



Messung unter der Frontscheibe links (Niederfrequenz) und rechts (Hochfrequenz).

Elektromagnetische Felder in Elektroautos

Immissionsmessungen | Bei 5G regt sich wegen der von Basisstationen emittierten Strahlung in der Gesellschaft manchmal Widerstand. Den elektromagnetischen Feldern, denen Passagiere in Elektroautos ausgesetzt sind, steht man weniger kritisch gegenüber. Zurecht? Eine Schweizer Studie untersuchte die Immissionen und kam zu überraschenden Ergebnissen.

RADOMÍR NOVOTNÝ

Unabhängig davon, ob ein Personenwagen nun elektrisch oder fossil angetrieben wird, er verfügt über zahlreiche elektronische und elektrische Komponenten. Nebst den «Klassikern» wie Motorsteuerung und Lichtsystemen kommen heute intelligente Funktionen wie Einparkhilfen, Fahrerinformations- und Kommunikationssysteme hinzu. Die drahtlose Kommunikation und die Vernetzung gewinnen an Bedeutung. Im Wageninnern erzeugen diverse Quellen deshalb zwangs-

läufig elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder, EMF.

Diesen Feldern mit unterschiedlichen Frequenzen und Intensitäten sind die Fahrzeuginsassen unter Umständen stundenlang ausgesetzt. Zudem wirkt die leitende Fahrzeugkarosserie wie eine abgeschirmte Kabine, in der EMF reflektiert werden können oder es zu Resonanzen kommen kann. Die Frage, ob die EMF-Immissionen als Gesundheitsrisiko betrachtet werden sollen oder ob sie sich in einer harmlosen Grössenordnung bewegen, ist also

berechtigt. Mit dieser Frage befassten sich Forscher des ETH-Spin-offs Fields at Work und der Forschungstiftung Strom und Mobilkommunikation. Ihre finanziell vom Bundesamt für Energie unterstützte Studie ist Ende März 2023 erschienen.

Die Zürcher EMF-Studie

In der Studie wurden EMF-Messungen an vier batteriebetriebenen Elektroautos (zwei Kleinwagen und zwei Mittelklasse-Limousinen mit dualen Elektromotor; Hybrid-Autos wurden

nicht berücksichtigt) und, zum Vergleich, an einem Allrad-SUV mit Dieselmotor durchgeführt, um beurteilen zu können, ob die EMF-Belastung unter den Grenzwerten liegt. Dabei wurden sowohl niederfrequente als auch hochfrequente Felder unter realen Betriebsbedingungen gemessen. Die Beurteilung, ob Grenzwerte eingehalten werden, umfasste auch verschiedene Betriebszustände sowie durchschnittliche und die schlechtesten Fälle.

In der Studie wurden die Quellen von EMF auf sieben Klassen aufgeteilt:

- Fahrzeug: Reifen, Antriebsstrang ...
- Antrieb: Elektromotor, Batterie, Konverter, Verkabelung ...
- Komfortsysteme: Fensterantriebe, Sitzheizung, Klimaanlage ...
- Assistenz- und Sicherheitssysteme
- Unterhaltungssysteme
- Kommunikationssysteme
- Laden

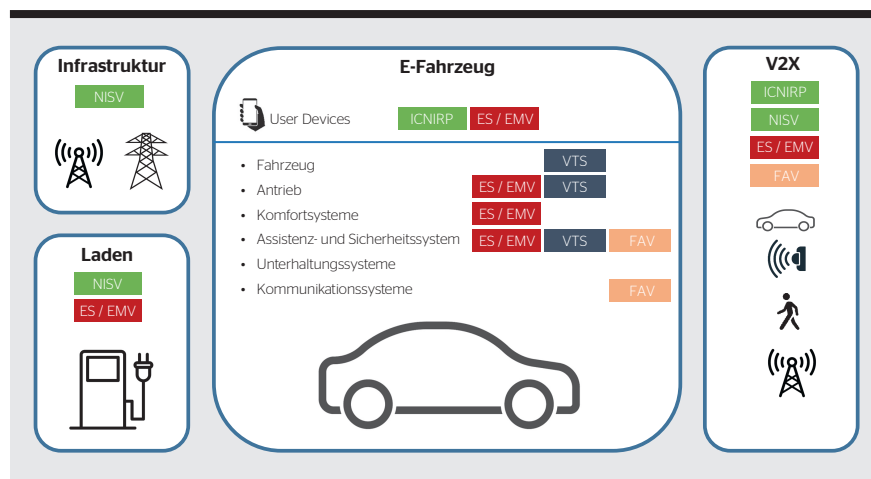
Die auf drahtlosen Technologien basierenden Klassen werden in der Studie noch weiter unterteilt.

Nicht untersucht wurden Fahrzeuge für die gewerbliche Nutzung. Da sich die Studie auf die Exposition der allgemeinen Bevölkerung beschränkte, wurden nur die allgemeinen Grenzwerte berücksichtigt, keine Grenzwerte für die berufliche Exposition.

Die rechtliche Situation

Für Elektroautos sind die gleichen Nachweise nötig wie für andere Fahrzeugklassen. Zentral dabei ist die Bestimmung der elektrischen Sicherheit (ES) und der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV). Die gemeinsame Position der Bundesämter Astra, Bakom, BFE und ESTI ist in den «Erläuterungen zum Nachweis der elektrischen Sicherheit und elektromagnetischen Verträglichkeit von Strassenfahrzeugen und deren Komponenten» festgehalten.

Bezüglich der Begrenzung von elektromagnetischen Feldern in Elektroautos zum Schutz der Fahrzeuginsassen gibt es aktuell in der Schweiz keine spezifischen Vorschriften. Grundsätzlich können aber die Vorgaben zur elektromagnetischen Verträglichkeit, EMV, als ausreichend streng betrachtet werden, dass auch dem Gesundheitsschutz Rechnung getragen wird. Marco Zahner, F&E-Leiter bei Fields at Work sowie Co-Autor der Studie



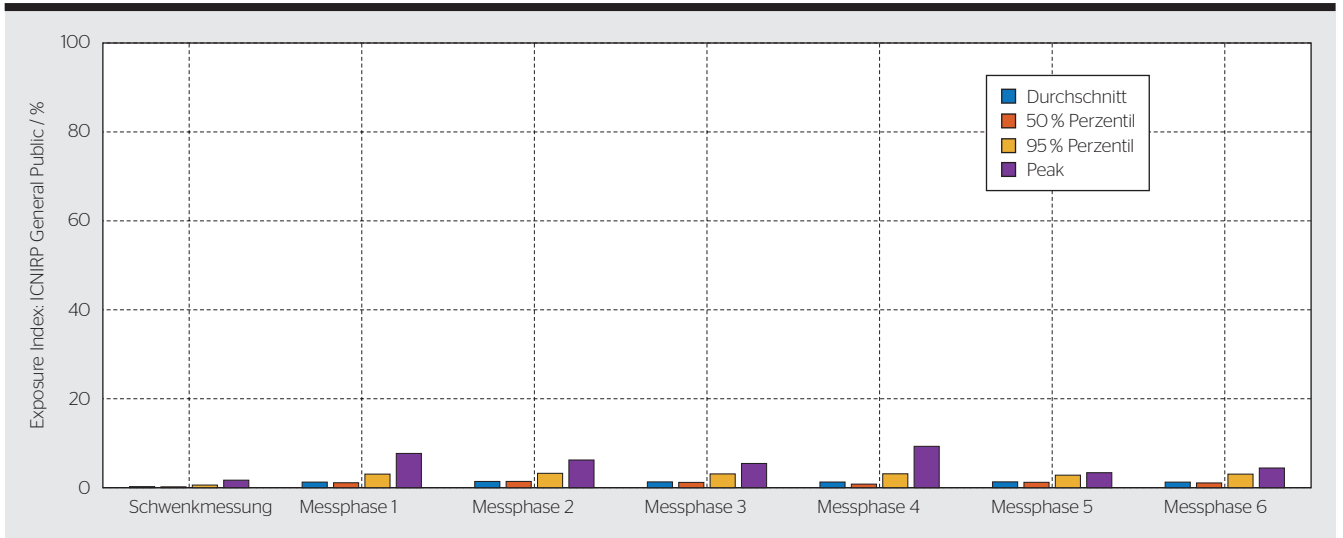
Regularien für eine Gesamtbeurteilung der EMF-Exposition in Elektroautos. ES: elektrische Sicherheit, FAV: Verordnung über Fernmeldeanlagen, V2X: Kommunikation vom Fahrzeug zu externen Kommunikationspartnern, VTS: Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge.

präzisiert: «Die strengen EMV-Vorgaben limitieren die entstehenden Feldstärken meist auf ein Niveau, das weit unter dem der NISV liegt, damit beispielsweise sensible Funkübertragungen nicht gestört werden, wenn der Zündschlüssel gedreht wird. Es ist relativ einfach, Elektronik zu stören.» Bei der NISV hingegen gehe es im Hochfrequenzbereich um die Gewebs-

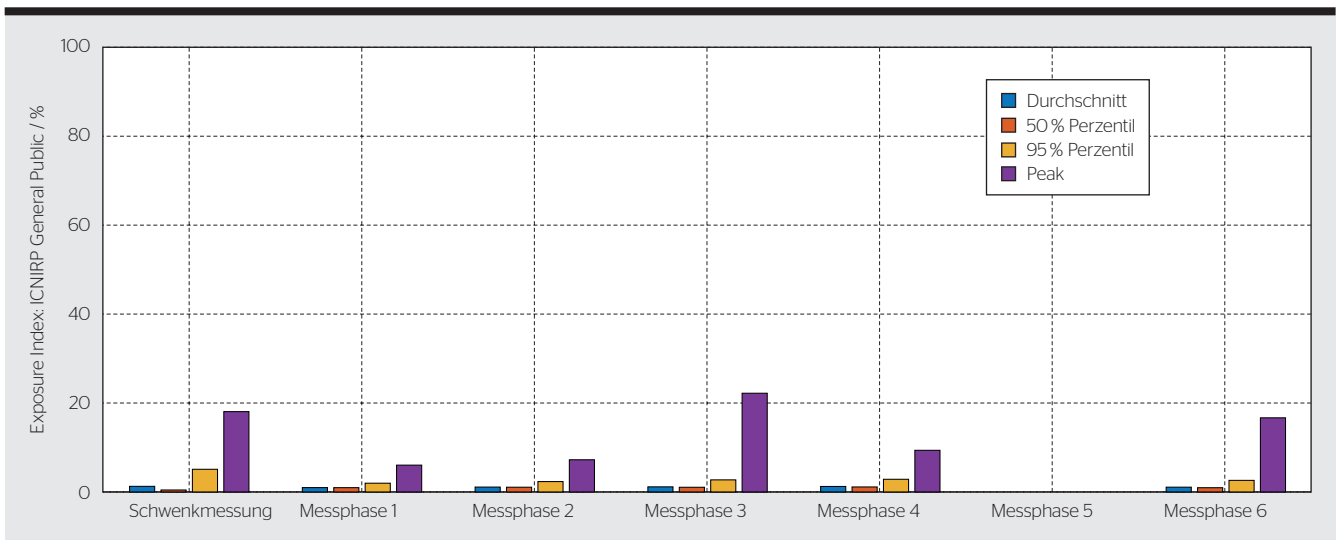
erwärmung und im Niederfrequenzbereich um mögliche Nerven-Stimulation durch im Gewebe induzierte Spannungen, bevor die Erwärmung zum Problem wird. Dies sei aber bei geringen Leistungen weniger kritisch. Was heute fehle, sei eine Anleitung zur Beurteilung der Ko-Exposition von nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern.



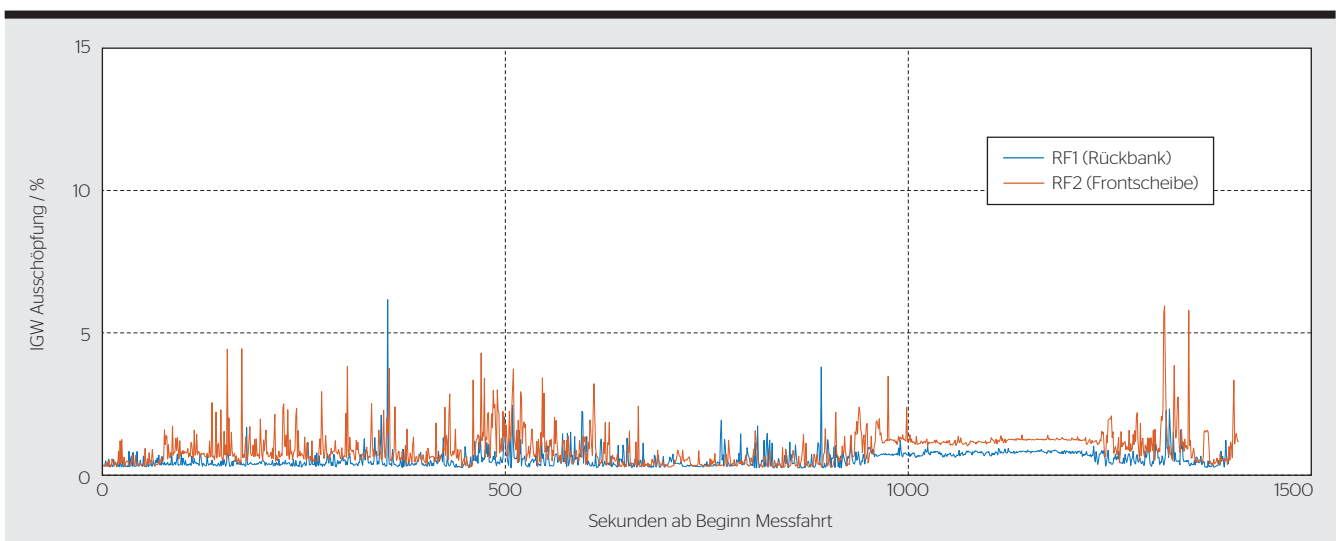
Messung im Fussraum vorne rechts. Die Messungen wurden in drei Abständen mit Distanzhaltern durchgeführt.



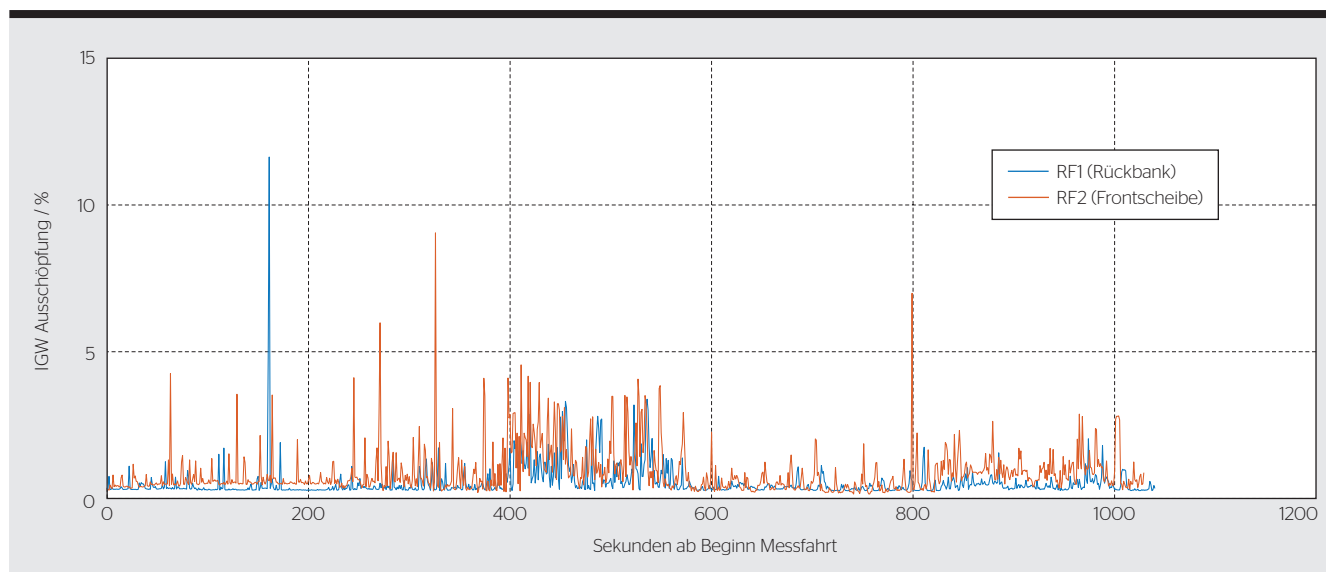
Niederfrequenz: ICNIRP-Grenzwert-Ausschöpfung nach Messfahrt mit elektrischer Mittelklasse-Limousine am 17. August 2022. Die Messphase 5 entspricht dem Ladestopp, der beim Dieselfahrzeug (Grafik unten) natürlich fehlt.



Niederfrequenz: ICNIRP-Grenzwert-Ausschöpfung nach Messfahrt mit Allrad-SUV mit Dieselmotor am 23. August 2022.



Hochfrequenz: Ausschöpfung der NISV-Grenzwerte über die gesamte Fahrt einer Mittelklasse-Limousine mit dualen Elektromotor. Die stabilen Werte nach 1000 s wurden während dem Ladestopp gemessen.



Hochfrequenz: Ausschöpfung der NISV-Grenzwerte über die gesamte Fahrt des Allrad-SUV mit Dieselmotor. Da bei diesem Fahrzeug der Ladestopp entfiel, ist die Messdauer entsprechend kürzer.

Der Antriebsstrang ist unproblematisch

Eigentlich wäre zu erwarten, dass der elektrische Antrieb mit seinen grossen Strömen für hohe EMF-Pegel sorgen würde. Die Realität sieht gemäss Marco Zahner anders aus, denn Hersteller von Fahrzeugen müssen die EMV beachten, um die nötigen Zertifika-

te ausstellen zu können. Da gehört die Abschirmung von Anfang an zum Entwicklungskonzept, denn EMV-Grenzwerte werden tendenziell strenger. Die Leistungselektronik befindet sich zur Abschirmung oft in einem Aluminium-Spritzgussgehäuse, also einem Faraday'schen Käfig. Dadurch wird nebenbei auch sichergestellt, dass

äussere Einflüsse minimiert werden, denn die Immunität ist ebenfalls wichtig.

Marco Zahner weist auf einen weiteren Vorteil von Antriebssträngen bei Autos hin: «Im elektrischen Antrieb fliessen zwar Hunderte von Ampere, aber da die Spannungen relativ klein sind, lassen sich die Leiter nahe

RÉSUMÉ

Champs électromagnétiques dans les voitures électriques

Mesures des immissions

Qu'elle soit électrique ou à énergie fossile, une voiture de tourisme dispose de nombreux composants électriques et électroniques. Aux fonctions « classiques » telles que les systèmes d'éclairage et la commande du moteur s'ajoutent aujourd'hui des fonctions intelligentes comme les aides au stationnement, les systèmes d'information du conducteur et les systèmes de communication. Diverses sources génèrent de ce fait des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques (CEM) à l'intérieur du véhicule. Ses occupants peuvent ainsi être exposés pendant des heures à de tels champs, de fréquences et d'intensités différentes.

Une étude publiée par des chercheurs de la spin-off Fields at Work de l'ETHZ et de la Forschungsstiftung Strom und Mobilkommunikation (FSM), soutenue financièrement par l'OFEN, s'est penchée sur la question de savoir si ces immissions de CEM devaient être considérées comme un risque pour la santé ou si elles se situaient dans un ordre de grandeur inoffensif. Dans le cadre de cette étude, des mesures de CEM ont été effectuées sur quatre voitures électriques à batterie (les voitures hybrides n'ont pas été prises en compte) et, à titre de comparaison, sur un SUV à quatre roues motrices équipé

d'un moteur diesel. Les champs aussi bien à basse qu'à haute fréquence ont été mesurés dans des conditions de fonctionnement réelles. Pour tous les véhicules examinés, les résultats des mesures des champs magnétiques à basse fréquence étaient le plus souvent nettement inférieurs aux recommandations de valeurs limites de l'ICNIRP utilisées dans l'étude: ils ont atteint seulement environ 5% des valeurs limites. Les intensités de champ électrique totales (valeurs RMS) mesurées dans le domaine des hautes fréquences ne dépassent quant à elles pas 12% de la valeur limite de l'ORNI. Lors des mesures extérieures du champ magnétique pendant la recharge rapide de la batterie avec une puissance jusqu'à 150 kW, les valeurs de la composante 50 Hz se situaient à environ 1% de la valeur limite d'immissions de l'ORNI en vigueur en Suisse. Même les parts DC les plus élevées mesurées lors de la recharge étaient nettement inférieures à la valeur limite de 40 mT. Le plus surprenant: dans le SUV propulsé au diesel, les immissions mesurées étaient souvent plus proches des valeurs limites que dans les voitures électriques. Ce n'est donc pas la propulsion électrique qui est déterminante pour l'exposition aux CEM à l'intérieur de la voiture.

beieinander platzieren und abschirmen. Durch eine gute Kabelführung kompensieren sich die Magnetfelder des Leiters und des Rückleiters. Da der Abstand zwischen den Kabeln gering ist, fällt das Magnetfeld rasch ab.» Im Gegensatz dazu sind die Abstände bei Hochspannungs-Freileitungen gross, entsprechend gross sind die Magnetfelder auch auf Distanz.

Messungen auf Probefahrten

Für die Messungen wurden zwei Routen um den Zürichsee festgelegt. Die normale Route wurde für Langzeitmessungen genutzt, die kürzere für Validierungen. Ein guter Mix aus Steigungen, Landstrassen, Strassen innerorts sowie der Autobahn konnte dabei gefunden werden. In verschiedenen Messphasen wurden gewisse Kommunikationsaktivitäten ausgeführt. Dazu gehörte ein Streaming von Spotify via Bluetooth, das Herunterladen einer 10-GB-Testdatei auf dem Land und in einem urbanen Gebiet sowie das Telefonieren.

Die Messungen wurden mit tragbaren ExpoM-RF- und ExpoM-ELF-Expositionsmessgeräten durchgeführt, die Fields at Work selbst entwickelt hat. Die Konfiguration des ExpoM-RF für hochfrequente Felder umfasste 35 Frequenzbänder der wichtigen Schweizer Telekommunikations- und Rundfunkdienste. Dieselbe Konfiguration wurde auch für die Messungen im Rahmen des vom Bafu im Jahr 2022 in Auftrag gegebenen Monitoring der nichtionisierenden Strahlung verwendet.

Die Messgeräte wurden im Testfahrzeug jeweils auf den Fussraum vorne links und vorne rechts, hinten links und hinten rechts, in der Mitte der Rückbank sowie vorne unter der Frontscheibe links und rechts (**Einstiegsbild**) platziert. Ein Messgerät wurde für Messungen während des Ladevorgangs verwendet.

Das Einschalten gewisser Verbraucher im Fahrzeug (Sitzheizung, Schei-

benwischer, Klimaanlage, Streaming usw.) wurde zusammen mit der Uhrzeit protokolliert.

Für die Auswertung des niederfrequenten Magnetfelds wurden die Messresultate der Autos mit den frequenzabhängigen «General Public»-ICNIRP-Referenzwerten im Frequenzbereich verglichen. Die hochfrequenten elektromagnetischen Felder wurden mit den NISV-Immissionsgrenzwerten für hochfrequente EMF verglichen.

Fazit

Bei allen untersuchten Fahrzeugen lagen die Messergebnisse für niederfrequente Magnetfelder meist deutlich unter den in der Studie verwendeten ICNIRP-Grenzwertempfehlungen. Es wurden nur rund 5% der Grenzwerte ausgeschöpft. Kurzzeitig wurden Werte in der Nähe der Grenzwerte festgestellt, die kaum durch den elektrischen Antrieb verursacht wurden, sondern einen anderen Ursprung hatten. Beispielsweise wurden solche Ausreisser durch die Sitzheizung verursacht, die starke geschaltete Magnetfelder erzeugt. Die entsprechende Feldstärke fällt aber schnell mit grösserem Abstand ab.

Die in den Hochfrequenzmessungen gemessenen totalen E-Feldstärken (RMS-Werte) bewegen sich meist bis 3 V/m, mit einzelnen Werten bis 7 V/m. Die NISV-Grenzwertausschöpfung bewegt sich im Bereich bis 12%. Die Messwerte verlaufen bei allen Messfahrten ähnlich.

Die Aussenmessungen des Magnetfeldes während des Schnellladens der Batterie mit bis zu 150 kW ergaben Werte des 50-Hz-Anteils um rund 1 μ T, also weit unter dem in der Schweiz gültigen Immissionsgrenzwert der NISV von 100 μ T. Auch die höchsten gemessenen DC-Anteile lagen beim Laden zwischen 100 und 800 μ T und somit deutlich unter dem Grenzwert von 40 mT. Bei den Messungen wurde nur eine Ladestation verwendet, ein Vergleich unterschiedlicher Ladestationen fand nicht statt.

Grundsätzlich ist der elektrische Antrieb bezüglich EMF-Immissionen unproblematisch, denn die Komponenten sind einerseits gut abgeschirmt und andererseits sind sie von den Personen im Fahrzeug entfernt. Der Abstand zur magnetischen Feldquelle ist dabei entscheidend. Deshalb ist der EMF-Anteil von Komponenten wie Sitzheizungen deutlich grösser als von Antriebskomponenten. Bezüglich EMF unterscheiden sich Elektroautos deshalb kaum von Autos mit Verbrennungsmotoren.

Bei beiden Fahrzeugarten werden im Innenraum keine Grenzwerte überschritten. Zurecht, könnte man sagen, steht die Gesellschaft den elektromagnetischen Feldern in Elektrofahrzeugen nicht kritisch gegenüber. Und wenn in Fahrzeugen EMF-Quellen problematisch werden könnten, sind sie dort zu finden, wo grosse Ströme in der Nähe von Körperteilen fließen, wie bei der Sitzheizung, oder in ICT-Geräten, die zu Komfort- oder Steuerungszwecken mit der Aussenwelt kommunizieren. In Komponenten also, die auch in fossil betriebenen Autos vorhanden sind.

Obwohl die Studienresultate meist deutlich unter den Grenzwerten lagen, raten die Autoren der Studie abschliessend dazu, die in Elektroautos auftretenden elektromagnetischen Felder auch künftig zu beobachten, damit der Schutz der Gesundheit stets gewährleistet ist. Dabei sollte besonders auf neu in Personenwagen integrierte EMF-Quellen geachtet werden, wie beispielsweise neuartige drahtlose Kommunikationsmittel.

Literatur

Jürg Eberhard, Jürg Fröhlich, Marco Zahner, Elektromagnetische Felder (EMF) in Elektrofahrzeugen, Bundesamt für Energie, Schlussbericht vom 31.3.2023.

Autor

Radomír Novotný ist Chefredaktor des Bulletins Electrosuisse.

→ Electrosuisse, 8320 Fehraltorf

→ radomir.novotny@electrosuisse.ch