



# Auto, Elektroauto, Hybridauto

Datum:

5. Februar 2026

In Autos mit Verbrennungsmotor, Elektroautos und Hybridautos können elektrische und magnetische Felder auftreten. Sie haben verschiedene Ursachen:

- bei Elektroautos und Hybridautos erzeugen der elektrische Antrieb und die Batterie vorwiegend magnetische Felder;
- bei Autos mit Verbrennungsmotor und Hybridautos erzeugen die Kraftstoffpumpe, der Generator (Lichtmaschine) und die Batterie vorwiegend magnetische Felder;
- bei allen Autotypen erzeugen die Bordelektrik und -elektronik wie z.B. Verkabelung, die Klimaanlage, die Sitzheizung, Unterhaltungs- und Navigationsgeräte, Fahrassistenzsysteme und Sensoren elektrische und magnetische Felder;
- bei allen Autotypen erzeugt die mobile Telekommunikation elektromagnetische Strahlung;
- bei allen Autotypen entstehen magnetische Felder durch die Stahlgürtel der Autoreifen. Sie bestehen aus Stahldrähten, die magnetisch sind. Durch die rotierenden Räder entstehen magnetische Felder im Fahrzeuginnern.



Die magnetischen Felder, die Autos mit Verbrennungsmotor, Elektroautos und ihre Ladekabel oder Hybridautos erzeugen, halten die Grenzwerte ein, die kurzfristige gesundheitliche Auswirkungen verhindern sollen. Inwieweit sich diese Felder langfristig auf die Gesundheit auswirken, lässt sich auf Grund des aktuellen Wissensstandes nicht beurteilen.

Die elektromagnetische Strahlung, die Mobiltelefone oder andere Funkanwendungen im Autoinnern erzeugen, hält die Grenzwerte ebenfalls ein. Personen am Steuer dürfen Mobiltelefone allerdings nur mit Freisprechvorrichtung verwenden. Beachten Sie, dass die Unfallgefahr selbst dann erhöht ist, wenn Sie eine Freisprechvorrichtung verwenden.

Personen, die im Sinne einer persönlichen Vorsorge die Felder klein halten wollen, können dies mit untenstehenden Tipps tun. Bei allen Autotypen bestehen keine weiteren Optimierungsmöglichkeiten.

- Sie können in einigen spezialisierten Garagen die Reifen Ihres Autos dauerhaft entmagnetisieren lassen.
- Stellen Sie die Sitzheizung wenn möglich nicht aufs Maximum, um die Belastung mit magnetischen Feldern im Unterleibs- und Rückenbereich zu verringern.
- Verzichten Sie am Steuer während des Fahrens darauf, zu telefonieren oder Nachrichten zu lesen oder zu schreiben. Beachten Sie die Informationen des BfU zu den rechtlichen Folgen [Handy am Steuer: was erlaubt ist – und was nicht | BfU](#). Falls Sie trotz allem nicht aufs Telefonieren im Auto verzichten möchten, verwenden Sie unbedingt eine Freisprechvorrichtung.



# Ausführliche Informationen

## 1 Grenzwerte

Die "International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection" (ICNIRP) bewertet gesundheitliche Wirkungen von elektromagnetischen Feldern. Sie gibt Empfehlungen für Grenzwerte ab [1], die ihrerseits die Grundlage für die Grenzwerte der EU-Ratsempfehlung bilden [2]. Die EU-Grenzwerte definieren in Europa und der Schweiz die grundlegenden Anforderungen, die elektrische Produkte erfüllen müssen, um hinsichtlich ihrer elektromagnetischen Felder als sicher zu gelten.

Diese Grenzwerte basieren auf wissenschaftlich nachgewiesenen akuten Wirkungen bei Menschen, wenn die Felder eine bestimmte Stärke überschreiten. Die Grenzwerte für die Allgemeinbevölkerung liegen um einen Faktor 50 unter dem Wert, ab dem akute Wirkungen auftreten.

Es gibt zwei Kategorien von Grenzwerten: sogenannte Basisgrenzwerte und aus ihnen abgeleitete Referenzwerte. Je nach Frequenzbereich haben sie unterschiedliche Werte oder stellen unterschiedliche physikalische Grössen dar.

### 1.1 Niederfrequente und mittelfrequente Felder

Die Basisgrenzwerte im niederfrequenten Bereich beziehen sich auf elektrische Ströme, die magnetische Felder in einem Körper erzeugen (Körperströme). Diese Ströme können sich akut auf die Funktionen des Nervensystems auswirken. Da sich diese Körperströme nicht direkt messen lassen, werden in der Praxis Referenzwerte verwendet, die aus den Basisgrenzwerten abgeleitet sind. Sie sind in Abwesenheit der Person als elektrisches oder magnetisches Feld messbar. Wenn die Referenzwerte für magnetische Felder eingehalten sind, liegt meistens auch der Strom im Körper einer belasteten Person unter den Basisgrenzwerten. Sind die Referenzwerte jedoch überschritten, so muss mit aufwändigen Methoden wie Computersimulationen von menschlichen Modellen überprüft werden, ob die Basisgrenzwerte eingehalten sind.

### 1.2 Hochfrequente elektromagnetische Strahlung

Der Körper einer Person kann hochfrequente elektromagnetische Strahlung absorbieren und sich dadurch erwärmen. Grenzwerte beschränken diese Erwärmung, damit keine gesundheitlichen Risiken entstehen.

Basisgrenzwerte für Frequenzen bis 10 GHz bilden die spezifischen Absorptionsraten (SAR-Werte). Sie geben an, wieviel elektromagnetische Strahlung (ausgedrückt als Strahlungsleistung in Watt) eine bestimmte Masse des menschlichen Körpers (kg) absorbiert. Der Grenzwert für Rumpf und Kopf ist am strengsten und beträgt 2 W/kg, gemittelt über ein Körpervolumen von 10 Gramm. Dies bedeutet, dass im stärksten bestrahlten Körpervolumen von 10 Gramm die SAR den Wert von 0.02 W/kg nicht überschreiten darf. Mit SAR-Werten lassen sich vorzugsweise Geräte beurteilen, die Personen üblicherweise auf der Körperoberfläche oder in unmittelbarer Nähe zum Körper benutzen.

Da die Strahlung bei Frequenzen von über 10 GHz nicht mehr tief in den Körper eindringt, erwärmt



sich das Gewebe nur noch in der Nähe der Oberfläche oder an der Oberfläche des Körpers. Der Basisgrenzwert für Strahlungen mit Frequenzen ab 10 GHz, wie sie beispielsweise bei Radaranlagen vorkommen, bildet die Leistungsdichte in  $\text{W/m}^2$ .

SAR-Werte lassen sich nur aufwändig bestimmen. Die daraus abgeleiteten Referenzwerte sind wesentlich einfacher zu messen. Sie sind aber nur bei homogen bestrahlten Körpern anwendbar. Sie beziehen sich auf elektrische und magnetische Felder, die magnetische Flussdichte und die Leistungsdichte.

## 1.3 Grenzwerte und Langzeitwirkungen

Potenzielle Langzeitwirkungen sind bei diesen Grenzwertempfehlungen nicht berücksichtigt. Grund dafür ist, dass die ICNIRP die wissenschaftlichen Erkenntnisse für schädliche Auswirkungen von langfristigen Belastungen mit elektromagnetischen Feldern als ungenügend einstuft.

# 2 Nieder- und mittelfrequente Felder in Autos

## 2.1 Ursachen

### 2.1.1 Autos mit Verbrennungsmotor

In Autos mit Verbrennungsmotor benötigen verschiedene elektrische Systeme und Geräte elektrische Energie. Sie wird im Stillstand durch die Batterie und während der Fahrt durch den Generator geliefert, der mechanische Energie in Strom umwandelt. Üblicherweise fließt der Strom über Verkabelungen zu den einzelnen Systemen und über die Karosserie, die als Neutralleiter dient, wieder zur Batterie oder zum Generator zurück. Dabei entstehen niederfrequente Magnetfelder.

### 2.1.2 Elektroautos

Elektroautos werden mit einem Elektromotor angetrieben. Anders als bei Autos mit Verbrennungsmotor können sie einen Teil der Energie, die beim Bremsen entsteht, in elektrische Energie umwandeln bzw. rekuperieren. Das fahrende Auto treibt in diesem Betriebsmodus den Elektromotor an, der jetzt als Generator bzw. als Motorbremse arbeitet. Je nach Fahrroute wechselt der Elektromotor ständig zwischen Motorbetrieb mit Energieverbrauch und Generatorbetrieb mit Energieproduktion. Eine Batterie speichert die elektrische Energie, die beim Bremsen entsteht. Die Batterie ist wegen ihrer grossen Abmessungen oft im Fahrzeugboden eingebaut.

Üblicherweise fließt der Strom über Verkabelungen zum Elektromotor und zu anderen elektrischen Systemen und über die Karosserie, die als Neutralleiter dient, wieder zur Batterie zurück. Dabei entstehen magnetische Felder. Da Kabel und Batterie in der Nähe des Passagiertraumes liegen, besteht die Möglichkeit, dass ein Teil der Felder in den Passagierraum eindringt

### 2.1.3 Hybridautos

Hybridautos werden hauptsächlich durch einen Verbrennungsmotor angetrieben, der durch einen Elektromotor unterstützt wird. Beim Bremsen kann der Elektromotor als Motorbremse bzw. Generator



arbeiten und elektrische Energie erzeugen, die eine Batterie speichert. Sie ist meistens im Kofferraumboden oder unter der Rückbank eingebaut. Plug-in Hybridautos können die Batterie auch über eine externe Stromversorgung aufladen.

## 2.2 Magnetfelder im Fahrzeuginnern

Eine Studie von 2025 im Auftrag des deutschen Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) hat die magnetischen Felder in 11 verschiedenen Elektroautos, in zwei Hybridautos und in einem Auto mit Verbrennungsmotor ausgemessen [3]. Die Resultate sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Angegeben ist die Ausnutzung der Referenzwerte in Prozent auf den am stärksten belasteten Sitzen von 11 Elektroautos, zwei Hybridautos und einem Auto mit Verbrennungsmotor. Wenn eine Situation (z.B. höchstes Magnetfeld auf dem Fahrersitz) mehrere Fahrzeuge betrifft, ist zusätzlich das Verhältnis der Grenzwertausnutzungen des am stärksten und des am schwächsten belasteten Fahrzeugs angegeben.

| Maximale Referenzwert-Ausnutzung      |                             |                         |                                                                                        |                              |                         |                                                                                        |                                |
|---------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
|                                       | Elektroautos (11 Fahrzeuge) |                         |                                                                                        | Hybridautos (zwei Fahrzeuge) |                         |                                                                                        | Ein Auto mit Verbrennungsmotor |
| Sitz mit höchstem Magnetfeldern       | Anzahl betroffene Fahrzeuge | Maximale Ausnutzung [%] | Verhältnis zwischen dem am stärksten und am schwächsten belasteten Fahrzeug (gerundet) | Anzahl betroffene Fahrzeuge  | Maximale Ausnutzung [%] | Verhältnis zwischen dem am stärksten und am schwächsten belasteten Fahrzeug (gerundet) | Maximale Ausnutzung [%]        |
| Fahren mit konstanter Geschwindigkeit |                             |                         |                                                                                        |                              |                         |                                                                                        |                                |
| Fahrersitz                            | 5                           | 62                      | 10 zu 1                                                                                | 2                            | 101                     | 3 zu 1                                                                                 | 24                             |
| Beifahrersitz                         | 5                           | 19                      | 3 zu 1                                                                                 | -                            | -                       | -                                                                                      | -                              |
| Rückbank                              | 1                           | 11                      | -                                                                                      | -                            | -                       | -                                                                                      | -                              |
| Beschleunigen                         |                             |                         |                                                                                        |                              |                         |                                                                                        |                                |
| Fahrersitz                            | 6                           | 66                      | 8 zu 1                                                                                 | 2                            | 1200                    | 33 zu 1                                                                                | 79                             |
| Beifahrersitz                         | 4                           | 123                     | 18 zu 1                                                                                | -                            | -                       | -                                                                                      | -                              |



|                    |   |     |         |   |      |        |     |
|--------------------|---|-----|---------|---|------|--------|-----|
| Rück-<br>bank      | 1 | 30  | -       | - | -    | -      | -   |
| Bremsen            |   |     |         |   |      |        |     |
| Fahrer-<br>sitz    | 6 | 282 | 26 zu 1 | - | -    | -      | 109 |
| Beifah-<br>rersitz | 4 | 320 | 11 zu 1 | 2 | 137  | 5 zu 1 | -   |
| Rück-<br>bank      | 1 | 77  | -       | - | -    | -      | -   |
| Stillstand         |   |     |         |   |      |        |     |
| Fahrer-<br>sitz    | 5 | 425 | 4 zu 1  | 1 | 305  | -      | 576 |
| Beifah-<br>rersitz | 6 | 704 | 12 zu 1 | 1 | 1500 | -      | -   |
| Rück-<br>bank      | - | -   | -       | - | -    | -      | -   |

Tabelle 1: Grösse der Magnetfelder auf den stärksten belasteten Sitzen in Prozent des Referenzwertes [3]. Wenn eine Situation (z.B. höchstes Magnetfeld auf dem Fahrersitz) mehrere Fahrzeuge betrifft, ist das gerundete Verhältnis der Referenzwertausnutzungen des am stärksten und des am schwächsten belasteten Fahrzeugs angegeben.

Die Studie zeigt,

- dass sowohl das Auto mit Verbrennungsmotor, die beiden Hybridautos und die Elektroautos Magnetfelder erzeugen können, welche in einzelnen Situationen die Referenzwerte kurzzeitig und lokal erreichen oder überschreiten können;
- dass die höchsten auftretenden Magnetfelder fahrzeugspezifisch sind;
- dass die Sitze, an denen stärkere Magnetfelder im Fahrzeuginnern auftreten, ebenfalls fahrzeugspezifisch sind;
- dass die Magnetfeldbelastung beim Fahrersitz im Fuss- und Beinbereich tendenziell grösser ist als im Bereich anderer Körperteile, wie z.B. des Oberkörpers;
- dass die Magnetfeldbelastung beim Beschleunigen und Bremsen bei Elektroautos und Hybridautos tendenziell oder deutlich grösser ist als während des Fahrens mit konstanter Geschwindigkeit;
- dass die Magnetfelder, welche die Referenzwerte teilweise überschreiten, die Basisgrenzwerte jedoch immer einhalten. Die Studie hat bei Belastungen, die nicht das Zentralnervensystem betreffen, die Resultate gemäss den Grenzwerten der ICNIRP von 2010 [23] beurteilt. Letztere sind in der EU und der Schweiz nicht dazu vorgesehen, die Produktesicherheit zu beurteilen;
- dass Personen mit Implantaten durch die Magnetfeldbelastung gemäss aktuellem Wissenstand nicht gefährdet sind.

Die Studie zeigt zudem, dass die Magnetfelder, die nicht vom elektrischen Antrieb erzeugt werden (z.B. im Stillstand des Fahrzeuges oder auch beim Auto mit Verbrennungsmotor), höhere Werte errei-



chen können. Sie entstehen durch elektrische Komponenten, die Ein- bzw. Ausschaltvorgänge aufweisen, wie zum Beispiel:

- beim Einschalten des Autos;
- bei Sitzheizungen, die ihre Temperatur mit ungünstigen Schaltreglern regeln. Betroffen sind vor allem der Unterleibs- und Rückenbereich;
- beim Blinken;
- durch Gebläse im Innenraum;
- durch Fensterheber.

## 2.3 Magnetfelder beim Laden von Elektroautos

Eine Studie des deutschen Bundesamtes für Strahlenschutz [4] hat die magnetischen Felder untersucht, die beim Laden im Innern von Elektroautos und im Aussenbereich um typische europäische Ladestationen bzw. Ladeeinrichtungen entstehen. Tabelle 2 listet die hauptsächlich, in der Schweiz verwendeten Ladearten (Lademodus) und die entsprechenden Ladeeinrichtungen.

| Lademodus<br>Ladeeinrichtung                                                            | Strom                                                    | Spannung                   | Maximale<br>Ladeleis-<br>tung   | Steckertyp des Kabels |                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
|                                                                                         |                                                          |                            |                                 | fahrzeug-<br>seitig   | netzseitig                  |
| Lademodus 2<br>Ladekabel mit Anschluss an<br>Steckdose für<br>- Haushalt<br>- Industrie | Wechsel-<br>strom<br>1-phasig<br>- 8 A<br>- 16 A         | - 230 V<br>- 230 V         | - 1.8 kW<br>- 3.7 kW            | - 2<br>- 2            | - Typ 13<br>- CCE 16/3      |
| Lademodus 3:<br>- Wallbox<br>- Ladesäule                                                | Wechsel-<br>strom 1- bis<br>3-phasig<br>- 16 A<br>- 32 A | - 230 V<br>- 400V          | - 3.6 kW<br>- 22 kW             | - 2<br>- Combo 2      | 2                           |
| Lademodus 4:<br>Ladesäule                                                               | Gleichstrom                                              | - 150-400 V<br>- 150-800 V | - 150 kW<br>- 300 kW            | Combo 2               | Fixes Kabel<br>an Ladesäule |
| Induktiv: Spule im Boden oder<br>Parkplatz unter dem Auto.<br>Spule im Auto             | Wechsel-<br>strom                                        |                            | Experimen-<br>tell bis 22<br>kW | Nicht vor-<br>handen  | Nicht vorhan-<br>den        |

Tabelle 2 Übersicht über gängige Ladearten (Lademodus) in Europa, um ein Elektroauto zu laden.  
Angaben angepasst für die Schweiz.



Tabelle 3 zeigt die magnetischen Felder, die im Innern von Elektroautos durch das Laden entstehen. Die Werte sind als Ausnutzung des Referenzwertes für folgende Punkte angegeben.

- Lademodus
- Ausgemessener Sitzplatz
- Zeitpunkt: bei Ladebeginn (2 bis 5 s) oder beim stationären Laden (ab 10 s)
- Restladung der Batterie: fast vollständig entladene Batterie (10 %) oder fast voll geladene Batterie (>95 %)

| Lademodus 2 Wechselstrom AC                                                                                                              |                     |      |                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------|------------------------|
| Maximalwert der Referenzwertausnutzungen [%] von zwei Fahrzeugen an Ladekabel mit Anschluss an Steckdose mit einer Ladeleistung von 2 kW |                     |      |                        |
| Sitz                                                                                                                                     | Restladung Batterie |      | Maximal belasteter Ort |
|                                                                                                                                          | 10%                 | >95% |                        |
| Fahrersitz Ladebeginn                                                                                                                    | 51                  | 26   | Fuss                   |
| Fahrersitz stationäres Laden                                                                                                             | 4.4                 | 2.8  | Fussbereich            |
| Beifahrersitz Ladebeginn                                                                                                                 | 0.9                 | 1    | Fussbereich            |
| Beifahrersitz stationäres Laden                                                                                                          | 0.8                 | 0.9  | Fussbereich            |
| Lademodus 3 Wechselstrom AC                                                                                                              |                     |      |                        |
| Maximalwerte der Referenzwertausnutzungen [%] von sechs Fahrzeugen an einer AC-Wallbox mit einer Ladeleistung von 11 kW                  |                     |      |                        |
| Fahrersitz Ladebeginn                                                                                                                    | 219                 | 133  | Fussbereich            |
| Fahrersitz stationäres Laden                                                                                                             | 5                   | 3.7  | Fussbereich            |
| Beifahrersitz Ladebeginn                                                                                                                 | 89                  | 100  | Fussbereich            |
| Beifahrersitz stationäres Laden                                                                                                          | 3.5                 | 2.5  | Fussbereich            |
| Lademodus 3 Wechselstrom AC                                                                                                              |                     |      |                        |
| Maximalwerte der Referenzwertausnutzungen [%] von sechs Fahrzeugen an einer Ladesäule mit einer Ladeleistung von 22 kW                   |                     |      |                        |
| Fahrersitz Ladebeginn                                                                                                                    | 190                 | 208  | Fussbereich            |
| Fahrersitz stationäres Laden                                                                                                             | 4.6                 | 5.8  | Fussbereich            |
| Beifahrersitz Ladebeginn                                                                                                                 | 139                 | 147  | Fussbereich            |
| Beifahrersitz stationäres Laden                                                                                                          | 2.2                 | 2.1  | Fussbereich            |
| Lademodus 4 Gleichstrom DC                                                                                                               |                     |      |                        |
| Maximalwerte der Referenzwertausnutzungen [%] von zwei Fahrzeugen an zwei DC-Ladesäulen mit Ladeleistungen von 300 bzw. 350 kW           |                     |      |                        |
| Fahrersitz Ladebeginn                                                                                                                    | 26                  | 26   | Fussbereich Vordersitz |
| Fahrersitz stationäres Laden                                                                                                             | <0.8                | <0.8 |                        |
| Beifahrersitz Ladebeginn                                                                                                                 | 8                   | 2.5  | Rückbank unten         |
| Beifahrersitz stationäres Laden                                                                                                          | <0.8                | <0.8 |                        |

Tabelle 3 Magnetfelder im Fahrzeuginnern beim Ladevorgang mit verschiedenen Lademodi

Tabelle 4 zeigt die magnetischen Felder, die im Aussenbereich von Elektroautos durch das Laden



entstehen. Die Werte sind als Ausnutzung des Referenzwertes abhängig von folgenden Punkten angegeben.

- Lademodus
- Unmittelbar beim Stecker sowie in der Nähe der Wallbox und des Fahrzeuganschlusses
- Zeitpunkt: bei Ladebeginn (2 bis 5 s) oder beim stationären Laden (ab 10 s)
- Restladung der Batterie: fast vollständig entladene Batterie oder fast voll geladene Batterie

| Lademodus 2 Wechselstrom AC<br>Maximalwert der Referenzwertausnutzungen [%] von zwei Fahrzeugen an Ladekabel mit Anschluss an Steckdose mit einer Ladeleistung von 2 kW |                     |                   |            |                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------|------------|-------------------|
| Position                                                                                                                                                                | Restladung Batterie |                   |            |                   |
|                                                                                                                                                                         | 10%                 |                   | >95%       |                   |
|                                                                                                                                                                         | Ladebeginn          | Stationäres Laden | Ladebeginn | Stationäres Laden |
| 30 cm Abstand zum Fahrzeuganschluss                                                                                                                                     | 3.5                 | 0.9               | 4.6        | <0.8              |
| Stecker am Fahrzeug                                                                                                                                                     | 260                 | 28                | 286        | 25                |
| Lademodus 3 Wechselstrom AC<br>Maximalwerte der Referenzwertausnutzungen [%] von sechs Fahrzeugen an einer AC-Wallbox mit einer Ladeleistung von 11 kW                  |                     |                   |            |                   |
| 30 cm Abstand zum Fahrzeuganschluss                                                                                                                                     | 10                  | 0.9               | 15         | <0.8              |
| Stecker am Fahrzeug                                                                                                                                                     | 1700                | 161               | 1510       | 131               |
| 30 cm von Wallbox                                                                                                                                                       | 5.1                 | <0.8              | 4.9        | <0.8              |
| Lademodus 3 Wechselstrom AC<br>Maximalwerte der Referenzwertausnutzungen [%] von sechs Fahrzeugen an einer AC-Ladesäule mit einer Ladeleistung von 22 kW                |                     |                   |            |                   |
| 30 cm Abstand zum Fahrzeuganschluss                                                                                                                                     | 56                  | 5.2               | 50         | 5                 |
| Stecker am Fahrzeug                                                                                                                                                     | 1740                | 154               | 1460       | 139               |
| 30 cm von Ladesäule                                                                                                                                                     | 8.2                 | 0.9               | 8.5        | 0.9               |
| Lademodus 4 Gleichstrom DC<br>Maximalwerte der Referenzwertausnutzungen [%] von zwei Fahrzeugen an zwei DC-Ladesäulen mit Ladeleistungen von 300 bzw. 350 kW            |                     |                   |            |                   |
| 30 cm Abstand zum Fahrzeuganschluss                                                                                                                                     | 2.7                 | 2.7               | 2.2        | 1.1               |
| Stecker am Fahrzeug                                                                                                                                                     | 99                  | 99                | 118        | 30                |
| 30 cm von Ladesäule                                                                                                                                                     | 8                   | 8                 | 6          | 6                 |

Tabelle 4 Magnetfelder an Ladeeinrichtungen beim Ladevorgang mit verschiedenen Lademodi

Die Resultate zur Ausnutzung der Referenzwerte zeigen bei allen Lademodi

- dass sowohl die Felder an den Ladeeinrichtungen als auch im Fahrzeug in der Mehrzahl der Fälle unter den Referenzwerten liegen;
- dass erhöhte, über den Referenzwerten liegende Werte vielfach an Steckern am Fahrzeug auftreten können;



- dass erhöhte Werte bei Ladebeginn und im Fussbereich der Fahrzeuge auftreten;
- dass die Felder nicht davon abhängen, ob bei Ladebeginn die Batterie ziemlich leer (Restladung 10%) oder ziemlich voll (Restladung > 95%) ist.

Da die Referenzwerte teilweise überschritten waren, hat die Studie mit einer Computersimulation untersucht, ob die Basisgrenzwerte eingehalten sind. Die Resultate für zwei Fahrzeuge, bei denen die Referenzwerte überschritten waren, zeigen, dass die Basisgrenzwerte in jedem Fall eingehalten sind. Ihre Ausnutzung liegt

- unter 2% für eine Person, die auf dem Fahrersitz sitzt;
- unter 15 %, für eine Person, die beim Fahrzeuganschluss steht, wobei Kinder tendenziell stärker belastet sein könnten als Erwachsene;
- unter 15 % (gemäss ICNIRP 2010 [23]) für eine Person, die einen Ladestecker umfasst bzw. unter 30%, wenn sie das Kabel umfasst.

Die Studie hat im Weiteren die Felder untersucht, die bei einer Pilotanlage bei induktiven kabellosen Laden von Taxis entstehen. Zwei Fahrzeugpositionen wurden untersucht

- Fahrzeug steht zentriert auf der eingeschalteten Ladeeinrichtung
- Fahrzeug steht 12cm seitlich versetzt auf der eingeschalteten Ladeeinrichtung

Die Resultate zeigen,

- dass der Referenzwert im Innenbereich des Autos zu circa 20% ausgenutzt wird, mit einer leicht erhöhten Ausnutzung, wenn das Auto versetzt auf der Ladeeinrichtung steht;
- dass der Referenzwert direkt neben dem Fahrzeug bis zu einer Höhe von 40 cm über dem Boden deutlich überschritten ist, das heisst bis zu 400% bei zentriertem Fahrzeug und bis zu 600% mit versetztem Fahrzeug.
- dass der Basisgrenzwert hingegen im Autoinnern unter 1% und ausserhalb des Autos unter 2 % ausgenutzt wird

## 2.4 Magnetfelder von Autoreifen

### 2.4.1 Ursache / Grösse

Die Stahleinlagen von Autoreifen sind durch einen Herstellungsprozess magnetisiert. Sie erzeugen beim Stillstand ein statisches und während der Fahrt ein niederfrequentes Magnetfeld. Die Frequenz des Magnetfeldes ist dabei von der Fahrgeschwindigkeit abhängig. Eine vom BAG finanzierte Studie hat in zwölf verschiedenen Autos die Magnetfelder untersucht, die durch magnetisierte Autoreifen entstehen. Die Messungen fanden bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h statt. Dabei entstanden niederfrequente Magnetfelder mit Frequenzen zwischen 5 und 2000 Hz (Tabelle 5) [5].

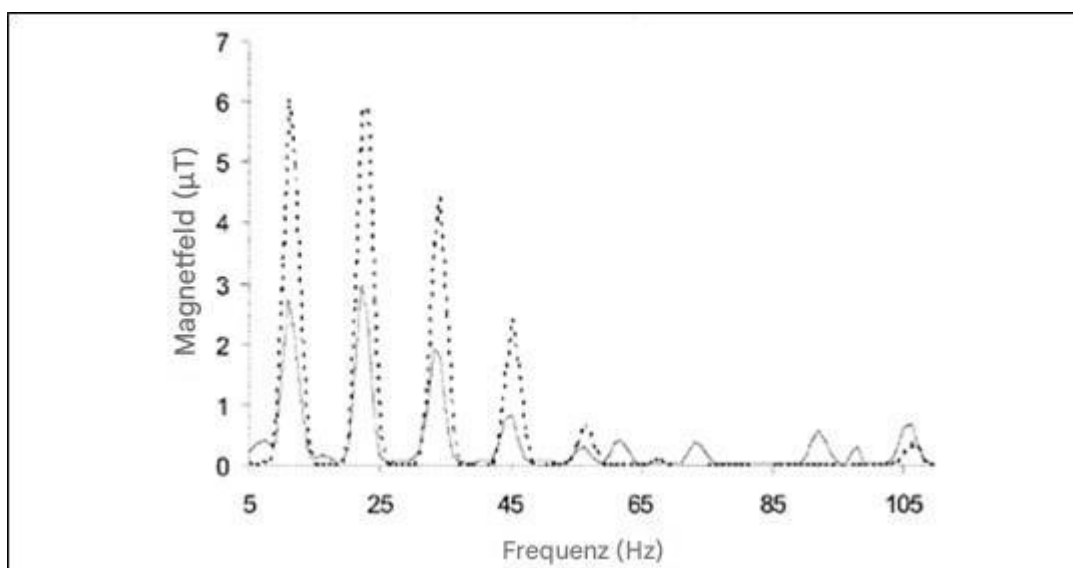


| Magnetfeld ( $\mu\text{T}$ ) | Beckenbereich<br>Fahrer | Kopfbereich<br>Fahrer | Fussbereich<br>Beifahrer | Rücksitz |
|------------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|----------|
| Mittelwert                   | 0,29                    | 0,21                  | 3,22                     | 3,28     |
| Standardabweichung           | 0,18                    | 0,10                  | 2,53                     | 2,55     |
| Maximum                      | 0,73                    | 0,45                  | 8,89                     | 9,51     |
| Minimum                      | 0,12                    | 0,10                  | 0,76                     | 0,65     |

Tabelle 5: Spitzenwerte im Magnetfeldspektrum an verschiedenen Positionen in zwölf fahrenden Autos bei 80 km/h [5].

Hohe Werte wurden im Fussbereich des Beifahrersitzes und auf dem Rücksitz gemessen. In 2/3 der Autos wurden Werte über 2  $\mu\text{T}$  gemessen, in 1/4 der Autos Werte über 6  $\mu\text{T}$ .

Die Grundfrequenz der Magnetfelder ist 10–12 Hz bei einer Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h. In Figur 1 ist zu sehen, dass jedoch auch höhere harmonische Frequenzen gemessen werden.



Figur 1: Typisches Magnetfeldspektrum in einem mit 80 km/h fahrenden Auto (Magnetfeld in Abhängigkeit der Frequenz). Gestrichelte Linie: Fussregion Beifahrersitz, durchgezogene Linie: Rücksitz. [5]

Eine gewichtete Summierung der spektralen Magnetfeldanteile zwischen 5 und 100 Hz zeigt, dass bei den zwölf gemessenen Autos auf dem Rücksitz im Mittel 4%, maximal 6,9% des Referenzwertes ausgeschöpft werden (Tabelle 6).

| Ausnutzung des Referenzwertes | Fussbereich Beifahrer | Rücksitz |
|-------------------------------|-----------------------|----------|
| Mittelwert                    | 4,6 %                 | 4,0%     |
| Maximum                       | 14,3 %                | 6,9 %    |
| Minimum                       | 1,0 %                 | 0,4 %    |



Tabelle 6: Gewichtete Summierung der spektralen Magnetfelder im Fahrgastraum von zwölf fahrenden Autos. 100 % entspricht der vollen Ausnutzung des Referenzwertes [5]

Die gleiche Studie hat auf einer Auswuchtmaschine die Magnetfelder von 32 einzelnen Autoreifen auf Felgen im Abstand von 2 cm vom Rad untersucht (Tabelle 7). Die Frequenz der Magnetfelder lag zwischen 5 und 2000 Hz und hing von der Drehzahl der Auswuchtmaschine ab. Die Magnetfelder der gemessenen Autoreifen zeigen eine breite Streuung zwischen 0,8 und 97  $\mu\text{T}$ .

| Magnetfeld ( $\mu\text{T}$ )         | Alle Autoreifen (n=32) | Neue Autoreifen (n=13) | Benutzte Autoreifen (n=19) | Alufelgen (n=25) | Stahlfelgen (n=7) |
|--------------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|------------------|-------------------|
| Mittelwert ( $\mu\text{T}$ )         | 25,2                   | 22,4                   | 29,2                       | 21,5             | 38,1              |
| Standardabweichung ( $\mu\text{T}$ ) | 22,3                   | 7,8                    | 34,0                       | 18,8             | 29,9              |
| Maximum ( $\mu\text{T}$ )            | 97,0                   | 33,9                   | 97,0                       | 97,0             | 71,9              |
| Minimum ( $\mu\text{T}$ )            | 0,8                    | 10,1                   | 0,8                        | 0,8              | 6,4               |

Tabelle 7: Spitzenwerte der spektralen Magnetfelder von Autoreifen ( $\mu\text{T}$ ), gemessen auf einer Auswuchtmaschine mit 2 cm Abstand zur Autoreifenoberfläche [6].

## 2.4.2 Entmagnetisierung von Autoreifen

Ziel der BAG-Studie war zudem, eine praxistaugliche Vorrichtung zu bauen, mit der Autoreifen entmagnetisiert werden können [6]. Dies wurde mit einer konventionellen Auswuchtmaschine erreicht, auf der ein Autoreifen auf einer Felge rotiert. Eine bewegliche Halterung positioniert eine elektrische Spule sehr nahe am Autoreifen. Die Halterung bewegt die Spule, die ein starkes 50-Hz-Magnetfeld erzeugt, anschliessend langsam weg vom Rad. Damit verkleinert sich ihr Magnetfeld beim Autoreifen kontinuierlich, so dass dieser entmagnetisiert wird. Mit dieser Methode liessen sich die Magnetfelder der Autoreifen dauerhaft stark reduzieren [6] (Tabelle 8). Auch nach fünf Monaten Gebrauch waren die Magnetfelder noch stark reduziert.

| Zustand Reifen           | Magnetfeld ( $\mu\text{T}$ ) |
|--------------------------|------------------------------|
| Vor Entmagnetisierung    | $11,7 \pm 3,1$               |
| Nach Entmagnetisierung   | $1,5 \pm 1,6$                |
| Kontrolle nach 1 Monat   | $1,1 \pm 0,9$                |
| Kontrolle nach 5 Monaten | $1,4 \pm 1,5$                |

Tabelle 8: Spitzenwerte der Magnetfelder von vier Autoreifen, gemessen auf einer Auswuchtmaschine im Abstand von 2 cm zur Autoreifenoberfläche. Kontrollmessungen nach 1 und 5 Monaten Benutzung der Autoreifen [6].

Einige Garagen bieten die Entmagnetisierung von Autoreifen in der Schweiz an [https://www.mensch-und-technik.ch/mut/Autoreifenentmagnetisierungsger%C3%A4t/Standortliste%20Autoreifenentmagnetisierung\\_1.pdf](https://www.mensch-und-technik.ch/mut/Autoreifenentmagnetisierungsger%C3%A4t/Standortliste%20Autoreifenentmagnetisierung_1.pdf)



## 3 Hochfrequente elektromagnetische Strahlung im Autoinnern

### 3.1 Mobiltelefonie

#### 3.1.1 Belastung durch fahrzeugexterne Antennen

Mehrere Studien haben die Belastung im Innenraum von Fahrzeugen durch die Strahlung von Antennen untersucht, die ausserhalb des Fahrgastraumes an Autos montiert waren [7]. Die untersuchten Antennen nutzten verschiedene Frequenzbänder wie VHF, UHF, GSM, 5G und WLAN. Die Studien zeigen

- dass die Belastung im Fahrgastraum unter den Referenzwerten für die jeweiligen Frequenzbänder lag
- dass die SAR-Werte kleiner waren als die Basisgrenzwerte.
- Dass die höchste Exposition am gesamten Körper und im Kopfbereich beobachtet wurde.

#### 3.1.2 Belastung durch fahrzeuginterne Antennen

Mobiltelefone, die Personen im Fahrzeug benutzen, verbinden sich bei den meisten modernen Autos mit ihrer eigenen Antenne mit der nächsten Mobilfunkbasisstation. Da die geschlossene Fahrgastzelle von Autos, die aus Scheiben, Stahl und Kunststoff besteht, isolierend für diese Verbindung wirkt, sind höhere Sendeleistungen des Mobiltelefons nötig. Dies führt im Vergleich zum Aussenraum zu höheren Strahlungswerten im Autoinnern [8, 10, 11]. Diese höheren Strahlungswerte sollen sich laut Herstellerangaben bei Fahrzeug-Modellen vermindern lassen, die sich über eine ins Fahrzeug integrierte Aussenantenne mit den Mobilfunk-Basisstationen verbinden können. Die zum Thema durchgeführten Studien [7] zeigen insgesamt

- dass die Strahlung von Mobiltelefonen, Bluetooth- und WLAN-Geräten die Referenzwerte einhält.
- dass die SAR-Werte geringfügig von der Anzahl der Insassen und der gleichzeitig verwendeten Geräte abhingen, aber unterhalb der Basisgrenzwerte lagen.

Eine ältere Studie hat in einem virtuellen realistischen Auto dosimetrische Modelle von Erwachsenen und Kindern untersucht, die der Strahlung von UMTS, WiMax und Bluetooth ausgesetzt waren. Gemäss Resultaten waren bei allen Szenarien die SAR-Werte für den gesamten Körper mindestens 40-mal und die SAR-Werte für lokale Expositionen mindestens 10-mal niedriger als die Grenzwerte [9].

Eine weitere ältere Studie mit dem Mobilfunkstandard GSM zeigt, dass eine Person, die im Auto anstatt im Freien telefoniert, eine um 5% höhere Strahlenbelastung (SAR-Wert) hat. Andere Personen im Auto haben eine Strahlenbelastung, die bis zu 40 % des SAR-Wertes der Person beträgt, die das Mobiltelefon benutzt [10, 11].



## 3.2 Funksysteme für vernetzte Fahrzeuge (V2X)

### 3.2.1 Technik

So genannte V2X-Systeme (vehicle to everything) vernetzen Autos über Funk mit anderen Verkehrsteilnehmern, mit der Verkehrsinfrastruktur oder dem Internet.

Moderne Autos verfügen über das V2N-System (vehicle to network). Es erlaubt, das Auto via Mobilfunkkommunikation mit einer Cloud zu verbinden. Zwecke von V2N sind Datenübertragungen für Notrufsysteme; Navigationssysteme; Verkehrsinformationen; Ferndiagnose, Abfragen des Fahrzeugstatus sowie Softwareupdates durch den Autohersteller. Dieses System kann sowohl im Betrieb als auch im inaktiven Zustand des Fahrzeugs senden.

Andere V2X-Systeme mit unterschiedlichen Zwecken sind teilweise erst geplant oder in Erprobung, sie werden in Europa aber noch nicht flächendeckend betrieben.

- Ein V2I-System (Vehicle-to-Infrastructure) vernetzt Fahrzeuge im Betrieb mit Anlagen der Verkehrsinfrastruktur wie etwa Ampeln oder Verkehrsschildern;
- Ein V2V-System (Vehicle-to-Vehicle) vernetzt benachbarte Fahrzeuge im Betrieb miteinander;
- Ein V2P-System (Vehicle-to-Pedestrian) hat zum Zweck, Fussgänger vor Unfällen mit Autos zu schützen. Es erkennt Fussgänger insbesondere über bordeigene Systeme wie Kameras, Radar, Laser oder Sensoren oder auch via eine V2P-App auf dem eingeschalteten Mobiltelefon des Fussgängers. Es sendet bei Fahrzeugen, die im Betrieb sind;
- Ein V2G-System ermöglicht über intelligentes bidirektionales Laden, ein parkiertes Elektroauto sowohl als Energiespeicher als auch als Energielieferant zu betreiben, um überschüssige Energiespitzen im Stromnetz abfedern zu können.

Alle diese Systeme benötigen Antennen im Auto, die teilweise senden und damit je nach ihrer Position hochfrequente Strahlung im Innenraum des Autos erzeugen. Folgende Technologien kommen vor (Tabelle 9)

- ITS-G5 – Intelligent transport systems, ein an Autos angepasstes WLAN, das nur direkt mit anderen Verkehrsteilnehmern oder der Verkehrsinfrastruktur (ad hoc) kommunizieren kann;
- C-V2X – Cellular V2X, eine moderne, an Autos angepasste Erweiterung der 4G und 5G-Mobilkommunikation mit den gleichen Zwecken, die aber zusätzlich auf das Internet zugreifen kann. Sie wird im Moment eingeführt.

Direkt miteinander kommunizierende Fahrzeuge senden sich Informationen in so genannten Cooperative awareness messages CAM [12]. Dabei handelt es sich um kleine Datenpakete, welche Informationen zur aktuellen Zeit, Position, Geschwindigkeit, Fahrtrichtung, Fahrzeuglänge, Fahrzeugbreite, Längsbeschleunigung, Strassenkrümmung, Gierrate, zu aktivierten Systemen usw. der jeweiligen Fahrzeuge enthalten. Ihre Anzahl pro Sekunde hängt davon ab, wie schnell bzw. stark sich diese Informationen ändern. CAMs führen zu gepulster elektromagnetischer Strahlung.



| Technologie                                                                                              | Sendeleistung                        | Frequenz                 | Frequenz der CAM | Reichweite                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ITS-G5 (WLAN IEEE 802.11p)                                                                               | Max ca. 2 Watt<br>Typisch 0.2 W [13] | 5.855 GHz bis 5.925 GHz  | 1-10 pro Sekunde | Mehrere hundert Meter, reduziert bei schlechter Verbindungsqualität, z.B. durch Hindernisse wie Häuser oder elektromagnetische Störungen |
| C-V2X bzw. 4G bzw. 5G Mobilfunk für direkte Kommunikation zwischen Fahrzeugen ohne Mobilfunkbasisstation | Max ca. 0.2 Watt [7, 13]             | 5.855 GHz bis 5.925 GHz  |                  |                                                                                                                                          |
| 4G / 5G Mobilfunk (C-V2X) für Kommunikation via Mobilfunkbasisstation                                    | Max ca. 0.2 Watt                     | Alle Mobilfunkfrequenzen | keine            | Entspricht der Abdeckung des Mobilfunknetzes                                                                                             |

Tabelle 9: Eigenschaften von V2X-Systemen [7]

### 3.2.2 Exposition durch ITS-G5-Funksysteme für vernetzte Fahrzeuge

Verschiedene Studien haben die Expositionen von ITS-G5-Antennen untersucht. Eine Studie hat die Exposition von ITS-G5-Antennen bestimmt, die entweder auf dem Dach oder an der oberen, fahrerseitigen Ecke der Windschutzscheibe im Fahrzeuginnern montiert waren [14]. Die Antenne auf der Windschutzscheibe erzeugte die höchsten Expositionen, die direkt vor der Antenne rund 15% und auf dem Armaturenbrett, Fahrersitz und Rücksitz weniger als 4 % des Referenzwertes betrugen. Die auf dem Dach montierte Antenne führte generell zu tieferen Expositionen, die direkt vor der Antenne 8% und im Fahrzeuginnern weniger als 0.5% des Referenzwertes betrugen. Die tieferen Werte im Fahrzeuginnern kommen durch die abschirmende Wirkung der Karosserie zu Stande. Auf ähnliche Resultate kommt eine weitere Studie [13]. Sie hat die Expositionen von ITS-G5-Antennen bestimmt, die entweder auf der Heckscheibe oder im vorderen Bereich des Daches montiert waren. Die Expositionen liegen sowohl im Kopf- wie auch Rumpfbereich auf Fahrer- und Beifahrersitz als auch auf der Rückbank im Bereich von rund 1% oder weniger des Referenzwertes. Eine weitere Studie hat mit einem numerischen Fahrzeugmodell die SAR-Werte auf dem Fahrersitz untersucht, die vier ITS-G5-Antennen erzeugen [15]. Sie waren in einem Szenario bei den Rückspiegeln und in der Mitte des Daches bei der Windschutz- und Heckscheibe angebracht. In einem zweiten, weniger optimalen Szenario waren die Dachantennen in der Nähe des Kopfbereiches des Fahrersitzes angebracht. Die Resultate zeigen, dass die Basisgrenzwerte in beiden Szenarios eingehalten sind, auch wenn alle Antennen in Betrieb waren. Der höchste Wert mit 1.58 W/kg trat im Kopfbereich des Fahrersitzes auf.

## 3.3 Weitere Funksysteme

Moderne Autos verfügen über eine Vielzahl von Funksystemen, welche einen komfortablen und sicheren



ren Betrieb des Fahrzeugs ermöglichen. Eine nicht abschliessende Zusammenstellung solcher Funk-systeme zeigt Tabelle 10.

| Technologie                                                                 | Anwendung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Sendeleis-<br>tung [Watt] | Frequenzband          | Stu-<br>die |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------|
| Short range devices (SRD)<br><br>Radio frequency identi-<br>fication (RFID) | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Schlüssellooses Öffnen, Verriegeln und Starten eines Autos per Funk, bestehend aus einer Sende- und Empfangseinheit im Auto und einem Transponder (z.B. Karte), den eine Person auf sich trägt;</li> <li>– Vehicle identification systems;</li> <li>– Smart parking system;</li> <li>– Wallboxen für Elektrofahrzeuge, Authentifizierung und Starten des Ladens;</li> <li>– Autorisierter Zugang zu Gebäu-<br/>den, Parkplätzen oder Ladestatio-<br/>nen;</li> <li>– Verfolgung von Waren in der Lo-<br/>gistik;</li> <li>– MAUT-Systeme.</li> </ul> | 0.01- 2                   | 0.027-5.815 GHz       | [14]        |
| Analoger und digitaler Radio- und Fernseh-<br>empfang                       | AM, FM, DAB, DVB-T                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Nur Emp-<br>fang          |                       | [14]        |
| Globales Navigations-<br>satellitensystem                                   | GPS, Galileo, BeiDou, GLONASS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Nur Emp-<br>fang          | 1.164-1.591 GHz       | [14]        |
| Bluetooth                                                                   | Kommunikation, Datenübertragung<br>einschliesslich Over-the-Air-Updates<br>von Software und Infotainment.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 0.1                       | 2.4-2.4845 GHz        | [14]        |
| WLAN                                                                        | Kommunikation, Datenübertragung<br>einschliesslich Over-the-Air-Updates<br>von Software und Infotainment.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 0.025-1                   | 2.4-5.725 GHz         | [14]        |
| Fahrzeug-Radarsys-<br>teme                                                  | Long range radar LLR (bis zu 150 m<br>Reichweite)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0.1 -1                    | 21.650-81 GHz         | [14]        |
|                                                                             | Short range radar SRR in Seitenspie-<br>gel oder Heckklappe (Überwachung<br>des toten Winkels, Einparkhilfen etc.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0.01 – 0.2                |                       |             |
| Keyless Access<br><br>Wegfahrsperrern                                       | schlüsselloser Zugang                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | ca. 0.01                  | – Fahrzeug 125<br>kHz | [16]        |



|                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                 |     |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                         | – Schlüssel 434 MHz                                                                                                                                                                                             |     |
| Bluetooth low energy (BLE)                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Mobiltelefon, das sich mit Infotainment-System verbindet</li> <li>– Multimediasysteme im Fahrzeuginnern</li> <li>– Smart car access</li> <li>– Fahrzeugdiagnostik</li> <li>– Fahrzeugeinstellungen</li> </ul> | 0.1                                                                                     | 2.400 -2.4835 GHz                                                                                                                                                                                               | [7] |
| UHF Short range                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Reifendruckkontrollsystem (Tire Pressure Monitoring System TPMS)</li> <li>– Schlüssellooses Öffnen, Verriegeln und Starten eines Autos per Funk</li> </ul>                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>– 0.01</li> <li>– 0.025</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>– 434 MHz</li> <li>– 868 MHz</li> </ul>                                                                                                                                  | [7] |
| UWB communication, d.h. eine Breitband-Funktechnologie | Schlüssellooses Öffnen, Verriegeln und Starten eines Autos per Funk                                                                                                                                                                                    | 0.07413 $\mu$ W in jedem beliebigen 1 MHz breiten Abschnitt des belegten Frequenzbandes | <ul style="list-style-type: none"> <li>– 3.1-4.8 GHz</li> <li>– 6-9 GHz</li> </ul> mit einer Bandbreite von $\geq 500$ MHz bzw. $\geq 20\%$ der Trägerfrequenz (Mittenfrequenz des verwendeten Frequenzbandes), | [7] |
| Near field communication (NFC)                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Schlüssellooses Öffnen, Verriegeln und Starten eines Autos per Funk</li> <li>– Bluetooth- / WLAN-Kopplung mit dem Infotainment</li> </ul>                                                                     | Begrenzung über das Magnetfeld                                                          | 13.56 Mhz                                                                                                                                                                                                       | [7] |

Tabelle 10. Weitere Kommunikationstechnologien im Autoinnern

Es gibt nur wenige Angaben zu den Expositionen, die diese Funksysteme im Innern von Autos erzeugen [14]. Die verfügbaren Resultate zeigen, dass Bluetooth- und WLAN-Geräte, die im Auto eingebaut sind, den Referenzwert im Fahrerbereich als auch auf dem Rücksitz um weniger als 2 % ausschöpfen.

## 4 Gesundheitliche Auswirkungen

Es gibt keine Studien, die gesundheitliche Auswirkungen der nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Felder in Autos, Elektroautos und Hybridautos direkt untersucht haben. Diese Felder müssen deshalb anhand von Grenzwerten beurteilt werden [2].

Magnetfelder können den Körper durchdringen und dort elektrische Ströme erzeugen. Überschreiten



diese Ströme einen gewissen Wert, erregen sie unter Umständen akut die Nerven des Zentralnervensystems. Um dies zu verhindern, sind die Grenzwerte so definiert, dass diese Ströme mindestens um einen Faktor 50 unter diesem Wert liegen. Die bis anhin durchgeführten Messungen haben gezeigt, dass die Magnetfelder im Innenraum von Autos, Elektroautos und Hybridautos bis auf wenige Ausnahmen die Referenzwerte einhalten und die Basisgrenzwerte in jedem Fall einhalten, so dass keine akuten gesundheitlichen Wirkungen zu erwarten sind. Die internationale Krebsagentur (IARC) hat im Jahre 2002 statische und niederfrequente Magnetfelder als möglicherweise krebserregend (Gruppe 2B) eingestuft [17]. Dies aufgrund von epidemiologischen Studien, die darauf hindeuten, dass langfristige und dauerhafte Magnetfeldbelastungen im Niedrigdosisbereich ab  $0,4 \mu\text{T}$  das Risiko erhöhen können, an Alzheimer-Demenz [18, 19] oder an Kinderleukämie [20, 21] zu erkranken. In welchem Mass die niederfrequenten Magnetfelder in Autos zu solchen Langzeitbelastungen beitragen, lässt sich nicht abschätzen.

Hochfrequente Strahlung wird im Gewebe absorbiert und kann dessen Temperatur erhöhen. Überschreitet diese Temperatur einen gewissen Wert, können nachweisbare, akute gesundheitliche Wirkungen entstehen. Gemäss heutigem Kenntnisstand ist die hochfrequente Strahlung, die sowohl durch V2X-Systeme als auch durch andere Funkssysteme in Autos entsteht, viel zu schwach, um solche gesundheitliche Wirkungen auslösen zu können. Die internationale Krebsagentur (IARC) hat im Jahr 2011 hochfrequente elektromagnetische Felder als möglicherweise krebserregend (Gruppe 2B) eingestuft [22]. Dies allerdings aufgrund von Studien, die einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Telefonieren mit Mobiltelefonen oder Schnurlostelefonen und dem Auftreten von Hirntumoren zeigen. Die Datenlage wird von der IARC als begrenzt eingestuft, da diese Studien hinsichtlich des Studiendesigns mangelhaft sind. Zudem hat die IARC keinen Zusammenhang zwischen gesundheitlichen Auswirkungen und der hochfrequenten Strahlung festgestellt, die andere Gerätekategorien erzeugen.

## 5 Literatur

1. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys. 1998;494-521.
2. 1999/519/EG: Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz - 300 GHz) (OJ L 199 30.07.1999, p. 59, ELI: <http://data.europa.eu/eli/reco/1999/519/oj> ).
3. Bundesamt für Strahlenschutz. 2025. Ressortforschungsberichte zum Strahlenschutz. Bestimmung von Expositionen gegenüber elektromagnetischen Feldern der Elektromobilität. Vorhaben 3620S82473. Ergebnisbericht – Teil 1: Elektromagnetische Felder beim Fahren URN: urn:nbn:de:0221-2025031250843. BfS-RESFOR-243/25
4. Bundesamt für Strahlenschutz. 2025. Ressortforschungsberichte zum Strahlenschutz. Bestimmung von Expositionen gegenüber elektromagnetischen Feldern der Elektromobilität. Vorhaben 3620S82473. Ergebnisbericht – Teil 2: Elektromagnetische Felder beim Laden. urn:nbn:de:0221-2025112157059. BfS-RESFOR-252/25
5. Stankowski, S.; Kessi, A.; Becheiraz, O.; Meier-Engel, K.; Meier, M. (2006): Low frequency magnetic fields induced by car tire magnetization. In: Health Phys 90 (2), S. 148–153.
6. Kessi A et al. (2004) Entmagnetisierung von Fahrzeugreifen. Berner Fachhochschule – Hochschule für Technik und Informatik - Fachbereich Automobiltechnik.



7. Tognola, Gabriella; Bonato, Marta; Benini, Martina; Aerts, Sam; Gallucci, Silvia; Chiaramello, Emma et al. (2022): Survey of Exposure to RF Electromagnetic Fields in the Connected Car. In: IEEE Access 10, S. 47764–47781. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3170035.
8. Vaverka, Filip; Smetana, Milan; Gombarska, Daniela; Psenakova, Zuzana (2023): Investigation of Microwave Electromagnetic Fields in Open and Shielded Areas and Their Possible Effects on Biological Structure. In: Sensors (Basel, Switzerland) 23 (4). DOI: 10.3390/s23042351.
9. Harris, Louis-Ray; Zhadobov, Maxim; Chahat, Nacer; Sauleau, Ronan (2011): Electromagnetic dosimetry for adult and child models within a car: multi-exposure scenarios. In: Int. J. Microw. Wireless Technol. 3 (6), S. 707–715. DOI: 10.1017/S1759078711001000.
10. K. H. Chan, S. W. Leung and Y. M. Siu, "Specific absorption rate evaluation for people using wireless communication device in vehicle," 2010 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Fort Lauderdale, FL, USA, 2010, pp. 706-711, DOI: 10.1109/IEMC.2010.5711364.
11. Leung, Sai-Wing; Diao, Yinliang; Chan, Kwok-Hung; Siu, Yun-Ming; Wu, Yongle (2012): Specific absorption rate evaluation for passengers using wireless communication devices inside vehicles with different handedness, passenger counts, and seating locations. In: IEEE transactions on biomedical engineering 59 (10), S. 2905–2912. DOI: 10.1109/TBME.2012.2210553
12. ETSI EN 302 637-2 V1.4.1 (2019-04) Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service [EN 302 637-2 - V1.4.1 - Intelligent Transport Systems \(ITS\); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service](#)
13. Yang, Yizhen; Masini, Barbara M.; Vermeeren, Günter; van den Akker, Daniel; Aerts, Sam; Verloock, Leen et al. (2024): RF Exposure Assessment in ITS-5.9 GHz V2X Connectivity and Vehicle Wireless Technologies: A Numerical and Experimental Approach. In: IEEE Access 12 (2), S. 186002–186021. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3435566.
14. Schilling, Lisa-Marie; Bornkessel, Christian; Hein, Matthias A. (2022): Human RF Electromagnetic Exposure to V2X-Communication. In: Adv. Radio Sci. 19, S. 233–239. DOI: 10.5194/ars-19-233-2022.
15. Tognola, Gabriella; Masini, Barbara; Gallucci, Silvia; Bonato, Marta; Fiocchi, Serena; Chiaramello, Emma et al. (2021): Numerical Assessment of RF Human Exposure in Smart Mobility Communications. In: IEEE J. Electromagn. RF Microw. Med. Biol. 5 (2), S. 100–107. DOI: 10.1109/JERM.2020.3009856.
16. SSK Strahlenschutzkommission 2019. Elektromagnetische Felder im Automobil durch Funkanwendungen, induktives Laden und elektrisches Fahren
17. International agency for research on cancer (IARC). Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields. IARC Press Lyon, 2002.
18. Huss et al. Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: longitudinal study of the Swiss population. American Journal of Epidemiology. 169(2):167-75. 2009
19. Kheifets et al. Future needs of occupational epidemiology of extremely low frequency electric and magnetic fields: review and recommendations. Occupational and Environmental Medicine. 66(2):72-80. 2009
20. Kheifets et al. Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukemia. British Journal of Cancer. 103(7):1128-35. 2010
21. Ahlbom IC et al.; ICNIRP. Review of the epidemiologic literature on EMF and Health. Environ Health Perspect. 2001 Dec;109 Suppl 6:911-33.
22. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 102, 2012, Non-



Ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields.  
23. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz – 100 KHz) Health Physics 99(6):818-836

## **Kontakt**

Bundesamt für Gesundheit BAG

[str@bag.admin.ch](mailto:str@bag.admin.ch)