

Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 114 (2023)
Heft: 2

Artikel: Elektrische Felder bewusst wahrnehmen = Perception consciente des champs électriques
Autor: Kursawe, Michael / Jankowiak, Kathrin / Kimpeler, Simon
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1053136>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

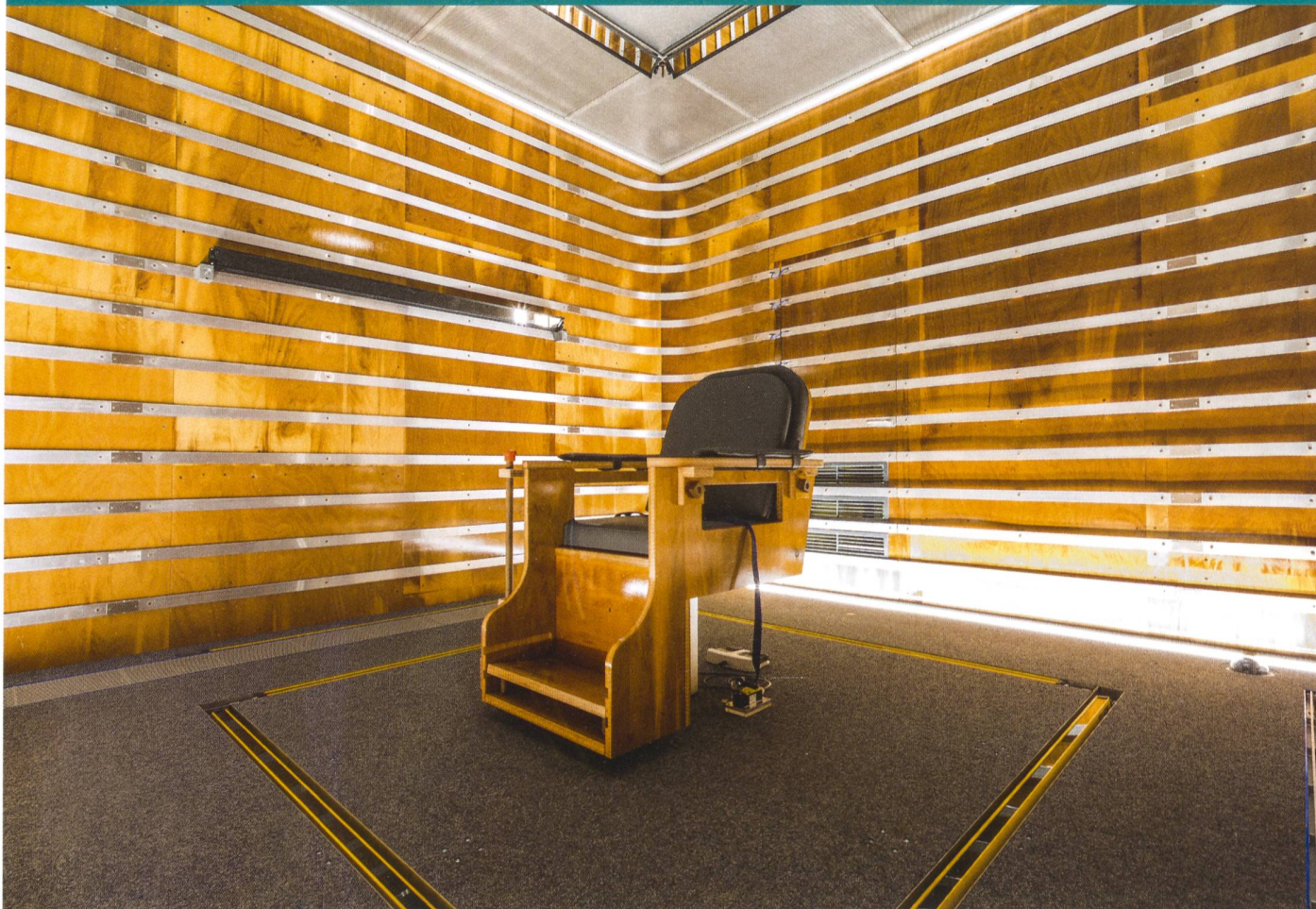
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



Testraum des Expositions-
labors am Femu, Uniklinik
RWTH Aachen.

Elektrische Felder bewusst wahrnehmen

Studie zu Wahrnehmungsschwellen | In manchen Regionen erfordert die Energiewende einen Ausbau des Stromübertragungsnetzes, der in der Bevölkerung oft auf Ablehnung stösst. Einer der Gründe für die fehlende Akzeptanz sind die entstehenden elektromagnetischen Felder. Eine Studie untersuchte, wie solche AC-, DC- und Hybrid-Felder wahrgenommen werden.

MICHAEL KURSAWE, KATHRIN JANKOWIAK, SIMON KIMPELER

Die Energiewende ist aus unterschiedlichen Gründen vielerorts auf einen Ausbau des Energieübertragungssystems angewiesen. Neben der in Europa üblichen Übertragung von Wechselstrom («alternating current», AC) kommt hier die Energieübertragung mittels Gleichstrom («direct current», DC) in Frage. Diese Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) hat gegenüber der konventionellen Wechselstrom-Übertragung den Vorteil, dass

deutlich weniger Energieverlust entsteht, wodurch weitere Strecken überwunden werden können. Deshalb kommt beim Bau neuer Übertragungsstrecken in Deutschland immer mehr die HGÜ-Technologie zum Einsatz.

Unabhängig von der Übertragungsart entsteht bei der Energieübertragung im direkten Umfeld der Freileitungen immer ein elektrisches Feld. Je nach Übertragungsart handelt es sich dabei um ein AC- oder DC-Feld.

Zudem ist künftig in Deutschland teilweise die parallele Führung von AC- und DC-Leitungen auf einer Freileitungstrasse geplant, wodurch sich eine Kombination beider Felder, Hybrid-Feld genannt, ergibt. Da die räumliche Trennung von Hochspannungsfreileitungen und Wohngebieten an vielen Orten geringer wird, stellt sich die Frage nach der Akzeptanz der Bevölkerung in Verbindung mit der bewussten Wahrnehmung von elektrischen Feldern.

Dieses bewusste Erkennen von elektrischen Feldern wurde bereits von verschiedenen Forschenden untersucht. Hervorzuheben sind Ganzkörperuntersuchungen aus den 1990er-Jahren, welche zeigten, dass Wahrnehmungsschwellen für elektrische Gleichspannungsfelder im Durchschnitt bei $45,1 \text{ kV/m}$ lagen [1]. Die zusätzliche Anwesenheit von Ionen, die aufgrund von Oberflächenentladungen an Freileitungen entstehen, führte zu einer erhöhten Wahrnehmungsleistung. Auch das gleichzeitige Auftreten von DC- und AC-Feldern führte zu herabgesetzten Wahrnehmungsschwellen im Vergleich zur Präsentation nur einer Feldart [2]. Bisherigen Untersuchungen gemeinsam sind grosse Unterschiede im individuellen Wahrnehmungsempfinden [3–5]. Während manche Menschen schon sehr geringe elektrische Felder zuverlässig erkennen können, liegen die Wahrnehmungsschwellen bei anderen Menschen viel höher. Auch der Ort der Wahrnehmung und die Art der Empfindung sind individuell sehr verschieden.

Bisher sind keine speziellen Sinneszellen zur Wahrnehmung von elektrischen Feldern bei Menschen bekannt. Es wird vermutet, dass die Körperbehaarung eine entscheidende Rolle spielt. Beispielsweise war die Wahrnehmungsfähigkeit am rasierten Arm deutlich schlechter im Vergleich zum unrasierten Arm [6]. Daher könnten zum Beispiel individuelle Eigenschaften der Haare zu unterschiedlich intensiven Wahrnehmungen von elektrischen Feldern führen. In Aachen laufen aktuell Untersuchungen zur Frage, wie genau sich verschiedene Kenngrößen der Haarbeschaffenheit auf die individuelle Wahrnehmungsfähigkeit auswirken.

Um gesundheitsschädliche Effekte zu vermeiden, existiert in Deutschland im Bereich von AC-Freileitungen ein Grenzwert von 5 kV/m für elektrische AC-Felder [7]. Obwohl das IEEE einen Grenzwert für DC-Felder von 10 kV/m empfiehlt, bestehen in Deutschland momentan weder für DC- noch für Hybrid-Felder Grenzwerte.

Wo wird die Wahrnehmung untersucht?

Um die Wahrnehmung verschiedener elektrischer Felder zu untersuchen, wurde ein Expositions-labor auf dem Gelände der Uniklinik RWTH Aachen



Bild 1 Hochspannungstechnik des Expositions-labors.

errichtet [3]. Im $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ grossen Testraum befindet sich mittig ein fest installierter, höhenverstellbarer Probandenstuhl im ansonsten leeren Raum (**Einstiegsbild**). Hier können DC-Felder bis 50 kV/m in Kombination mit einer möglichen Ionenstromdichte von maximal 550 nA/m^2 sowie AC-Felder mit einem Effektivwert bis 30 kV/m erzeugt werden. Hybrid-Felder – eine Kombination von AC- und DC-Feldern – mit einer maximalen kombinierten Feldstärke von 50 kV/m können ebenfalls erzeugt werden. Angrenzend an den Testraum befinden sich Versuchsleiterräumen, Klimatechnik und Hochspannungstechnik (**Bild 1**). Durch eine aufwendige Klimatisierung können Temperaturen im Bereich zwischen 19°C und 25°C und davon unabhängig die relative Luftfeuchtigkeit zwischen 30% und 70% variiert werden. In der speziell konstruierten doppelblinden Versuchsanordnung erhält die Person, die aus dem Versuchsleiterräumen die Experimente steuert und die Kommunikation führt, keine Informationen über die aktuell präsentierten Felder. So können Beeinflussungen der Probanden ausgeschlossen werden. Gleichzeitig wird über das Einspielen eines Rauschsignals über vier Lautsprecher im Expositionsraum eine Maskierung möglicher auditiver Ein-

flüsse sichergestellt, sodass die Probanden ausschliesslich über den direkten Mechanismus der Wahrnehmung die An- oder Abwesenheit eines elektrischen Feldes bewerten können.

Zur Dämpfung von Vibrationen, die in der Hochspannungstechnik entstehen, wurde das Labor schwimmend auf einer Sylomer-Schicht errichtet. Mittels Notabschaltung kann die Anlage zu jedem Zeitpunkt automatisch und innerhalb von 180 ms in einen sicheren Zustand überführt werden. Um die Sicherheit der Probanden zu gewährleisten, sind Lichtschranken, Kontaktgurte sowie ein Not-Ausschalter integriert, welche bei Aktivierung die Notabschaltung starten. Während der Testdurchläufe sind Probanden über Silikonschlaufen mit der Erdung des Labors verbunden, um Aufladungseffekte zu vermeiden. Ist die Anlage in Betrieb, werden alle hochspannungstechnischen Komponenten zusätzlich von einem geschulten Mitarbeiter überwacht.

Von der Wahrnehmung zur Wahrnehmungsschwelle

Die zentrale Aufgabe jedes Teilnehmenden besteht darin, zu erkennen, ob ein elektrisches Feld präsent ist oder nicht. Hierfür wird ein definiertes Feld eingeschaltet. Nachdem das Feld

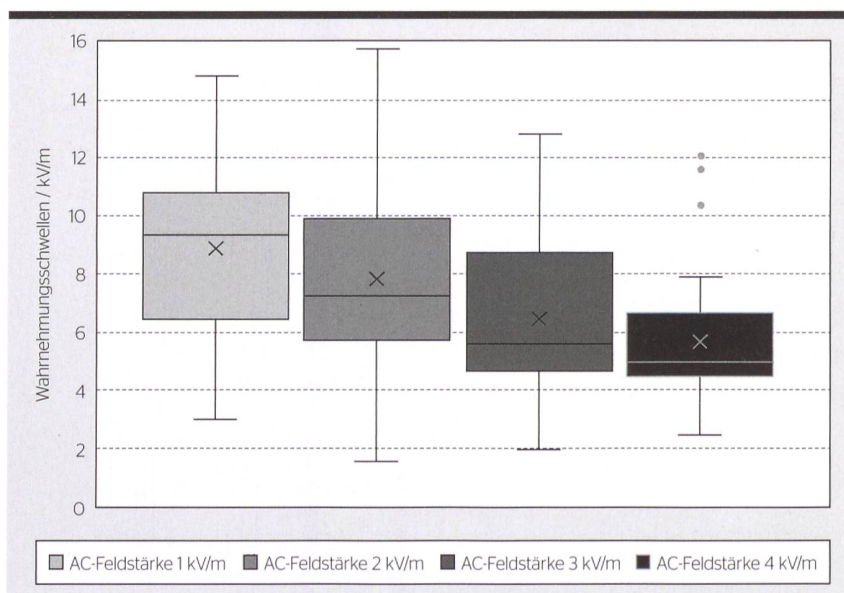


Bild 2 Wahrnehmungsschwellen der kombinierten AC-DC-Feldstärken [5].

«hochgefahren» wurde, erscheint die Frage, ob die Person ein elektrisches Feld wahrnimmt. Diese Frage kann über eine Antwortbox mit «ja» oder «nein» beantwortet werden. Um zu erreichen, dass Personen dabei nicht nur mit «ja» antworten können, muss neben der korrekten Erkennung eines eingeschalteten Feldes auch eine korrekte Erkennung sogenannter Scheinexpositionen erfolgen. Bei diesen Scheinexpositionen wird eine Exposition ohne Feld simuliert.

Durch die Methode der Signalentdeckungstheorie [8] wird die individuelle Fähigkeit jedes Teilnehmenden bestimmt, eine vorher definierte Feldstärke zu erkennen. Dafür werden korrekt erkannte elektrische Felder und fälschlicherweise als elektrisches Feld erkannte Scheinexpositionen verrechnet. Nur wer beide Fälle korrekt zuordnen kann, ist in der Lage, elektrische Felder zuverlässig wahrzunehmen. Aus den so bestimmten Sensitivitätswerten für jede getestete Feldstärke kann durch eine psychometrische Funktion der Punkt bestimmt werden, ab dem gesichert von einer erfolgreichen Wahrnehmung ausgegangen werden kann. Dieser Punkt wird definiert als die individuelle Wahrnehmungsschwelle.

Für die Betrachtung von Hybrid-Feldern werden unterschiedliche Methoden der Schwellenwertbestimmung verwendet. Einerseits kann eine DC-Schwelle in Gegenwart oder Abwe-

senheit eines konstanten AC-Feldes bewertet werden. Dies zeigt im direkten Vergleich beispielsweise Unterschiede zur reinen DC-Exposition. Eine andere Möglichkeit besteht in der kombinierten Betrachtung der AC- und DC-Feldstärke. Der Vorteil dabei ist, dass Einflüsse unterschiedlicher Anteile einer Feldart auf die Wahrnehmungsleistung der Gesamtfeldstärke sofort sichtbar werden.

Kribbeln, Jucken, Gänsehaut

Aber wie fühlen sich elektrische Felder eigentlich an? Probanden gaben auf diese Frage an, ein angenehmes Kribbeln oder ein leichtes Jucken zu verspüren. Aber auch Eindrücke einer leichten Vibration oder Gänsehaut wurden berichtet. Der Wahrnehmungsort hing von der Feldart ab: DC-Felder wurden etwas häufiger im Kopfbereich, AC-Felder tendenziell häufiger an den Armen wahrgenommen, auch wenn es hier Überschneidungen gab [3]. Generell sind Wahrnehmungseindrücke elektrischer Felder sehr unterschiedlich und haben einen stark subjektiven Bezug.

Die Kombination macht den Unterschied

In einer gross angelegten Studie mit 203 Probanden, die über Alter und Geschlecht gleich verteilt waren, wurde die Wahrnehmungsleistung für AC-, DC- und Hybrid-Felder untersucht [4]. Dabei lagen die Schwellen

für AC mit 14,16 kV/m und DC mit 18,69 kV/m teilweise deutlich unterhalb von früher publizierten Werten. Interessanterweise zeigte sich in Hybrid-Feldern eine deutlich herabgesetzte Wahrnehmungsschwelle: 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 führte dazu, dass etwa 40 % der Probanden die niedrigste untersuchte Hybrid-Kombination aus 2 kV/m DC und 4 kV/m AC erfolgreich detektieren konnten.

Um detaillierter zu untersuchen, wodurch der Synergieeffekt aus AC und DC auf die menschliche Wahrnehmung getrieben wird, wurden 51 besonders sensitive Probanden erneut eingeladen [5]. Dabei wurden experimentell AC-Feldstärken in den Stufen 1, 2, 3 und 4 kV/m variiert und zusammen mit DC-Feldstärken von 1, 2, 4, 8 und 16 kV/m präsentiert. Die Wahrnehmungsschwellen bezogen auf die kombinierten Feldstärken zeigten eine Reduktion mit zunehmendem AC-Anteil (**Bild 2**). Oder anders ausgedrückt: Je grösser der AC-Anteil an einem Hybrid-Feld, umso früher wird dies wahrgenommen. Für die Praxis ist diese zentrale Rolle der AC-Komponente im Hybrid-Feld wichtig, da sich geringe Änderungen der AC-Feldstärke an Hybridleitungen stark auf die Wahrnehmbarkeit des Gesamtfeldes auswirken.

Luftfeuchtigkeit ist entscheidend

Weiterhin ist von grossem Interesse, wie sich Umgebungsfaktoren auf die Wahrnehmung elektrischer Felder auswirken. Schliesslich herrschen im freien Feld über das Jahr verteilt sehr unterschiedliche Klimabedingungen, was zu starken Variationen in Luftfeuchtigkeit und Temperatur führt. Eine Variation der Umgebungstemperatur hatte in Untersuchungen zu lokalen DC-Expositionen am Arm keine Effekte auf die Wahrnehmungsleistung. Allerdings stieg die Wahrnehmungsleistung bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 90 % im Vergleich zu 50 % deutlich an [6]. Diese Erkenntnisse aus lokalen Feldexpositionen konnten in Ganzkörperuntersuchungen bestätigt werden. In zwei Subgruppen mit 24 und 25 Probanden aus einer

gross angelegten Studie zur Bestimmung der Wahrnehmungsschwellenwerte wurden zusätzlich Einflüsse relativer Luftfeuchtigkeit auf die Wahrnehmungsleistung untersucht [4]. Der Vergleich von feuchter Umgebung (70 % rel. Luftfeuchtigkeit) zu trockener Luft (30 % rel. Luftfeuchtigkeit) zeigte, dass AC-Felder bei geringer Luftfeuchtigkeit besser erkannt wurden, während DC-Felder in feuchter Umgebungsluft verstärkt wahrgenommen wurden.

Beitrag zur Energiewende

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 die-

nen die gewonnenen Informationen dazu, Freileitungen so zu konzipieren, dass unerwünschte Wahrnehmungen nach Möglichkeit vermieden werden. Gegenstand aktueller Forschung ist vor allem, wodurch die hohe interindividuelle Varianz in der Wahrnehmung hervorgerufen wird. Weitere Aufklärung hier kann ebenfalls zum besseren Zusammenspiel und der Koexistenz von Energieübertragungssystem und Mensch beitragen.

Referenzen

- [1] J. Blondin et al., «Human perception of electric fields and ion currents associated with high-voltage DC transmission lines», *Bioelectromagnetics*, Vol. 17, Issue 3, S. 230-241, 1996.
- [2] B. A. Clairmont et al., «The effect of HVAC-HVDC line separation in a hybrid corridor», *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 4, Issue 2, S. 1338-1350, April 1989.
- [3] K. Jankowiak et al., «Identification of Environmental and Experimental Factors Influencing Human Perception of DC and AC Electric Fields», *Bioelectromagnetics*, Vol. 42, Issue 5, S. 341-356, 2021.

- [4] M. Kursawe et al., «Human detection thresholds of DC, AC, and hybrid electric fields: a double-blind study», *Environmental Health*, Vol. 20, 92, 2021.
- [5] K. Jankowiak et al., «The role of the AC component in human perception of AC-DC hybrid electric fields», *Scientific Reports*, Vol. 12, 3391, 2022.
- [6] H. Odagiri-Shimizu, K. Shimizu, «Experimental analysis of the human perception threshold of a DC electric field», *Medical & Biological Engineering & Computing*, Vol. 37, S. 727-732, 1999.
- [7] 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.
- [8] D. Green, J. Swets, *Signal Detection Theory and Psychophysics*, John Wiley and Sons, 1966.

Autoren

Dr. **Michael Kursawe** ist Wissenschaftler und Leiter des Expositionslabors am Forschungszentrum für elektromagnetische Umweltverträglichkeit (femu), Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin.
→ Uniklinik RWTH Aachen University, DE-52074 Aachen
→ kursawe@femu.rwth-aachen.de

Dr. **Kathrin Jankowiak** ist Wissenschaftlerin am femu.
→ jankowiak@femu.rwth-aachen.de

Simon Kimpeler ist Wissenschaftler am Institut für Elektrische Anlagen und Netze, Digitalisierung und Energiewirtschaft, RWTH Aachen University.
→ s.kimpeler@iaew.rwth-aachen.de



Nachhaltige Energieverteilung mit Mittelspannungsschaltanlagen blue GIS

Der steigende Energiebedarf sowie dezentrale Einspeisungen stellen das Energienetz und deren Betreiber vor grosse Herausforderungen. Dabei rückt das Thema Nachhaltigkeit immer mehr in den Vordergrund. Siemens bietet mit dem blue GIS-Portfolio Produkte, die mit Clean Air sowie mit der bewährten Siemens-Vakuumschalttechnik arbeiten und weiterhin alle Vorteile einer modernen gasisolierten Schaltanlage vereinen, wie zum Beispiel Anlagenverfügbarkeit, Wartungsfreiheit, Personensicherheit, Kompaktheit und Umweltunabhängigkeit. Gleichzeitig gehen sie über geltende Standards hinaus und sind Wegweiser in eine ökologische Zukunft.

Mehr Infos: www.siemens.ch/blue-gis

SIEMENS



High-voltage-learning® ist unsere bewährte Unterrichtsmethode: Kombination von Online- & Präsenzunterricht. Lesen Sie online mehr dazu.



Definitiver Lehrgangsstart in Bern ab 12. April 2023

» **Elektroprojektleiter/-in mit eidg. Fachausweis**

» **Dipl. Techniker/-in HF Elektrotechnik**



Sichern Sie sich jetzt einen der letzten Plätze und starten Sie beruflich durch!

www.siu.ch/elektro - 044 515 72 27

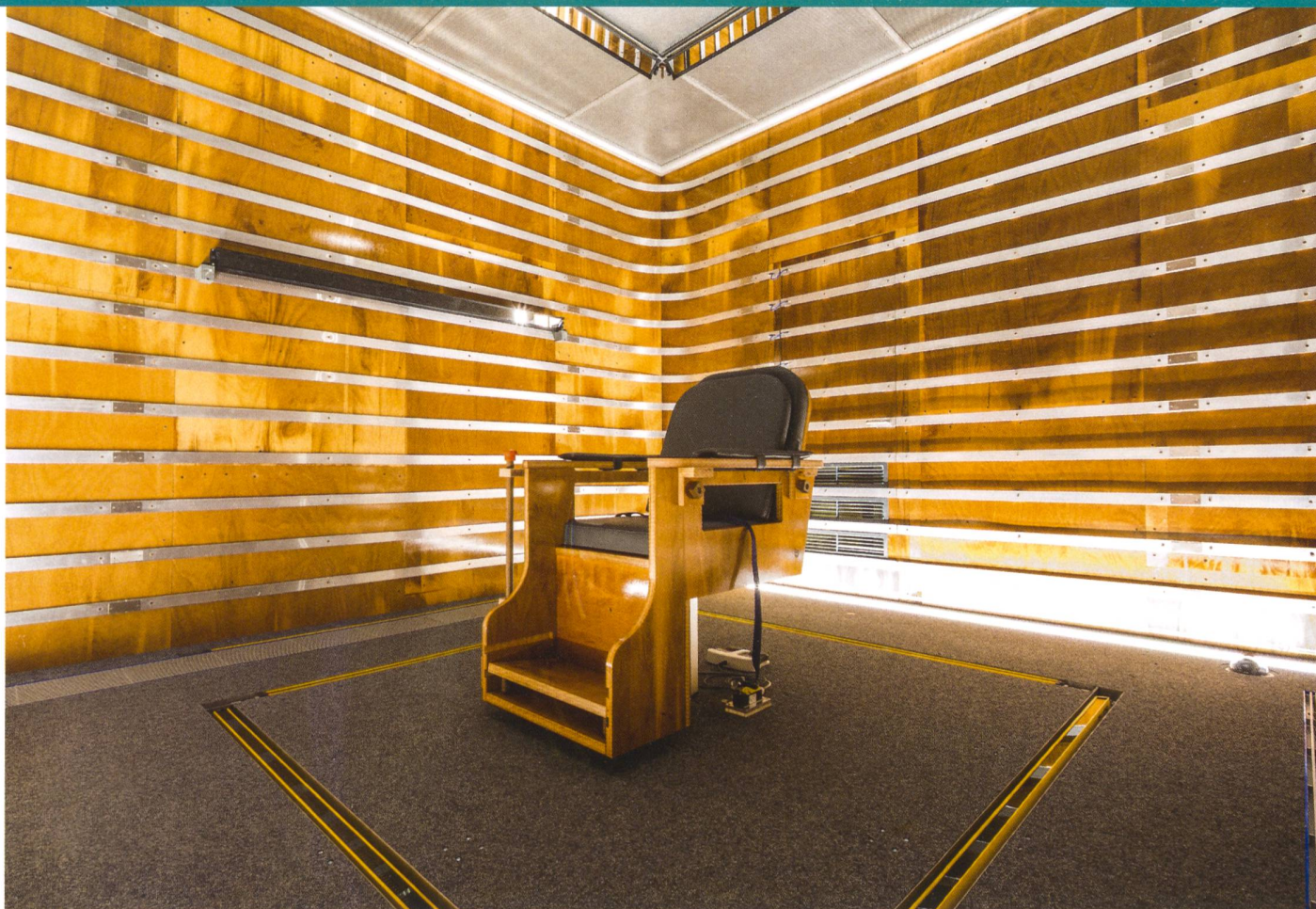
Elektrisierende Innovation im Starkstrombereich

mit COMSOL Multiphysics®

Schnelle Marktreife von Netzkomponenten verlangt nach intelligenten Designinnovationen und effizienter Produktentwicklung. Dies erreichen innovative Branchenführer durch Multiphysik-Simulation. Testen und optimieren auch Sie Ihre Produkte virtuell — lange vor dem ersten Prototypen.

» comsol.com/feature/electrical-innovation

COMSOL



Salle d'essais du
laboratoire d'exposition.

Perception consciente des champs électriques

Étude des seuils de perception | Dans certaines régions, le tournant énergétique nécessite une extension du réseau de transport d'électricité. Or, celle-ci se heurte souvent à l'hostilité de la population. Ce manque d'acceptation est en partie à imputer aux champs électromagnétiques générés par les lignes. Une étude a donc examiné comment de tels champs AC, DC et hybrides sont perçus.

MICHAEL KURSAWE, KATHRIN JANKOWIAK, SIMON KIMPELER

Pour différentes raisons, la transition énergétique dépend en de nombreux endroits d'un renforcement du système de transfert d'énergie. Outre le transport en courant alternatif (« alternating current », AC) usuel en Europe, le transport d'énergie au moyen de courant continu (« direct current », DC) entre ici également en ligne de compte. Par rapport au transport conventionnel en courant alternatif, le transport de courant continu à haute tension (CCHT, ou HVDC en anglais)

bénéficie de pertes d'énergie nettement moins élevées, ce qui permet de couvrir de plus grandes distances. C'est la raison pour laquelle la technologie HVDC est de plus en plus utilisée lors de la construction de nouvelles lignes de transport en Allemagne.

Lors du transport d'énergie, et ce quel qu'en soit le mode, un champ électrique est inmanquablement généré dans l'environnement direct des lignes aériennes. Il peut s'agir d'un champ AC ou DC : cela dépend du mode de trans-

port. De plus, il est prévu à l'avenir en Allemagne de faire parfois passer parallèlement des lignes AC et DC sur un même tracé de ligne aérienne, ce qui entraîne une combinaison des deux champs, appelée champ hybride. Étant donné que la séparation spatiale entre les lignes aériennes à haute tension et les zones d'habitation diminue en de nombreux endroits, la question de l'acceptation de la population liée à la perception consciente des champs électriques se pose.

Cette perception consciente des champs électriques a déjà été étudiée par différents chercheurs. À noter en particulier les études menées dans les années 1990 prenant en considération le corps entier, qui ont montré que les seuils de perception des champs électriques pour la tension continue se situaient en moyenne à 45,1 kV/m [1]. La présence supplémentaire d'ions, qui apparaissent en raison de décharges à la surface des lignes aériennes, a entraîné une augmentation de la perception. De même, la présence simultanée de champs DC et AC a mené à une baisse des seuils de perception par rapport à la présence d'un seul type de champ [2]. Les études menées jusqu'à présent ont en commun de grandes différences dans la perception individuelle [3-5]. Alors que certaines personnes sont capables de détecter de manière fiable de très faibles champs électriques, chez d'autres, les seuils de perception sont beaucoup plus élevés. La partie du corps où le champ est perçu et le type de sensation varient également beaucoup d'un individu à l'autre.

Pour l'instant, on ne connaît pas de cellules sensorielles spécifiques pour la perception des champs électriques chez l'homme. La pilosité corporelle pourrait jouer un rôle décisif. Par exemple, la capacité de perception sur un bras rasé était nettement moins bonne que sur un bras non rasé [6]. C'est pourquoi les caractéristiques individuelles des poils pourraient par exemple conduire à des perceptions plus ou moins intenses des champs électriques. Des études sont en cours en Allemagne, à Aix-la-Chapelle, pour déterminer l'effet exact des différentes caractéristiques des poils sur la capacité de perception individuelle.

Pour éviter des effets nocifs sur la santé, l'Allemagne a fixé une valeur limite de 5 kV/m pour les champs électriques AC à proximité des lignes aériennes à courant alternatif [7]. Bien que l'IEEE recommande une valeur limite de 10 kV/m pour les champs DC, il n'existe actuellement en Allemagne aucune valeur limite ni pour les champs DC ni pour les champs hybrides.

Où les études relatives à la perception sont-elles réalisées?

Pour étudier la perception de différents champs électriques, un laboratoire d'exposition a été construit sur le



Figure 1 Technique haute tension du laboratoire d'exposition.

site de la clinique universitaire RWTH d'Aix-la-Chapelle [3]. La salle d'essais de 4 m × 4 m est complètement vide, à l'exception d'un siège fixe et réglable en hauteur placé en son centre (**figure de titre**). Il est possible d'y générer des champs DC jusqu'à 50 kV/m en combinaison avec une éventuelle densité de courant ionique d'au maximum 550 nA/m², ainsi que des champs AC d'une valeur efficace pouvant atteindre jusqu'à 30 kV/m. Des champs hybrides – une combinaison de champs AC et DC – avec une intensité de champ combinée maximale de 50 kV/m peuvent également être générés. La salle dans laquelle se trouve la personne qui dirige les essais ainsi que celles de la climatisation et de la technique haute tension (**figure 1**) sont adjacentes à la salle d'essais. Grâce à une climatisation sophistiquée, il est possible de faire varier la température entre 19 et 25°C mais aussi, indépendamment de cela, l'humidité relative de l'air entre 30 et 70 %. Dans ce dispositif expérimental spécialement conçu en double aveugle, la personne qui dirige les expériences et qui gère la communication ne reçoit aucune information sur les champs actuellement présents. Cela permet d'exclure toute influence sur les personnes sur lesquelles sont réalisés les essais.

Parallèlement, la retransmission d'un signal de bruit par quatre haut-parleurs dans la salle d'essais permet de masquer d'éventuelles influences auditives, afin que les sujets ne puissent évaluer la présence ou l'absence d'un champ électrique que par le mécanisme direct de la perception.

Afin d'amortir les vibrations générées par la technique haute tension, le laboratoire a été construit sur une couche de sylomer, un élastomère à haut pouvoir amortissant. Un dispositif d'arrêt d'urgence permet en outre de mettre automatiquement l'installation en état de sécurité à tout moment, et ce, en moins de 180 ms. Pour garantir la sécurité des sujets, des cellules photo-électriques, des ceintures de contact et un bouton d'arrêt d'urgence sont intégrés au dispositif et déclenchent l'arrêt d'urgence lorsqu'ils sont activés. Pendant les essais, les sujets sont reliés à la terre du laboratoire par des bracelets en silicone afin d'éviter les effets de charge. Lorsque l'installation est en service, tous les composants techniques à haute tension sont en outre surveillés par un collaborateur formé à cet effet.

De la perception au seuil de perception

La tâche principale de chaque participant consiste à reconnaître si un

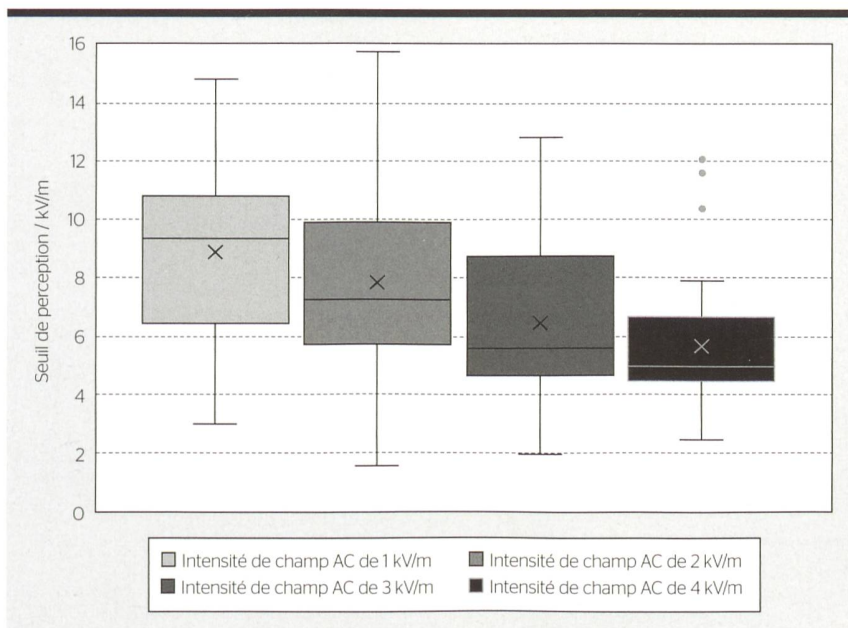


Figure 2 Seuils de perception des intensités de champ combinées AC/DC [5].

champ électrique est présent ou non. Pour ce faire, un champ défini est généré. Une fois que le champ a atteint la valeur prévue, une question apparaît pour savoir si la personne perçoit un champ électrique. Une boîte permet de répondre à cette question par « oui » ou par « non ». Pour que les personnes ne puissent pas se contenter de répondre par « oui », il leur faut non seulement reconnaître correctement un champ activé, mais aussi des expositions fictives. Ces expositions fictives consistent à simuler une exposition sans champ.

La méthode de la théorie de la détection des signaux [8] permet de déterminer la capacité individuelle de chaque participant à reconnaître une intensité de champ définie au préalable. Pour ce faire, les champs électriques correctement détectés et les expositions fictives reconnues à tort comme des champs électriques sont comptabilisés. Seules les personnes capables de classer correctement les deux cas sont en mesure de percevoir les champs électriques de manière fiable. Les valeurs de sensibilité ainsi déterminées pour chaque intensité de champ testée permettent de définir, à l'aide d'une fonction psychométrique, le point à partir duquel il est possible de considérer avec certitude que la perception est réussie. Ce point est défini comme le seuil de perception individuel.

Différentes méthodes de détermination de la valeur de seuil sont utilisées dans le cas des champs hybrides. D'une part, un seuil DC peut être évalué en présence ou en l'absence d'un champ AC constant. En comparaison directe, cela montre par exemple des différences par rapport à une pure exposition DC. Une autre possibilité consiste en une considération combinée de l'intensité des champs AC et DC. Ceci a pour avantage que les influences des différentes parties d'un type de champ sur la capacité de perception de l'intensité de champ totale sont immédiatement mises en évidence.

Fourmillements, démangeaisons, chair de poule

Mais comment les champs électriques sont-ils ressentis? Les personnes testées ont répondu à cette question en déclarant ressentir un agréable fourmillement ou une légère démangeaison. Mais des impressions de légères vibrations ou de chair de poule ont également été mentionnées. L'endroit auquel ils ont été ressentis dépendait du type de champ: les champs DC étaient un peu plus souvent perçus au niveau de la tête, les champs AC tendaient à être plus souvent perçus au niveau des bras, même s'il y avait ici des recoupements [3]. D'une manière générale, les impressions de perception des champs électriques sont très différentes et ont une forte connotation subjective.

La combinaison fait la différence

La capacité de perception des champs AC, DC et hybrides a été examinée dans une étude à grande échelle portant sur 203 sujets répartis de manière égale en termes d'âge et de sexe [4]. Les seuils obtenus de 14,16 kV/m pour le courant alternatif et de 18,69 kV/m pour le courant continu étaient en partie nettement inférieurs aux valeurs publiées précédemment. Il est intéressant de constater que les champs hybrides présentent un seuil de perception nettement moins élevé: lorsqu'un champ AC constant d'une intensité de 4 kV/m était ajouté, le seuil de perception pour le champ DC descendait à 6,76 kV/m. Cet effet de synergie a permis à environ 40 % des sujets de détecter avec succès la combinaison hybride la plus basse étudiée, à savoir 2 kV/m DC et 4 kV/m AC.

Afin d'étudier plus en détail ce qui provoque cet effet de synergie entre les champs AC et DC sur la perception humaine, 51 sujets particulièrement sensibles ont été réinvités à participer [5]. Diverses intensités de champ AC de 1, 2, 3 et 4 kV/m ont été expérimentées, et ce, également simultanément à des intensités de champ DC de 1, 2, 4, 8 et 16 kV/m. Les seuils de perception des intensités de champ combinées ont baissé avec l'augmentation de la composante AC (figure 2). En d'autres termes, plus la composante AC d'un champ hybride est importante, plus tôt celui-ci est perçu. Ce rôle prépondérant de la composante AC dans le champ hybride est important pour la pratique, car de faibles modifications de l'intensité du champ AC dans les lignes hybrides ont un impact important sur la perceptibilité du champ global.

L'humidité de l'air est déterminante

Par ailleurs, il est très intéressant de déterminer dans quelle mesure les facteurs environnementaux exercent une influence sur la perception des champs électriques. En effet, les conditions climatiques extérieures diffèrent grandement tout au long de l'année, ce qui entraîne de fortes variations de température et d'humidité de l'air. Une variation de la température ambiante n'a pas eu d'effet sur la capacité de perception lors d'études sur l'exposition locale à un champ DC au niveau du bras. Toutefois,

la capacité de perception a augmenté de manière significative en présence d'une humidité relative de 90 % par rapport à 50 % [6]. Ces conclusions tirées d'expositions locales à des champs ont pu être confirmées dans des études portant sur le corps entier. L'influence de l'humidité relative sur la capacité de perception a également été étudiée dans deux sous-groupes de 24 et 25 sujets ayant participé à une étude à grande échelle visant à déterminer les seuils de perception [4]. La comparaison entre un environnement humide (70 % d'humidité relative) et sec (30 % d'humidité relative) a montré que les champs AC étaient mieux détectés en cas de faible humidité de l'air, alors que les champs DC étaient davantage perçus lorsque l'air ambiant était plus humide.

Contribution à la transition énergétique

Dans l'ensemble, les résultats de ces études contribuent à la mise en œuvre de la transition énergétique en explo-

rant et en révélant les frictions possibles entre l'homme et les lignes aériennes, en particulier en ce qui concerne la perception des champs électriques. En même temps, les informations obtenues servent à concevoir les lignes aériennes de manière à éviter autant que possible des perceptions indésirables. Les recherches actuelles portent principalement sur les causes de la grande variabilité en matière de perception d'un individu à l'autre. Des éclaircissements supplémentaires à ce sujet peuvent également contribuer à une meilleure interaction et à faciliter la coexistence entre le système de transport d'énergie et l'homme.

Références

- [1] J. Blondin et al., « Human perception of electric fields and ion currents associated with high-voltage DC transmission lines », *Bioelectromagnetics*, Vol. 17, Issue 3, p. 230-241, 1996.
- [2] B. A. Clairmont et al., « The effect of HVAC-HVDC line separation in a hybrid corridor », *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 4, Issue 2, p. 1338-1350, avril 1989.
- [3] K. Jankowiak et al., « Identification of Environmental and Experimental Factors Influencing Human Perception

of DC and AC Electric Fields », *Bioelectromagnetics*, Vol. 42, Issue 5, p. 341-356, 2021.

- [4] M. Kursawe et al., « Human detection thresholds of DC, AC, and hybrid electric fields: a double-blind study », *Environmental Health*, Vol. 20, 92, 2021.
- [5] K. Jankowiak et al., « The role of the AC component in human perception of AC-DC hybrid electric fields », *Scientific Reports*, Vol. 12, 3391, 2022.
- [6] H. Odagiri-Shimizu, K. Shimizu, « Experimental analysis of the human perception threshold of a DC electric field », *Medical & Biological Engineering & Computing*, Vol. 37, p. 727-732, 1999.
- [7] 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.
- [8] D. Green, J. Swets, *Signal Detection Theory and Psychophysics*, John Wiley and Sons, 1966.

Auteurs

D^r **Michael Kursawe** est scientifique et responsable du laboratoire d'exposition du Centre de recherche sur la compatibilité électromagnétique avec l'environnement (femu) de l'Institut de médecine du travail, sociale et environnementale de la clinique universitaire RWTH de l'Université d'Aix-la-Chapelle.

→ Uniklinik RWTH Aachen University, DE-52074 Aachen
→ kursawe@femu.rwth-aachen.de

D^r **Kathrin Jankowiak** est scientifique au femu.

→ jankowiak@femu.rwth-aachen.de

Simon Kimpeler est scientifique à l'Institut Installations électriques et réseaux, numérisation et économie énergétique de la clinique universitaire RWTH de l'Université d'Aix-la-Chapelle.

→ s.kimpeler@iaew.rwth-aachen.de

NH-Sicherungseinsätze Betriebsklasse gTr für den Transformatorenschutz

Vorteile, die überzeugen:

Spezialisiert

- Auf optimale Ausnutzung der Überlastbarkeit von Transformatoren abgestimmt.

Bemessungsgrösse kVA

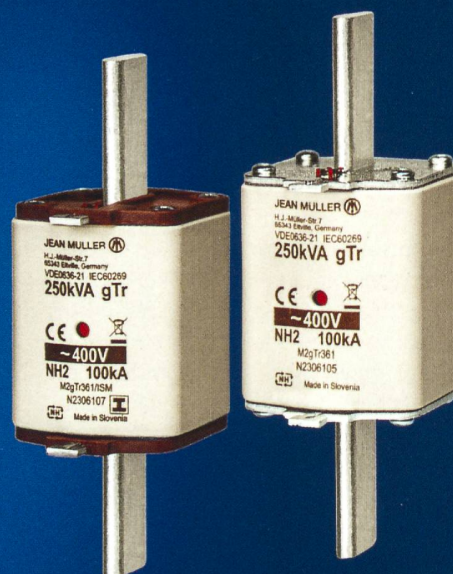
- Sicherungseinsätze nach der Scheinleistung der Transformatoren bemessen
- Berücksichtigt „krumme“ Nennströme

630kVA in Grösse NH3

- Angelehnt an die Norm werden bis zu 910A in Grösse NH3 realisiert
- Ermöglicht Einspeisung von 630kVA-Transformatoren über kompakte NH3 Lastschaltleisten

Isolierte Griffschalen

- Bauart „ism“ mit isolierten Deckplatten und Griffflaschen



Jean Müller (Schweiz) GmbH
Industriestrasse 4 • CH-4658 Däniken

Tel.: +41 62 288 41 00 • Fax: +41 62 288 41 01
info@jeanmueller.ch • www.jeanmueller.ch

JEAN MULLER 
THE NAME FOR SAFETY