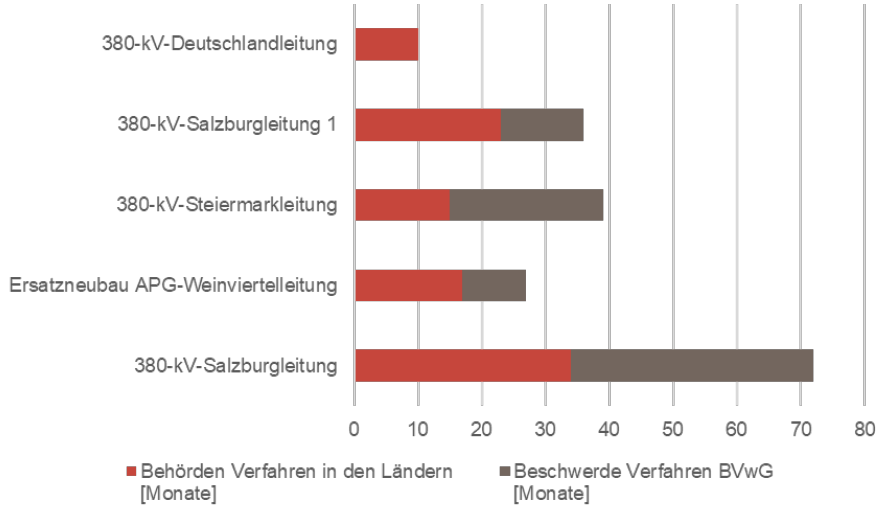


Abbildung 2: Verfahrensdauern UVP-Projekte. Anmerkungen:

1. Alle Zeiten ohne Vollständigkeitsprüfung durch die Behörde
2. 380-kV-Deutschlandleitung: Rechtskräftig in der 1. Instanz

Tabelle 2: Verfahrensdauern und Einwendungen am Beispiel dreier StWG-Großprojekte

Projekt	Verfahrensdauer	Anzahl Einwendungen
220-kV-Ersatzneubau Donauschiene	4 Jahre	232
220-kV-Leitung Ernsthofen – Weißenbach Generalsanierung mit Hochtemperaturseil	2 Jahre	96
220-kV-Ersatzneubau Ennstalleitung	3 Jahre - laufend	126

Allgemein kann festgestellt werden, dass die Anzahl der Einwendungen und die Verfahrensdauer mit der Anzahl an betroffenen Parteien steigt. Dies wird wiederum durch die Leitungslänge des Projektes aber auch deren Nähe zu Wohnanrainern bestimmt. Als positives Beispiel ist die Weinviertelleitung zu nennen, bei der das nächste Nahbereichsobjekt rund 250 m weit entfernt ist. Bis auf das Projekt Deutschlandleitung, welches aufgrund seiner Leitungslänge von weniger als 3 km auf österreichischem Staatsgebiet ein absoluter Ausnahmefall war, durchliefen alle Projekte den Instanzenzug, wobei die gesetzlich vorgesehenen Fristen für die Verfahren bei weitem überzogen wurden.

Aus humanmedizinischer Sicht wurden sämtliche Projekte als umweltverträglich eingestuft, bzw. wurde eine Gesundheitsgefährdung mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen.

NIMBY – Not in my backyard

Kennzeichnend für viele Einwendungen in Bezug auf EMF ist das NIMBY-Phänomen, bei denen es teils offensichtlicher Weise nicht um die persönliche Sorge in Bezug auf gesundheitliche Aspekte geht, sondern lediglich, um einen vermeintlichen Hebel das Projekt zu verhindern. Ziel ist eine Verzögerung des Vorhabens bzw. das Lahmlegen der Behörden. Dies Möglichkeit ergibt sich daraus, dass es in Österreich keine verbindlichen Grenzwerte in Bezug auf EMF gibt. Das bedeutet, dass die Sachverständigen in der Wahl der Grenzwerte quasi freie Hand haben. Dies eröffnet aber natürlich auch Projektgegnern die Möglichkeit diverse Einzelstudien und fachlich fragwürdige „Richtlinien“ mit beliebig niedrigen Grenzwerten ins Spiel zu bringen und zu diskutieren. Teilweise kommt es auch zu skurrilen Situationen wie dem „Leitungsgegnerschaft-Tourismus“. So stammen beispielsweise beim Projekt Weinviertelleitung in Niederösterreich, die Einwendungen zum Großteil aus der Feder der Leitungsgegnerschaft der Salzburgleitung, welche auch zur mündlichen Verhandlung anreiste. Obwohl zu weiten Teilen die identen, bereits im Verfahren Salzburgleitung zurückgewiesenen Einwendungen eingebracht wurden, mussten diese im Rahmen der Beweiswürdigung von der Behörde auch im Verfahren zur Weinviertelleitung wieder berücksichtigt werden.

Besonders deutlich wird die paradoxe Situation der Grenzwertdiskussion auch in der Betrachtung der Standards, die für den Leitungs-Projektwerber während des Verfahrens angesetzt werden, im Vergleich zu jenen für Wohnbebauung, die nach der Errichtung der Leitung an diese heranrückt. So wird in Verfahren oftmals um Magnetfeldwerte in Höhe von 1 µT diskutiert, wohingegen bei nachträglich herangerückter Wohnbebauung die Grenzwerte laut Norm von 200 µT die Beurteilungsgrundlage darstellen.

Planungsprämissen in bisherigen Projekten

Die bisherigen Planungsprämissen ergeben sich historisch aus der Beurteilung der Projekte in den Verfahren. Hervorzustreichen ist, dass die Beurteilung stark vom Genehmigungsregime abhängig ist.

Generell werden alle Projekte so geplant, dass die Referenzwerte gemäß Norm in allen der Allgemeinbevölkerung zugänglichen Bereichen eingehalten werden. Weiters werden die Anlagen so optimiert, dass die Immissionen an Orten mit sensibler Nutzung (Wohngebäude, Kindergärten, Krankenhäuser etc.) möglichst gering sind. Dies wird üblicherweise durch eine entsprechende Wahl der Trassenführung, Seillage und Phasenfolge erreicht.

Bei Projekten, bei denen die Lage der Trasse unverändert bleibt (meist StWG-Projekte, z.B. Generalerneuerungen oder Neubeseilungen mit Hochtemperaturseilen), ist die Planungsvorgabe, dass die bestehenden Magnetfeldimmissionen bei Objekten mit sensibler Nutzung nicht erhöht werden. Da Bestandstrassen oftmals stark unterbaut wurden und werden, gibt es hier oftmals Wohnobjekte mit Immissionswerten des magnetischen Feldes von 10 µT und mehr.

Bei Projekten auf neuen Trassen (meist UVP-Projekte) ist die Planungsvorgabe, dass die Magnetfeldimmissionen bei Objekten mit sensibler Nutzung Werte von 1 µT nicht überschreiten.

Aufbau der EMF-Einreichunterlagen

Die technischen Berichte unterschieden sich im Umfang in Abhängigkeit vom jeweiligen Verfahren und sind bei UVP-Verfahren wesentlich umfangreicher als bei StWG-Verfahren. Zu Beginn wird die Methodik erläutert, auf welche Art beispielsweise der Untersuchungsraum festgelegt wird, welche Normen für die Beurteilung herangezogen werden und welche Annahmen den Berechnungen zugrunde gelegt werden. Nachfolgend werden die bestehenden Emissionen dargestellt. Dies erfolgt einerseits durch Messungen im Nahbereich der Leitung und bei Objekten mit sensibler Nutzung und durch grafische Darstellung der Feldverläufe von allfällig vorhandenen Bestandsleitungen. Die Einhaltung der Referenzwerte der geplanten Leitung wird anhand von Querprofilen der elektrischen und magnetischen Felder, sowie des Gesamtexpositionsquotienten (dieser ergibt sich aus der gemeinsamen Betrachtung des elektrischen und magnetischen Feldes in Bezug auf deren Referenzwerte) für unterschiedliche Leiterseilhöhen sowohl für den Normalbetrieb als auch für Störfälle und atypische Betriebszustände dargestellt. Der Normalbetrieb definiert sich über den im (n-1)-konformen Betrieb max. zulässigen Strom, der im vermaschten Netz mit 60% des max. zulässigen Nennstromes der Leiterseile festgelegt wird. Störfälle und atypische Betriebszustände umfassen beispielsweise kurzfristige Ausfälle von Leitungssystemen oder sonstigen Netzkomponenten aber auch länger andauernde Revisionsarbeiten und Sonderschaltungen im Übertragungsnetz, bei denen eine Leitungsauslastung bis zum Nennstrom auftreten kann. In Abbildung 3 wird beispielhaft solch ein Querprofil des magnetischen Feldes einer 380-kV-Freileitung für den Normalbetrieb dargestellt.

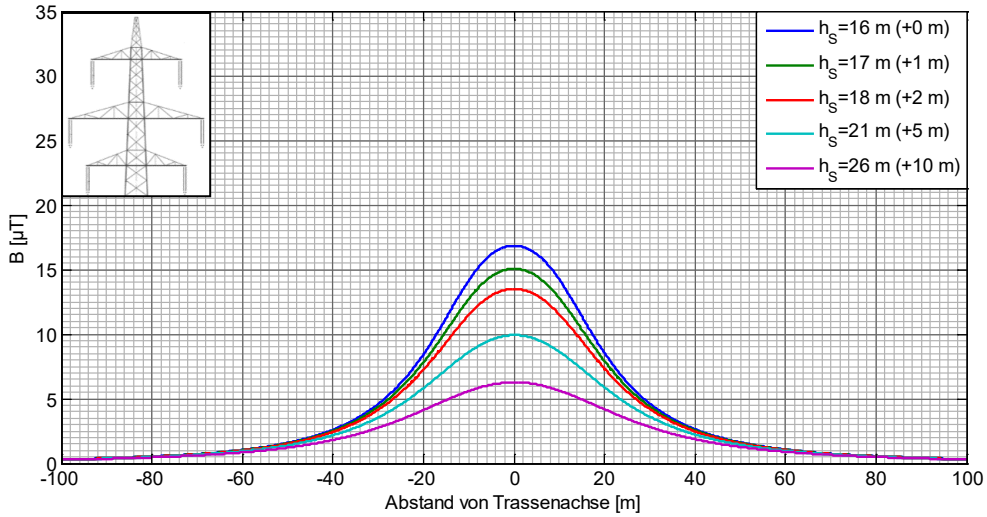


Abbildung 3: Querprofil des magnetischen Feldes einer 380-kV-Freileitung für unterschiedliche Leiterseilhöhen

Zentraler Punkt des Berichtes ist die Liste der Objekte mit sensibler Nutzung, welche die Basis für die humanmedizinische Beurteilung des Projekts darstellt. In dieser werden die berechneten bestehenden Immissionen jenen des Projektes gegenübergestellt.

Tabelle 3: Beispielhafte Nahbereichsobjektliste

Objekt ID	Genehmigung	Vorhaben	Abschnitt	horizontaler Abstand Bestand [m]	horizontaler Abstand Endausbau [m]	B-Feld Bestand [µT]	B-Feld Endausbau [µT]	Differenz. B-Feld Endausbau-Bestand [µT]	E-Feld Bestand [kV/m]	E-Feld Endausbau [kV/m]	GEQ Bestand [%]	GEQ Endausbau [%]
318	Neubau trassennah	VHS-VWS		13,5	48,4	11,2	0,9	-10,2	0,82	0,18	22	4
1059	Neubau-trassennah	VHS-VWS		39,1	39,1	1,1	1,0	-0,1	0,03	0,09	1	2
499	Neubau trassennah	VHS-VWS		31,7	46,3	3,1	0,9	-2,2	0,13	0,19	4	4

Abschließend findet sich eine Zusammenfassung, in welcher dargestellt wird, dass die Grenzwerte laut Norm eingehalten werden und wie sich das Veränderungsausmaß bei den Objekten mit sensibler Nutzung gestaltet.

Grenzwertvorschlag und Ausblick

Um die Ziele der Energiewende in Österreich – Dekarbonisierung der Stromerzeugung 2030 und des Gesamtenergiebedarfes 2040 – zu erreichen, ist ein massiver Ausbau des Übertragungsnetzes erforderlich. Damit dies innerhalb des vorgesehenen Zeitraums bewerkstelligt werden kann, sind mehrere verfahrensbeschleunigende Maßnahmen erforderlich. Dies umfasst einen Ressourcenausbau bei den Behörden (Verfahrensleiter, Sachverständige), aber auch die Vermeidung von Doppelprüfungen. Ein Baustein in Bezug auf EMF sind einheitliche und adäquate verbindliche Grenzwerte und Relevanzschwellen, wie sie bspw. in Deutschland bestehen, um Planungssicherheit in der Projektentwicklung und Projektgenehmigung zu erreichen. Die Grenzwerte sollen für Projekte im Übertragungsnetz wie z.B. UVP-pflichtige neue Leitungen oder StWG-pflichtige Generalerneuerungen gelten.

Diese würden einen entscheidenden Beitrag zu Beschleunigung von Genehmigungsverfahren liefern und Grenzwertdiskussionen mit Gutachten und darauffolgende Gegen-Gutachten, etc. obsolet machen. Nachfolgend findet sich ein **Formulierungsvorschlag** für eine Grenzwertregelung mit zusätzlichen Erläuterungen.

Für neue Anlagen und Änderungen bestehender Anlagen (Generalerneuerung, Hochtemperaturseile) gelten:

1. *Immissionsgrenzwert von 200 µT für die magnetische Flussdichte und 5 kV/m für die elektrische Feldstärke*
2. *Bei Objekten mit sensibler Nutzung (dauernde Wohnnutzung, Kindergärten, Krankenhäuser, Altersheime) zusätzlich:*
    a. *Ein reduzierter Grenzwert für die magnetische Flussdichte von 100 µT*
    b. *Ein Überspannungsverbot für neue Leitungen*
    c. *Ein Minimierungsgebot durch Trassenwahl (Abstand zu Objekten bei neuen Leitungen), optimierte Mastbilder (Seilhöhe) und Verdrillung (Phasenanordnung)*
3. *Es ist ein Nachweis der Konformität mit den Grenzwerten beim jeweils nächstgelegenen Wohnobjekt (bis zu einem Abstand von max. 100m) zu erbringen und nach Inbetriebnahme der Anlage durch Messung zu belegen.*

Ad 1: Die Grenzwerte beziehen sich auf die Referenzwerte der OVE Richtlinie R 23-1 „Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHZ, Teil 1: Begrenzung der Exposition von Personen der Allgemeinbevölkerung“ vom 01. April 2017, welche dem Stand der Technik entspricht und auf den aktuellen ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time Varying Electric and Magnetic Fields (1Hz-100 KHz) basiert. Dies dient der Sicherstellung des Gesundheitsschutzes der Bevölkerung.

Ad 2a: Der reduzierte Grenzwert von 100 µT bei sensiblen Objekten ist als Vorsorgewert zu sehen, welcher 50% des Referenzwertes der OVE Richtlinie R 23-1 entspricht. Mit diesem Wert für die Anlagenimmission wird sichergestellt, dass auch im Fall der Anwesenheit von anderen Emissionsquellen der Grenzwert von 200µT nicht erreicht wird.

Ad 2c: Dieser Punkt bezieht sich auf die OVE Richtlinie R 23-3-1 „Maßnahmen zur Reduktion von Exposition bei Errichtung oder wesentlicher Änderung ortsfester Anlagen und Leitungen der Stromversorgung“ (2017), welche Optimierungsmöglichkeiten von elektrischen Anlagen aufzählt und bewertet.

Ad 2b und 3: Diese Punkte sollen die Akzeptanz der Anrainer gegenüber Projekten erhöhen.

EMF beim Netzausbau in Deutschland

Referent:in
DI Alex WOLLNY

Amprion GmbH

Immissionsmanagement Leitungen
Robert-Schuman-Straße 7
D-44263 Dortmund
☏ +49 (0)231 5849 15591
✉ alexander.wollny@amprion.net

Kurzbiographie

Ausbildung

- Studium der Elektrotechnik und Informationstechnik an der Ruhr-Universität Bochum

Berufliches

- seit 2016 — Immissionsmanagement Leitungen
  Amprion GmbH

  Einsatzgebiete/Qualifikationen:
  - Immissionsschutz
  - Wissenschaftskommunikation
  - Forschungsbegleitung

- 2009 – 2015 — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik
  Ruhr-Universität Bochum

  Einsatzgebiete/Qualifikationen:
  - Numerische Simulation der Zündung von Micro Plasma Cavity Arrays
  - Wissenschaftskommunikation

Forschungsschwerpunkte

- Atmosphärendruck Plasmaphysik
- Multiskalensimulationen

Arbeitsgruppen

- Cigré Working Group C 3.19
- EPRI (METT)

Mitgliedschaften

- Cigré
- Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. (VDE)
- Mitglied der Schiedskommission der Sparte Roller Derby Deutschland im Deutschen Rollsport und Inlineverband e. V. (DRIV)

Kurzprofil

Nach dem Studium der Elektrotechnik an der Ruhr-Universität Bochum arbeitete Alex Wollny als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik im Bereich der Atmosphärendruck-Plasmatechnik, eher they 2016 zur Amprion wechselte. Seitdem begleitet they zahlreiche Genehmigungsverfahren im gesamten Netzgebiet der Amprion als fachkundige Ansprechperson zu elektrischen und magnetischen Feldern und Gesundheit sowie zu Geräuschen in der Öffentlichkeit und wirkt bei der Erstellung der Zulassungsunterlagen mit. Zudem ist they Mitglied in internationalen Gremien es Fachgebiets und vertritt dort die Amprion.

Einen Ausgleich findet Alex Wollny als Official im Roller Derby und als Mitglied der Schiedskommission des Bundesverbandes Roller Derby Deutschland.

EMF beim Netzausbau in Deutschland

Dipl.-Ing. Alex Wollny
(Amprion GmbH)

Zusammenfassung

Beim Netzausbau im Rahmen der Energiewende ist ein Thema immer präsent: elektrische und magnetische Felder und Gesundheit. Die gesetzlichen Regelungen und deren Anwendung in Zulassungsverfahren ermöglichen eine vorgegebene, einheitliche Bewertung von elektrischen und magnetischen Feldern. In der Öffentlichkeit kann auf die verbindlichen, einheitlichen und wissenschaftlich fundierten Prüfmaßstäbe verwiesen werden. Damit ist ein rechtssicherer Prüfmaßstab für das Schutzgut Mensch und menschliche Gesundheit im Aspekt elektrische und magnetische Felder in Zulassungsverfahren festgelegt.

Einleitung

Die Amprion GmbH betreibt als einer der vier Übertragungsnetzbetreiber in Deutschland ein Höchstspannungsnetz von der Nordsee bis zu den Alpen. Im Rahmen der Energiewende in Deutschland bedarf dieses 11 000 km lange Übertragungsnetz Neu- und Ersatzneubauten auf 5 500 km Länge. Dabei ist der überwiegende Teil dieser Bauprojekte in Planfeststellungsverfahren zu genehmigen. Im Rahmen dieser Verfahren sind die Auswirkungen auf Menschen und Umwelt, die so genannten Schutzgüter, in einer Umweltverträglichkeitsprüfung zu untersuchen. Die Prüfungen des Aspekts elektrische und magnetische Felder und Gesundheit als Teilaspekt des Schutzgut Mensch und menschliche Gesundheit wird im Folgenden beleuchtet und gegen weitere Regelungen abgegrenzt.

Neben den gesetzlichen Anforderungen, die sich aus dem Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVPG) ergeben, sind in den Zulassungsverfahren auch die Anforderungen aus dem bundeslandspezifischen Raumordnungsrecht und des Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) zu beachten. Das Raumordnungsrecht regelt auf Bundes- und Landesebene die zum Teil konkurrierende Nutzung der Flächen und Räume. Dabei wird versucht, konkurrierende Nutzungen auszugleichen. Zum Zweck des Wohnumfeldschutzes wurden so Abstandsregeln für Freileitungstrassen in einzelnen Bundesländern festgesetzt. Bei neu zu errichtenden Freileitungen sind Abstände von 200 m zur Außenbereichswohnbebauung und 400 m zu geschlossenen Siedlungen beachtenden. Diese Abstände sind als Grundsätze festgelegt, die es bei der Abwägung im Rahmen der Trassenplanung zu berücksichtigen gilt. Für Erweiterungen und Ersatzneubauten sind diese Abstände nicht zu beachten.

Neben dem im Raumordnungsrecht geregelten Wohnumfeldschutz regelt das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) in Verbindung mit der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV) den Gesundheitsschutz und die

Gesundheitsvorsorge vor elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern. Die Einhaltung der Anforderungen der 26. BImSchV als zwingendes Recht ist im Rahmen von Zulassungsverfahren nachzuweisen. Auf die Erkenntnisse aus diesen Untersuchungen baut die Bewertung der Umweltverträglichkeitsprüfung auf.

Über die 26. BImSchV

Anfang der 1990ger Jahre erfuhr der Mobilfunkmarkt in ganz Europa rastes Wachstum. Mit dem Aufbau der GSM-Netze wurde die Infrastruktur in der breiten Öffentlichkeit sichtbar. Weithin sichtbare Sendeanlagen weckten Befürchtungen in Teilen der Bevölkerung, dass von den Anlagen und den damit verbundenen elektromagnetischen Wellen Gesundheitsgefahren ausgehen könnten.

Um den Schutz vor elektromagnetischen Wellen verbindlich und einheitlich zu regeln wurde 1996 die Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV) erlassen. Das Grenzwertkonzept stützt sich auf die international anerkannten Empfehlungen des Komitees für nichtionisiere Strahlen der internationalen Strahlenschutzvereinigung (IRPA/INIRC), der Internationalen Kommission für den Schutz vor nichtionisierenden Strahlen (ICNIRP), die die Arbeit der IRPA/INIRC fortsetzt, sowie der Empfehlungen der Strahlenschutzkommission (SSK). Mit der Verordnung wurde insbesondere das Ziel verfolgt, für wichtige Infrastrukturmaßnahmen durch verbindliche, einheitliche Maßstäbe den gebotenen Schutz und die Vorsorge sicherzustellen und zugleich Verfahrensvereinfachungen zu erzielen. [1]

Mit der Novellierung der 26. BImSchV wurden die Schutzregelungen überprüft und der Regelungsumfang auf den gesamten Frequenzbereich von 1 Hz bis 9 kHz und auf Gleichstrom erweitert. Die ICNIRP Empfehlung von 2010 [2] passen aufgrund neuerlicher wissenschaftlicher Erkenntnisse die empfohlenen Grenzen bei 50 Hz von 100 µT auf 200µT an. Der Verordnungsgeber folgte der ICNIRP Empfehlung 2010 jedoch nicht und legte bei der Netzfrequenz von 50 Hz die Hälfte der Grenzwertempfehlung zur Vorsorge fest. Zudem wurde mit der Novellierung die Vorsorgeanforderungen neu gefasst und mit der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur 26. BImSchV (26. BImSchVVwV) in 2016 detailliert geregelt.

Die 26. BImSchVVwV sieht eine umfassende Liste an zu prüfenden Maßnahmen zur Reduktion der Immissionen („Minimierungsprüfung“) vor und legt die notwendigen Voraussetzungen, die eine Minimierungsprüfung auslösen, fest.

Vorteile gesetzlicher Grenzwertfestsetzungen in Zulassungsverfahren

Der Nachweis zur Erfüllung der Anforderungen der 26. BImSchV erfolgt getrennt nach den zwei wesentlichen Anforderungen der Verordnung: den Schutzanforderungen nach § 3 und den Vorsorgeanforderungen nach § 4. Für beide Prüfungen gibt es ein sich aus dem Prüfmaßstab ergebendes, einheitliches Vorgehen.

Für den Nachweis der Erfüllung der Schutzanforderungen werden zunächst Orte ermittelt, die nach ausgewiesener Nutzung als Immissionsort in Frage kommen. Dies sind bei Wechselstromleitungen alle Orte, die dem nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Personen dienen und im Einwirkungsbereich der Anlage liegen. Für den Immissionsort, an

dem bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung die höchsten Immissionen erwartet werden, wird ein Nachweis gefertigt. Als höchste betriebliche Anlagenauslastung wird die höchste zulässige Spannung, der maximal zulässige Strom und der maximale mögliche Seildurchhang aller Systeme zugrunde gelegt. Die Ergebnisse der Prüfung, ein Vergleich mit der Grenzwertanforderung, wird in einem Formblatt zusammengefasst dargestellt, das auch die zur Ermittlung der Ergebnisse notwendigen technischen Angaben und eine Karte zur Verortung des Immissionsorts enthält.

Darüber hinaus wird ein Immissionsschutzbericht vorgelegt. Dieser Bericht umfasst allgemeine Aussagen und Erläuterungen zu elektrischen und magnetischen Feldern von Höchstspannungsleitungen, die Darstellung der Methodik zur Nachweiserstellung sowie projektbezogene Informationen und Berechnungsergebnisse. Zudem werden die Vorsorgeanforderungen Minimierung und Überspannungsverbot dargestellt. Für die Minimierung werden zunächst die Minimierungsorte ermittelt. Sofern Minimierungsorte vorliegenden werden die möglichen Maßnahmen zur Reduktion der Felder auf Umsetzbarkeit und Verhältnismäßigkeit geprüft. Die Prüfung erfolgt grundsätzlich für eine geplante Anlage in ihrer geplanten Trasse. Technische und räumliche Alternativen werden auf dieser Planungsebene bereits als geprüft und ausgewählt vorausgesetzt. Anschließend werden die umgesetzten Maßnahmen zur Reduktion der elektrischen und magnetischen Immissionen dargestellt. Zur Orientierung sind dem Immissionsschutzbericht Karten beigefügt, in denen die Immissions- und Minimierungsorte dargestellt sind.

Durch den verbindlichen, einheitlichen Prüfmaßstab der 26. BImSchv i. V. m. der 26. BImSchVVwV ergibt sich für die Vorhabenträgerin ein einheitliches, rechtssicheres Vorgehen. Für die Zulassungsbehörden reduziert sich der Prüfaufwand, da der Prüfmaßstab einheitlich geregelt und somit kein Prüfungsgegenstand ist.

Vorteile gesetzlicher Grenzwertfestsetzungen in der projektbegleitenden Kommunikation

Das Thema elektrische und magnetische Felder und Gesundheit fällt in den Bereich der Risikokommunikation. Des Themenfeld löst in vielen Fällen Ängste bei Menschen aus, die mit den physikalischen Grundlagen wenig vertraut sind. Zudem gibt es im Internet eine Vielzahl von Meinungen, die diese Ängste verstärken. Diese Menschen haben selten Vertrauen in die Aussagen der Vorhabenträgerinnen. Somit hilft es, wenn eine unabhängige, vertrauenswürdige Stelle den Prüfmaßstab verbindlich vorgibt, um den Schutz der Menschen vor elektrischen und magnetischen Feldern sicherzustellen.

Wir bei Amprion setzen bei unseren Projekten auf interne Fachkundige, die zum einen die immissionsschutzrechtlichen Unterlagen erstellen, zum anderen die meist tiefgehenden Fragen der Öffentlichkeit projektbezogen beantworten. Meine Kolleg:innen und ich in der Abteilung Immissionsmanagement Leitungen begleiten dazu die meisten Öffentlichkeitsveranstaltungen zu unseren Ausbauprojekten.

Dabei nutzen wir Materialien von unabhängigen Stellen, um in diesem hochsensiblen Thema unsere Aussagen zu stützen. Zudem bieten wir eigenes Infomaterial für verschiedene Zielgruppen an. So bieten wir auf unserem YouTube-Kanal [3] neben Videos zu den Themen

des Netzbetriebs und Netzausbaus auch Videos an, die das Thema elektrische und magnetische Felder für die Öffentlichkeit erklären. Mit diesen Materialien versuchen wir weiteres Vertrauen aufzubauen.

Weiterhin beobachten wir die nationale und internationale Forschung um das Thema elektrische und magnetische Felder und Gesundheit und wirken in Fachgremien mit, um unsere Fachkunde für die Allgemeinheit einzubringen und dies für uns auszubauen.

Letztlich beruht das Vertrauen, das uns Fachkundigen der Übertragungsnetzbetreiber entgegengebracht wird, jedoch auf dem Vertrauen in die international anerkannten Wissenschaftler:innen in den internationalen Komitees, auf deren Wisssen und auf deren Erkenntnisse der Schutz des Menschen vor elektrischen und magnetischen Feldern beruht. In Deutschland werden dieses Wissen und diese Erkenntnisse in der 26. BImSchV angewendet.

Fazit

Ein verbindlich anzuwendender Prüfmaßstab erleichtert die Darstellung des Schutzes der Mensch vor elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern in der Öffentlichkeit, da der Prüfmaßstab nicht von der Stelle festgesetzt wird, die den Prüfmaßstab anwendet.

Zwingendes Recht, das den Schutz des Menschen vor elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern verbindlich und einheitlich regelt, ermöglicht durch den verbindlich anzuwendenden Prüfmaßstab eine einheitliche Bewertung im Rahmen von Zulassungsverfahren und innerhalb von Umweltverträglichkeitsprüfungen. Da dieser Prüfmaßstab auch in Gerichtsverfahren nicht wiederholt zu prüfen ist, erhöht der verbindliche Prüfmaßstab die Rechtssicherheit der Zulassungsbeschlüsse.

[1] Bundesrat, Drucksache 393/96 v. 22.02.1996
[2] ICNIRP2010 („Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz bis 100 kHz)“, Health Physics 99 (6): 818-836; 2010
[3] https://www.youtube.de/@amprion_tso

UNIKLINIK RWTH AACHEN

Gesundheitliche Wirkungen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder

Referentin
Dr. rer. nat. Sarah DRIEßEN

Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu);
Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Uniklinik RWTH Aachen

Pauwelsstraße 30
D-52074 Aachen
☏ +49 (0)241 80 35962
✉ driessen@femu.rwth-aachen.de

Kurzbiographie

Ausbildung

- Promotion an der RWTH Aachen; Lehrstuhl für Ökologie, Ökotoxikologie und Ökochemie (1999-2004)
- Studium Diplom-Biologie an der RWTH Aachen (1993-1999)

Berufliches

- seit 2003 Forschungszentrum für elektromagnetische Umweltverträglichkeit (*femu*), Institut für Arbeits-, Sozial und Umweltmedizin, Uniklinik RWTH Aachen
  Einsatzgebiete/Qualifikationen:
  - Projektleiterin für verschiedene Forschungsprojekte,
  - u.a. EMF-Portal (www.emf-portal.de)
- 2000-2002 Umweltministerium Schleswig-Holstein
- 1999-2000 Lehrstuhl für Ökologie, Ökotoxikologie und Ökochemie, RWTH Aachen

Forschungsschwerpunkte

- Gesundheitliche und biologische Wirkungen elektromagnetischer Felder
- Erstellung systematischer Reviews

Gesundheitliche Wirkungen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder

Dr. rer. nat. Sarah Drießen
(Uniklinik RWTH Aachen)

Zusammenfassung

Der vorliegende Artikel stellt das Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (*femu)* am Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin an der Uniklinik RWTH Aachen vor, erläutert die Wirkungen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder oberhalb und unterhalb der Grenzwerte und gibt einen Einblick in die Grundlagen von entsprechenden Bewertungsprozessen.

Hinweis: Einige Inhalte des vorliegenden Artikels beruhen auf den Texten des EMF-Portals (***www.emf-portal.org***). Dort finden Sie auch weiterführende Informationen.

Einleitung

Elektrische und magnetische Felder kommen natürlicherweise schon immer in unserer Umwelt vor, wie zum Beispiel das Erdmagnetfeld oder das elektrische Feld der Ionosphäre. Zu einem großen Teil werden sie aber heutzutage technisch erzeugt und treten zum Beispiel überall da auf, wo Strom erzeugt oder verbraucht wird. Viele Menschen haben Angst, dass die elektrischen und magnetischen Felder ihrer Gesundheit schaden könnten. Und auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler führen kontroverse Diskussionen, ob unsere Grenzwerte ausreichend sicher sind. Manche Zusammenhänge, wie zum Beispiel das Auftreten von Kinderleukämie in der Nähe zu Hochspannungsfreileitungen, können bis heute nicht erklärt werden.

Eine unabhängige Forschung und systematische Analyse und Bewertung wissenschaftlicher Studien ist in diesem Bereich daher unerlässlich. Am Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (*femu*) am Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Uniklinik RWTH Aachen werden diese Fragestellungen aufgegriffen, erforscht, analysiert und bewertet.

Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (*femu*)

Das Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (*femu*) untersucht mithilfe unterschiedlicher methodischer Ansätze seit mehr als 20 Jahren Fragen zu gesundheitlichen Wirkungen nicht-ionisierender elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder. Es werden aktuelle Themen aus dem Bereich der Energiewende und der E-Mobilität untersucht sowie Fragestellungen aus dem Arbeitsschutz, um zum Beispiel Stromunfälle zu vermeiden. Um diese komplexen und interdisziplinären Fragestellungen umfassend zu untersuchen, kommen Messsysteme, Benchmarktests,

Probandenstudien und Simulationen zum Einsatz. Das *femu* verfolgt im Bereich der gesundheitlichen Wirkungen elektromagnetischer Felder einen weltweit einzigartigen Ansatz aus Forschung, Risikobewertung und Risikokommunikation. Dazu gehören zum Beispiel:

- Projekte im Rahmen der Energiewende zur Bestimmung der menschlichen Perzeptionsschwelle in statischen elektrischen Feldern der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung. Derzeit gibt es keinen Grenzwert für statische elektrische Felder und die Projekte sollen u.a. dazu dienen, sich einem Grenzwert anzunähern.
- Projekt im Rahmen der Elektromobilität zur systematischen Erfassung der Immissionen von Elektrofahrzeugen (in Kooperation mit dem ADAC und Seibersdorf Labor GmbH, Österreich). Das Projekt soll dazu dienen abzuschätzen, ob die allgemeinen Grenzwerte für magnetische Felder in E-Fahrzeugen eingehalten werden.
- Verschiedene Projekte zur Untersuchung der Wirkung niederfrequenter magnetischer und elektrischer Felder in der Umwelt auf medizinische Implantate. Es gibt keine Grenzwerte für elektromagnetische Felder in Hinblick auf Patienten mit elektronischen Implantaten, sodass hier häufig Unsicherheit besteht, ab wann Implantate gestört werden können; die Projekte dienen dazu, hier mehr Klarheit zu schaffen:
    - Messung der im menschlichen Körper auftretenden Spannungen, die durch niederfrequente magnetische Felder induziert werden
    - Abschätzung möglicher Störungen von Implantaten (mit Hilfe von Benchmarktests, Phantommodellen und Provokationsstudien)

- Das *femu* betreibt darüber hinaus das international anerkannte EMF-Portal (siehe Abbildung 4, www.emf-portal.org). Das Projekt wurde als Instrument der Risikokommunikation dazu geschaffen, die häufig in der Öffentlichkeit kontrovers geführten Diskussionen zu den möglichen gesundheitlichen Wirkungen elektromagnetischer Felder zu versachlichen; es dient zusätzlich als Hilfsmittel bei der Bewertung aktueller Forschungsergebnisse, bei der Durchführung systematischer Reviews und zur Identifizierung von offenen Fragen:
    - Literaturdatenbank zu den Wirkungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder
    - derzeitiger Bestand von knapp 38.000 Publikationen und knapp 7.000 Zusammenfassungen einzelner wissenschaftlicher Studien (Stand: Februar 2023)
    - kostenfrei zugänglich auf Deutsch, Englisch und Japanisch

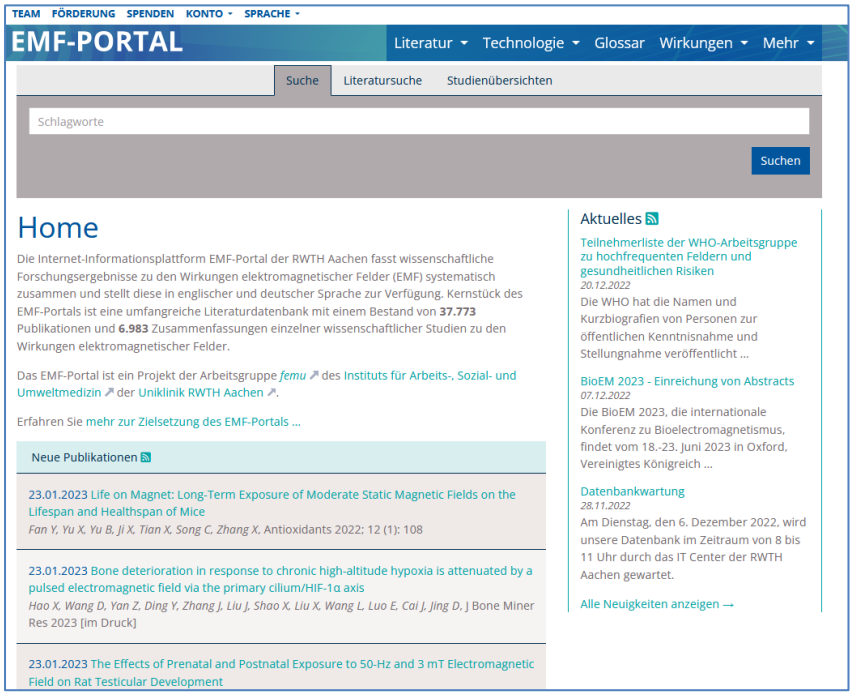


Abbildung 4: Homepage EMF-Portal

Wirkungen oberhalb der Grenzwerte

Die Wirkungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder oberhalb der Grenzwerte sind von der Frequenz und Stärke abhängig. Statische elektrische Felder üben Kraftwirkungen auf biologische Strukturen aus. Im Vordergrund steht dabei die Verschiebung elektrischer Ladungen, die zu Aufladungseffekten führt. Hierdurch kommen bei stärkeren Feldern Wirkungen, wie spürbare Haarbewegungen und Funkenentladungen zustande. Statische Magnetfelder können mit bewegten Ladungen im Körper, wie z.B. Ionen im Blut, wechselwirken. Außerdem kann es durch die magnetischen Kräfte zur Beeinflussung elektronischer Implantate und passiver metallischer Implantate kommen. Dies ist bei statischen Magnetfeldern ab 0,5 mT relevant, die im Alltag (z.B. bei starken Dauermagneten) durchaus vorkommen.

Bei niederfrequenten Feldern überwiegt die Reizwirkung des magnetischen Wechselfelds auf erregbare Zellen, wie Sinnesrezeptoren, Nerven- und Muskelzellen. Die Wirkung wird durch induzierte elektrische Felder und Ströme innerhalb des biologischen Gewebes hervorgerufen, die eine Aktivierung der Zellen bewirken. Auch die mögliche Beeinflussung von elektronischen Implantaten beruht auf induzierten elektrischen Feldern und Strömen.

Bei hochfrequenten Feldern liegt ein elektromagnetisches Feld mit einer elektrischen und einer magnetischen Feldkomponente vor. Als mögliche Wirkung auf den Menschen und biologische Systeme steht die Wärmewirkung durch Anregung der Bewegung von Molekülen und anderen elektrisch geladenen Teilchen (Reibungswärme) im Vordergrund.

Wirkungen unterhalb der Grenzwerte

Neben den erwiesenen akuten Wirkungen oberhalb der Grenzwerte gibt es anhaltende Diskussionen und viele Studien darüber, ob es auch gesundheitliche Wirkungen unterhalb der

bestehenden Grenzwerte gibt. Dazu gehören zum Beispiel das Auftreten von Kinderleukämie in der Nähe zu Hochspannungsfreileitungen, das erhöhte Risiko für neurodegenerative Erkrankungen nach einer anhaltenden beruflichen Magnetfeld-Exposition und das Thema Elektrosensibilität.

Bei Kindern zeigten die Ergebnisse epidemiologischer Studien ein erhöhtes Risiko für Kinderleukämie bei magnetischen Flussdichten über 0,3-0,4 µT. Aufgrund dieser Studien stufte das Internationale Krebsforschungszentrum (IARC) der Weltgesundheitsorganisation (WHO) niederfrequente Magnetfelder in die Klasse 2B "möglicherweise krebserregend" ein. Allerdings ist die Aussagekraft von epidemiologischen Studien durch methodische Probleme, wie beispielsweise Selektionsbias, eingeschränkt (siehe unten). Zudem wurde bisher kein zugrundeliegender Wirkungsmechanismus aufgedeckt, der die Entstehung von Leukämie bei schwachen Magnetfeldern erklären könnte. Die Ergebnisse der epidemiologischen Studien konnten durch tierexperimentelle Studien ebenfalls nicht bestätigt werden.

Seit rund 25 Jahren wird der mögliche Zusammenhang zwischen beruflicher Exposition bei extrem niederfrequenten Magnetfeldern und dem Auftreten von neurodegenerativen Erkrankungen, wie z.B. Alzheimer-Krankheit, Parkinson-Krankheit, amyotrophe Lateralsklerose (ALS) und multipler Sklerose mit Hilfe von epidemiologischen Studien untersucht. Mehrere Studien deuten darauf hin, dass die berufliche Exposition bei Netzfrequenz-Magnetfeldern mit einem erhöhten Risiko an amyotropher Lateralsklerose zu erkranken, einhergeht. Die Studienergebnisse zu Alzheimer-Krankheit sind inkonsistent. Es ergibt sich daraus nur ein schwacher Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen niederfrequenten Magnetfeldern und der Alzheimer-Krankheit. Es wurde kein Zusammenhang zwischen der beruflichen Exposition und Parkinson-Krankheit festgestellt.

Unter Elektrosensibilität wird die Entwicklung von gesundheitlichen Beschwerden durch die Einwirkung elektromagnetischer Felder verstanden. Generell sind die Symptome, wie Kopfschmerzen, Schlafstörungen, Schwindel, Müdigkeit, Konzentrationsschwierigkeiten oder Erschöpfung, eher unspezifischer Natur und es konnte bisher keine einheitliche Gruppe an Symptomen identifiziert werden. Bei manchen Betroffenen treten Symptome nur im Zusammenhang mit bestimmten Expositionsquellen auf, wohingegen andere sensibel auf verschiedene Expositionsquellen reagieren. In vielen Fällen liegt die Stärke der Symptom-auslösenden elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Felder unterhalb der Werte, bei denen in wissenschaftlichen Studien physiologische Veränderungen beobachtet wurden. Laut WHO gibt es für Elektrosensibilität bisher keine eindeutigen Diagnose-Kriterien. Es ist weder ein medizinisches Krankheitsbild noch steht fest, dass es sich um ein eigenständiges medizinisches Problem handelt. Weiterhin gibt es keinen bekannten biologischen Marker noch einen diagnostischen Test für Elektrosensibilität.

Bewertung von Wirkungen (Hintergrundwissen)

Zur Abschätzung und für den Nachweis von Wirkungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf den Organismus bzw. die Gesundheit müssen sowohl epidemiologische Studien als auch experimentelle medizinisch/biologische Studien herangezogen werden, wobei jeder Studientyp bestimmte Vor- und Nachteile bietet, die bei

einer abschließenden Bewertung berücksichtigt werden müssen. Der Vorteil epidemiologischer Studien liegt in ihrem direkten Bezug zum Menschen, wohingegen die oftmals retrospektive Expositionsabschätzung und die Beeinflussung durch systematische Fehler (Bias) die Nachteile solcher Studien sind.

Darüber hinaus kann die Ursächlichkeit einer Erkrankung durch einen Umweltfaktor, zum Beispiel magnetische Felder, mittels epidemiologischer Studien nur schwer belegt werden. Deswegen müssen zusätzlich *in vitro*-Studien und tierexperimentelle Studien durchgeführt werden, um beobachtete mögliche Wirkungen zu bestätigen, Wirkungsmechanismen aufzudecken und Hypothesen zu überprüfen. Tier- und *in vitro*-Studien liefern aufgrund der Möglichkeit einer standardisierten Durchführung im Labor mit großen Stichproben oft verlässlichere Ergebnisse, insbesondere bezüglich schwacher und somit schwieriger nachweisbarer Wirkungen, als epidemiologische Untersuchungen. Ihr Nachteil besteht aber wiederum in der Schwierigkeit der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Menschen.

Zum Nachweis einer konsistenten Wirkung sollten bestmöglich immer die Ergebnisse aller Studientypen herangezogen und verglichen werden. Nur wenn die Ergebnisse einzelner Studientypen (d.h. epidemiologischer, tierexperimenteller und *in vitro*) überwiegend konsistente Hinweise auf dieselben Wirkungen liefern, kann von einem wissenschaftlich belegten Zusammenhang (Evidenz) gesprochen werden. Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass eine Wirkung nicht zwangsläufig auch eine gesundheitliche Beeinträchtigung bedeutet.

Eine abschließende Bewertung einer eventuellen gesundheitlichen Wirkung elektrischer und magnetischer Felder ist ein zeitaufwendiger und schwieriger Prozess, der nur von entsprechenden Expertengremien durchgeführt werden kann. Im Laufe eines solchen Prozesses müssen alle Publikationen aller Studientypen (*in vitro*, tierexperimentelle, epidemiologische, etc.) eines bestimmten Frequenzbereiches und mit bestimmten Untersuchungsschwerpunkten gesammelt und in Hinblick auf ihre individuelle Qualität (z.B. Dosimetrie, Studiendesign, Probengröße, Statistik), Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und Vergleichbarkeit mit anderen Studien bewertet werden. Der Goldstandard zur Analyse und Bewertung des wissenschaftlichen Kenntnisstands ist die Durchführung von systematischen Reviews, die von entsprechenden wissenschaftlichen Expertenteams durchgeführt werden sollten. Darüber hinaus führen auch Behörden und Institutionen Bewertungsprozesse durch, wie zum Beispiel die Strahlenschutzkommission (SSK) beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMUB), das Bundesamt für Strahlenschutz oder auf internationaler Ebene die Weltgesundheitsorganisation (WHO), das Internationale Krebsforschungszentrum (International Agency for Research on Cancer, IARC oder die Internationale Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierenden Strahlen (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP). Hier liegen unterschiedliche umfangreiche Stellungnahmen zu den Wirkungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder vor.

Forschungszentrum für Elektro-
Magnetische Umweltverträglichkeit

Menschliche Wahrnehmung elektrischer Gleich- und Wechselspannungsfelder

Referent
Dr. Michael KURSAWE

Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu);
Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Uniklinik RWTH Aachen

Pauwelsstraße 30
D-52074 Aachen
☏ +49 (0)241 8038057
✉ kursawe@@femu-rwth-aachen.de

Kurzbiographie

Ausbildung

- 2006 – 2011 Studium der Psychologie (Dipl.), Universität des Saarlandes,Saarbrücken
- 2011 – 2015 Promotion zum Dr. phil., Universität des Saarlandes, Saarbrücken

Berufliches

- seit 2017 Leiter des Expositionslabors am Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu), Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Uniklinik RWTH Aachen, Aachen
- 2015 – 2017 wissenschaftlicher Mitarbeiter, Arbeits- und Kognitionspsychologie, Institut für Psychologie der RWTH Aachen University, Aachen

Forschungsschwerpunkte

- Wahrnehmung elektrischer Gleich- und Wechselspannungsfelder
- Biologische Wirkmechanismen menschlicher Wahrnehmung
- Psychophysische Verfahren
- Pupillometrie als Methode zur Untersuchung menschlicher Zustände

Menschliche Wahrnehmung elektrischer Gleich- und Wechselspannungsfelder

Dr. Michael Kursawe
(Uniklinik RWTH Aachen)

Zusammenfassung

Die Energiewende macht einen Ausbau des Stromübertragungsnetzes in Deutschland erforderlich. Teilweise wird für den Energietransport über weite Distanzen die sogenannte Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung zum Einsatz kommen. Allerdings fehlen Grenzwerte für statische elektrische Felder sowie für kombinierte Gleich- und Wechselspannungsfelder (Hybrid-Felder). Aus Sicht der Bevölkerung ist zunächst auch von Bedeutung, inwiefern emittierte Felder bewusst wahrgenommen werden. Um die Wahrnehmung verschiedener elektrischer Felder zu untersuchen, wurde ein Expositionslabor auf dem Gelände der Uniklinik RWTH Aachen errichtet. In einer großangelegten Studie mit 203 Probanden wurde die Wahrnehmungsleistung für AC- (engl. für Alternating Current), DC- (engl. für Direct Current) und Hybrid-Felder untersucht. Interessanterweise zeigte sich in Hybrid-Feldern eine deutlich herabgesetzte Wahrnehmungsschwelle gegenüber einzelnen AC- (14,16 kV/m) oder DC- (18,69 kV/m) Feldern: Wurde ein konstantes AC-Feld mit einer Stärke von 4 kV/m präsentiert, sank die Wahrnehmungsschwelle für DC auf 6,76 kV/m. Dieser Synergieeffekt wurde in Folgestudien eingehender untersucht und besonders der Fokus auf die Auswirkung der AC- und DC-Anteile gelegt. Gegenstand aktueller Forschung ist vor allem, wodurch die hohe interindividuelle Varianz in der Wahrnehmung hervorgerufen wird. Insgesamt helfen die Ergebnisse der Studien bei der Umsetzung der Energiewende, indem mögliche Berührungspunkte zwischen Mensch und Freileitung hinsichtlich der Wahrnehmung elektrischer Felder erforscht und offengelegt werden. Gleichzeitig dienen die gewonnenen Informationen auch dazu, Freileitungen so zu konzipieren, dass unerwünschte Wahrnehmungen nach Möglichkeit vermieden werden.

Hintergrund

Im Zusammenhang mit der weltweit stattfindenden Energiewende wird in Deutschland der Transport großer Energiemengen u. a. von Offshore-Windparks im Norden nach Mittel- und Süddeutschland notwendig. Um die Energieübertragung verlustarm zu gestalten, wurde im Bundesbedarfsplangesetz der Aufbau von Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungs (HGÜ) Leitungen festgelegt. Da ein Teil dieser Leitungen als Freileitungen auf bestehende Wechselspannungsmasten aufmontiert wird, entstehen auch elektrische Hybrid-Felder. Die Untersuchung der menschlichen Wahrnehmung von elektrischen Feldern stellt daher eine wichtige Komponente für den Ausbau des Stromnetzes dar, da die Räume in dicht besiedelten

Regionen knapp sind und es zu Expositionen durch elektrische Felder kommt. Neben elektrischen Gleich- und Wechselspannungsfeldern besteht vor allem bei Hybrid-Feldern hinsichtlich ihrer Wahrnehmbarkeit Forschungsbedarf.

Im menschlichen Organismus sind bisher keine spezifischen Rezeptoren für statische oder elektrische Wechselfelder nachgewiesen. Noch besteht Unklarheit darüber welche Mechanismen an der Wahrnehmung von elektrischen Feldern beteiligt sind und inwiefern interne oder externe Faktoren diese Prozesse beeinflussen. Die WHO kommt in ihrer „Health Criteria Monograph“ zu statischen Feldern von 2006 zu dem Schluss, dass nur wenige Studien zu den Wirkungen von statischen elektrischen Feldern vorliegen, aber auch keine chronischen gesundheitlichen Wirkungen zu erwarten sind (1). Gleichwohl stellt die WHO fest, dass die Schwellenwerte für statische elektrische Felder variabel, von verschiedenen Faktoren abhängig sind, und sehr wenige systematische Untersuchungen hierzu vorliegen.

Für elektrische Wechselfelder (AC, engl. für alternating current) existiert in Deutschland ein Grenzwert von 5 kV/m. Für statische elektrische Felder (DC, engl. für direct current) gibt es bisher aufgrund der begrenzten Datenlage und fehlenden belastbaren Schwellenwerten in den internationalen Empfehlungen der ICNIRP (2,3) keine Grenzwertfestlegung. In den amerikanischen Richtlinien der ICES erfolgte 2019 die Empfehlung, einen Wert von 10 kV/m bei statischen elektrischen Feldern nicht zu überschreiten (4). In der deutschen 26. Bundesimmissionsschutzverordnung heißt es zu statischen elektrischen Feldern allgemein, dass „Wirkungen wie Funkenentladungen (…), die zu erheblichen Belästigungen oder Schäden führen können, zu vermeiden sind“ (5). In der aktuellen Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern (6) wurde der Grenzwert für statische elektrische Felder an Arbeitsstätten auf 28,2 kV/m festgesetzt.

Ziel dieses Forschungsbereichs am Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu) des Instituts für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Uniklinik RWTH Aachen, ist vorwiegend die Untersuchung der menschlichen Wahrnehmung von elektrischen Hybrid-Feldern und den zugrunde liegenden biologischen Wirkmechanismen. Speziell wird Forschung zum Einfluss der AC- und DC-Komponente in der Wahrnehmung elektrischer Hybrid-Felder betrieben sowie in aktuellen Projekten der Einfluss menschlicher Behaarung auf die Feldwahrnehmung untersucht.

Expositionslabor und Methode

Zur Erforschung der menschlichen Wahrnehmung wurde ein Expositionslabor auf dem Gelände der Uniklinik RWTH Aachen erbaut (siehe Abbildung 5), welches sich am Laboraufbau für die Studie von Blondin et al. (7) orientiert. Details zum technischen Aufbau, den Sicherheitseinrichtungen und Kalibriermethoden, sowie der Feldverteilung wurden von Jankowiak et al. (8) beschrieben. Das Innenmaß des Expositionslabors beträgt 4 × 4 Meter mit einer Deckenhöhe von 3 Metern. Die Probanden befinden sich sitzend mittig auf dem fest installierten Probandenstuhl im ansonsten leeren Raum. Es können hier DC-Felder bis 50 kV/m in Kombination mit einer Ionenstromdichte von maximal 550 nA/m² erzeugt werden, sowie AC-Felder mit einem Effektivwert bis 30 kV/m, die auch mit DC-Feldern kombiniert werden können (Hybrid-Felder). Hinsichtlich der Feldstärke kann in Hybrid-Bedingungen die

Summe aus beiden Feldarten 50 kV/m nicht überschreiten. Probanden werden über Beinelektroden aus Silikon, über die auch der Ableitstrom aufgezeichnet wird, geerdet. Darüber hinaus stellt die Konstruktion der Anlage eine doppelblinde Versuchsanordnung sicher. Die Versuchsleitung erhält somit keine Informationen über die aktuell präsentierten Feldstärken, während die Probanden ebendiese durch Wahrnehmung auf der Körperoberfläche erkennen sollen. Außerdem wird stets ein Rauschsignal über vier Lautsprecher im Expositionsraum eingespielt, das eine Maskierung aller feldbezogenen auditiven Einflüsse sicherstellt.

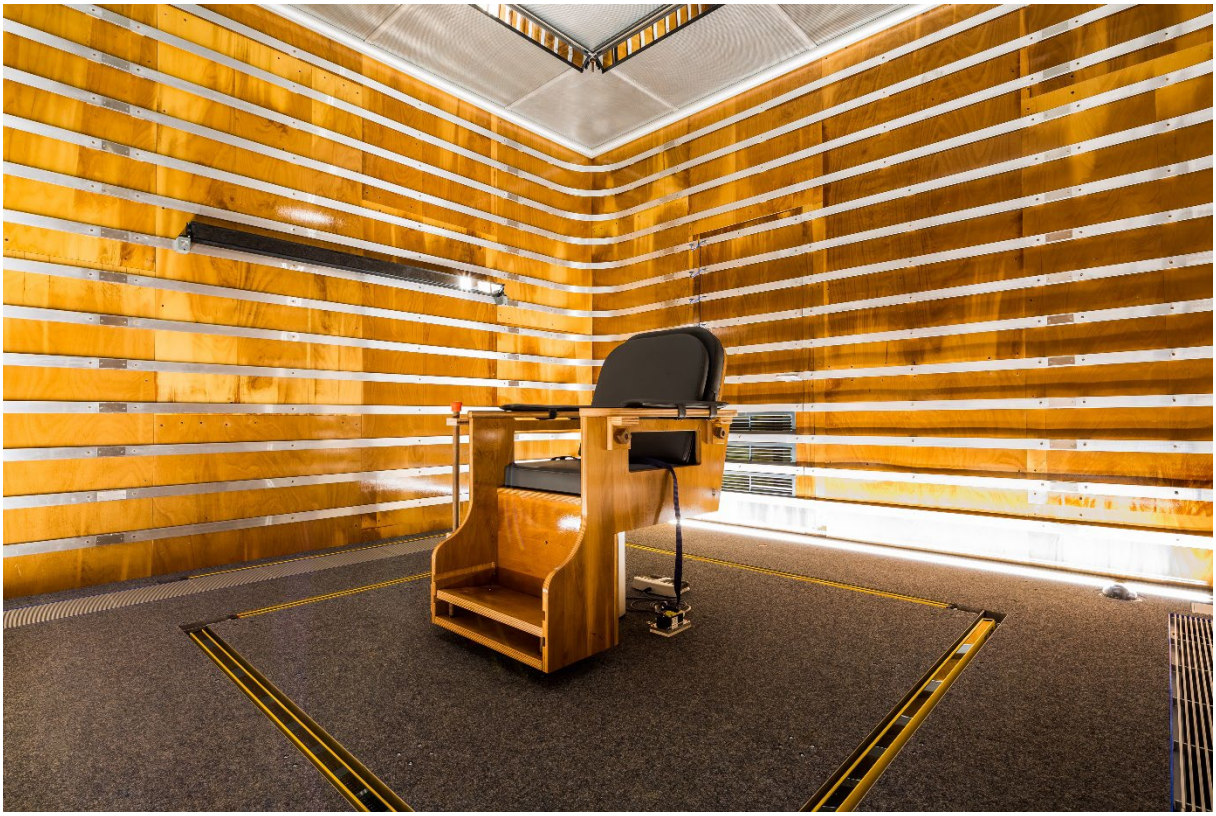


Abbildung 5: Expositionslabor am femu mit zentral installiertem Probandenstuhl. Foto: Martin Braun Fotografie.

Zur Bewertung der Wahrnehmbarkeit elektrischer Felder kommen Verfahren nach dem Ansatz der Signalentdeckungstheorie (SDT) zum Einsatz. Die SDT liefert ein Maß für die Sensitivität *d‘* (d prime) bei der Detektion von sensorischen Reizen (9). In einer Sequenz aus Reizen wird den Probanden ein Signal mehrfach präsentiert, wobei die Sequenz auch Durchgänge mit Scheinexpositionen enthält. Aufgabe der Probanden ist es, mittels einer Antwortbox anzugeben, ob das Signal detektiert wurde oder nicht. Aus den ermittelten individuellen Sensitivitätswerten können anschließend über individuelle psychometrische Funktionen die Wahrnehmungsschwellen berechnet werden.

Projekte und Ergebnisse

In verschiedenen Projekten werden am femu seit 2017, nach dem Aufbau des Labors, die menschliche Wahrnehmung elektrischer Gleich-, Wechselspannungs-, und Hybrid-Felder untersucht. Dabei werden sowohl experimentelle und umweltbedingte Einflussfaktoren als auch biologische Faktoren des Individuums beleuchtet.

1. Wahrnehmungsschwellen von elektrischen DC-, AC- und Hybrid-Feldern

An insgesamt 203 weiblichen und männlichen Probanden wurde die Wahrnehmung für elektrische DC-, AC- und Hybrid-Felder untersucht (10). Die Ergebnisse zeigen, dass 31% der Probanden DC-Felder von 14 kV/m und AC-Felder von 8 kV/m erfolgreich wahrnehmen konnten. In Hybrid-Feldern waren 40% der Probanden in der Lage eine Feldkombination von 2 kV/m DC und 4 kV/m AC wahrzunehmen. Andererseits konnten je nach Feldart bis zu 13% der Probanden auch die jeweils höchste präsentierte Feldstärke nicht zuverlässig wahrnehmen (DC: 13%, AC: 10%, Hybrid: 9%). Vor allem bei DC-Feldstärken von über 22 kV/m wirkte sich ein zusätzlich vorhandener Ionenstrom begünstigend auf die Wahrnehmungsleistung aus. Aus diesen Ergebnissen wurden für die jeweiligen Feldarten und deren Kombination Wahrnehmungsschwellen berechnet. So ergab sich für DC im Gruppenmittel eine Wahrnehmungsschwelle von 18,69 kV/m, die sich durch eine zusätzliche Ionen-Exposition mit 18,22 kV/m im Mittel nicht wesentlich veränderte. Für AC lag die Wahrnehmungsschwelle bei 14,16 kV/m. Wurde zu einem DC-Feld ein zusätzliches AC-Feld von 4 kV/m dargeboten, senkte sich die DC-Schwelle auf 6,76 kV/m. Insgesamt lässt sich erkennen, dass die Wahrnehmungsschwelle im Hybrid-Feld deutlich niedriger war im Vergleich zu reinen DC- oder AC-Feldern. Es lässt sich daraus ein Synergieeffekt aus AC- und DC-Feldern auf die menschliche Wahrnehmung ableiten.

2. Einfluss der AC- und DC-Komponente auf die Wahrnehmung elektrischer Hybrid-Felder

In zwei Folgestudien wurde der jeweilige Einfluss der AC- und der DC-Komponente auf die Wahrnehmungsleistung elektrischer Hybrid-Felder untersucht. Dazu wurden 51, bzw. 49 gesunde Probanden untersucht, welche über sehr gute Fähigkeiten verfügten, geringe elektrische Hybrid-Felder zu detektieren. Die ermittelten Schwellenwerte beruhen auf den individuellen Sensitivitäten und den kombinierten Feldstärken (E), welche nach folgender Formel berechnet wurden:

$$\boldsymbol{E}_{\mathrm{RMS}} = \sqrt{\boldsymbol{E}_{\mathrm{DC}}{}^{\mathbf{2}} + \boldsymbol{E}_{\mathrm{AC}}{}^{\mathbf{2}}}$$

Die Ergebnisse zeigen, dass mit zunehmender AC-Feldstärke der Schwellenwert für die kombinierte Feldstärke sinkt (siehe Abbildung 6) und damit ein signifikanter Einfluss der AC-Feldstärke auf die Wahrnehmung elektrischer Hybrid-Felder existiert (11). Inwiefern sich geringe Änderungen in der DC-Feldstärke ebenfalls auf die Wahrnehmung elektrischer Hybrid-Felder auswirken, wird innerhalb eines aktuell laufenden Projektes ausgewertet[1].

3. Einfluss Umgebungsfaktoren (rel. Luftfeuchtigkeit) auf die Wahrnehmung elektrischer Felder

Bereits in einer Vorstudie konnten Zusammenhänge zwischen der relativen Luftfeuchtigkeit und der Wahrnehmungsleistung elektrischer Felder gezeigt werden (8). In Untersuchungen

[1] Projekt: Human perception thresholds and underlying mechanisms in static and low-frequency electric fields, part 1 (funding: BfS; 3621SNA401)

an zwei unabhängigen Gruppen (n = 24, n = 25) konnten Unterschiede in der Detektionsleistung elektrischer Felder in Abhängigkeit der Luftfeuchtigkeit ermittelt werden (10). Im Vergleich zu 50% relativer Luftfeuchtigkeit zeigte sich, dass eine erhöhte Luftfeuchtigkeit von 70% zu einer besseren Wahrnehmung elektrischer DC-Felder führte. Trockene Umgebungsluft (30%) dagegen erleichterte die Wahrnehmung von AC-Feldern. Dieser Interaktionseffekt zeigte sich auch in der Detektionsleistung von Hybrid-Feldern, bei denen mit steigendem DC-Anteil ein Wahrnehmungsvorteil in feuchter Umgebungsluft zu beobachten war (10). Im freien Feld sind diese Einflüsse von hoher Relevanz, weil Umgebungsbedingungen sich über das Jahr stark verändern, was sich wiederum auf die Wahrnehmbarkeit der elektrischen Felder auswirkt.

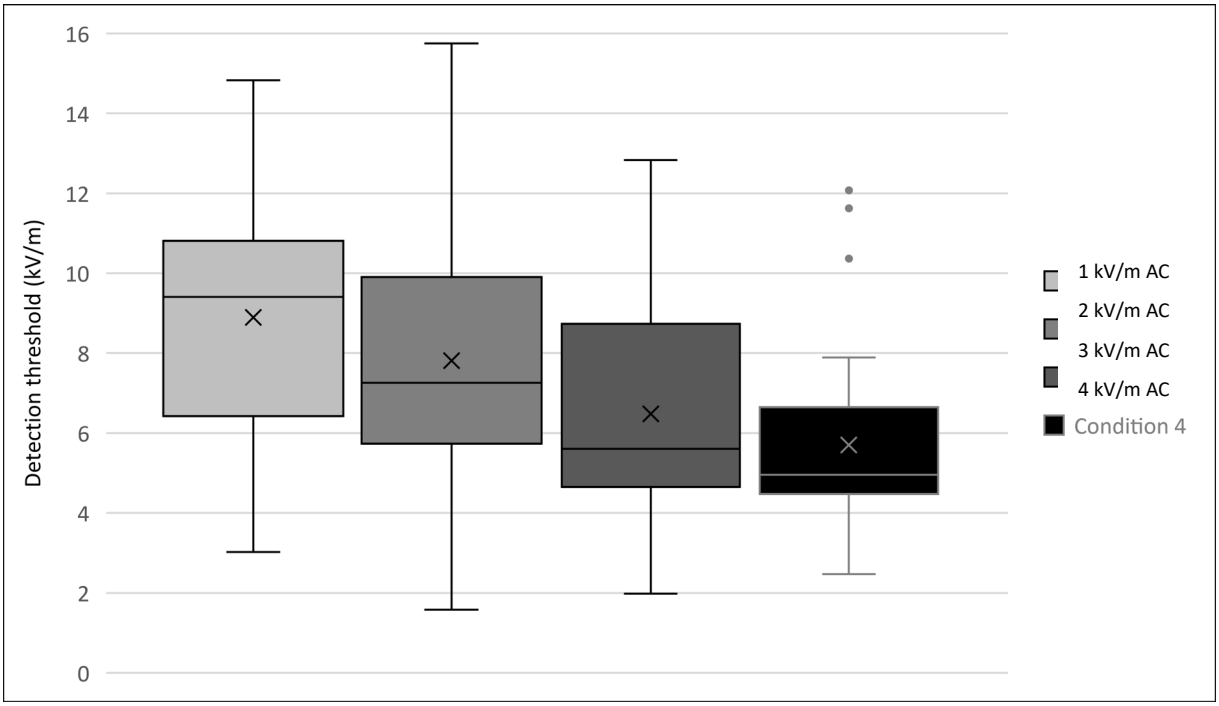


Abbildung 6: Schwellenwerte kombinierter elektrischer Feldstärken. Abbildung adaptiert aus Jankowiak et al. (11).

4. Beeinflussung der Wahrnehmung elektrischer Felder durch individuelle Faktoren (Haut, Haare…)

Im Zuge der Forschung im Bereich der menschlichen Wahrnehmung elektrischer Felder stellt sich immer auch die Frage nach den zugrundeliegenden biologischen Wirkmechanismen. In der Literatur wurden vereinzelt Zusammenhänge zwischen Detektionsleistung und An- bzw. Abwesenheit von Körperbehaarung (12), sowie deren Charakteristik (13) beschrieben. In einem aktuellen Projekt wird am femu der Einfluss der Körperbehaarung auf die Wahrnehmungsleistung explizit untersucht [2] . Das Projekt hat zum Ziel, ein besseres

[2] Projekt: Human perception thresholds and underlying mechanisms in static and low-frequency electric fields, part 2 (funding: BfS; 3621SNA401)

Verständnis für die Wahrnehmungsmechanismen zu fördern, sowie die große interindividuelle Varianz in der Wahrnehmungsleistung besser zu verstehen.

Fazit

Mit systematischen Untersuchungen der menschlichen Wahrnehmung von elektrischen DC-, AC- und Hybrid-Feldern werden Detektionsschwellen bereitgestellt, die zur Verbesserung der Konstruktionsprozesse von Energieübertragungssystemen und zur Vermeidung unerwünschter Sinneswahrnehmungen beitragen können. Hierbei wurde erstmals der synergetische Effekt bei gleichzeitiger Exposition von DC- und AC-Feldern auf die menschliche Wahrnehmung unter Laborbedingungen gezeigt. Darüber hinaus ist die genaue Zusammensetzung von Hybrid-Feldern entscheidend für ihre Wahrnehmbarkeit. So führt bspw. ein geringfügig höherer AC-Anteil eines Hybrid-Feldes zu signifikant niedrigeren Detektionsschwellen. Ferner sollten Umgebungsfaktoren, wie die relative Luftfeuchtigkeit, bei der Bewertung menschlicher Wahrnehmung elektrischer Felder grundsätzlich berücksichtigt werden. Die Ergebnisse können insgesamt helfen zukünftig Grenzwerte für statische elektrische Felder sowie für Hybrid-Felder zu bestimmen.

Literatur

1. World Health Organization. Environmental health criteria monograph no. 232 - static fields. Geneva: WHO; 2006. Internet: http://www.who.int/peh-emf/publications/EHC_232_Static_Fields_full_document.pdf

2. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). Health Phys. 2010;99(6):818–36.

3. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. Health Phys. 2009;96(4):504–14.

4. IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 0 Hz to 300 GHz, IEEE-C95.1, NY, USA, 2019.

5. 26. BImSchV: Neufassung der Sechsundzwanzigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Verordnung über elektromagnetische Felder, Bundesumweltministerium, BGBl (50), pp 3266 – 3272, 2013

6. Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern vom 15. November 2016 (BGBl. I S. 2531)

7. Blondin J, Nguyen D, Sbeghen J, Goulet D, Cardinal C, Maruvada PS, et al. Human perception of electric fields and ion currents associated with high-voltage DC transmission lines. Bioelectromagnetics. 1996;17(3):230– 41.

8. Jankowiak K, Driessen S, Kaifie A, Kimpeler S, Krampert T, Kraus T, et al. Identification of Environmental and Experimental Factors Influencing Human Perception of DC and AC Electric Fields. Bioelectromagnetics. 2021;42(5):341–56.

9. Green D, Swets J. Signal Detection Theory and Psychophysics. New York, NY: John Wiley and Sons; 1966.

10. Kursawe M, Stunder D, Krampert T, Kaifie A, Drießen S, Kraus T, et al. Human detection thresholds of DC, AC, and hybrid electric fields: a double-blind study. Environ Heal. 2021 21;20(1):92.

11. Jankowiak K, Kaifie A, Krampert T, Kraus T, Kursawe M. The role of the AC component in human perception of AC–DC hybrid electric fields. Sci Rep. 2022 1;12(1):3391.

12. Odagiri-Shimizu H, Shimizu K. Experimental analysis of the human perception threshold of a DC electric field. Med Biol Eng Comput. 1999;37(6):727–32.

13. Reilly JP. Applied Bioelectricity: from Electrical Stimulation to Electropathology. Springer; 1998.

Verbindliche Festlegungen für EMF in Österreich?

Referent
Mag. Dr. Christian ONZ

Onz & Partner Rechtsanwälte GmbH

Schwarzenbergplatz 16
A-1010 Wien
☎ +43 (0)1 715 60 24
✉ office@onz.at

Kurzbiographie

Ausbildung

- Studium der Rechtswissenschaften an der Universität Wien und der Handelswissenschaften an der Wirtschaftsuniversität Wien

Berufliches

- seit 1993 Rechtsanwalt
- 1989-1993 Rechtsanwaltsanwärter
- 1984-1989 Österreichisches Bundesinstitut für Gesundheitswesen

Forschungsschwerpunkte

- Öffentliches Wirtschaftsrecht (mit Spezialisierung auf Energierecht)
- Umweltrecht (mit den Schwerpunkten Abfall- und Altlastenrecht, Gewerberecht, Wasserrecht, Naturschutzrecht und Umweltverträglichkeitsprüfung)
- Korrespondierende Fragestellungen im Bereich Verfassungsrecht sowie Unionsrecht

Verbindliche Festlegungen für EMF in Österreich?

RA Dr. Christian Onz
(Onz & Partner Rechtsanwälte GmbH)

Zusammenfassung

Im österreichischen Anlagenrecht fehlt es an verbindlichen Grenzwerten für EMF. Dies ist ein wesentlicher Grund dafür, dass die Anlagengenehmigungsverfahren, vor allem nach dem UVP-G 2000, Jahre in Anspruch nehmen und die gesetzlichen Entscheidungsfristen regelmäßig weit verfehlt werden. Zwischen allen Verfahrensbeteiligten entspinnt sich eine umfassende Diskussion über die „richtigen“ Werte zur Begrenzung des elektrischen und des magnetischen Feldes. In der Entscheidung der Behörden und Verwaltungsgerichte nimmt die diesbezügliche Beweiswürdigung breiten Raum ein. Dies alles könnte durch verbindliche Grenzwerte vermieden und die Verfahren dadurch entscheidend verkürzt werden. Die gegenwärtige Zeit legistischer Umbrüche könnte dazu genutzt werden, verbindliche Grenzwerte vorzugeben.

Einleitung

Da es in Österreich keine verbindlichen Grenzwerte für EMF gibt, sind diese im jeweiligen Genehmigungsverfahren gutachtlich nach dem Stand der Wissenschaften und dem Stand der Technik zu ermitteln und, sofern nicht bereits in den Einreichunterlagen festgelegt, behördlich und verwaltungsgerichtlich vorzuschreiben. Der Ermittlungsaufwand für Behörden und Verwaltungsgerichte ist hoch, das Mitspracherecht der Betroffenen weit gespannt. Bei höchstgerichtlicher Überprüfung des Ermittlungsverfahrens besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass Verfahrensfehler entdeckt werden, die zur Neudurchführung des Verfahrens in einem zweiten Rechtsgang führen.

Rechtslage in Österreich

Eine verbindliche Grenzwertfestlegung bedeutet, dass ein Gesetz im materiellen Sinn Grenzwerte vorsieht, die entweder die Emissionen einer bestimmten Anlage oder die Immission (zu verstehen als messbarer Ist-Zustand) begrenzen.

Bei der Begrenzung des elektrischen und des magnetischen Feldes handelt es sich immer um die **Begrenzung einer Immission**. Diese Immissionsbegrenzungen dienen dem Schutz der menschlichen Gesundheit (also der Vermeidung von Gefährdungen der Gesundheit von Menschen) und der Hintanhaltung unzumutbarer Belästigungen von Nachbarn (von Personen also, die sich mehr als bloß vorübergehend im Einwirkungsbereich aufhalten).

Derzeit bestehen in Österreich nur sektoral verbindliche Grenzwerte, konkret in Gestalt der **Verordnung über den Schutz der Arbeitnehmer/innen vor der Einwirkung durch elektromagnetische Felder (Verordnung elektromagnetische Felder – VEMF)**, BGBl II 179/2016.

Diese Verordnung gilt in Arbeitsstätten, auf Baustellen und auf auswärtigen Arbeitsstellen, bei denen die Arbeitnehmer/innen während ihrer Arbeit einer Einwirkung durch elektromagnetische Felder ausgesetzt sind oder ausgesetzt sein können. Elektromagnetische Felder iS dieser Verordnung sind statische elektrische, statische magnetische sowie zeitlich veränderliche elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz.

Die VEMF sieht Expositionsgrenzwerte vor, die von den Arbeitgebern einzuhalten sind. Im Fall der Überschreitung dieser Expositionswerte sind Maßnahmen zu setzen. Die Verordnung kennt auch Auslösewerte, deren Einhaltung als Einhaltung der Expositionsgrenzwerte gilt.

Für den Betrieb elektrischer Leitungsanlagen bestehen in Österreich keine **verbindlichen** Begrenzungen des elektrischen und des magnetischen Feldes. Für die Praxis maßgeblich ist die OVE Richtlinie R 23-1, Ausgabedatum 1.4.2017.

Konsequenzen des Fehlens verbindlicher Grenzwerte für die Genehmigung elektrischer Leitungsanlagen

Da in Österreich rechtlich verbindliche Grenzwerte zum Schutz der Allgemeinbevölkerung fehlen, kommt es in den Genehmigungsverfahren für elektrische Leitungsanlagen, im Besonderen nach dem UVP-G 2000, zu **erheblichen Verzögerungen**. Denn die Frage nach der Begrenzung der EMF löst eine Vielzahl fachlicher Diskussionen aus. In der Praxis ergibt sich daraus immer eine Auseinandersetzung auf der Gutachterebene (Gutachter des antragstellenden Leitungsunternehmens, Sachverständige der Behörde bzw. des Verwaltungsgerichts, Privatgutachter sonstiger Verfahrens-parteien).

Fehlt es an der Verbindlichkeit einer Norm, stellt die Judikatur an die Vorgangsweise von Sachverständigen und Behörden erhebliche Anforderungen. Dies wird anhand der nachstehenden Judikaturbeispiele verdeutlicht:

- VwGH 29.11.1979, 3150/78

„Im Verwaltungsverfahren sind keine Feststellungen darüber getroffen worden, ob durch die Lärmimmissionen seitens der Betriebsanlage, die auf dem Grundstück des Beschwerdeführers zur erwarten sind, ihrer Art und (oder) ihrem Ausmaß nach der dem Wohncharakter entsprechenden Erholungswert vermindert wird. Hierüber hätte es einer Beweisaufnahme durch einen ärztlichen Sachverständigen bedurft. Allgemeinde Beurteilungsrichtlinien können ohne Darlegung der ihnen zugrundeliegenden fachlichen Prämissen nicht herangezogen werden.“

- VwGH 17.9.1996, 96/05/0105

„Festzuhalten ist abschließend, dass Richtlinien – wie z.B. das Baumerkblatt betreffend Immissionsschutz in der Tierhaltung – bloß eine Anleitung für den notwendigsten Immissionsschutz in der Nutztierhaltung beim Bau von Ställen darstellen; Richtlinien sind sohin grundsätzlich keine Regelungen mit normativer Wirkung.“

- VwGH 24.3.2004, 2002/04/0168

„Der vom verkehrstechnischen Amtssachverständigen herangezogenen Richtlinie RVS 5.512 ‚Beleuchtungsanlagen für verkehrsfremde Zwecke‘ der österreichischen Forschungsgesellschaft für das Verkehrs- und Straßenwesen kommt kein normativer Inhalt zu. Derartige allgemeine Beurteilungsrichtlinien … sind, wie andere Sachverhaltselemente, Gegenstand der Beweisaufnahme und der Beweiswürdigung und können ohne Darlegung der ihnen zugrundeliegenden fachlichen Prämissen nicht herangezogen werden, sodass eine unmittelbare Anwendung dieser Richtlinien nicht statthaben kann.“

- VwGH 9.11.2006, 2006/07/0047

„Bei den von den beschwerdeführenden Parteien ins Treffen geführten ‚Leitlinien für die Abwasserversickerung im Land Kärnten‘ handelt es sich um verwaltungsinterne Richtlinien, die nicht auf Gesetzes- oder Verordnungsstufe stehen. Sie stellen daher für den Verwaltungsgerichtshof keine bindende Rechtsquelle dar, an welcher der angefochtene Bescheid zu messen wäre. Schon aus diesem Grund wird mit dem Hinweis auf diese Richtlinien keine Rechtswidrigkeit des angefochtenen Bescheides dargetan.“

- VwGH 18.12.2007, 2006/06/0170

„Abschließend wird auch noch darauf hingewiesen, dass nach der im vorliegenden Fall herangezogenen Vorläufigen Richtlinie zur Beurteilung von Immissionen aus der Nutztierhaltung in Stallungen (vom Dezember 1995, Pkt. 5) für Geruchsbeurteilungen innerhalb und gegenüber von Landwirtschaftszonen, in denen landwirtschaftliche Nutzung zulässig ist, die Beurteilung des Ausmaßes der Geruchsimmissionen auf Grund einer vergleichenden Standortberechnung zu erfolgen hat. Der Verwaltungsgerichtshof hat bereits mehrfach ausgesprochen (vgl. das Erkenntnis vom 31. Jänner 2002, Zl. 2000/06/0081), dass gegen die Heranziehung von Richtlinien bei der Beurteilung von Geruchsimmissionen keine Bedenken bestehen, wenn sie dem Stand der Technik entsprechen und denselben Fragenkomplex behandeln, der nach der österreichischen Rechtslage relevant ist. Dies ist für die genannte österreichische Richtlinie zu bejahen.“

- VwGH 22.3.2012, 2010/07/0178

„Ob schließlich der in der Beschwerde genannte Erlass der belangten Behörde das punktuelle Verbrennen von Baum- und Strauchschnitt im Almbereich zulässt, ist bereits deshalb von hier nicht entscheidungswesentlicher Bedeutung, weil Erlässe oder Richtlinien, denen nicht der Charakter von Rechtsverordnungen zukommt, keine für den Verwaltungsgerichtshof

verbindlichen Rechtsquellen darstellen (vgl. etwa das hg. Erkenntnis vom 30. Oktober 2008, Zl. 2008/07/0121, mwN).“

- BVwG 11.1.2017, W113 2120083-1

„Eine der wesentlichen Anforderungen an ein Gutachten ist, dass es aus Befund und Gutachten zu bestehen hat (VwGH VwSlg 7714 A/1970) und dass es schlüssig und nachvollziehbar ist (VwGH 25.06.2008, 2005/03/0099). Wenn sich die Beurteilung des Befundes durch den Sachverständigen auf fachliche Grundlagen stützt, die keine normative Wirkung entfalten, steht dem grundsätzlich nichts entgegen. Solche fachlichen Regelwerke, wie etwa ÖNORMEN, können als einschlägiges Regelwerk und objektiviertes, generelles Gutachten, etwa für die Beurteilung des Standes der Technik, vom Sachverständigen herangezogen werden (vgl. Attlmayr in Attlmayr/Walzel von Wiesentreu (Hrsg), Sachverständigenrecht Rz 8.092 und die dort dargestellte Judikatur). Der Inhalt dieses Regelwerkes und die daraus gezogenen Schlussfolgerungen müssen als Teil einer nachvollziehbaren Begründung des Gutachtens näher dargestellt werden (VwGH 26.03.2013, 2012/05/0187). Nichts anderes kann für die verfahrensgegenständlichen RVS gelten. Soweit sich die Sachverständigen auf diese beziehen, sind sie ihrem wesentlichen Inhalt nach so darzulegen, dass die daraus gezogenen Schlussfolgerungen für Dritte nachvollziehbar sind.“

- BVwG 29.9.2017, W104 2120271-1

„Solche fachlichen Regelwerke, wie etwa ÖNORMEN, können als einschlägiges Regelwerk und objektiviertes, generelles Gutachten, etwa für die Beurteilung des Standes der Technik, vom Sachverständigen herangezogen werden (…). Der Inhalt dieses Regelwerkes und die daraus gezogenen Schlussfolgerungen müssen als Teil einer nachvollziehbaren Begründung des Gutachtens näher dargestellt werden (…). Nichts anderes kann für die verfahrensgegenständlichen RVS gelten.“

Dies führt dazu, dass allgemeine Beurteilungskriterien ohne Darlegung der ihnen zugrunde liegenden fachlichen Prämissen nicht herangezogen werden können (VwGH 29.11.1979, 3150/78). Wissenschaftlich empfohlene Grenzwerte können herangezogen werden, müssen aber dem aktuellen Stand der Wissenschaft entsprechen (VwGH 24.3.2004, 2002/04/0168) und sind vom Sachverständigen in der Weise in seinem Gutachten zu interpretieren, dass die **Bedeutung der Grenzwerte bezogen auf den konkreten Fall aufgezeigt** wird (VwGH 17.9.1996, 96/05/0105).[3)]

Leitlinien und nicht für verbindlich erklärte Richtlinien und Normen stellen keine Regelungen mit normativer Wirkung dar (VwGH 21.1.2020, Ra 2018/06/0201). Ihnen kann nur insoweit Bedeutung zukommen, als diese objektivierten „Empfehlungen“ den anerkannten Regeln der Technik entsprechend auf den Einzelfall angewendet werden (z.B. RVS-Richtlinie: VwGH 24.3.2004, 2002/04/0168; ÖAL-Richtlinie: VwGH 29.5.2018, Ra 2015/06/0084). Die Berufung allein auf einen für die VwG und den VwGH nicht verbindlichen Erlass oder eine (unverbindliche) Richtlinie reicht nicht aus, **sondern sind vielmehr die konkreten Umstände**

3) *Enengl-Binder in Altenburger/Wessely, Kommentar zum AVG, § 52 Rz 51.*

des Falles für die Heranziehung des Erlasses/der Empfehlungen maßgebend und in der Entscheidung darzulegen (VwGH 27.6.1995, 92/07/0213).[4)]

Der sich darauf berufende Sachverständige hat nachzuweisen, dass und warum die betreffende Richtlinie den Stand der Technik darstellt (es besteht also eine entsprechende Begründungspflicht). **Den Verfahrensparteien steht es offen, einer solchen Richtlinie mit einem anderen Regelwerk entgegenzutreten.**

Dies führt bei der Behörde bzw. beim Verwaltungsgericht zu einem erheblichen Begründungsaufwand. Denn nach Darstellung der unterschiedlichen fachlichen Quellen ist zu begründen weshalb der einen Richtlinie (dem einen Gutachten) gefolgt wird und der anderen nicht. Diese Aufgabe der **Beweiswürdigung**, die sich darüber hinaus auch auf das Beweismittel der umweltmedizinischen Beurteilung erstreckt, ist häufig mit ein Grund für die Dauer der Erstellung der behördlichen oder verwaltungsgerichtlichen Entscheidung. Gerade derartige Fachfragen sind regelmäßig Gegenstand von Einwendungen und werden diese sodann in der mündlichen Verhandlung wiederholend vorgetragen, um schließlich in der Beschwerde gegen den Bescheid der Behörde nochmals vorgebracht zu werden. **Die fachliche Auseinandersetzung um die „richtige“ Immissionsbegrenzung begleitet alle Beteiligten auf sämtlichen Verfahrensstufen** (bis hin zur Frage des Vorliegens eines relevanten Verfahrensmangels im Zuge des Revisionsverfahrens beim VwGH).

Auch besteht damit für die Verfahrensparteien **keine Rechtssicherheit**, weil nicht ex ante festgelegt ist, welchen EMF-Begrenzungen das Leitungsbauvorhaben für den Fall seiner Genehmigung unterworfen sein wird. Letztlich werden in der Genehmigung Nebenbestimmungen vorgeschrieben, die zur Ausgangsplanung des Antragstellers hinzutreten. In Summe ergibt sich daraus der Konsens, der das Ergebnis einer oft jahrelangen fachlichen Auseinandersetzung im Verfahren ist. Nicht selten überbieten sich die Verfahrensparteien in ihren Forderungen nach einer strengeren Immissionsbegrenzung, **bleiben aber die fachliche Rechtfertigung einer solchen Forderung schuldig oder stützen sich auf Richtlinien etc., deren fachlicher Geltungsgrund sich nicht erschließt** (siehe etwa die sog. EUROPAEM-Richtlinie zur EMF-Begrenzung).

Diese überbordenden Ermittlungsschritte würden obsolet, wenn eine verbindliche Grenzwertfestlegung für EMF bestünde. In einem solchen Fall wäre der Behörde bzw. dem Verwaltungsgericht ein in allen Verfahren anwendbares Regelwerk an die Hand gegeben, um die Frage der gesundheitsverträglichen Begrenzung von EMF zu lösen.

Dabei würde eine verbindliche Grenzwertfestlegung mit weiteren Vorschreibungen einhergehen. Neben Grenzwertfestlegungen könnte eine verbindliche Norm auch sonstige Legalverpflichtungen enthalten, wie beispielsweise ein Überspannungsverbot für neue Leitungen und/oder das Gebot, die anlagenbedingten EMF-Immissionen nach dem Stand der Technik zu begrenzen (Minimierungsgebot).

4) *Enengl-Binder* in *Altenburger/Wessely*, Kommentar zum AVG, § 52 Rz 52.

Normative Festlegung als Mindeststandard

Verbindliche Festlegungen müssen nicht bedeuten, dass diese Grenzwerte im Einzelfall nicht unterschritten werden dürfen. Denn verbindliche Grenzwerte sind keine Fixwerte. Sie stellen auf den „Normalfall“ des Ist-Zustandes ab, sind insoweit verbindliche Grenzen, die nicht überschritten werden dürfen. Erfordert es aber die menschliche Gesundheit, müssen diese verbindlichen Grenzen unterschritten werden.

Wenn daher im Einzelfall mit der Einhaltung der Grenzwerte (konkret also: der Immissionsgrenzwerte für EMF) die Schutzgüter nicht gewahrt sind (was bedeutet, dass die Immissionsbelastung schon vor der Anlage hoch ist bzw. aufgrund der Anlage der Immissionsgrenzwert überschritten wird), muss die Behörde (bzw. das Verwaltungsgericht) durch Vorschreibung von Maßnahmen die Emissionen der Anlage soweit herabsetzen, dass die Einhaltung der Immissionsgrenzwerte sichergestellt ist. Dies haben die Gerichtshöfe des öffentlichen Rechts zur sog. Bundesstraßen-Lärmimmissionsschutzverordnung (BStLärmIV) judiziert (grundlegend: VfGH 15.3.2017, V 162/2015).

Verlangt daher die umweltmedizinische Beurteilung das Unterschreiten der verbindlichen Grenzwerte, so hat die Behörde dies aufzugreifen und eine entsprechende Vorschreibung zu tätigen (ebenfalls das jeweilige Verwaltungsgericht).

De lege ferenda: Geeignete Rechtsquelle zur Festlegung verbindlicher Grenzwerte für EMF zum Schutz der Allgemeinbevölkerung

Als mögliches Regelungsvorbild in Österreich wäre die bundesdeutsche Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV) anzusehen. Diese enthält nicht nur verbindliche Grenzwerte u.a. der magnetischen Flussdichte, sondern darüber hinausgehende Anforderungen zur Vorsorge, wie die Verpflichtung zur Ausschöpfung der Möglichkeiten, EMF nach dem Stand der Technik zu minimieren und für Leitungen auf neuen Trassen das Verbot der Überspannung von Gebäuden und Gebäudeteilen, die zum dauerhaften Aufenthalt von Menschen bestimmt sind.

Folgende Möglichkeiten der verbindlichen Festlegung von EMF[5)] bieten sich an:

Vielfach werden verbindliche Grenzwerte durch **Rechtsverordnung** geschaffen. Dies setzt eine entsprechende gesetzliche Grundlage voraus, welche die Verordnung näher determiniert (Art 18 Abs 2 B-VG).

Hier bietet sich eine **Novellierung des Starkstromwegegesetzes 1968** an. Dies kann aber keine umfassende Lösung sein, weil im Bereich des Energierechts eine zwischen Bund und Ländern geteilte Zuständigkeit besteht. Es müsste also zeitgleich das StWGG novelliert werden und die Länder müssten mit ihren Starkstromwegegesetzen nachziehen. Hier könnten sich unterschiedliche Festlegungen ergeben, weil der Bund im Grundsatzgesetz die

5) *Ebenso wäre zur verbindlichen Begrenzung der Koronaschall-Immissionen eine Regelung für witterungsbedingte Anlagengeräusche von Höchstspannungsnetzen zu treffen. Hier ist auf die §§ 3 und 22 BImSchG iVm 6.3 TA-Lärm und § 49 Abs 2b EnWG zu verweisen (Begrenzung der Immission mit tagsüber 70 dB und nächtens 55 dB).*

konkreten Grenzwerte nicht vorgeben darf, widrigenfalls er den Umsetzungsfreiraum der Länder verletzen würde.

Nach entsprechender Novellierung des StWG 1968 könnten verbindliche EMF-Grenzwerte durch Verordnung der BMK erlassen werden.

Ebenso wäre es denkbar, die Grenzwerte unmittelbar in eine **Anlage zum Gesetz** zu schreiben. So könnte der Bundesgesetzgeber für seinen Regelungsbereich etwa eine Anlage zum StWG 1968 schaffen und darin die entsprechende Grenzwertfestlegung vornehmen.

Da die Energiewende vor allem den Ausbau des Übertragungsnetzes erfordert, wäre auch die Erlassung eines **Sondergesetzes** zu überlegen. Dieses würde sich auf jene elektrischen Leitungsanlagen beziehen, die – auf der Spannungsebene 380 kV – zum Ausbau des bundesweiten Höchstspannungsnetzes erforderlich sind. Die sachliche Rechtfertigung einer solchen auf einer entsprechenden Verfassungsbestimmung beruhenden Regelung würde darin liegen, dass diese Vorhaben, regelmäßig UVP-pflichtig, einer legistischen Standardisierung bedürfen, um sie in aus der Sicht der Energiewende angemessener Frist genehmigen zu können.

Schließlich wäre es denkbar, verbindliche EMF-Grenzwerte im Dokument **„Integrierter Netzinfrastrukturplan“** (idF kurz: NIP) zu verankern. Verständigt man sich darauf, dass es sich beim NIP um eine auf § 94 EAG gestützte Verordnung der BMK handelt, könnte man Immissionsgrenzwerte im NIP als „Rahmen“ iSd SUP-RL ansehen, der in den nachfolgenden UVP-Genehmigungsverfahren für die einzelnen 380 kV-Projekte zu beachten ist.

Allen diesen Vorschlägen ist gemeinsam, dass durch eine rechtlich verbindliche Vorgabe von EMF-Grenzwerten Rechtssicherheit bestünde. Dies würde für alle Verfahrensparteien ebenso gelten wie für die Behörde bzw. das Verwaltungsgericht.

Selbstverständlich wäre es aber Vollzugsaufgabe der Behörde, die Erfüllung der sonstigen verbindlichen Vorgaben (zB Überspannungsverbot, Minimierung der EMF nach dem Stand der Technik) zu überwachen. In diesem Umfang bedürfte es auch weiterhin des Beweises durch Sachverständige.

Anhang

Elektrische und magnetische Felder beim Stromtransport

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. BSc Oliver PISCHLER (TU Graz)

20 Jahre Erfahrung Genehmigungsverfahren EMF und Ausblick

Dipl.-Ing. Oskar OBERZAUCHER / Dipl.-Ing. Klemens REICH (APG)

EMF beim Netzausbau in Deutschland - Die Anforderungen der 26. BImSchV in Genehmigungsverfahren

Dipl.-Ing. Alexander WOLLNY (Immissionsmanagement Leitungen, Amprion GmbH)

Gesundheitliche Wirkungen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder

Dr. rer. nat. Sarah DRIEßEN (RWTH Aachen)

Menschliche Wahrnehmung elektrischer Gleich- und Wechsel-spannungsfelder

Dr. phil. Michael KURSAWE (RWTH Aachen)

Verbindliche Festlegungen für EMF in Österreich?

Dr. Christian ONZ (ONZ & Partner Rechtsanwälte GmbH)

IHS

TU Graz

WISSEN
TECHNIK
LEIDENSCHAFT

ELEKTRISCHE UND MAGNETISCHE FELDER BEIM STROMTRANSPORT

Ass.Prof. Dr. Oliver Pischler
Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement
Technische Universität Graz
Österreich

IHS

TU Graz

2

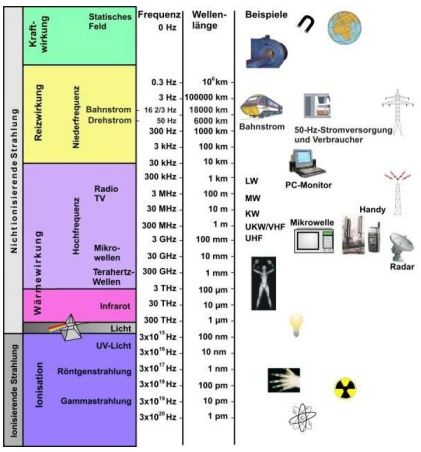
Begriffsdefinitionen im Bereich der Elektrodynamik

Feld
- Räumliche Verteilung einer Kraftwirkung auf Ladungen und Ströme

Welle
- Ausbreitung eines zeitlich veränderlichen Feldes im Raum

Strahlung
- Energietransport

Feld	Frequenz
Statische el. und mag. Felder	0 Hz
Niederfrequente el. und mag. Felder	0 Hz bis 100 kHz
Hochfrequente elektromagnetische Felder	100 kHz bis 300 GHz



IHS 3

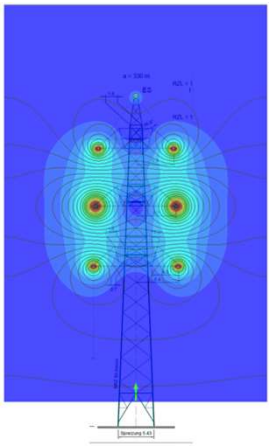
Elektrische Felder

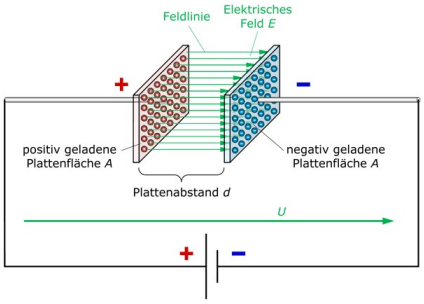
Natürlicher Ursprung
- Schönwetterfeld
- Reibungselektrizität

Künstlicher Ursprung
- Spannungsführende Elektroden
- Magnetfelder ⇨ Induktion
- Kein Stromfluss notwendig

Elektrische Feldstärke

$$E = \frac{U}{d} \qquad [E] = \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}}$$



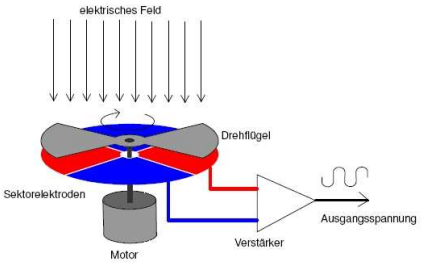


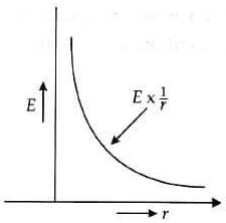
IHS 4

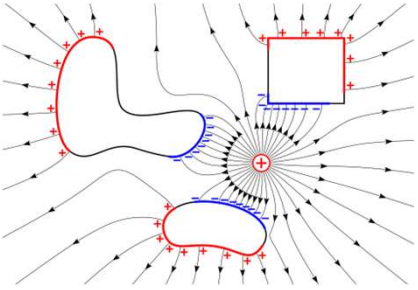
Elektrische Felder

Messung der elektrischen Feldstärke
- Rückwirkungsfreiheit schwierig
- Z. B. mit Elektrofeldmeter (Feldmühle)

Abschirmung und Abnahme
- Allseitig geschlossene Hülle aus einem elektrischen Leiter
- Abnahme mit $^1/_r$ (Linienladung)



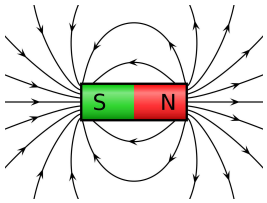


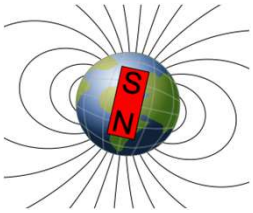


Magnetische Felder

Ursachen

- Magnetische Materialien
- Erdmagnetfeld (Geodynamo)
- Bewegte Ladungen ⇨ Stromdurchflossener Leiter
- Zeitliche Änderungen eines elektrischen Felds

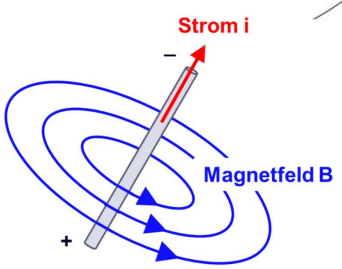




Magnetische Feldstärke

- Magnetische Feldstärke *H*
- Üblicher: Magnetische Flussdichte *B*

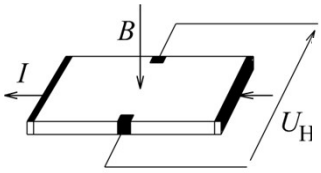
$$[H] = \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{m}} \qquad B = \mu \cdot H \qquad [B] = \mathrm{T}$$



Magnetische Felder

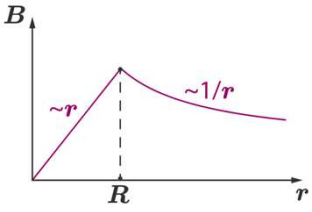
Messung der magnetischen Flussdichte

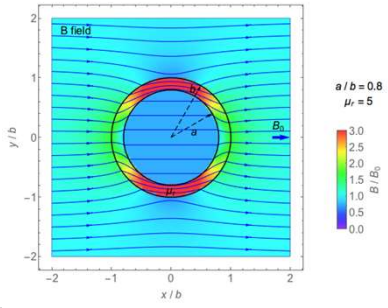
- Hall-Sensoren
- Messspulen
- Diverse physikalische Effekte



Abschirmung und Abnahme

- Keine Schirmung niederfrequenter mag. Felder möglich
- Verdrängung theoretisch möglich
- Abnahme mit min. $^1/_r$ (Fadenstrom)





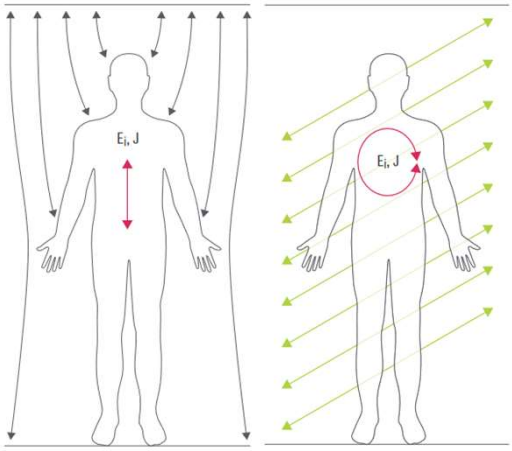
IHS 7

Motivation – Wirkung el. und mag. Felder auf Menschen

Unmittelbare Wirkung

- Elektrische Felder: Influenz bzw. Polarisation
- Magnetische Felder: Induktion

⇨ Stimulation von Nerven- und Muskelzellen möglich



IHS 8

Grenzwerte für statische und niederfrequente (< 100 kHz) Felder

Allgemeinbevölkerung

- … alle Personen ungeachtet des Geschlechts, Alters und Gesundheitszustandes
- … ausgenommen Implantate
- Abgedeckt durch OVE Richtlinie R 23-1

OVE

OVE Richtlinie R 23-1

Ausgabe: 2017-04-01

Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz
Teil 1: Begrenzung der Exposition von Personen der Allgemeinbevölkerung

Arbeitsplatz

- Verordnung elektromagnetische Felder VEMF
- Umsetzung der Richtlinie 2013/35/EU
- Ausnahme für schwangere Arbeitnehmerinnen

BUNDESGESETZBLATT
FÜR DIE REPUBLIK ÖSTERREICH

Jahrgang 2016 | Ausgegeben am 7. Juli 2016 | Teil II

179. Verordnung: Verordnung elektromagnetische Felder – VEMF und Änderung der Verordnung über die Gesundheitsüberwachung am Arbeitsplatz 2014 und der Verordnung über Beschäftigungsverbote und -beschränkungen für Jugendliche
[CELEX-Nr.: 32013L0035]

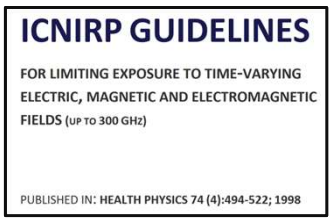
RICHTLINIE 2013/35/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES
vom 26. Juni 2013
über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder) (20. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) und zur Aufhebung der Richtlinie 2004/40/EG

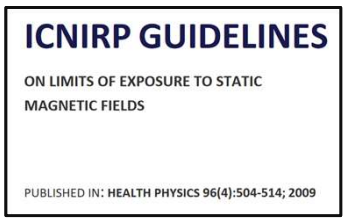
IHS 9

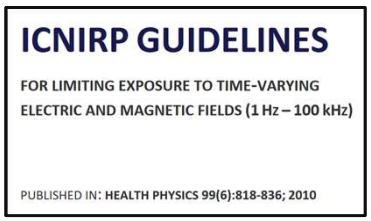
Grenzwerte für statische und niederfrequente (< 100 kHz) Felder

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection ICNIRP

- Unabhängige internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung
- Analyse und Bewertung des Kenntnisstands zur gesundheitlichen Wirkung von elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern
- Für statische und niederfrequente Felder drei richtungsweisende Publikationen
- Für R 23-1 Grenzwerte aus ICNIRP 2009 bzw. 2010 übernommen
- Bei VEMF (2013/35/EU) deutliche Abweichungen







IHS 10

Grenzwertdefinitionen

Basisgrenzwerte (Allgemeinbevölkerung, R 23-1) bzw. Expositionsgrenzwerte (Arbeit, VEMF)

- … begrenzen die durch externe Felder hervorgerufene körperinnere (intrakorporale) elektrische Feldstärke E_i auf Werte unterhalb der Stimulations- bzw. Effektschwellen
- Intrakorporale elektrische Feldstärke E_i nicht messbar (nur simulierbar) und Einhaltung nicht überprüfbar

Referenzwerte (R 23-1) bzw. Auslösewerte (VEMF)

- Konservative Limitwerte für äußere elektrische und magnetische Feldstärken, welche die Einhaltung der Basis- bzw. Expositionsgrenzwerte sicherstellen
- Für ungestörtes Feld

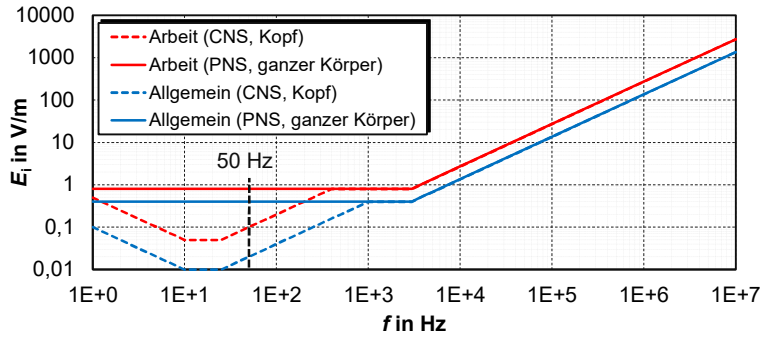
Alle nachfolgenden Werte sind Effektivwerte

IHS 11

Basis- bzw. Expositionsgrenzwerte

Basis- bzw. Expositionsgrenzwerte gemäß ICNIRP 2010 (für R 23-1 und VEMF)

- Wirkung auf zentrales Nervensystem im Kopf (z. B. Phosphene) ⇨ sensorische Wirkung
- Stimulation des peripheren und vegetativen Nervengewebes im Körper ⇨ gesundheitliche Wirkung



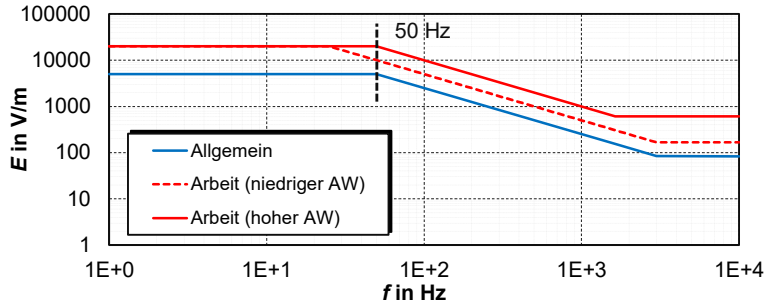
Nicht unterwiesene Arbeiter*innen:
50 mV/m für f = 10 – 25 Hz
(sensorische Schwelle, Phosphene)

Unterwiesene Arbeiter*innen:
800 mV/m für f = 10 – 25 Hz
(Nervenstimulation ab 4 V/m)

Allgemeinbevölkerung:
10 mV/m (zentrales Nervensystem)
40 mV/m (peripheres Nervensystem)

IHS 12

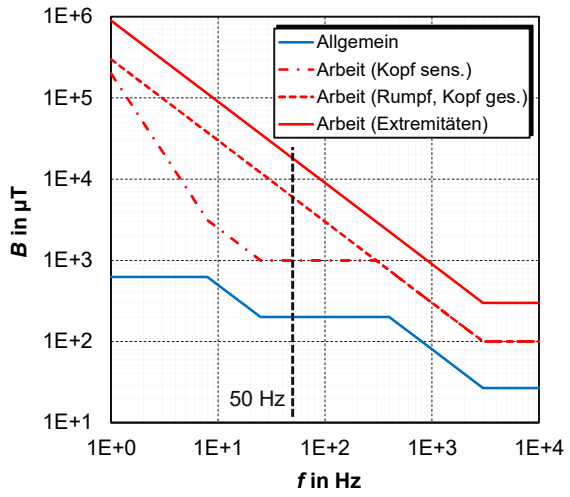
Referenz- bzw. Auslösewerte für die elektrische Feldstärke *E*



Personenkreis	Bezug	Auslösewert f = 50 Hz	Erläuterung
Allgemeinbevölkerung	R 23-1	5 kV/m	
Arbeitnehmer*innen	VEMF	10 kV/m 20 kV/m	Niedriger Auslösewert Hoher Auslösewert

IHS 13

Referenz- bzw. Auslösewerte für die magnetische Flussdichte *B*

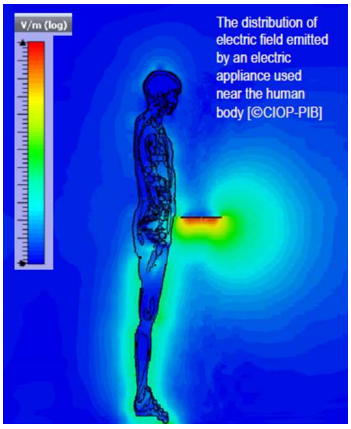


Personenkreis	Bezug	Auslösewert $f = 50$ Hz	Erläuterung
Allgemeinbevölkerung	R 23-1	200 µT	
Arbeit	VEMF	1 / 6 mT	Kopf
		6 mT	Rumpf
		18 mT	Extremitäten

IHS 14

Elektrische Feldstärken im Haushalt

Gerät	Elektrische Feldstärke in V/m
Heizdecke	1500 bis 3500
Fernseher	< 90
Küchenmixer	< 120
Glühlampe	< 5
Steckdose	< 1
Installationsdrähte	< 0,1

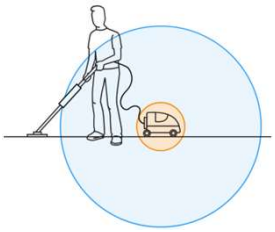


Quelle: https://www.bfs.de

IHS 15

Magnetische Flussdichten im Haushalt

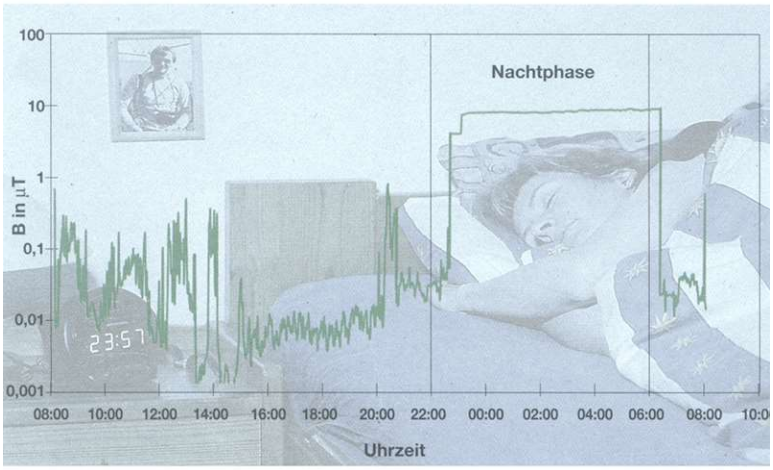
Gerät	Magnetische Flussdichte in µT		
	Abstand 3 cm	Abstand 30 cm	Abstand 1 m
Bohrmaschine	400 bis 800	2 bis 3,5	0,08 bis 0,2
Bügeleisen	8 bis 30	0,12 bis 0,3	0,01 bis 0,03
Computer	0,5 bis 30	kleiner als 0,01	k.A.
Elektrischer Rasenmäher	1180	k.A.	520 bis 1013
Geschirrspüler	3,5 bis 20	0,6 bis 3	0,07 bis 0,3
Haarfön	6 bis 2000	0,01 bis 7	0,01 bis 0,3
Induktionskochfeld	k.A.	2 bis 6	2,7
Küchenherd	1 bis 50	0,15 bis 0,5	0,01 bis 0,04
Kühlschrank	0,5 bis 1,7	0,01 bis 0,25	kleiner als 0,01
Mikrowellengerät	73 bis 200	4 bis 8	0,25 bis 0,6
Rasierapparat	15 bis 1500	0,08 bis 9	0,01 bis 0,3
Staubsauger	200 bis 800	2 bis 20	0,13 bis 2
Waschmaschine	0,8 bis 50	0,15 bis 3	0,01 bis 0,15



Quelle: https://www.emf-portal.org/de

IHS 16

Magnetische Flussdichten im Haushalt



Quelle: https://www.bfs.de/

IHS 17

Grenzwerte beim Stromtransport und internationaler Vergleich

Paradoxe Situation in Österreich

- Vor Errichtung einer Leitung: die Höhe der zulässigen magnetischen Flussdichte ist im Einzelfall durch den zuständigen Sachverständigen im Zuge des UVP Verfahrens zu klären
- Nach Errichtung der Leitung: Grenzwerte gemäß R 23-1

Deutschland: Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV)

- Niederfrequenzanlagen mit f = 50 Hz ⇨ B = 100 µT (50 % ICNIRP)
- Zusätzlich Minimierungsgebot und Verbot von Überspannungen

Schweiz: Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV)

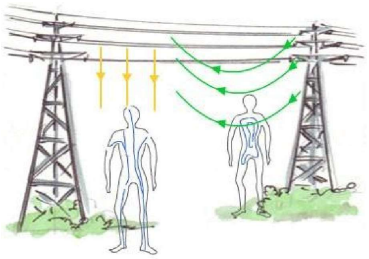
- Vorsorgeprinzip: Für Neuanlagen Anlagegrenzwert von B = 1 µT

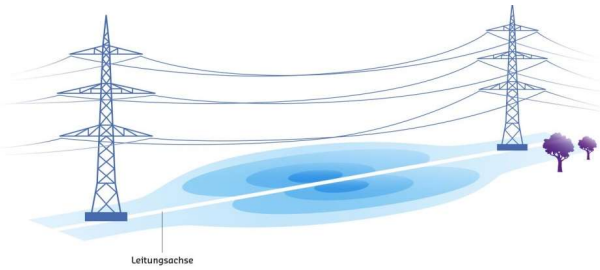
IHS 18

Elektrische und magnetische Felder beim Stromtransport

Grundsätzliche Einflussfaktoren

- Betriebsspannung
- Leiterstrom
- Phasenbelegung
- Leitungsgeometrie
- Leiterdurchhang (bei Freileitungen)
- Teilleiteranzahl





IHS 19

Elektrische und magnetische Felder beim Stromtransport

Freileitung
- Erzeugt sowohl elektrische als auch magnetische Felder

Kabel
- Vollständige Schirmung des elektrischen Felds, nur magnetisches Feld

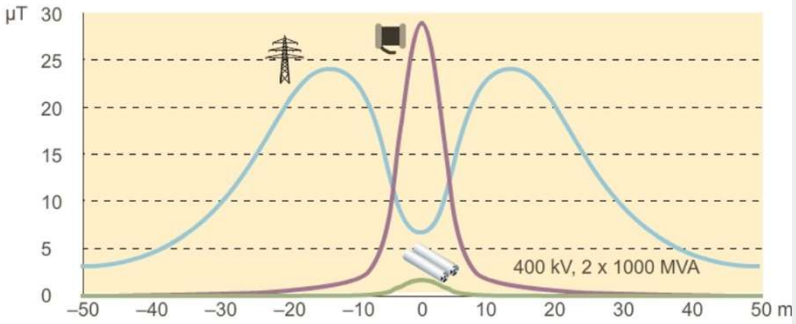
Gasisolierte Leitung
- Hüllrohr ⇨ vollständige Schirmung des el. Felds, sehr geringes mag. Feld

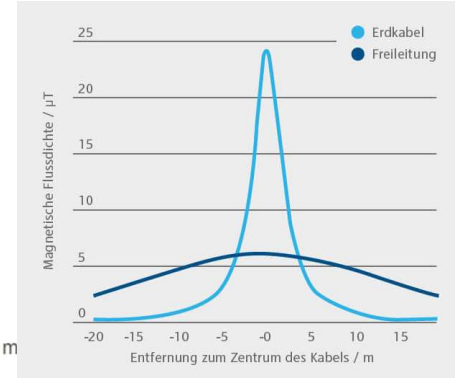
Transformatoren / Schaltanlagen
- Leiter auf der Niederspannungsseite als Feldquellen relevant

IHS 20

Elektrische und magnetische Felder beim Stromtransport

Lateralprofile der magnetischen Flussdichte bei Freileitung / Kabel /GIL

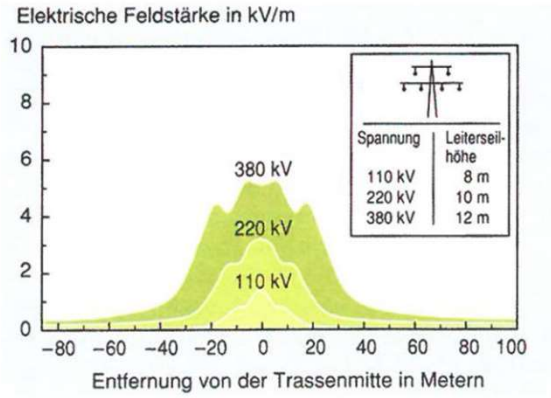


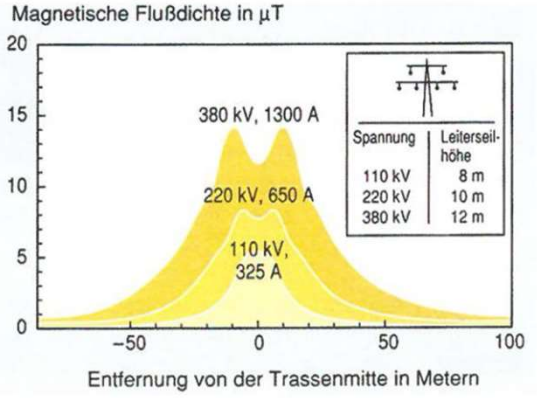


IHS 21

Elektrische und magnetische Felder beim Stromtransport

Vergleich elektrische Feldstärke und magnetische Flussdichte bei Freileitungen





IHS 22

Maßnahmen zur Expositionsreduktion

Zu prüfende Maßnahmen nach Art der Quelle (R 23-3-1)

OVE

OVE Richtlinie R 23-3-1

Ausgabe: 2021-04-01

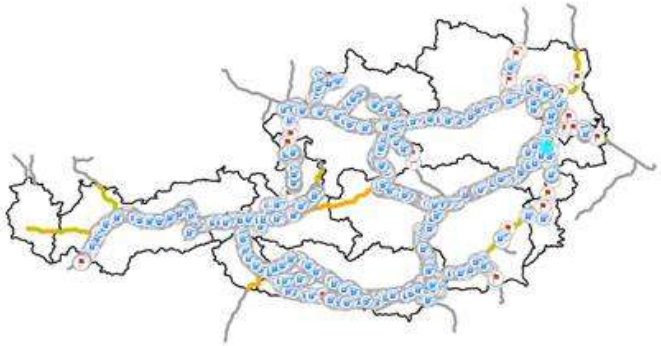
Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz
Teil 3-1: Magnetische Felder – Maßnahmen an der Feldquelle zur Expositionsreduktion für die Allgemeinbevölkerung bei Errichtung oder wesentlicher Änderung ortsfester Anlagen und Leitungen der Stromversorgung

Maßnahme zur Optimierung	Freileitung	Kabel	Schaltanlage
Bodenabstand	X		
Verlegetiefe		X	
Leiterabstände	X	X	X
Leiteranordnung	X	X	X
Außenleiterbelegung	X	X	

IHS 23

Magnetische Flussdichten entlang des österreichischen Übertragungsnetz

Magnetische Flussdichte an ca. 8200 Nahbereichsobjekten (± 70 m)

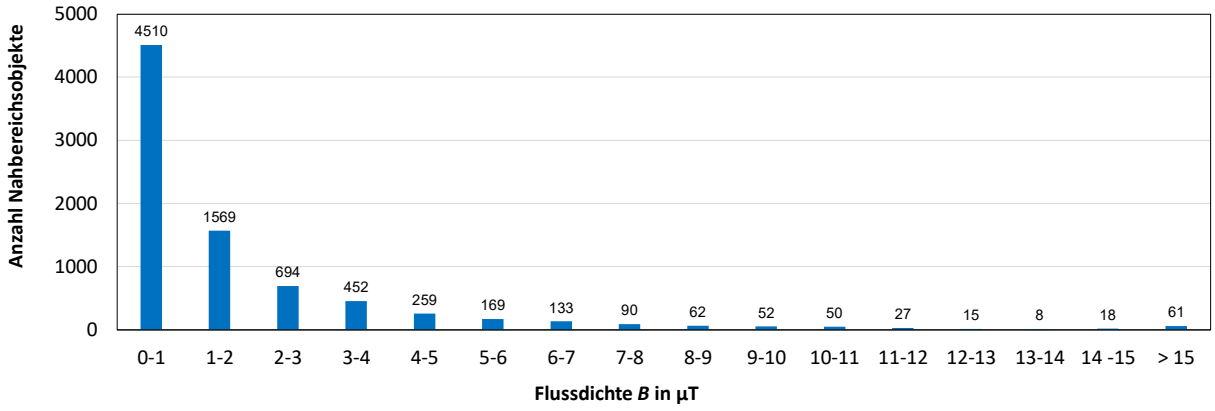


Ausgewertete Adresspunkte

IHS 24

Magnetische Flussdichten entlang des österreichischen Übertragungsnetz

Verteilung der magnetischen Flussdichte



IHS 25

Zusammenfassung

Elektrische Felder

- … treten an spannungsführenden Leitern auf, Stromfluss nicht notwendig
- Einfach zu schirmen, eher schwierig zu messen
- Referenzwert für f = 50 Hz für Allgemeinbevölkerung E = 5 kV/m

Magnetische Felder

- … treten an stromführenden Leitern auf
- Schirmung kaum möglich, einfach zu messen
- Referenzwert für f = 50 Hz für Allgemeinbevölkerung B = 200 µT

Stromtransport

- Für UVP Verfahren in Österreich keine allgemeingültigen Grenzwerte
- Flussdichten entlang des österreichischen Übertragungsnetzes deutlich unter ICNIRP-Grenzwerten

IHS

WISSEN
TECHNIK
LEIDENSCHAFT

ELEKTRISCHE UND MAGNETISCHE FELDER BEIM STROMTRANSPORT

Ass.Prof. Dr. Oliver Pischler
Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement
Technische Universität Graz
Österreich

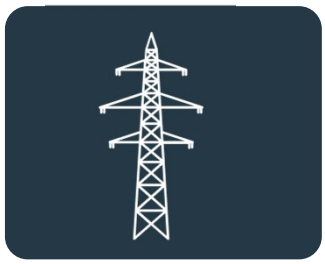
20 Jahre Erfahrung in Genehmigungsverfahren Thema EMF und Ausblick

Fachtagung
EMISSIONEN BEIM STROMTRANSPORT
28.02.2023, TU Graz

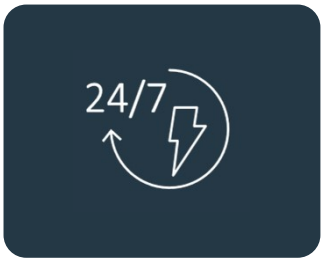
Oberzaucher/Reich (APG)

© Austrian Power Grid

APG sorgt für Österreichs Stromsicherheit



Stromübertragungs-Infrastruktur
Wir planen, bauen und optimieren das österreichweite Übertragungsnetz der Zukunft



Stromnetzsteuerung & Systemverantwortung
Wir sind verantwortlich für den sicheren Strombetrieb Österreichs (24/7, 365 Tage)

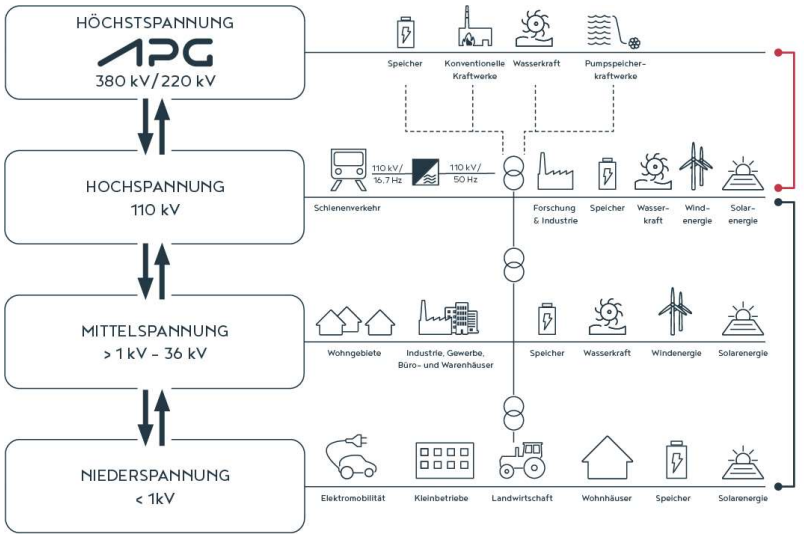
Übertragungsnetz als Basis für die Energiezukunft
Wir integrieren die erneuerbaren Energien ins Stromnetz

Strommarkt
Wir gestalten die Systeme für den europäischen Strommarkt mit (z.B. Handel, Import/Export)

© Austrian Power Grid

Das Übertragungsnetz von APG …

… ist das Rückgrat des österreichischen Stromsystems



ÜBERTRAGUNGSNETZ

Das APG-Übertragungsnetz sorgt für den gesamtösterreichischenStromaustausch.

Das APG-Übertragungsnetz bindet Österreich in den europäischen Strommarkt ein.

Das Übertragungsnetz wird überregional betrieben.

VERTEILNETZE

In Österreich gibt es eine Vielzahl an Verteilnetzbetreiber.

Die Verteilnetze der Bundesländer sind nur durch das APG-Übertragungsnetz miteinander verbunden.

Die Verteilnetze in den österreichischen Bundesländern werden regional betrieben.

Transformator Frequenzumrichter

© Austrian Power Grid

Unternehmensprofil

Trassenlänge
Kilometer
3.500

Systemlänge
Kilometer
6.970

Umspannwerke
Anzahl
65

Investitionsvolumen
Mrd. EUR
3,5*

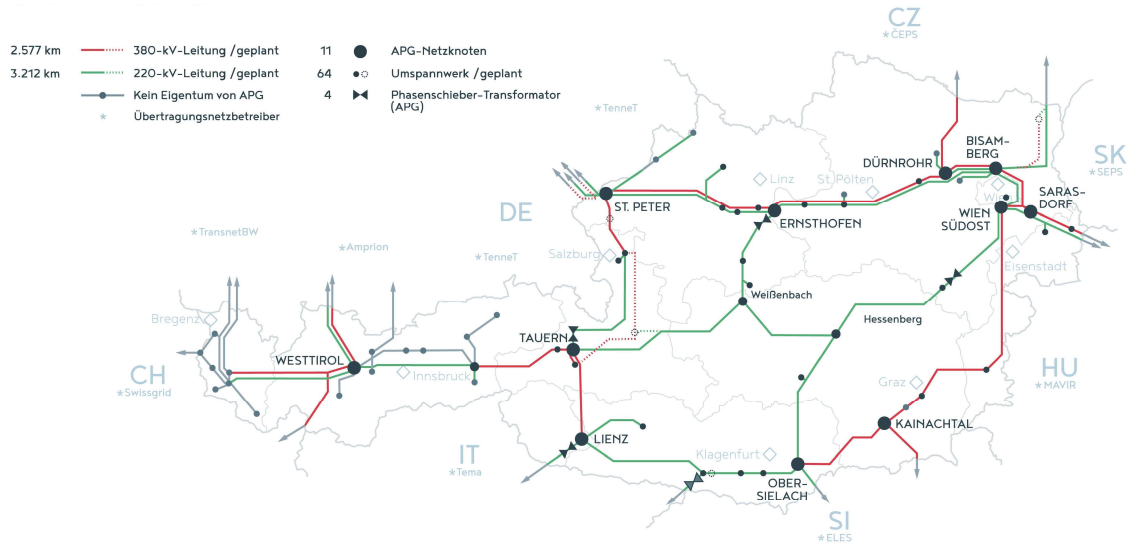
Stromtransportmenge
GWh
44.863

MitarbeiterInnen
Anzahl
700

*2021-2032
**2023: rund 490 Mio. EUR

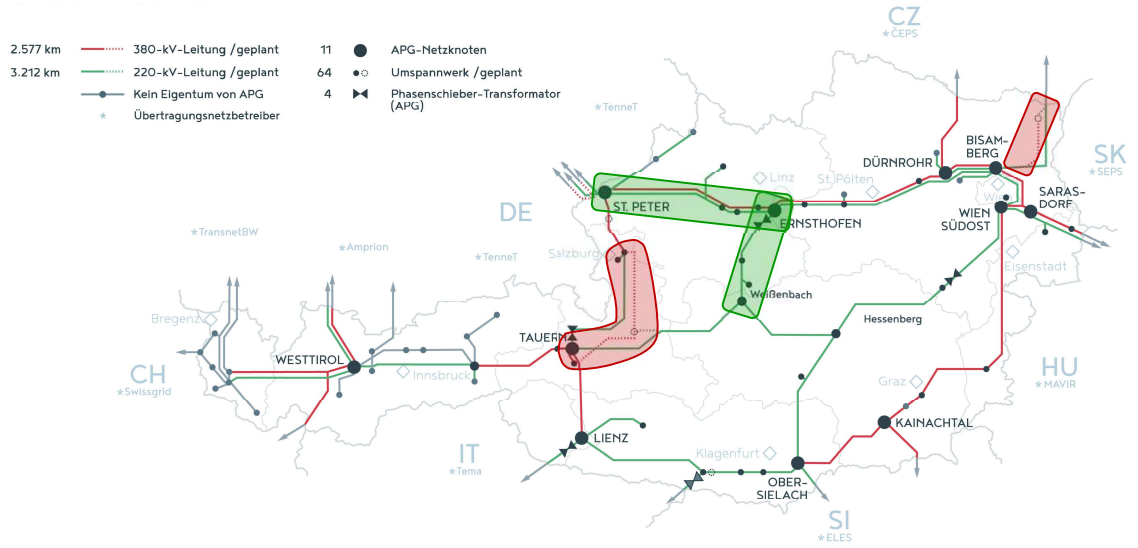
© Austrian Power Grid

Die Übertragungsinfrastruktur der APG



© Austrian Power Grid

Beispiele für Genehmigungsverfahren

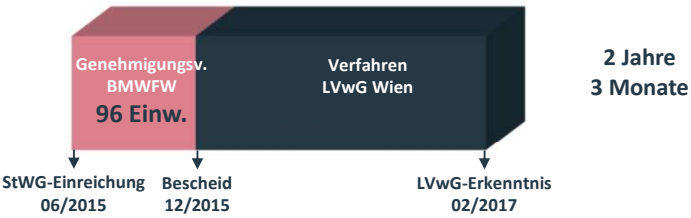


© Austrian Power Grid

Verfahrensdauern StWG-Genehmigung

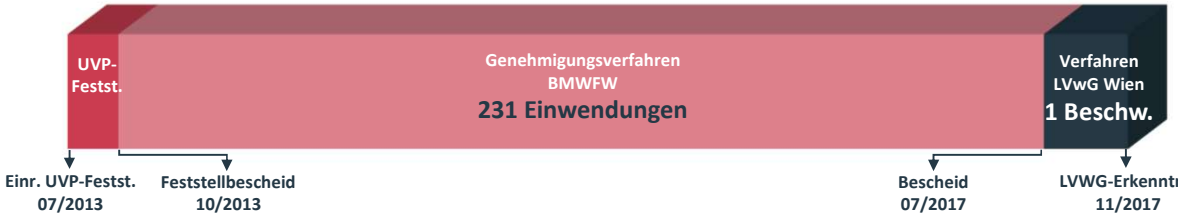
am Beispiel zweier typischer Verfahren

Hochtemperaturbeseilung 220-kV-Leitung Ernsthofen-Weißenbach



2 Jahre
3 Monate

Generalerneuerung 220-kV-Leitung St. Peter – Ernsthofen

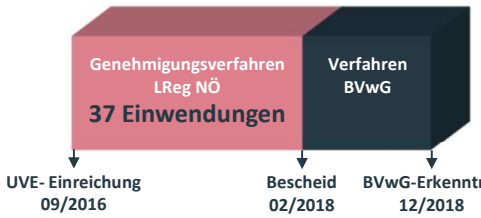


4 Jahre
4 Monate

Verfahrensdauern UVP-Genehmigung

am Beispiel zweier typischer Verfahren

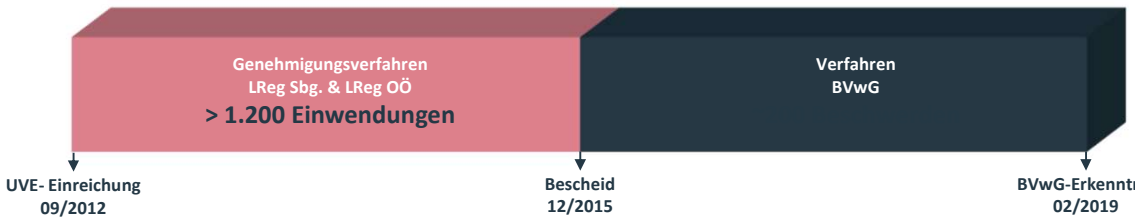
Weinviertelleitung



2 Jahre
3 Monate
+

Zusätzlich 13
Zwangsverfahren

Salzburgleitung II



6 Jahre
2 Monate
+

Zusätzlich 141
Zwangsverfahren

Arten der Einwendungen

am Beispiel GE 220-kV-Leitung St. Peter - Ernsthofen

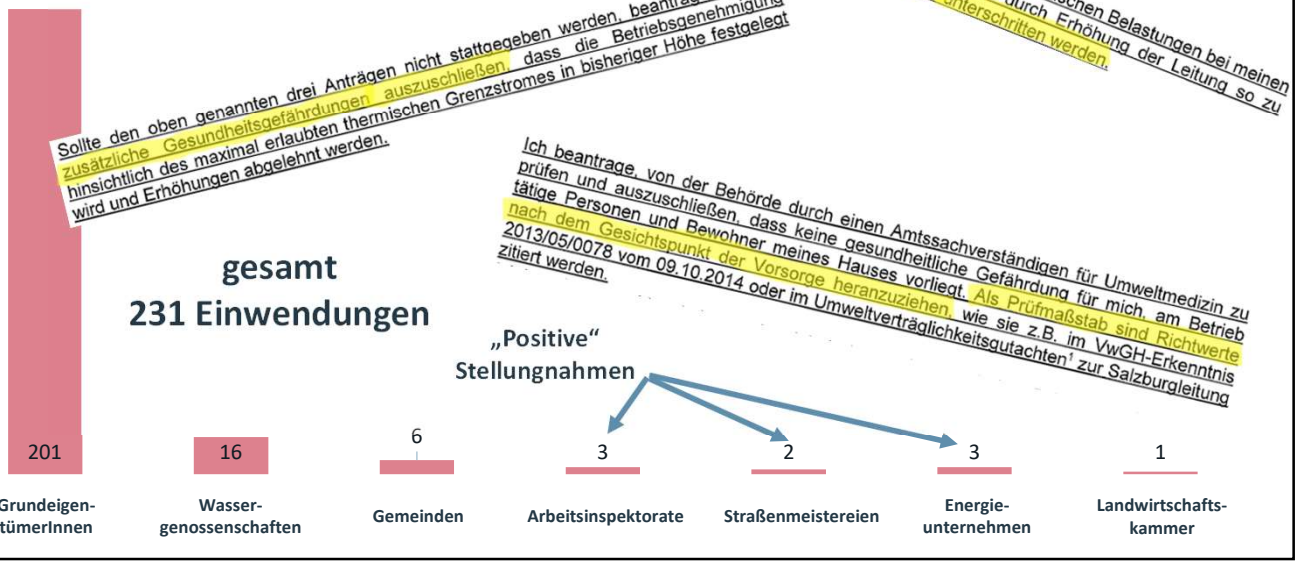
Ich beantrage zur Verminderung der elektrischen und magnetischen Belastungen bei meinen Wohn- und Wirtschaftsgebäuden die Leiterseile z.B. durch Erhöhung der Leitung so zu führen, dass die oben genannten Vorsorgewerte unterschritten werden.

Sollte den oben genannten drei Anträgen nicht stattgegeben werden, beantrage ich, um zusätzliche Gesundheitsgefährdungen auszuschließen, dass die Betriebsgenehmigung hinsichtlich des maximal erlaubten thermischen Grenzstromes in bisheriger Höhe festgelegt wird und Erhöhungen abgelehnt werden.

Ich beantrage, von der Behörde durch einen Amtssachverständigen für Umweltmedizin zu prüfen und auszuschließen, dass keine gesundheitliche Gefährdung für mich, am Betrieb tätige Personen und Bewohner meines Hauses vorliegt. Als Prüfmaßstab sind Richtwerte nach dem Gesichtspunkt der Vorsorge heranzuziehen, wie sie z.B. im VwGH-Erkenntnis 2013/05/0078 vom 09.10.2014 oder im Umweltverträglichkeitsgutachten[1] zur Salzburgleitung zitiert werden.

gesamt
231 Einwendungen

„Positive“ Stellungnahmen



NIMBY - Not in my backyard

Ziel ist eine Verzögerung des Vorhabens bzw. das Lahmlegen der Behörden

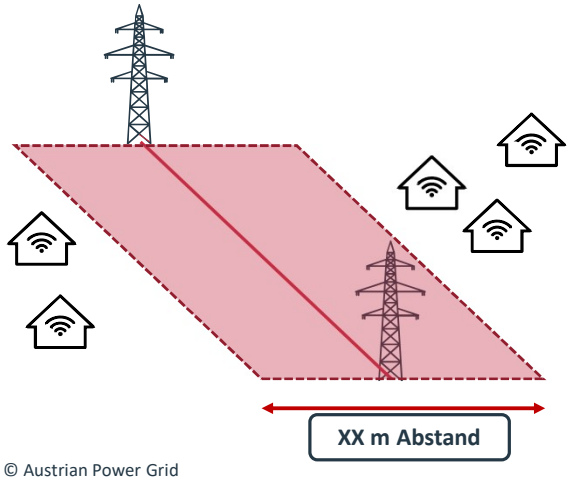
- Sachverständigen sind nicht an Grenzwerte gebunden – freie Wahl
- Forderung von Projektgegnern nach beliebig niedrigen Grenzwerten
- Einzelstudien und fachlich fragwürdige „Richtlinien“ werden ins Spiel gebracht
- „Leitungsgegnerschaft-Tourismus“: IG Erdkabel aus Salzburg im Projekt Weinviertelleitung

→ Abschließendes Ergebnis in bisherigen UVP und StWG Verfahren: Eine Gesundheitsgefährdung kann mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

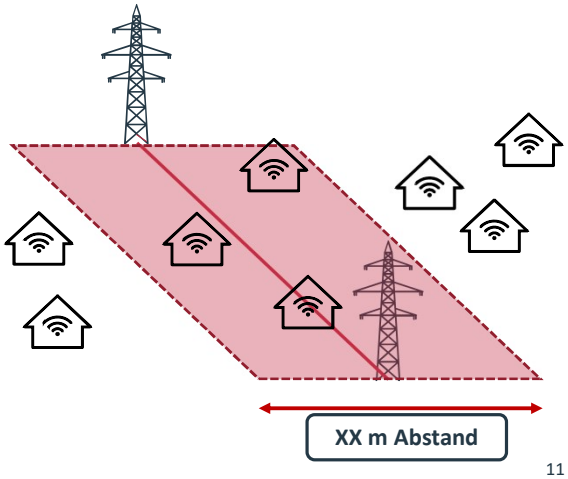
© Austrian Power Grid

Grenzwert-“Paradoxon“ 1/2

Bis zur Genehmigung 1µT



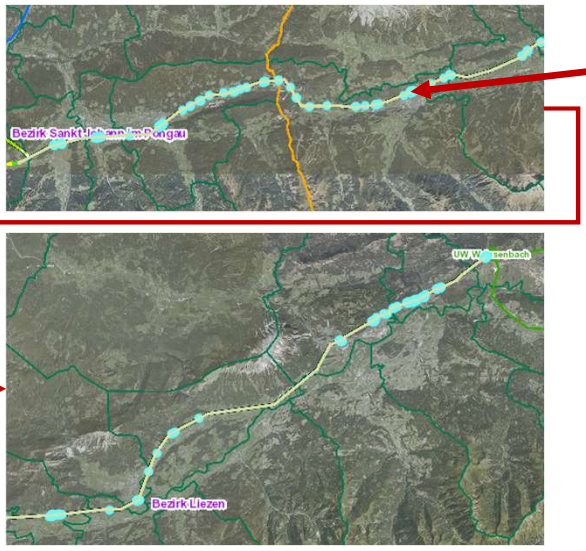
Nach Genehmigung 200 µT

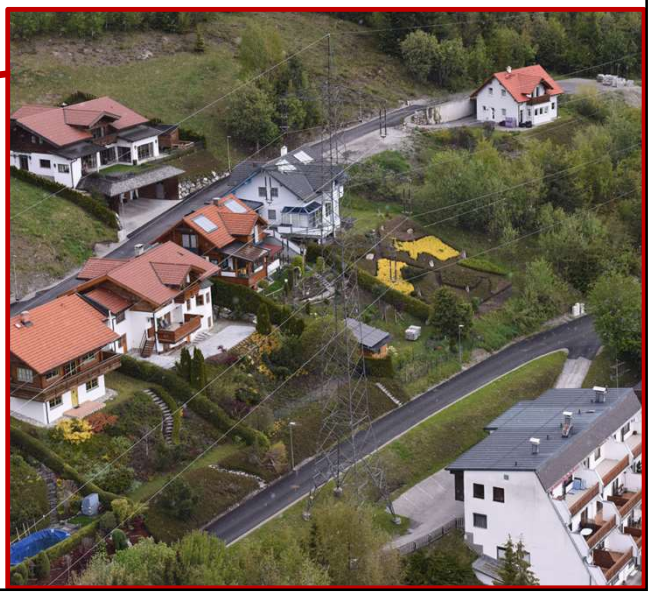


© Austrian Power Grid

Grenzwert-“Paradoxon“ 2/2

Bsp. GE 220-kV-Leitung Tauern – Weißenbach: 260 Objekte auf 73 km; +/- 45m der Trasse





© Austrian Power Grid

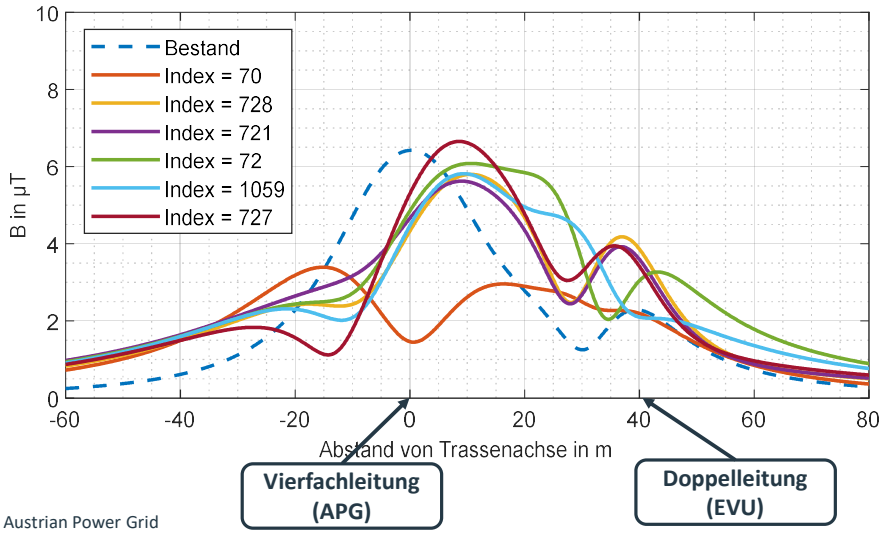
Planungsprämissen in bisherigen Projekten (jedoch keine Rechtssicherheit)

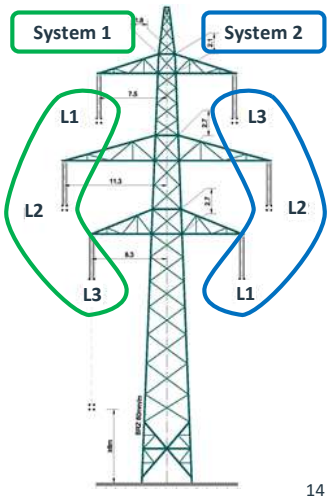
- **Einhaltung der Referenzwerte** gemäß OVE Richtlinie R 23-1 in allgemein zugänglichen Bereichen.
- **Optimierungen des Projektes**
  - Abstand: Trassenführung und/oder Erhöhung der Seillage
  - Anpassung der Phasenfolge
- **Magnetfelder bei Nahbereichsobjekten**
  - **Bestehende Trassen (StWG/UVP):** bestehenden Magnetfeldimmissionen bei Objekten werden nicht erhöht
  - **Neue Trassen (UVP):** Planungsvorgabe von 1 µT

© Austrian Power Grid

Optimierungsmöglichkeiten - Beispiel

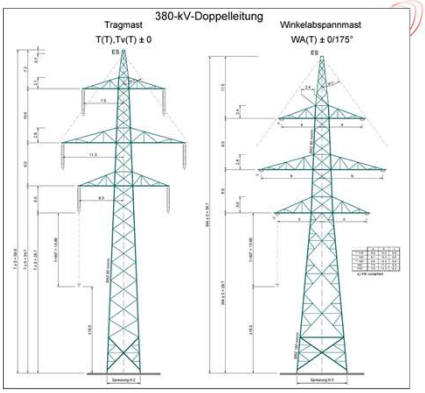
- Beispiel: Phasenfolge einer 4fach-Leitung mit vorgegebener paralleler Doppelleitung





© Austrian Power Grid

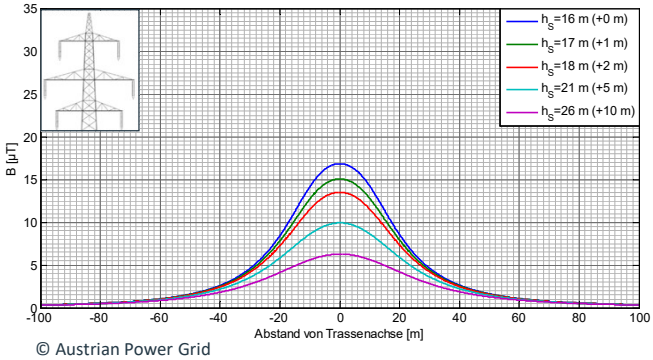
Einreichunterlagen 1/2

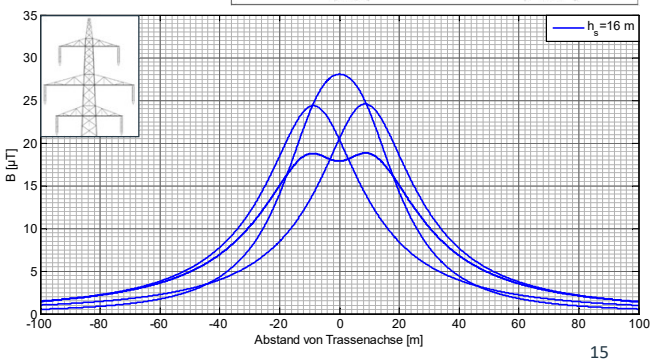


Umfang ist stark abhängig von der Art des Projekts

- Darstellung Feldkurven Bestand und Projekt
- Beurteilung Normalbetrieb+Störfälle

→ Fokus auf Einhaltung der Referenzwerte





© Austrian Power Grid

Einreichunterlagen 2/2

Nahbereichsliste

- Beurteilung Normalbetrieb

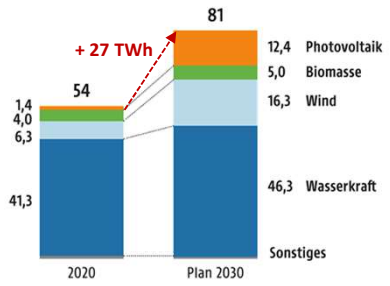
→ Fokus auf humanmedizinisch relevanten „Beurteilungsgrößen“

Objekt ID	Genehmigung	Vorhaben	Abschnitt	horizontaler Abstand Bestand [m]	horizontaler Abstand Endausbau [m]	B-Feld Bestand [µT]	B-Feld Endausbau [µT]	Differenz. B-Feld Endausbau-Bestand [µT]	E-Feld Bestand [kV/m]	E-Feld Endausbau [kV/m]	GEQ Bestand [%]	GEQ Endausbau [%]
318	Neubau trassennah	VHS-VWS		13,5	48,4	11,2	0,9	-10,2	0,82	0,18	22	4
1059	Neubau-trassennah	VHS-VWS		39,1	39,1	1,1	1,0	-0,1	0,03	0,09	1	2
499	Neubau trassennah	VHS-VWS		31,7	46,3	3,1	0,9	-2,2	0,13	0,19	4	4

© Austrian Power Grid

Ziele für die Energiewende in Österreich

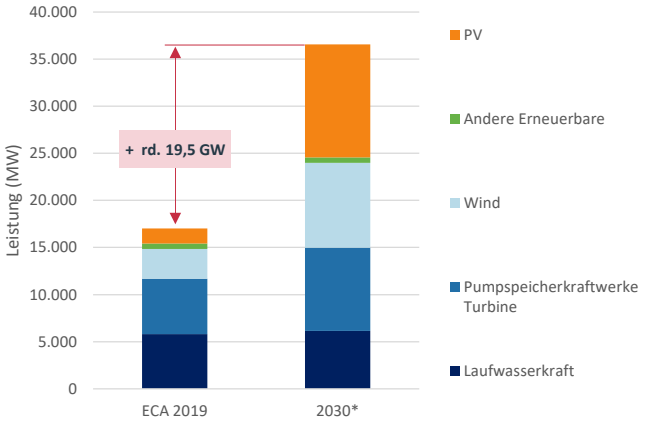
Arbeit (TWh)



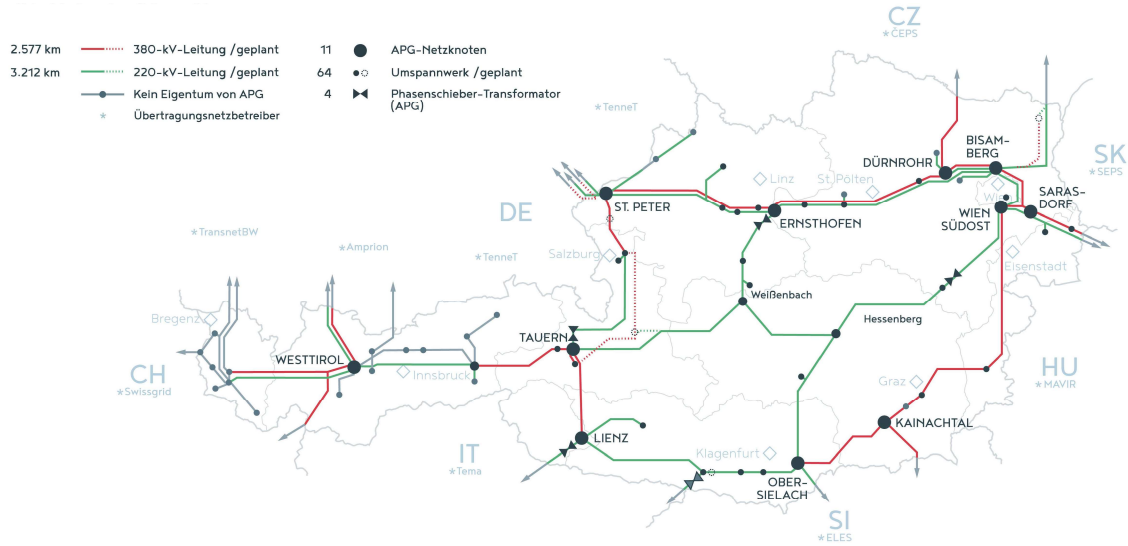
Quelle: APA/ORF.at; Quelle: BMK

Ziele der Bundesregierung:
100% (national bilanziell) Strom aus erneuerbaren Energiequellen bis 2030

Leistung (MW)



17



© Austrian Power Grid

18

Grenzwertvorschlag

Ausbau des Übertragungsnetzes für die Energiewende – Politik gefragt!

Formulierungsvorschlag Grenzwertregelung

1. *Immissionsgrenzwert: 200 µT magnetische Flussdichte; 5 kV/m elektrische Feldstärke*
2. *Bei Objekten mit sensibler Nutzung (Wohnnutzung, Kindergärten, etc.) zusätzlich:*
   a. *Ein reduzierter Grenzwert für die magnetische Flussdichte von 100 µT*
   b. *Ein Überspannungsverbot für neue Leitungen*
   c. *Ein Minimierungsgebot durch Trassenwahl, optimierte Mastbilder und Verdrillung*
3. *Messung beim nächstgelegenen Wohnobjekt (bis zu einem Abstand von max. 100m)*

→ Entscheidender Beitrag zu Beschleunigung von Genehmigungsverfahren, Grenzwertdiskussionen werden damit obsolet

© Austrian Power Grid

Kontakte

EMF BEIM NETZAUSBAU IN DEUTSCHLAND

DIE ANFORDERUNGEN DER 26. BIMSCHV IN GENEHMIGUNGSVERFAHREN

INHALT

- Wer ist Amprion?
- Eine kurze Geschichte der 26. BImSchV
- Was regelt die 26. BImSchV
- EMF und Gesundheit in der Öffentlichkeitsarbeit

WER WIR SIND

STROM FÜR MILLIONEN MENSCHEN
AMPRION IN ZAHLEN

12,1 MRD.

Euro investieren wir in den kommenden fünf Jahren in den Netzausbau.

2.200

Mitarbeiter tragen dazu bei, dass Amprion seinen gesetzlichen Auftrag erfüllt.

29 MIO.

Menschen leben in unserem Netzgebiet. In diesem Raum wird etwa ein Drittel der Wirtschaftsleistung Deutschlands erzeugt.

11.000 KM

lang ist unser Übertragungsnetz. Es erstreckt sich von Niedersachsen bis zu den Alpen.

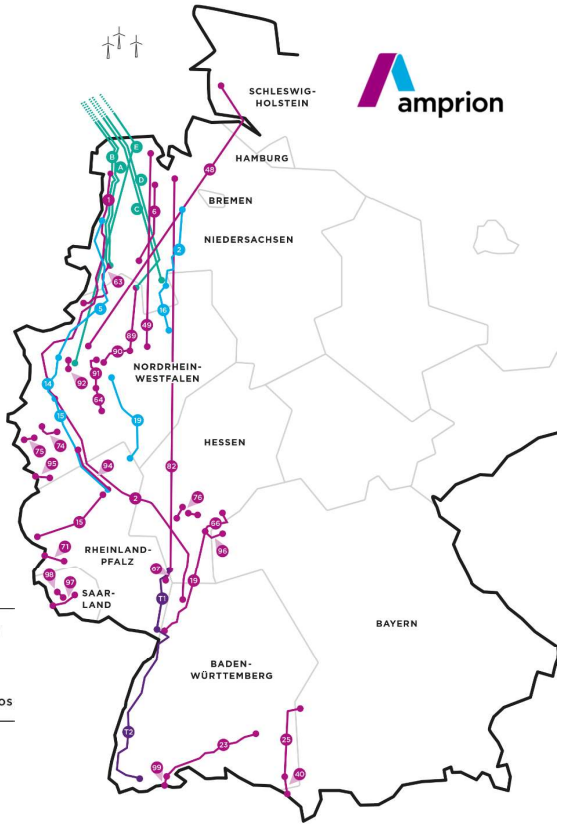
5.500 KM

Übertragungsnetz bauen wir aus und um. So bereiten wir den Weg für ein klimaverträgliches Energiesystem.

NETZAUSBAU BEI AMPRION
UNSERE VORHABEN

Amprion bereitet den Weg für ein klimaverträgliches Energiesystem und baut sein Netz dafür auf rund 5.500 Kilometern aus. Die gesetzlichen Grundlagen bilden das EnLAG (2009) und das BBPlG (ab 2013). Weitere Vorhaben sind im aktuellen Netzentwicklungsplan enthalten oder werden für Kunden umgesetzt.

Nahezu alle Vorhaben sind UVP-pflichtig



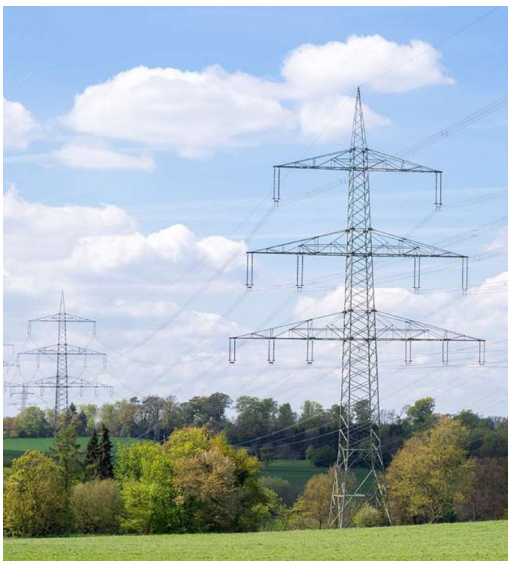
UMWELTVERTRÄGLICHKEITSPRÜFUNG

SCHUTZGUT MENSCH UND MENSCHLICHE GESUNDHEIT

amprion verbindet

REGELUNGEN IM ÜBERBLICK

- Raumordnungsrecht
  - Vermeidung von Konflikten konkurrierender Raumnutzungen
  - Abstandsgebote für neue Trassen
    - 200 m zur Wohnnutzung im Außenbereich
    - 400 m zu geschlossenen Siedlungen
    - Grundsatz der Raumentwicklung der Abwägung zugänglich
- Immissionsschutzrecht
  - Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV)
    - Grenzwerte für elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder
    - Vorsorgeregelungen zur Reduktion von Immissionen
  - Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm)
- Umweltrecht
  - Schutzgut Mensch und menschliche Gesundheit
    - Einwirkungen durch Immissionen
    - Freizeit und Erholung



SCHUTZGUT MENSCH & MENSCHLICHE GESUNDHEIT

- Abbildung durch Teilaspekte
  - Wohn- und Wohnumfeldfunktion
    - Einschließlich menschliche Gesundheit
  - Gewerbeflächen
  - Erholungs- und Freizeitfunktion
- Bewertungsmaßstab für Immissionen
  - Gesetzlich festgelegte Grenz- und Richtwerte
  - Prüfung der Erheblichkeit: Vergleich mit Grenzwerten

EINE KURZE GESCHICHTE DER 26. BIMSCHV

HANDY-BOOM IN EUROPA
AUFBAU DER GSM-NETZE MITTE DER ‘90

Handy-Markt boomt

Ausbau der Sendemasten wird sichtbar

Angst vor “Handystrahlen” wächst

Wie kann der Netzausbau unterstützt werden?

„Die zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch elektromagnetische Felder nach § 22 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) anzulegenden Maßstäbe sind rechtlich bisher nicht konkretisiert und strittig. Wichtige Infrastrukturmaßnahmen insbesondere im Bereich des Mobilfunks, der Fernbahnen, des öffentlichen Personen-Nahverkehrs und der Stromversorgung sind hiervon betroffen. Ziel der Verordnung ist es, durch Vorgaben verbindlicher Maßstäbe die gebotenen Schutz- und Vorsorgemaßnahmen sicherzustellen und zugleich zur Verfahrensvereinfachung und Investitionssicherheit in den genannten Infrastrukturbereichen beizutragen.“

— Bundesrat, Drucksache 393/96 v. 22.02.1996

VERORDNUNG ÜBER ELEKTROMAGNETISCHE FELDER

26. BImSchV

Schutz

Grenzwerte

nach Betriebsfrequenz und Nutzung am Immissionsort

Vermeidung erheblicher Belästigungen durch Funkenentladungen

Vorsorge

Reduktion elektrischer und magnetischer Felder

Überspannungsverbot

SCHUTZANFORDERUNGEN
§ 3 der 26. BImSchV

0 Hz =

Gleichstrom

- E_{limit}: keiner
- B_{limit} = 500 µT
- An Orten, die dem *dauerhaften oder vorrübergehenden* Aufenthalt dienen
- Verbot erheblicher Belästigungen durch z.B. Funkenentladungen

50 Hz ≈

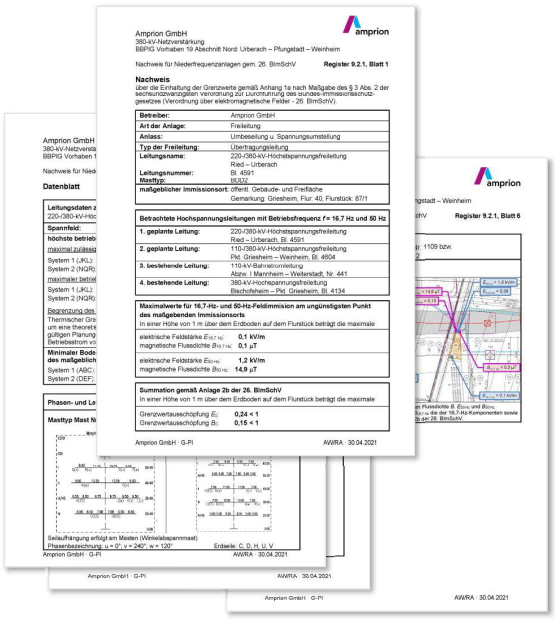
Wechselstrom

- E_{limit} = 5 kV/m
- B_{limit} = 100 µT
- An Orten, die dem *nicht nur vorrübergehenden* Aufenthalt dienen

Summation der Grenzwertausschöpfung bei unterschiedlichen Netzfrequenzen (z.B. DB-Mitnahme)

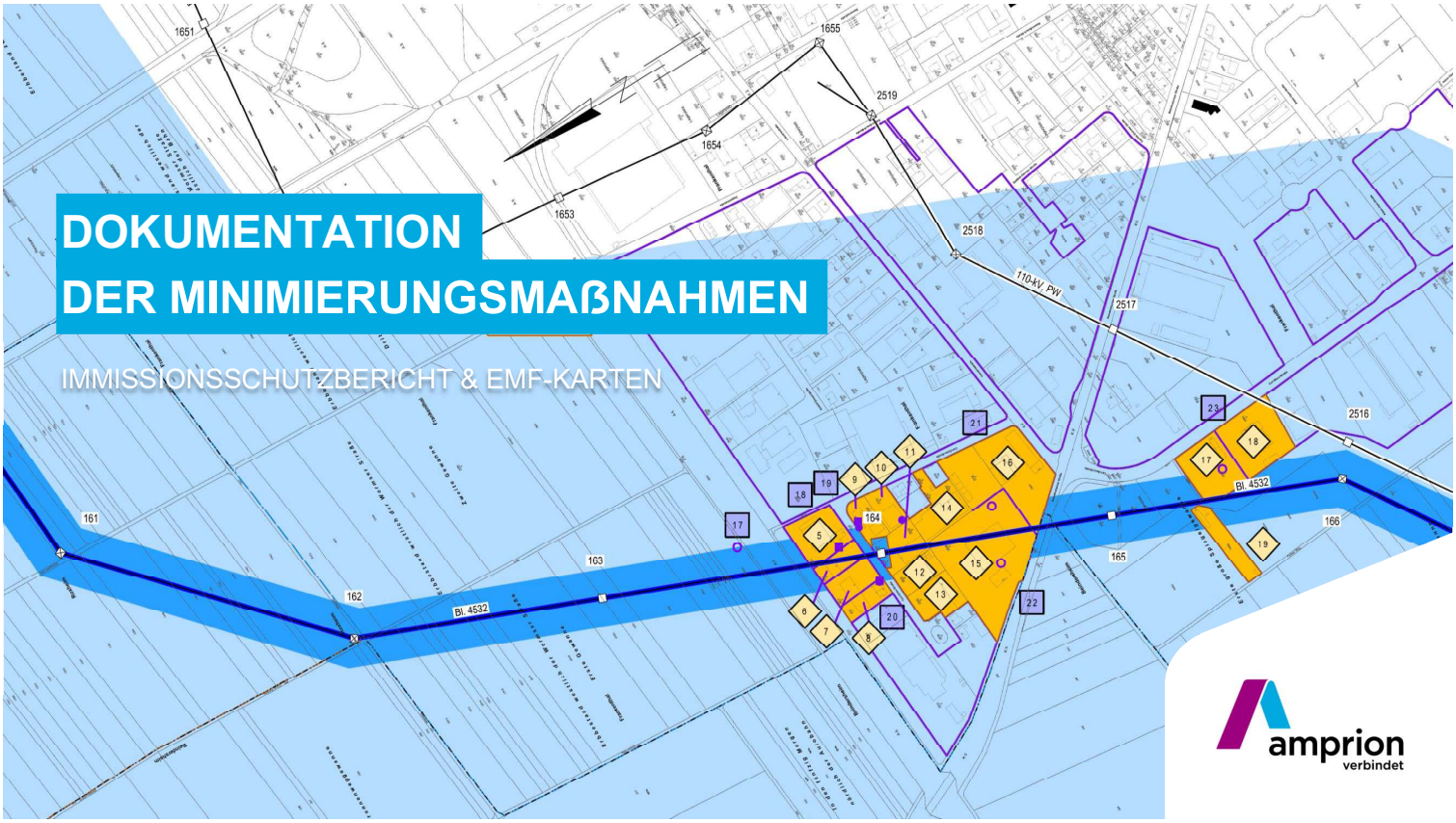
NACHWEIS DER GRENZWERTEINHALTUNG
INHALT DES „BImSch-NACHWEIS“

- Nachweisblatt
  - Anlagensteckbrief
  - ggf. berücksichtigte Niederfrequenzanlagen
- Datenblätter zu jeder betrachteten Niederfrequenzanlage
  - Bezeichnung
  - Elektrische und geometrische Parameter aller Systeme
  - Mastskizze mit Maßen, Phasenfolge und Systemzuordnung
- Kartographische Darstellung des Nachweisorts in Lageplanausschnitt in 1:2000



DARSTELLUNG DER VORSORGEMAßNAHMEN
IMMISSIONSSCHUTZBERICHT

- Rechtlicher Anforderungen
- Allgemeines zu elektrischen und magnetischen Felder und Gesundheit
  - Was ist Grundlage der Verordnung?
  - Was ist ein Elektrisches, was ein magnetisches Feld?
- Auswahl der Nachweiseorte (Immissionsorte)
- Auswahl der Minimierungsorte
- Darstellung der EMF-Optimierungsmaßnahmen
- Einordnung der Ergebnisse



VORSORGEANFORDERUNGEN AN FREILEITUNGEN
§ 4 Abs. 2 der 26. BImSchV i.V.m. der 26. BImSchVVwV

Reduktion der elektrischen und magnetischen Felder

- Abstandsoptimierung
  - Erhöhen des Seilbodenabstands
  - Führung der Systeme auf Minimierungsort abgewandten Traversen
- Elektrische Schirmung
- Minimieren der Seilabstände
  - Abstände zwischen den Seilen
- Optimieren der Mastkopfgeometrie
  - „Grundsätzlich vertikale Anordnung der Außenleiter günstiger“
- Optimieren der Phasen- bzw. Polanordnung

Aber auch:

- Verhältnismäßigkeit zwischen Aufwand und Nutzen wahren
- nachteilige Auswirkungen auf Schutzgüter berücksichtigen

VORSORGEANFORDERUNGEN AN FREILEITUNGEN
ÜBERSPANNUNGSVERBOT

- Unzulässig: Überspannungen durch Freileitungen mit 220 kV und höher in neuer Trasse
  - Kann per Ausnahme zugelassen werden
- Weiterhin zulässig:
  - Im Rahmen der zulässigen Abstände: Unterbauung einer bestehenden Freileitung
  - Überspannungen bei Ersatzneubau in bestehender Trasse
    - ggf. Ausnahme notwendig

EINWENDUNGEN IN GENEHMIGUNGSVERFAHREN

EMF IN GENEHMIGUNGSVERFAHREN

- Frühe Öffentlichkeitsbeteiligung (vor dem Verfahren)
  - Zu EMF werden häufig Fragen gestellt

- In Einwendungen und öffentlicher Anhörung
  - Sorgen und Ängste vor schädlichen Wirkungen von EMF werden häufig formuliert

- Im Klageverfahren
  - Wird zum Teil auf Wunsch der Kläger vorgetragen
  - Grenzwerte sind als Ausgestaltung der Schutzpflicht des Verordnungsgebers bestätigt – Zweifel an der Wirksamkeit der Schutzmaßnahme unbegründet
  - Gerichtlich ungeklärt: „Was ist eine bestehende Trasse i.S.d. 26. BImSchV?“

„Der Verordnungsgeber verfügt bei der Erfüllung seiner Schutzpflicht für die menschliche Gesundheit über einen weiten Einschätzungs-, Wertungs- und Gestaltungsspielraum, der auch Raum lässt, konkurrierende öffentliche und private Interessen zu berücksichtigen.“

„Die Grenzwerte der 26. BImSchV (1996) verhindern wirksam akute Beeinträchtigungen der Gesundheit. Der Verordnungsgeber hat bei der Novelle zur 26. BImSchV (Art. 1 der Verordnung vom 14. August 2013 - BGBl I S. 3259) an dem Grenzwert für die elektrische Feldstärke und die magnetische Flussdichte festgehalten [...]. Er beruft sich dabei auf Empfehlungen der 2010 veröffentlichten Guidelines der International Commission on non-Ionizing radiation protection (ICNIRP) [...].“

— BVerwG, Beschluss v. 26.09.2013 – 4 VR 1.13 – Rn 34 u. 35

VERANSTALTUNGEN BEGLEITEN GENEHMIGUNGSVERFAHREN

WER MACHT WAS BEIM THEMA „GRENZWERTE?“

- Die gesetzlichen Grenzwerte sind in der 26. Verordnung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) festgeschrieben.

KOMMUNIKATION ZUM THEMA
ELEKTRISCHE UND MAGNETISCHE FELDER UND GESUNDHEIT

BEGLEITEND ZU GENEHMIGUNGSVERFAHREN

- Infomarkt
  - Nach Projektstand mit allgemeinen oder projektspezifischen Informationen
- Raumordnung bzw. Bundesfachplanung
- Planfeststellungsverfahren
  - Beantwortung von Fragen zum Themenkomplex von „EMF und Gesundheit“ in Einwendungen
  - Unterstützung der Verhandler:innen
  - Vorstellung der immissionsschutzrechtlichen Unterlagenteile am Erörterungstermin
  - ggf. Unterstützung im anschließenden Klageverfahren
- **Nach Absprache**: Messung bei Anwohner:innen

AUßERHALB ÖFFENTLICH-RECHTLICHER VERFAHREN

- Messungen bei Anwohner:innen auf Anfrage
  - Ermittlung der momentanen tatsächlichen Exposition
  - Individuelle Einordnung der tatsächlichen Exposition
  - Ermittlung theoretisch möglicher Exposition analog BImSchV-Nachweis

INFOMATERIAL
VON AMPRION UND DRITTEN

AMPRION

EMF-Foliensatz

AMPRION

Roll-Ups zum Thema EMF für u. a. Infomärkte

FORSCHUNGSSTELLE FÜR ELEKTROPATHOLOGIE (FFE)

Elektrische und magnetische Felder

Strom im Alltag
www.ffe-emf.de

AMPRION

YouTube Videos: auch zu EMF und Gesundheit

Entstehung und Wirkung in der Natur,
im Alltag und beim Stromtransport
www.youtube.com/@amprion_tso

EMPFEHLENSWERTE QUELLEN

EMF und Gesundheit in den Medien

Internet streaming Plattformen

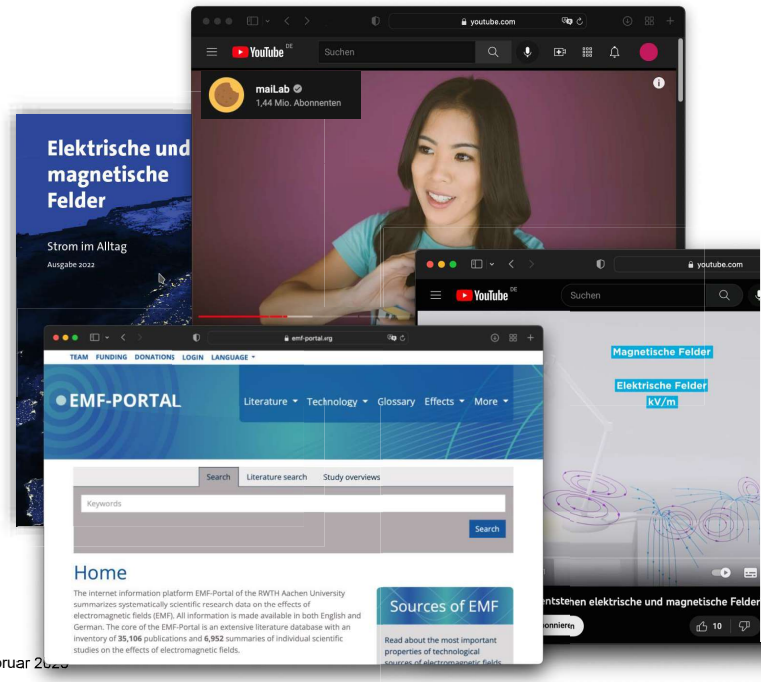
- YouTube (Amprion_tso, kurzgesagt)

Öffentlich-rechtlicher Rundfunk

- Fernsehen (WDR, ZDF)
- Internet streaming Plattformen, insbesondere YouTube: maiLab, Quarks, Prof. Harald Lesch

Unabhängige Institute

- FfE Broschüre “Elektrische und magnetische Felder im Alltag”
- emf-portal.org der RWTH Aachen
- Deutsche Strahlenschutzkommission (SSK)
- Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)



DANKE

UNIKLINIK RWTH AACHEN
Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin

femu
Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit

Gesundheitliche Wirkungen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder

Dr. Sarah Drießen
Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (*femu*)
Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Uniklinik RWTH Aachen

Emissionen beim Stromtransport
TU Graz, 28. Februar 2023

Inhalt

UNIKLINIK RWTH AACHEN
femu

- Einführung *femu*
- Wirkungen oberhalb der Grenzwerte
- Bewertung von Wirkungen (Hintergrund)
- Wirkungen unterhalb der Grenzwerte
- Wirkungen auf Implantate
- Forschungsprogramm „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ (BfS)
- Zusammenfassung

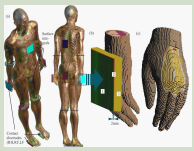
Struktur

Uniklinik RWTH Aachen

Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin

Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (*femu*)

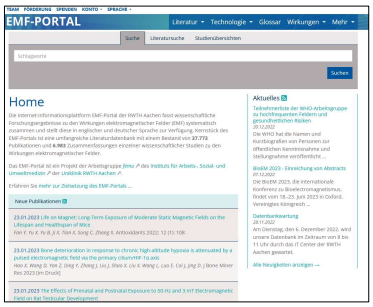
EMF-Portal | Implantate | Perzeption | Dosimetrie



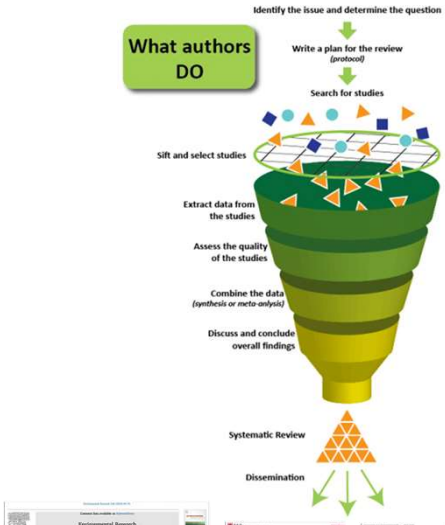
EMF-Portal

Internet-Informations-Plattform und Literaturdatenbank mit wissenschaftlichen Studien zu den gesundheitsrelevanten Wirkungen hoch- und niederfrequenter elektromagnetischer Felder

- Informationen für Wissenschaftler
- Informationen für Laien und interessierte Bürger
- Anlaufstelle für Presse und Medien



EMF-Portal - Systematische Reviews

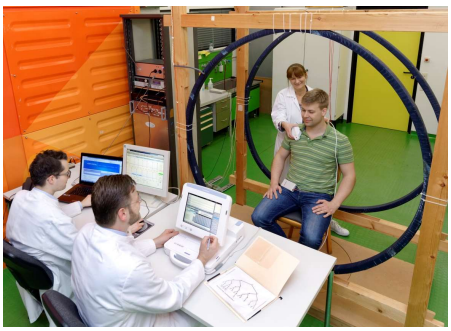


Seite 5

Klinische Forschung

Beeinflussung von kardialen Implantaten durch elektrische und magnetische Felder

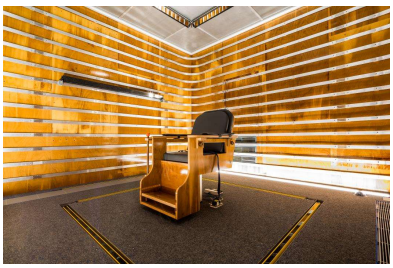
- Bestimmung von Implantat-Störschwellen
- Durchführung von Benchmarktests, Phantom-Untersuchungen und Provokationsstudien



Experimentelle Forschung

Bestimmung Perzeptionsschwelle in elektrischen Feldern

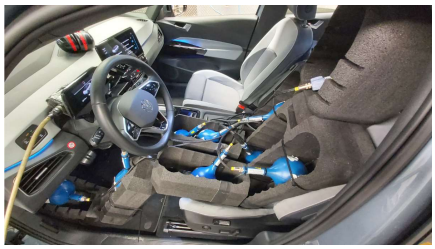
Vortrag Dr. Michael Kursawe



Messungen und Dosimetrie

Verbundprojekt zur systematischen Erforschung von Immissionen der Elektromobilität

- Bestimmung von Expositionen bei magnetischen Feldern der Elektromobilität
  - Bestimmung der Exposition durch elektrisches Fahren (Messung und Simulationen)
  - Bestimmung der Exposition durch konduktives (und ggf. induktives) Laden (Messung und Simulationen)
- Projektpartner: ADAC und Seibersdorf Labor GmbH



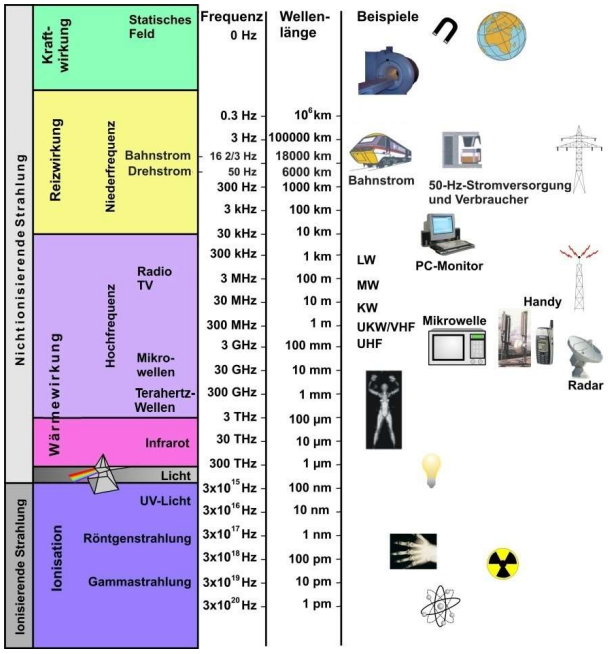
SEIBERSDORF LABORATORIES

ADAC

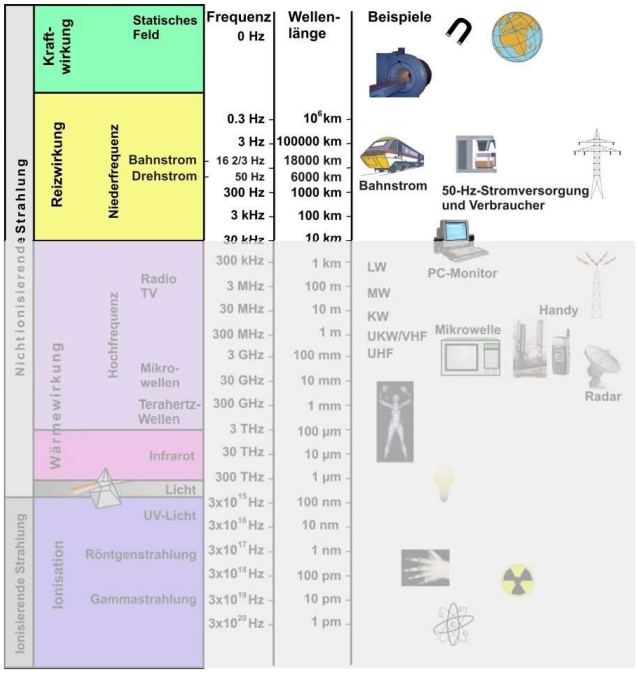
Inhalt

- Einführung *femu*
- Wirkungen oberhalb der Grenzwerte
- Bewertung von Wirkungen (Hintergrund)
- Wirkungen unterhalb der Grenzwerte
- Wirkungen auf Implantate
- Forschungsprogramm „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ (BfS)
- Zusammenfassung

Frequenzspektrum

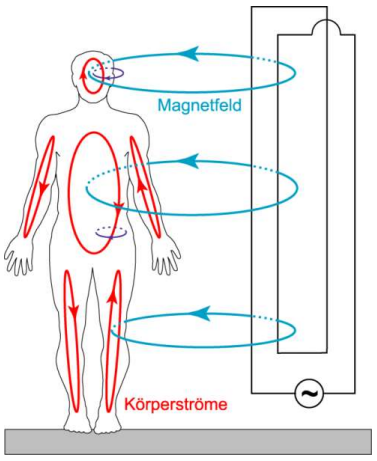


Niederfrequenz



Wirkungen elektrischer und magnetischer Felder

- Niederfrequente elektrische und magnetische Felder verursachen zusätzliche Ströme im Körper
- Magnetfelder können leicht den Körper durchdringen
- Elektrische Felder verursachen hauptsächlich elektrische Ladungseffekte an der Körperoberfläche



Wirkungen niederfrequenter Felder

- Erzeugung transienter Phosphene („Lichtflackern“) auf der Retina
- Stimulation des Zentralnervensystems und der peripheren Nerven
- Induktion von Nervenimpulsen und Muskelkontraktionen

Referenzwerte für die Allgemeinheit

Deutsche Grenzwerte der 26. BImSchV (für ortsfeste Anlagen) beruhen auf Empfehlungen der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP)

Frequenz (f) in Hertz (Hz)	Grenzwerte	
	Elektrische Feldstärke in Kilovolt pro Meter (kV/m) (effektiv)	Magnetische Flussdichte in Mikrotesla (µT) (effektiv)
0	-	500
1 - 8	5	$40\,000/f^2$
8 - 25	5	5 000/f
25 - 50	5	200
50 - 400	250/f	200
400 - 3 000	250/f	80 000/f
3 000 - 10 000 000	0,083	27

Frequenz (f) in Megahertz (MHz)	Grenzwerte, quadratisch gemittelt über 6-Minuten-Intervalle	
	Elektrische Feldstärke in Volt pro Meter (V/m) (effektiv)	Magnetische Feldstärke in Ampere pro Meter (A/m) (effektiv)
0,1 - 1	87	0,73/f
1 - 10	$87/f^{1/2}$	0,73/f
10 - 400	28	0,073
400 - 2 000	$1{,}375\ f^{1/2}$	$0{,}0037\ f^{1/2}$
2 000 - 300 000	61	0,16

Wirkungen unterhalb der Grenzwerte?

- Zunahme elektromagnetischer Felder in der Umwelt durch
  - Handys, Mobilfunk-Basisstationen
  - neue Techniken (Body Scanner, Elektromobilität, RFID, Hochspannungsgleichstrom-Übertragung (HGÜ)…)
  - und Zunahme von Ko-Expositionen
- viele inkonsistente Ergebnisse; widersprüchliche Ergebnisse unterschiedlicher Studien
- fehlende Wirkungsmechanismen
- insgesamt dünne Datenlage im Bereich der Zwischenfrequenzen und Millimeterwellen (5G)

Inhalt

- Einführung *femu*
- Wirkungen oberhalb der Grenzwerte
- Bewertung von Wirkungen (Hintergrund)
- Wirkungen unterhalb der Grenzwerte
- Wirkungen auf Implantate
- Forschungsprogramm „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ (BfS)
- Zusammenfassung

Bewertung von Wirkungen

„Der Wissenschaftler muss darauf achten, dass er bei der Weitergabe wissenschaftlicher Informationen alle verfügbaren Befunde vorlegt, selbst wenn manche Untersuchungen zu entgegengesetzten Resultaten gelangen."

(aus: WHO Handbuch „Herstellen eines Dialogs über die Risiken elektromagnetischer Felder, 2002, S. 37 f)

Studientypen

Studientypen – Epidemiologische Studien

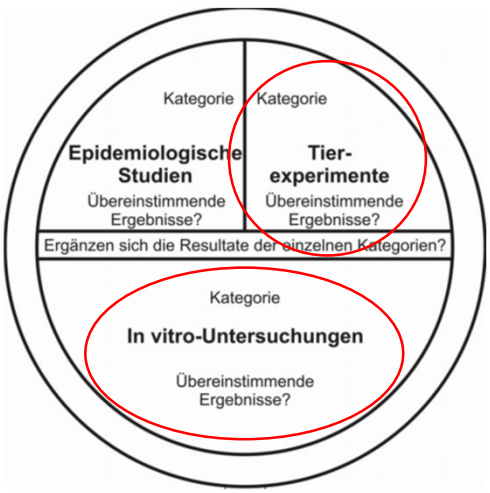
Epidemiologische Studien

- Vorteil
  - direkter Bezug zum Menschen
  - Untersuchung des Auftretens von Krankheiten in der Bevölkerung sowie deren Ursachen
  - Generierung von Hypothesen
- Nachteil
  - können stark durch Bias (systematischer Fehler) beeinflusst sein
  - oft unzureichende retrospektive Datensammlung
  - große Stichprobe notwendig bei seltenen Erkrankungen und schwachen Effekten
  - Wirkmechanismen können nicht untersucht werden

Studientypen – Experimentelle Studien

Experimentelle Studien

- Vorteil
  - Standardisierung von Exposition und Methoden möglich
  - ausreichend große Gruppenbildung möglich
  - Wirkmechanismen können untersucht werden
- Nachteil
  - Fehlender Bezug zum Menschen (Übertragbarkeit der Ergebnisse)



Bewertungsprozess

- Zeitaufwendiger Prozess
- Konsistente Ergebnisse in verschiedenen Studien-Kategorien erforderlich
- Expertengremien bewerten die Studienlage, z.B. Wissenschaftler:innen, WHO, IARC, ICNIRP, ANSI/IEEE, SSK

➔ Empfehlung von Grenzwerten

Bewertungsprozess Vorgehen bei ICNIRP

1. Review der wissenschaftlichen Literatur
2. Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors
3. Festlegung von Basisgrenzwerten für berufliche Exposition
4. Zusätzlicher Sicherheitsfaktor
5. Festlegung von Basisgrenzwerten für die Allgemeinheit

Inhalt

- Einführung *femu*
- Wirkungen oberhalb der Grenzwerte
- Bewertung von Wirkungen (Hintergrund)
- Wirkungen unterhalb der Grenzwerte
- Wirkungen auf Implantate
- Forschungsprogramm „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ (BfS)
- Zusammenfassung

Wirkungen unterhalb der Grenzwerte

Gibt es Wirkungen unterhalb der Grenzwerte?

Diskutierte Wirkungen im Niederfrequenz-Bereich

Kinderleukämie

- insgesamt seltene Erkrankung (4-5 Fälle/100.000 Kinder <15 Jahre; d.h. in Deutschland 600 Neuerkrankungen/Jahr) mit meist (90%) unbekannter Ursache
- konsistente Hinweise auf ein höheres Risiko unter Magnetfeld-Exposition (in epidemiologischen Studien)
- 1% der Fälle möglicherweise verursacht durch Magnetfeld-Exposition
- in Deutschland: möglicherweise 6 Kinder/Jahr aufgrund der Exposition bei Magnetfeldern >0,3-0,4 µT (chronische Exposition; zeitlich-gemittelt)
- IARC (International Agency for Research on Cancer) klassifizierte niederfrequente Magnetfelder als möglicherweise krebserregend (Gruppe 2B)

ABER

- bisher kein Wirkungsmechanismus (in experimentellen Studien)

Diskutierte Wirkungen im Niederfrequenz-Bereich

Neurodegenerative Erkrankungen

- Amyotrophe Lateralsklerose (ALS) und Alzheimer: Hinweise auf ein erhöhtes Risiko für beruflich stark exponierte Personen
- Schwer zu untersuchen, da keine offiziellen Register
- Expositionsabschätzung schwierig
- Diagnose schwierig
- Forschung läuft, z.B. gefördert vom Bundesamt für Strahlenschutz

Diskutierte Wirkungen im Niederfrequenz-Bereich

Andere Wirkungen, z.B. auf

- andere Krebsarten
- Nervensystem und Verhalten
- neuroendokrines System
- kardiovaskuläres System
- Immunsystem
- Reproduktionssystem

⇒ nur wenige Hinweise
⇒ sehr heterogene Daten

Elektrosensibilität (alle Frequenzbereiche)

- verschiedene unspezifische Symptome (Kopfschmerzen, Schlafstörungen, Schwindel, Müdigkeit…) in Verbindung mit unterschiedlichen Expositionsquellen (Handys, Mobilfunkmasten, Hochspannungsleitungen, Radar, Haushaltsgeräte)
- einige Personen weisen Symptome nur mit einer bestimmten Feldquelle auf; andere dagegen sind empfindlich gegenüber verschiedenen Feldquellen
- 1,5 % bis 3,2 % der Allgemeinbevölkerung betroffen
- gemäß der WHO gibt es für Elektrosensibilität keine eindeutigen Diagnose-Kriterien
- kein anerkanntes medizinisches Krankheitsbild
- es gibt weder einen bekannten biologischen Marker noch diagnostischen Test
- experimentelle Hinweise auf Nocebo-Effekt (Symptome werden durch negative Erwartungen verursacht)

Elektrosensibilität (alle Frequenzbereiche)

ABER

- Hinweise in früheren Studien, dass einzelne Patienten die Felder gut wahrnehmen konnten

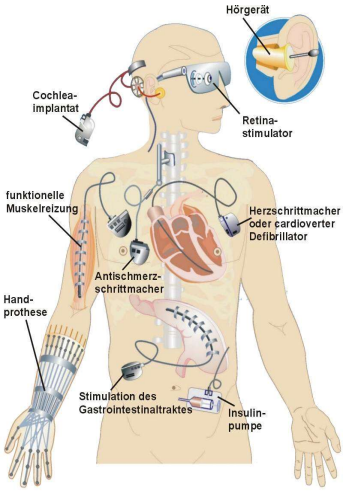
- Schwachpunkte in früheren Studien, z.B.
  - Auswahl der Patienten häufig ohne ausreichende Anamnese
  - Beobachtungszeitraum ggf. zu kurz
  - Symptom-Abfrage nicht an Patienten orientiert
  - Intervall zwischen Exposition und Schein-Exposition ggf. zu kurz
  - keine Replikation
  - Auswertung selten auf individueller Ebene

Inhalt

- Einführung *femu*
- Wirkungen oberhalb der Grenzwerte
- Bewertung von Wirkungen (Hintergrund)
- Wirkungen unterhalb der Grenzwerte
- Wirkungen auf Implantate
- Forschungsprogramm „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ (BfS)
- Zusammenfassung

Wirkungen auf Implantate

- **Passive Implantate** (z.B. Schienen, Herzklappen, Nägel)
- **Aktive Implantate** (z.B. Herzschrittmacher, Defibrillatoren)
- Elektromagnetische Interferenzen grundsätzlich möglich



Wirkung auf passive Implantate

Statische Felder	Üben Kraftwirkung auf Implantate aus, die ferromagnetische Bestandteile enthalten
Niederfrequente Felder	Induzieren Körperströme, die sich an kleinen oder spitzen metallischen Strukturen von Implantaten überhöhen
Hochfrequente Felder	Koppeln Energie in das Implantat ein und können das Implantat erwärmen

Kardiale Implantate

Statische Felder	ab 1 mT Auslösung des Magnetmodus HSM: Asynchrone Stimulation ICD: Deaktivierung der Schock-Funktion
Niederfrequente Felder	Induzierte Körperströme überlagern körpereigene Signale ➔ Störung der Wahrnehmung ➔ Fehlreaktionen möglich ➔ Herzklopfen, Schwindel, Bewusstlosigkeit
Hochfrequente Felder	Koppeln Energie in das Implantat ein und können das Implantat erwärmen und induzierte Körperströme überlagern körpereigene Signale ➔ Implantat kann Störsignal durch Filter dämpfen ➔ Fehlreaktionen nur bei starken Feldern möglich

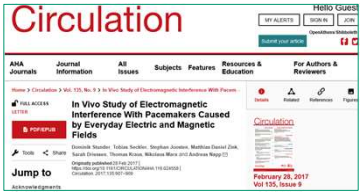
Wirkungen auf kardiale Implantate

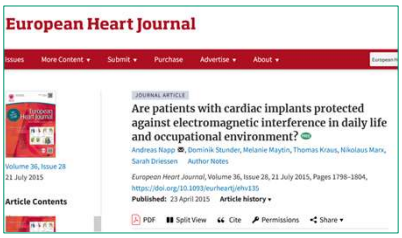
Ergebnisse der Provokationsstudie in Aachen

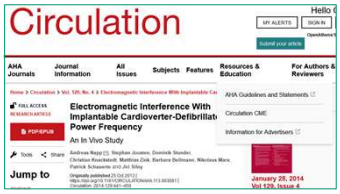
- Bei beruflichen Grenzwerten (2550 µT, 30 kV/m nach DGUV 15):
  Bis zu **35,5 % ICDs** und bis zu **71,9 % HSM gestört** (bei max. Empfindlichkeit)
- Bei Grenzwerten für Allgemeinbevölkerung (100 µT, 5 kV/m nach 26. BImSchV):
  Keine Störung von ICDs und HSM bei normaler Empfindlichkeits-Einstellung
  Keine Störung von ICDs bei max. Empfindlichkeits-Einstellung
  8,7 % HSM gestört bei max. Empfindlichkeits-Einstellung

Störungen vor allem im beruflichen Umfeld und bei max. Empfindlichkeit möglich

Wirkungen auf kardiale Implantate - Publikationen







Inhalt

- Einführung *femu*
- Wirkungen oberhalb der Grenzwerte
- Bewertung von Wirkungen (Hintergrund)
- Wirkungen unterhalb der Grenzwerte
- Wirkungen auf Implantate
- Forschungsprogramm „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ (BfS)
- Zusammenfassung

Forschungsprogramm „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“

- Forschungsprogramm vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)
- Ziel: Klärung von Fragen zu möglichen gesundheitlichen Wirkungen unterhalb der bestehenden Grenzwerte
- 10 Themenfelder mit 39 einzelnen Forschungsvorhaben
- mehr als die Hälfte der Projekte laufen oder sind abgeschlossen
- Themenfelder
  - neurodegenerative Erkrankungen
  - Wahrnehmungs- und Wirkschwellen
  - Leukämie im Kindesalter
  - Kokanzerogenität
  - Fehlgeburten, Korona-Ionen
  - Expositionsanalyse
- Ausführliche Informationen unter https://www.bfs.de/DE/themen/emf/kompetenzzentrum/berichte/berichte-veranstaltungen/fachgespraech-stromnetze-mobilfunk.html

Inhalt

- Einführung *femu*
- Wirkungen oberhalb der Grenzwerte
- Bewertung von Wirkungen (Hintergrund)
- Wirkungen unterhalb der Grenzwerte
- Wirkungen auf Implantate
- Forschungsprogramm „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ (BfS)
- Zusammenfassung

Diskutierte Wirkungen - Zusammenfassung

- Nur schwache Evidenz für gesundheitlich relevante Wirkungen unterhalb der Grenzwerte
- Sehr heterogene Daten
- Viele inkonsistente, widersprüchliche Ergebnisse unterschiedlicher Studien
- Fehlende Wirkungsmechanismen

Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin

Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr. rer. nat. Sarah Drießen
Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (*femu*)
Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin
Uniklinik RWTH Aachen
Pauwelsstraße 30
52074 Aachen

E-Mail: driessen@femu.rwth-aachen.de

EMF-Portal: www.emf-portal.org
https://www.femu.de

UNIKLINIK RWTH AACHEN
Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin

femu
Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit

Menschliche Wahrnehmung elektrischer Gleich- und Wechselspannungsfelder

Fachtagung „Emissionen beim Stromtransport“

An der Technischen Universität Graz

28. Februar 2023 in Graz

Dr. Michael Kursawe
Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu)
Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin
Uniklinik RWTH Aachen

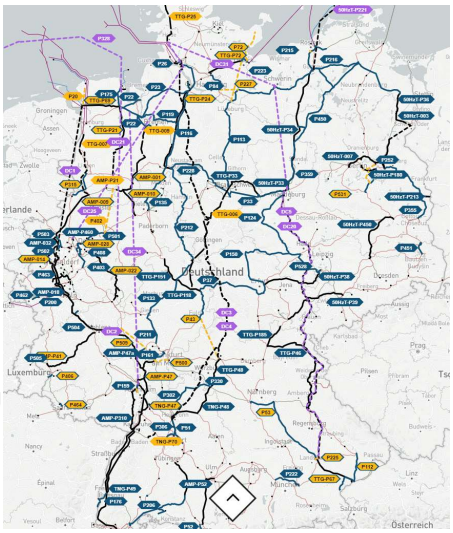
UNIKLINIK RWTH AACHEN
femu

Hintergrund

- Strombedarf in Deutschland steigt, Atom- und Kohleausstieg stehen bevor.
- Verteilungsproblem: Erzeugte Energie in der Nordsee muss in die Ballungszentren transportiert werden.

→ Netzentwicklungsplan Strom 2035 [1]

- Neben dem Ausbau bestehender Wechselstromverbindungen (AC) befinden sich Leitungen mit Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ; DC) im Bau. Diese werden vereinzelt mit AC-Leitungen kombiniert (Hybrid).



[1] www.netzentwicklungsplan.de

Hintergrund

- Zur Verhinderung gesundheitsschädlicher Effekte durch elektrische Felder (EF) existieren teilweise Grenzwerte:
  - AC: 5 Kilovolt pro Meter (kV/m) (ICNIRP) [2]
  - DC: Keine Grenzwerte vorhanden
  - Hybrid: Keine Grenzwerte vorhanden
- Wahrnehmung EF und dadurch erzeugter Korona Ionen als wichtiger Faktor in direkter Umgebung von Übertragungstrassen (Anwohner, Spaziergänger, beruflicher Kontext).

[2] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guide- lines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). Health Phys. 2010;99(6):818–36

Hintergrund

- Basierend auf bestehender Forschung [3,4] wurde ein Forschungslabor erbaut [5] um folgende Themen zu untersuchen:

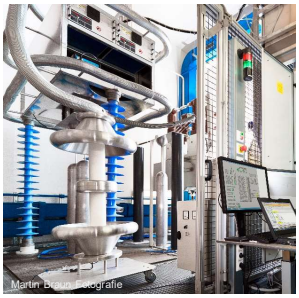
1. Wahrnehmungsschwellen von elektrischen DC, AC und Hybrid-Feldern [6]
2. Einfluss der AC- [7] und DC- [8] Komponente auf die Wahrnehmung elektrischer Hybrid-Felder
3. Einfluss Umgebungsfaktoren (rel. Luftfeuchtigkeit) auf die Wahrnehmung EF [5,6,8]
4. Beeinflussung der Wahrnehmung EF durch individuelle Faktoren (Haut, Haare…) [5-8]

[3] Blondin, J. *et al.* Human perception of electric fields and ion currents associated with high-voltage DC transmission lines. *Bioelectromagnetics* 17, 230–241 (1996)
[4] Nguyen D. H., Maruvada P. S. An Exposure Chamber for Studies on Human Perception of DC Electric Fields and Ions. *IEEE Trans Power Deliv.* 1994;9(4):2037–45
[5] Jankowiak, K., Driessen, S., Kaifie, A., Kimpeler, S., Krampert, T., Kraus, T., … Kursawe, M. (2021). Identification of Environmental and Experimental Factors Influencing Human Perception of DC and AC Electric Fields. *Bioelectromagnetics*, 42(5), 341–356
[6] Kursawe, M., Stunder, D., Krampert, T., Kaifie, A., Drießen, S., Kraus, T., & Jankowiak, K. (2021). Human detection thresholds of DC, AC, and hybrid electric fields: a double-blind study. *Environmental Health*, 20(1), 92.
[7] Jankowiak, K., Kaifie, A., Krampert, T., Kraus, T., & Kursawe, M. (2022). The role of the AC component in human perception of AC–DC hybrid electric fields. *Scientific Reports*, 12(1), 3391
[8] aktuelles Projekt: Human perception thresholds and underlying mechanisms in static and low-frequency electric fields (funding: BfS; 3621SNA401)

UNIKLINIK RWTH AACHEN

femu

Methode



- Expositionslabor [5]:
  - Ganzkörperexposition EF mit doppelblinder Versuchsanordnung
  - DC: 0–50 kV/m (Ionenstromdichte bis 460 nA/m^2); AC: 0–30 kV/m; hybrid: 0–50 kV/m (Kombination AC und DC)
  - Relative Luftfeuchtigkeit anpassbar auf 30%, 50% oder 70%, Temperaturbereich 18–25 °C.
  - Umfangreiches Sicherheitskonzept (Lichtschranken, Kontaktschalter, Not-Aus)

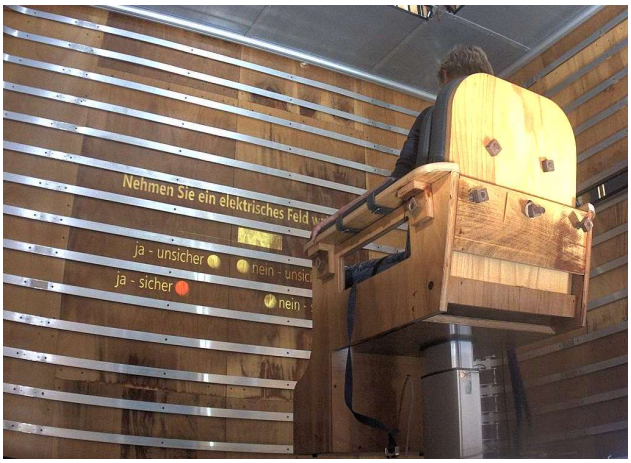
[5] Jankowiak, K., Driessen, S., Kaifie, A., Kimpeler, S., Krampert, T., Kraus, T., … Kursawe, M. (2021). Identification of Environmental and Experimental Factors Influencing Human Perception of DC and AC Electric Fields. *Bioelectromagnetics*, 42(5), 341–356.

UNIKLINIK RWTH AACHEN

femu

Methode

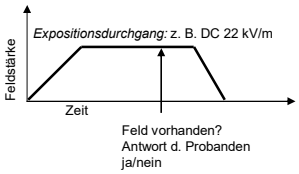
- Subjektive Empfindungen (u.a.):
  - Angenehmes Kribbeln
  - Leichtes Jucken
  - Gänsehaut
  - Leichte Vibration
  - Stechen
  - Kühlend

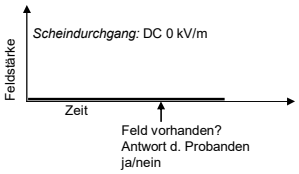


[5] Jankowiak, K., Driessen, S., Kaifie, A., Kimpeler, S., Krampert, T., Kraus, T., … Kursawe, M. (2021). Identification of Environmental and Experimental Factors Influencing Human Perception of DC and AC Electric Fields. *Bioelectromagnetics*, 42(5), 341–356.

Methode

- SDT (Signalentdeckungstheorie) [9]: 50% Expositions-, 50% Scheindurchgänge





	Feld anwesend	Feld abwesend
Antwort: ja	hit	false alarm
Antwort: nein	miss	correct rejection

Sensitivität $d' = z(\text{hit}) - z(\text{false alarm})$

d'	Diskriminationsleistung
<1	keine
1-2	moderat
2-3	gut
>3	hervorragend

[9] Green, D. M. & Swets, J. A. Signal Detection Theory and Psychophysics (Wiley, 1966).

1. Wahrnehmungsschwellen von elektrischen DC-, AC- und Hybrid-Feldern

- 203 Proband*innen wurden jeweils einen Tag untersucht (relative Luftfeuchtigkeit = 50%, 22 °C) [6].

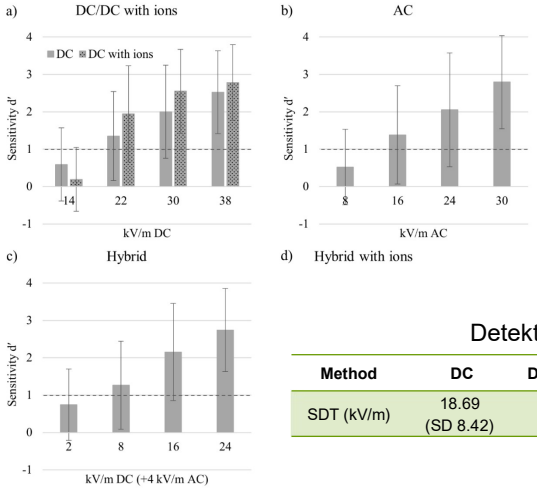
Altersgruppe	20 – 34 Jahre		35 – 49 Jahre		50 – 64 Jahre		65 – 79 Jahre	
Geschlecht	m	w	m	w	m	w	m	w
Ø Alter (SD)	25,44 (3,39)	24,96 (3,33)	41,84 (4,96)	42,83 (4,45)	57,39 (4,53)	54,84 (4,17)	70,16 (3,73)	70,16 (3,73)
n	25	26	25	24	28	25	25	25

- Ausschlusskriterien (u. a.):

  Elektrosensibilität; elektronische Implantate; nicht entfernbare Piercings; Haut-, neurologische-, psychische Erkrankungen; Diabetes; psychoaktive Arzneimittel; Klaustrophobie; Schwangerschaft.

[6] Kursawe, M., Stunder, D., Krampert, T., Kaifie, A., Drießen, S., Kraus, T., & Jankowiak, K. (2021). Human detection thresholds of DC, AC, and hybrid electric fields: a double-blind study. *Environmental Health*, 20(1), 92.

1. Wahrnehmungsschwellen von elektrischen DC-, AC- und Hybrid-Feldern



Detektionsschwellen

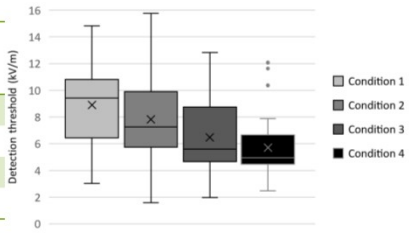
Method	DC	DC with ions	AC	Hybrid
SDT (kV/m)	18.69 (SD 8.42)	18.22 (SD 5.65)	14.16 (SD 7.96)	6.76 (SD 6.26) DC + 4 AC

[6] Kursawe, M., Stunder, D., Krampert, T., Kaifie, A., Drießen, S., Kraus, T., & Jankowiak, K. (2021). Human detection thresholds of DC, AC, and hybrid electric fields: a double-blind study. *Environmental Health*, 20(1), 92.

2. Einfluss der AC- und DC-Komponente auf die Wahrnehmung elektrischer Hybrid-Felder

- 51 Proband*innen mit überdurchschnittlicher Wahrnehmungsleistung wurden erneut untersucht unter 50% rel. Luftfeuchtigkeit und 22 °C [7].
  - Kombinierte EF aus AC und DC wurde berechnet.

	AC EF strength (kV/m)	DC EF strength (kV/m)	Total EF strength (kV/m)
Condition 1	1	1, 2, 4, 8, or 16	1.41, 2.24, 4.12, 8.06, 16.03
Condition 2	2	1, 2, 4, 8, or 16	2.24, 2.83, 4.47, 8.25, 16.12
Condition 3	3	1, 2, 4, 8, or 16	3.16, 3.61, 5.00, 8.54, 16.28
Condition 4	4	1, 2, 4, 8, or 16	4.12, 4.47, 5.66, 8.94, 16.49

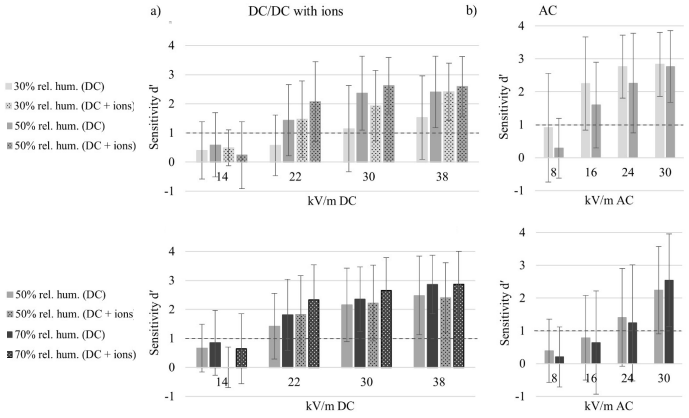


- Wahrnehmungsschwellen wurden geringer mit steigendem AC-Anteil.
- Aktuelles Projekt: Untersuchung des Einflusses der DC-Komponente auf die Wahrnehmung elektrischer Hybrid-Felder [8].

[7] Jankowiak, K., Kaifie, A., Krampert, T., Kraus, T., & Kursawe, M. (2022). The role of the AC component in human perception of AC–DC hybrid electric fields. *Scientific Reports*, 12(1), 3391
[8] aktuelles Projekt: Human perception thresholds and underlying mechanisms in static and low-frequency electric fields (funding: BfS; 3621SNA401)

3. Einfluss Umgebungsfaktoren (rel. Luftfeuchtigkeit) auf die Wahrnehmung elektrischer Felder

- Zwei Gruppen n = 24 (30% und 50% rel. Luftf.) und n = 25 (50% und 70% rel. Luftf.) wurden bei 22 °C untersucht [6].



[6] Kursawe, M., Stunder, D., Krampert, T., Kaifie, A., Drießen, S., Kraus, T., & Jankowiak, K. (2021). Human detection thresholds of DC, AC, and hybrid electric fields: a double-blind study. *Environmental Health*, 20(1), 92.

4. Beeinflussung der Wahrnehmung elektrischer Felder durch individuelle Faktoren (Haut, Haare…)

- Kein Zusammenhang zwischen individueller Hautfeuchtigkeit und der Wahrnehmungsleistung elektrischer Felder [6,7].
- Vibrotaktiles Empfinden (rechter Zeigefinger) bei 31 und 64 Hz korreliert mit der Wahrnehmungsleistung von AC und Hybrid-Feldern [6]. Keine Replikation dieses Ergebnisses [7].
- Zusammenhang zwischen Haarcharakteristiken und Wahrnehmungsleistung elektrischer Felder konnte gezeigt werden [10–12].
- Aktuelles Projekt: Detaillierte Vermessung der Haare bzw. Entfernung der Kopf- und Körperhaare [8].

[6] Kursawe, M., Stunder, D., Krampert, T., Kaifie, A., Drießen, S., Kraus, T., & Jankowiak, K. (2021). Human detection thresholds of DC, AC, and hybrid electric fields: a double-blind study. *Environmental Health*, 20(1), 92.
[7] Jankowiak, K., Kaifie, A., Krampert, T., Kraus, T., & Kursawe, M. (2022). The role of the AC component in human perception of AC–DC hybrid electric fields. *Scientific Reports*, 12(1), 3391
[8] aktuelles Projekt: Human perception thresholds and underlying mechanisms in static and low-frequency electric fields (funding: BfS; 3621SNA401)
[10] Kato M., Ohta S., Shimizu K., Tsuchida Y., Matsumoto G. Detection-threshold of 50-Hz electric fields by human subjects. *Bioelectromagnetics*. 1989;10(3):319–27.
[11] Odagiri-Shimizu H., Shimizu K. Experimental analysis of the human perception threshold of a DC electric field. *Med Biol Eng Comput*. 1999;37(6):727–32.
[12] Chapman CE, Blondin JP, Lapierre AM, Nguyen DH, Forget R, Plante M, et al. Perception of local DC and AC electric fields in humans. *Bioelectromagnetics*. 2005;26(5):357–66.

4. Beeinflussung der Wahrnehmung elektrischer Felder durch individuelle Faktoren (Haut, Haare…)

speed * 0.125 Hybrid (DC 20 kV/m; AC 10 kV/m)

Zusammenfassung

- Niedrigere Wahrnehmungsschwellen in elektrischen Hybrid-Feldern → Synergieeffekt von AC und DC auf die menschliche Wahrnehmung.
- Stärkere AC Komponente führt zu einer verringerten Schwelle in der Wahrnehmung von Hybrid-Feldern → Verstärkender Effekt von AC auf die Wahrnehmung von Hybrid-Feldern.
- Veränderung der relativen Luftfeuchtigkeit interagiert mit Wahrnehmung verschiedener Feldarten:
  - Hohe relative Luftfeuchtigkeit → bessere Wahrnehmungsleistung in DC EF, geringere Wahrnehmungsleistung in AC EF.
  - Geringe relative Luftfeuchtigkeit → geringere Wahrnehmungsleistung in DC EF, bessere Wahrnehmungsleistung in AC EF.
- Individuelle Faktoren können Wahrnehmung beeinflussen → in aktuellen Projekten werden mögliche Effekte untersucht.

UNIKLINIK RWTH AACHEN
Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin

femu
Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit

Dr. Michael Kursawe

Dr. Kathrin Jankowiak

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt: kursawe@femu.rwth-aachen.de

Kooperationspartner:

IAEW High Voltage Equipment & Grids, Digitalization & Energy Economics | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Förderung publizierter Projekte:

50hertz | amprion | TenneT | TRANSNET BW

Förderung aktueller Projekte:

BfS Bundesamt für Strahlenschutz

FfE Forschungsstelle für Elektropathologie

ONZ & PARTNER RECHTSANWÄLTE

VERBINDLICHE FESTLEGUNGEN FÜR EMF IN ÖSTERREICH?

Fachtagung
„Emissionen beim Stromtransport“

An der Technischen Universität Graz

Mag. Dr. Christian Onz
Onz & Partner Rechtsanwälte GmbH

28. Februar 2023

ONZ & PARTNER RECHTSANWÄLTE

(1) Einleitung

Begrenzung des elektrischen und des magnetischen Feldes in der Genehmigungsentscheidung für die 380 kV-Salzburgleitung

- Hintergrund:
Hintanhaltung einer Gesundheitsgefährdung (§ 7 StWG 1968, § 17 Abs 2 lit a UVP-G 2000) und unzumutbarer Belästigungen der Nachbarn (§ 17 Abs 2 lit c UVP-G 2000)

ONZ & PARTNER RECHTSANWÄLTE

(2) Einreichunterlagen

- **Planungsgrundsatz:**
  - Begrenzung des elektrischen Felds mit 5 kV/m
  - Begrenzung des magnetischen Felds mit 100 µT gemäß damaliger ICNIRP-Festlegung
  - Zusätzlich: Vorsorgewert von 1 µT, abgeleitet aus der Schweizer NISV; Vorsorgewert ist kein Grenzwert

ONZ & PARTNER RECHTSANWÄLTE

(3) Gegengerichtete Argumente 1

- **BioInitiative Report 2012**
  - Wissenschaftliche Gremien von Regierung und Industrie beeinflusst
  - Bestehende Grenzwerte mehr als 1.000-fach zu hoch
  - Bestehende Grenzwerte daher unzureichend, um Gesundheit der Bevölkerung zu schützen

ONZ & PARTNER RECHTSANWÄLTE

(4) Gegengerichtete Argumente 1

- **BioInitiative Report 2012**
  - Früherer Bericht aus 2007 mit ergänzenden Abschnitten aus 2012
  - Zusammenstellung von Einzelbeiträgen
  - Empfehlung für magnetisches Feld im Niederfrequenzbereich: 0,1 µT für neu errichtete Wohnbereiche und für bestehende Wohnbereiche sowie Aufenthaltsbereiche von Kindern und Schwangeren als Zielwert

ONZ & PARTNER RECHTSANWÄLTE

(5) Kritik am BioInitiative Report 2012

- **Stellungnahme Univ.-Prof. DI Dr. Leitgeb**
  - Inhomogener Aufbau
  - Fehlende didaktische Systematik
  - Selektive Vorgangsweise, „Results Picking“
  - Keine nachvollziehbare Evidenzbeurteilung
  - „*Konglomerat von alten und neuen Beiträgen einzelner Autoren mit übertriebener Redundanz.*“

(6) Gegengerichtete Argumente 2

- **EUROPAEM EMF-Leitlinie 2016**
  - EMF als „neue Exposition“ muss berücksichtigt werden
  - Langzeitexposition kann zu Krebs, Alzheimer und männlicher Unfruchtbarkeit führen
  - Elektromagnetische Hypersensitivität soll als Teil der chronischen Multisystemerkrankungen behandelt werden

(7) Gegengerichtete Argumente 2

- **EUROPAEM EMF-Leitlinie 2016**
  - Richtwerte für niederfrequente Felder: 0,1 µT (Tag und Nacht) sowie 0,03 µT für empfindliche Personengruppen, jeweils als arithmetisches Mittel; als Maximalwerte 1 µT (Tag und Nacht) sowie 0,3 µT für empfindliche Personengruppen

Anmerkung: Landessanitätsdirektion Salzburg empfiehlt die EUROPAEM EMF-Leitlinie 2016

(8) Kritik an EUROPAEM-Leitlinie 2016

- **Stellungnahme Dr. rer. nat. Gollnick**
  - Leitlinie geht auf ein Papier der Österr. Ärztekammer aus 2012 zurück
  - Unübersehbare personelle und inhaltliche Verflechtungen zwischen EUROPAEM EMF-Leitlinie 2016 und dem BioInitiative Report
  - Einseitige Darstellung wissenschaftlicher Evidenz und selektive Behandlung vorhandener Daten

(9) Kritik an EUROPAEM-Leitlinie 2016

- **Stellungnahme Dr. rer. nat. Gollnick**
  - Minderheitsmeinung
  - Keine objektive Wiedergabe des Standes der Wissenschaften
  - Missachtung des Konsenses, wonach die von WHO und ICNIRP empfohlenen Werte Basis für nationale Grenzwertregelungen sein sollen, wie z.B. die 2013 beschlossene 26. BImSchV

(10) Nichtamtlicher SV für Umweltmedizin

- **Verfahrensparteien äußern Zweifel an der Kompetenz dieses Sachverständigen**
  - Der Sachverständige erkenne den aktuellen Stand der Wissenschaften nicht, er ignoriere insbesondere BioInitiative Report und EUROPAEM EMF-Leitlinie 2016
  - Vorhalt diverser Studien, die dieser nicht berücksichtigt habe (z.B. sog. Reflex-Studie) oder die ihm nicht bekannt seien (Wertheim und Leeper)

(11) Nichtamtlicher SV für Umweltmedizin

- **Verfahrensparteien äußern Zweifel an der Kompetenz dieses Sachverständigen**
  - Er habe keine Publikationen im Fachbereich EMF aufzuweisen
  - Einbringung von Ablehnungsanträgen gegen diesen Sachverständigen
  - Es bestehe der Verdacht einseitiger, projektgeneigter Beurteilung. Es wird daher eine Sachverhaltsdarstellung an die Staatsanwaltschaft eingebracht.

(12) BVwG

- **Erkenntnis des BVwG vom 26.2.2019, W155 2120762-1**
  - Ermittlungsverfahren ergibt, dass weder durch das elektrische noch durch das magnetische Feld eine Gefahr für die Gesundheit der nächsten Anrainer vorliegt. Auch erhebliche Belästigungen können ausgeschlossen werden.
  - Die Ausführungen des SV Humanmedizin sind detailliert, schlüssig, nachvollziehbar und fundiert.

(13) VwGH

- **Erkenntnis des VwGH vom 15.10.2020, Ro 2019/04/0021 bis 0024**
  - *„Gemessen an diesen Grundsätzen gelingt es den rwP nicht, eine Unrichtigkeit oder Unvollständigkeit des Gutachtens des Sachverständigen Humanmedizin* […] *aufzuzeigen.“*
  - *„Aus dem Umstand, dass der Sachverständige Humanmedizin – mit näherer Begründung – die EUROPAEM EMF-Leitlinie 2016 seinem Gutachten nicht zugrunde gelegt hat, kann schließlich nicht der Schluss gezogen werden, er habe sich mit neuen Erkenntnissen nicht auseinandergesetzt.“*

(14) Lösung

- **Festlegung verbindlicher Grenzwerte durch den Gesetz- und/oder Verordnungsgeber**
  - Novellierung des StWG 1968, Schaffung einer Verordnungsgrundlage; Festlegung der Grenzwerte durch Verordnung
  - Novellierung des StWGG und damit Auftrag an die Landesgesetzgeber, entsprechend nachzuziehen
  - Sondergesetz auf eigenständiger verfassungsrechtlicher Grundlage
  - ÖNIP

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Mag. Dr. Christian Onz
Onz & Partner Rechtsanwälte GmbH

28. Februar 2023

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Schichler
Inffeldgasse 18/I
8010 Graz

☎ +43 (0) 316 873 7400
✉ uwe.schichler@tugraz.at