



WLAN

Datum: 21. Dezember 2021

Ein WLAN (wireless local area network) ist ein drahtloses Netz, das elektronische Daten mittels hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung zwischen vernetzten Geräten transportiert. Diese Geräte kommunizieren in der Regel mit dem Router, der als zentrale Schaltstelle sie sowohl untereinander als auch mit dem Internet verbindet.



Die elektromagnetische Strahlung der WLAN-Geräte hängt vor allem von der zu übertragenden Datenmenge und von den Sende- und Empfangseigenschaften im WLAN-Netz ab. Auch bei maximaler Sendeleistung ist die maximale Strahlung eines WLAN-Gerätes klein. Sie nimmt mit dem Abstand zum WLAN-Gerät schnell ab. Labormessungen zeigen, dass sie in einem Abstand von 20 cm zirka 10-mal und in einem Abstand von einem Meter zirka 40-mal kleiner ist als der Grenzwert. Diese Eigenschaften führen dazu, dass auch mehrere, am gleichen Ort betriebene WLAN-Geräte oder benachbarte WLAN-Netze keine erhöhte elektromagnetische Strahlung verursachen können.

Mehrere Studien zeigen, dass die auf Kinder und Erwachsene einwirkende Strahlung durch WLAN-Geräte im Alltag klein ist. Eine Schweizer Studie zeigt, dass sie im Mittel rund 1500-mal kleiner als der Grenzwert ist. Die höchsten gemessenen Strahlungswerte sind rund 400-mal kleiner als der Grenzwert. Ob solche kleinen Strahlungen gesundheitliche Gefährdungen hervorrufen können, ist Gegenstand zahlreicher Studien. Qualitativ hochwertige Studien der letzten Jahre zeigen diesbezüglich weder gesicherte Erkenntnisse noch plausible Hinweise.

Die vorhandenen Studien zur hochfrequenten Strahlung von WLAN zeigen weder gesicherte Erkenntnisse noch plausible Hinweise zu gesundheitlichen Gefahren. Schutzmassnahmen gegen die elektromagnetische Strahlung von WLAN sind deshalb für alle Bevölkerungsgruppen nicht erforderlich.

Folgende Tipps richten sich deshalb ausschliesslich an Personen, welche die elektromagnetische Strahlung von WLAN-Geräten aus persönlichen Gründen verringern möchten:

- Platzieren Sie den Router zentral im zu versorgenden Gebiet, damit alle WLAN-Geräte einen guten Empfang haben.
- Schalten Sie den Router und das WLAN der angeschlossenen Geräte aus, wenn Sie das WLAN nicht verwenden.
- Stellen Sie den Router einen Meter entfernt von Arbeits-, Aufenthalts- oder Ruheplätzen auf.
- Falls Ihr Router eine Leistungsregelung aufweist, können Sie seine Sendeleistung soweit reduzieren, als dass sich alle angeschlossenen Geräte mit ihm verbinden können.
- Verwenden Sie WLAN-Geräte mit den aktuellen Sendetechnologien Wi-Fi 6, Wi-Fi 5 oder Wi-Fi 4 (IEEE Standards 802.11ax, 802.11ac oder 802.11n), welche die Daten sehr effizient übertragen.



Weitere Hinweise:

- Ein WLAN-Gerät zeigt alle WLAN-Netze in seiner Nachbarschaft an, deren Strahlung ausreicht, um sich mit ihm zu verbinden. Verbindungen zwischen WLAN-Geräten sind auf Grund der technischen Spezifikation auch bei kleinen Strahlungsintensitäten möglich. Somit ist es nicht möglich, auf Grund der Zahl und der Stärke der angezeigten benachbarten WLAN-Netze auf die Strahlung am Standort des eigenen WLAN-Gerätes zu schliessen.
- Die Messung der Strahlung durch WLAN-Netze erfordert aufwändige und sehr teure Messverfahren. Im Handel erhältliche Handmessgeräte eignen sich nicht, die Strahlung von WLAN-Geräten zu messen.
- Ein WLAN-Gerät darf nur mit der eingebauten oder einer vom Hersteller bestimmten Antenne betrieben werden. Wird eine nicht passende Antenne mit zu grossem Antennengewinn verwendet, kann die maximal erlaubte Sendeleistung überschritten werden.



1 Aufbau und Anwendungen

Ein WLAN-Netz besteht meistens aus einem WLAN-Router, der den Zugang zum Internet sicherstellt. Der im Router integrierte Access-Point verbindet WLAN-fähige Geräte über Funkverbindungen mit dem Internet oder untereinander. Produkte, die WLAN-Sende- und Empfangsmodule enthalten, finden sich heute in folgenden Bereichen:

- Computernetze: Tablets, e-Reader, Smartphones, Smart-Watches, Laptops, Computer, Access-Points, WLAN-Adapter, WLAN-Repeater, Drucker, Scanner, WLAN-Festplatten etc.;
- Haushalt und Hobby: Radio- und Fernsehgeräte, Heimkinoanlagen, Audiogeräte, Spielkonsolen, Action-, Web-, Foto- und Videokameras, Überwachungs- und Babymonitore, Steuergeräte für Heizung und Hausinstallationen, smarte Leuchtmittel, zum Teil Haushaltsgeräte;
- Multimedia: Radio- und Fernsehgeräte, Beamer;
- WLAN-Telefonie: WLAN-Telefone, IP-Telefone, Smartphones mit Wi-Fi-Calling.

Auf Grund ihrer beschränkten Sendeleistung und Reichweite eignen sich WLAN-Netze vor allem dazu, kleinräumige Areale wie Wohnungen, Einfamilienhäuser, Transportmittel oder öffentliche Plätze zu versorgen. Grössere Areale wie grosse Gebäude, Universitäten und Schulen oder ganze Stadtteile lassen sich mit so genannten Repeatern (auch Extender oder Booster genannt) oder auch mit grösseren, mehrere Access-Points enthaltenden Netze vernetzen. Repeater sind entweder als eigenständige Geräte konzipiert oder in andere Geräte wie beispielsweise Leuchtmittel oder Basisstationen von WLAN-Telefonen eingebaut.

2 Technische Daten

Für WLAN-Netze wurden vom internationalen Berufsverband IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) verschiedene Standards der Familie 802.11 publiziert, deren Strahlungscharakteristiken in Tabelle 1 aufgeführt sind. Moderne Produkte arbeiten mit den Standards Wi-Fi 6, Wi-Fi 5 und Wi-Fi 4 (gleichbedeutend den IEEE Standards 802.11ax, 802.11ac und 802.11n).



IEEE Standard	Wi-Fi 6 802.11ax	Wi-Fi 5 802.11ac	Wi-Fi 4 802.11n	802.11 a	802.11 b	802.11g	802.11h
Frequenz (MHz)	1. 2400 – 2483,5 2. 5150 – 5350 3. 5470 – 5725	1. 5150–5350 2. 5470–5725	1. 2400 – 2483,5 2. 5150–5350 3. 5470–5725	5150 – 5250	2400 – 2483,5	2400 – 2483,5	1. 5150 – 5350 2. 5470 – 5725
Max. Sendeleistung (mW) [2]:	1. 100 2. 200 3. 1000	1. 200 2. 1000	1. 100 2. 200 3. 1000	200	100	100	1. 200 2. 1000
Max. Sendeleistung (mW) ohne Leistungsregulierung [2]	1. 100 2. 100 3. 500	1. 100 2. 500	1. 100 2. 100 3. 500				
Gemittelte Sendeleistung Beacon (mW)	1. 0.5 2. 1 3. 2.5	1. 1 2. 2.5	1. 0.5 2. 1 3. 2.5	1	0,5	0,5	0.5
Gemittelte Sendeleistung max. (mW)	1. < 100 2. < 200 3. < 1000	1. < 100 2. < 500	1. < 100 2. < 200 3. < 1000	< 200	< 100	< 100	< 200
Leistungsregelung	Ja	Ja	Ja	nein	nein	ja, statisch	ja, dynamisch
Max. Bruttodatenrate (MBit/s)	1201 pro Antenne (max. 8 Antennen)	866.7 pro Antenne (max. 8 Antennen)	150 pro Antenne (max. 4 Antennen)	54	11	54	54
Verbreitung	Aktuell	Aktuell	Aktuell	Veraltet	Veraltet	Veraltet	Veraltet

Tabelle 1: Eigenschaften der verschiedenen WLAN-Standards [siehe auch 1]: Frequenz in MHz (Megahertz), Sendeleistungen in mW (Milliwatt), Datenrate in Mbit/s (Megabit/Sekunde)

Datenraten

WLAN-Geräte der Standards Wi-Fi 6, Wi-Fi 5 und Wi-Fi 4 arbeiten im Gegensatz zu Geräten mit den



älteren Standards mit leistungsfähigen Modulationsarten, die hohe Datenraten erlauben. Sie verfügen über so genannte beam-forming-Antennen, die sich auf die jeweils verbundenen Geräte ausrichten können. Mit der MIMO-Technologie (multiple-input-multiple-output) lassen sich mehrere dieser Antennen bündeln, um die Datenrate zu erhöhen. Falls mehrere Geräte gleichzeitig eine Verbindung zu einem Access Point benutzen (z.B. mehrere Computer in einem Schulzimmer), wird die Datenrate aufgeteilt, so dass die Datenraten für die jeweiligen Geräte dementsprechend sinken.

Elektromagnetische Strahlung

Die elektromagnetische Strahlung eines WLAN-Netzes hängt in erster Linie vom Datenverkehr ab und ist dementsprechend unregelmässig. Findet kein Datenverkehr statt, so sendet der Access Point typischerweise alle 100 Millisekunden während zirka 0,5 Millisekunden den so genannten Beacon. Dieses Signal dient dazu, dass sich die angeschlossenen Geräte mit dem Access Point synchronisieren können. Die Beacon eines Access Points verursachen eine gepulste elektromagnetische Strahlung, deren Frequenz von der Zeitdauer zwischen zwei Beacon abhängt und bei der üblichen Standardeinstellung der Access Points 10 Hertz beträgt.

Sendet ein Access Point mit 100 Milliwatt Sendeleistung nur den Beacon, so beträgt die über die Zeit gemittelte Strahlungsleistung 0,5 Milliwatt. Werden jedoch viele Daten gesendet, so kann die gemittelte abgestrahlte Leistung bis 70 Milliwatt betragen.

WLAN-Geräte weisen eine sehr hohe Empfindlichkeit auf, d.h. sie können sich noch bei sehr kleiner vorhandener Strahlung miteinander vernetzen.

Distanzabhängigkeit

Die von WLAN-Geräten ausgesendete elektromagnetische Strahlung nimmt sowohl mit der Distanz als auch als Folge von Hindernissen wie Mauern, Decken oder Verglasungen deutlich ab. Dies führt dazu, dass die Datenrate bei längeren Distanzen zwischen dem Access Point und den vernetzten Geräten abnehmen kann.

3 Elektromagnetische Strahlung von WLAN

3.1 SAR-Wert

Die spezifische Absorptionsrate oder der SAR-Wert in Watt/Kilo (W/kg) gibt an, wieviel elektromagnetische Strahlung (ausgedrückt als Strahlungsleistung in Watt) eine bestimmte Masse des menschlichen Körpers (kg) absorbiert. Diese Absorption führt im Körper zu einer Temperaturerhöhung. Die Grenzwerte, welche die EU für die SAR empfiehlt und die auch in der Schweiz zur Beurteilung der Produktsicherheit verwendet werden [3], beschränken diese Temperaturerhöhung auf Werte, welche die Gesundheit nicht gefährden. Sie hängen davon ab, ob die Strahlung auf den gesamten Körper, auf die Gliedmassen oder auf den Kopf oder den Rumpf einwirkt. Die Grenzwertempfehlung für Rumpf und Kopf ist am strengsten und beträgt 2 W/kg, gemittelt über ein Körpervolumen von 10 Gramm [3]. 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. Die Grenzwertempfehlungen enthalten einen Sicherheitsfaktor von 50, damit auch empfindliche Bevölkerungsgruppen geschützt sind.

Zwei Studien im Auftrag des BAG haben bei einem Tablet, mehreren Access Points, bei PC-Karten und einem PDA die SAR-Werte gemessen [4, 5]. Da die Strahlung bei WLAN-Geräten von ihrer Sendeleistung und der übermittelten Datenrate abhängt, wurden alle Messungen mit maximaler Sendeleistung und maximaler Datenrate in unmittelbarer Nähe zu den Geräten durchgeführt (Tabelle 2).

maximale SAR Werte		
Standard	Gerät	SAR (W/kg)
802.11ax	Keine Messungen vorhanden	
802.11ac	Access Point 5 GHz	0.070
	Tablet 5 GHz	0.511
802.11 n	Access Point 2.4 GHz	0.256
	Access Point 5 GHz	0.096
	Tablet 2.4 GHz	0.398
	Tablet 5 GHz	0.697
802.11a	Access Point	0,54
	PC-Karte	0,07
802.11b	Access Point	0,73
	PC-Karte	0,43
	PDA	0,067
802.11g	Access Point	0,27
	PC-Karte	0,11

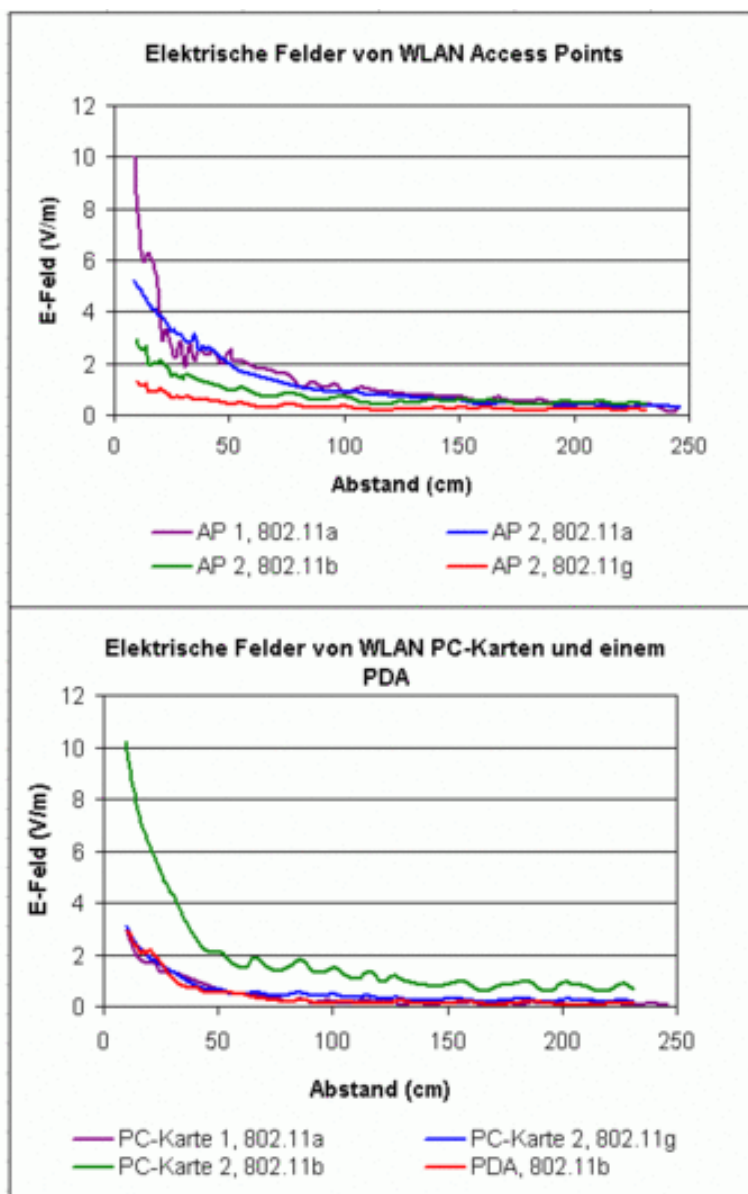
Tabelle 2: Maximal gemessene SAR in unmittelbarer Nähe zu den Geräten. SAR-Werte wurden in einem Körperphantom gemessen [4,5].

Obwohl die modernen 802.11ac- und 802.11n-Standards eine wesentlich höhere Datenrate als die älteren 802.11a-, b- und g-Standards aufweisen, ist ihre Strahlung bei den Access-Points eher geringer als bei den älteren Standards. Grund dafür sind so genannte beam-forming- und MIMO-Antennen, welche die Strahlung mehrerer Antennen auf die verbundenen Geräte richten können und bündeln können.



3.2 Elektrisches Feld

Die elektromagnetische Strahlung von Geräten wie beispielsweise WLAN-Router, die Personen nicht auf der Körperoberfläche tragen oder nicht in unmittelbarer Nähe benutzen, lässt sich auf Grund ihres hochfrequenten elektrischen (elektromagnetischen) Feldes beurteilen. Elektrische Felder sind im Gegensatz zu SAR-Werten wesentlich einfacher zu bestimmen. Die Grenzwertempfehlung für elektrische Felder im Frequenzbereich der WLAN-Geräte liegt bei 61 V/m (Volt pro Meter). Sofern das elektrische Feld eines Gerätes diesen Wert einhält, ist in der Regel auch der Grenzwert für die spezifische Absorptionsrate SAR eingehalten.



Figur 1: Elektrisches Feld (E-Feld) als Funktion des Abstandes für zwei verschiedene WLAN-Access Points (AP), zwei verschiedene WLAN-PC-Karten und einen PDA. Access Point 2 kann mit den Standards 802.11 a, b, g betrieben werden, die PC-Karte 2 mit 802.11 b und g.



Die Resultate einer Studie im Auftrag des BAG zeigen [4], dass die elektrischen Felder mit zunehmendem Abstand zum Sender schnell abnehmen (Figur 1) und bei allen Distanzen unterhalb der Grenzwertempfehlung [3] liegen. Im Abstand von 20 cm sind sie bei allen Geräten kleiner als 10% der Grenzwertempfehlung, im Abstand von einem Meter kleiner als 2.5 % der Grenzwertempfehlung. Diese Messresultate sind nicht auf alle WLAN-Geräte verallgemeinerbar. Da die Sendeleistungen von WLAN-Geräten jedoch rechtlich geregelt sind [2], lässt sich annehmen, dass die elektrischen Felder anderer WLAN-Geräte ähnlich stark sind.

3.3 Elektromagnetische Strahlung von WLAN-Geräten im Alltag

Im Moment existieren keine flächendeckenden und kontinuierlichen Messungen zur elektromagnetischen Strahlung, die auf die Bevölkerung einwirkt. Gute Anhaltspunkte ergeben sich aus Studien, welche die elektromagnetische Strahlung an definierten Orten oder mit Hilfe von Personen gemessen haben, die während ihres Tagesablaufs ein so genanntes Dosimeter auf sich trugen. Solche Dosimeter messen kontinuierlich in kurzen Zeitabständen die Strahlungsanteile einzelner Funktechnologien. Auf Grund des Tagebuchs der Personen über ihre Tagesaktivitäten lassen sich die Strahlungsanteile verschiedenen Alltagssituationen und Funktechnologien zuordnen.

Die Resultate qualitativ hochwertiger Studien, die europäische Verhältnisse für die Jahre 2015-2018 analysieren, wurden in einer Übersichtsarbeit zusammengefasst [6]. Die nachfolgenden Angaben beziehen sich auf diesen Zeitraum. Die meisten Studien geben den zeitlichen Mittelwert der gemessenen elektromagnetischen Strahlung an. Die Übersichtsarbeit zeigt, dass die elektromagnetische Strahlung im Alltag die Grenzwertempfehlungen wesentlich unterschreitet. WLAN-Geräte steuern in den meisten Alltagssituationen den geringsten Anteil dazu bei. Im Innenbereich tragen WLAN-Geräte zu ungefähr 3 % der gesamten elektromagnetischen Strahlung bei. In Schulen überschreitet der Anteil der WLAN-Strahlung an der gesamten elektromagnetischen Strahlung in den meisten Fällen die 5 %-Marke nicht, eine Studie hat einen Anteil von WLAN-Geräte an der gesamten elektromagnetischen Strahlung von 30 % bestimmt.

In einigen Studien sind neben den Mittelwerten auch die jeweils maximalen Messwerte ersichtlich. Studien aus Stockholm [7, 8] zeigen, dass die maximale gemessene elektromagnetische Strahlung in der Altstadt und im Hauptbahnhof die Grenzwertempfehlungen um mindestens 180-mal unterschreitet und an den meisten Orten noch tiefer ist. Eine Studie aus Örebro hat die elektromagnetische Strahlung in Schulen gemessen [9]. Der Maximalwert durch WLAN-Geräte ist rund 50-mal und der Mittelwert knapp 1800-mal kleiner als die Grenzwertempfehlung. Eine Studie aus Slowenien [10] zeigt, dass die auf Kinder einwirkende elektromagnetische Strahlung im Mittel über 1000-mal und der höchste gemessene Wert 25-mal kleiner als die Grenzwertempfehlungen sind. Bei einer weiteren Studie zeigen Messungen von WLAN-Geräten im 5 GHz-Band in einer Büroumgebung [11], dass der höchste Wert rund 30-mal kleiner und die mittlere elektromagnetische Strahlung knapp 250-mal kleiner als die Grenzwertempfehlung sind.

Studien aus der Schweiz

In der Schweiz haben mehrere Studien die elektromagnetische Strahlung untersucht, die im Alltag auf



Personen einwirkt. Eine Studie aus dem Kanton Zürich [12], bei der 115 Probandinnen und Probanden während 2 bis 3 Tagen ein Dosimeter trugen, zeigt, dass das zeitliche Mittel der gesamten elektromagnetischen Strahlung die Grenzwertempfehlungen unterschritt. Hauptverursacher waren in erster Linie die Mobiltelefone und in zweiter Linie die Mobilfunkbasisstationen. Die mittlere elektromagnetische Strahlung der WLAN-Geräte trug zu 5% an die gesamte elektromagnetische Strahlung bei. Sie betrug in Haushalten mit WLAN-Geräten 0,04 V/m und in Haushalten ohne WLAN-Geräte 0,02 V/m und war damit zwischen 1500-mal bzw. 3000-mal kleiner als Grenzwertempfehlungen. Die maximal gemessenen Werte waren zirka 400-mal kleiner als die Grenzwertempfehlungen.

Eine weitere Studie aus der Schweiz mit 90 jugendlichen Probandinnen und Probanden im Alter zwischen 13 und 17 Jahren zeigt ähnliche Resultate [13]. Der Anteil der WLAN-Geräte an der gesamten elektromagnetischen Strahlung betrug 3,5%. Der höchste Wert war rund 600-mal kleiner und die mittlere elektromagnetische Strahlung gut 2000-mal kleiner als die Grenzwertempfehlung. Die Detailauswertung zeigt, dass die elektromagnetische Strahlung durch WLAN-Geräte nur marginal davon abhängig, ob in der Schule oder zu Hause WLAN-Geräte betrieben wurden oder nicht. Sie hing zudem nur schwach davon ab, ob die Jugendlichen ihr Mobiltelefon über das WLAN oder über das mobile Internet via Mobilfunkbasisstationen mit dem Internet verbunden oder keine Verbindung herstellen konnten.

4 Gesundheitliche Auswirkungen

Gemäss heutigem Wissensstand ist die elektromagnetische Strahlung von WLAN-Geräten zu schwach, um als Folge einer Absorption die Körpertemperatur einer Person so zu erhöhen, dass akute gesundheitliche Gefährdungen entstehen. Allfällige Langzeit-Auswirkungen, welche die Nutzung dieser Technologie über lange Zeiträume betreffen, sind zurzeit ungenügend erforscht, so dass abgestützte Aussagen nicht möglich sind. Die vorhandenen Studien zur hochfrequenten Strahlung von WLAN zeigen allerdings weder gesicherte Erkenntnisse noch plausible Hinweise zu gesundheitlichen Gefahren.

Zu biologischen und gesundheitlichen Auswirkungen von elektromagnetischer Strahlung unterhalb der Grenzwertempfehlungen sind in den letzten Jahren eine grössere Anzahl Studien durchgeführt worden. Eine im Auftrag des BAG von der Uni Basel durchgeführte Übersichtsarbeit hat die Resultate von Studien zusammengefasst, die WLAN-Strahlung untersucht haben [14]. Die Uni Basel hat dazu insgesamt 23 Studien ausgewählt. Die Zell- und Tierstudien hatten zum Ziel, biologische Mechanismen als Folge der WLAN-Strahlung zu untersuchen. Die experimentellen Humanstudien und epidemiologischen Studien dienten dazu, allfällige Gefahren bei typischen Expositionen von WLAN-Strahlung im Alltag erkennen zu können. In die Übersichtsarbeit eingeschlossen wurden Studien, die hochfrequente elektromagnetische Strahlung mit WLAN-typischen Eigenschaften untersucht haben (Frequenzen im 2,4 GHz- und 5 GHz-Band, keine Dauerstrich-Strahlung, WLAN-typische Modulation sowie vorhandene niederfrequente Pulsung) sowie folgende qualitativen Mindestanforderungen erfüllen: (a) Zell- und Tierstudien: dosimetrische Expositionsbestimmung; (b) Zell-, Tier- und experimentelle Humanstudien: mindestens Einfachblindstudie mit Behandlungs- und Kontrollgruppe(n) sowie gemessener oder



modellierter Exposition; (c) epidemiologische Studien: Definition der Ein- und Ausschlusskriterien sowie Berücksichtigung der Störgrößen. Ausgeschlossen wurden alle Studien, welche diese Qualitätsanforderungen nicht erfüllen, die nicht WLAN-typische Strahlung einsetzten und die Pflanzen, Pilze oder Bakterien betreffen. Die Resultate der Zellstudien weisen weder auf gestörte zelluläre Prozesse noch auf genotoxische Eigenschaften von WLAN-Strahlung hin.

Die Tierstudien untersuchten vorwiegend Auswirkungen auf die Reproduktion und Entwicklung von Nagetieren. Mehrere Studien einer Forschungsgruppe zeigen, dass sich mehrheitlich keine signifikanten strahlungsbedingten Auswirkungen manifestierten. Bei den Muttertieren zeigte sich teilweise eine strahlungsbedingte erhöhte, aber nicht dosisabhängige Nahrungsaufnahme während der Laktationsperiode, jedoch keine strahlungsbedingten Auswirkungen auf ihr Gewicht und ihre Körpermasse, auf die Zahl der fruchtbaren Eizellen, auf die Todesrate der Föten, auf die Anzahl der Tot- und Lebendgeburten, auf die Wurfgrösse und auf makroskopische Anomalien. Bei Jungtieren wurden im Gehirn keine strahlenbedingten Veränderungen der Gliose und der Apoptose-Raten als Marker für die Neurotoxizität gefunden. Im Blut von neugeborenen Tieren gab es keinen Hinweis auf einen strahlenbedingten erhöhten oxidativen Stress. Bei Jungtieren gab es keine strahlungsbedingten Auswirkungen auf das Gewicht und die Körpermasse, auf die anogenitale Distanz (u.a. Marker für die reproduktive Gesundheit), auf Stressmarker wie Hitzeschockproteine als auch keine makroskopischen Anomalien. Ebenso wenig waren strahlungsbedingte Auswirkungen auf die physische und funktionale Entwicklung und auf das Verhalten sichtbar. Eine weitere Studie zur Fruchtbarkeit männlicher Ratten zeigte, dass WLAN-Strahlung bei den Spermien keine morphologische Defekte, keine veränderte Beweglichkeit, keine veränderte Konzentration und keine veränderte Spermio-genese verursachte. Ebenso wenig waren das Gewicht der Testikel und der Prostata betroffen. Bestrahlte Tiere wiesen (a) einen erhöhten Anteil von Spermien mit Defekten im Spermienkopf, (b) ein verkleinertes Gewicht der Nebenhoden und der Samenbläschen, (c) Veränderungen im Bindegewebe der Geschlechtsorgane sowie (d) einen verkleinerten Durchmesser der Samenkanälchen auf. Mehrere Studien zum Immunsystem zeigten im Wesentlichen keine strahlenbedingten Veränderungen von Immunparametern bei Tieren, die pre- oder postnatal mit WLAN-Strahlung exponiert wurden. Ausnahme war eine verringerte Gamma-Interferon-Produktion bei männlichen Mäusen, die allerdings bei einer hohen Strahlenbelastung gefunden wurde, wie sie typischerweise bei WLAN-Geräten nicht vorkommt.

Die experimentellen Humanstudien schlossen sowohl kognitive als physiologische Untersuchungen mit ein. Eine Studie zur neuralen Aktivität fand als Folge der WLAN-Strahlung geschlechtsspezifische Unterschiede hinsichtlich der Aufmerksamkeit für kognitive Aufgaben. In einer weiteren Studie zur Wachheit und Daueraufmerksamkeit (Vigilanz) wiesen Personen weder strahlungsbedingte Veränderungen im Wach-EEG noch Veränderung bei der Reaktionszeit, bei Aussetzern oder bei der Variabilität der Antworten auf gestellte Aufgaben auf. Ebenso wenig war die selbsteingeschätzte Müdigkeit durch die Strahlung beeinflusst. Zwei Studien einer Forschungsgruppe fanden bei elektrosensiblen Personen weder strahlungsbedingte Auswirkungen auf die Atemfrequenz, die Variabilität der Herzfrequenz, den Blutdruck und den Hautleitwerttest noch Auswirkungen auf die Speichelbestandteile Alpha-Amylase, Cortisol und Immunglobulin A. Eine Schlafstudie fand keine strahlungsbedingten Auswirkungen auf die Hirnströme (EEG). Ausnahme waren weniger ausgeprägte Alpha-Wellen während des NREM-Schlafs, die sich aber weder auf die subjektive Bewertung der Schlafqualität durch die Probanden noch auf deren Schlafstruktur auswirkten. Eine weitere Studie hat bei Probandinnen und Probanden keine strahlungsbedingten Auswirkungen auf ihre Reaktionszeit, ihr Kurzzeitgedächtnis und



ihre Argumentationsfähigkeit gefunden.

Die epidemiologischen Studien betrafen sowohl Jugendliche und Erwachsene. Eine Studie zeigt, dass Jugendliche, bei denen zu Hause ein WLAN vorhanden war, signifikant seltener in der Nacht aufwachten. Die Studie fand keine strahlungsbezogenen Auswirkungen auf Kopfschmerzen, Niedergeschlagenheit, Depressionen, Tinnitus, Einschlafprobleme, Müdigkeit in der Schule, vom Tippen herrührende Schmerzen im Daumen oder Verhaltensprobleme. Eine grössere Studie zum Schlaf von Kindern fand zum einen keine strahlungsbezogenen Auswirkungen auf den Schlafbeginn, die Schlafdauer, das nächtliches Aufwachen, Parasomnien oder die Tagesschläfrigkeit. Allerdings manifestierte sich eine erhöhte Schlafangst bei Kindern, die in Haushalten mit WLAN wohnten. In einer Studie zur Elektrosensibilität nannten die Studienteilnehmenden die WLAN-Strahlung am häufigsten als Ursache ihrer Beschwerden. Bei einer von 36 untersuchten Personen war ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Symptomen und der WLAN-Strahlung ersichtlich. Eine weitere Studie fand im Blut und in der Plazenta von Frauen direkt nach der Geburt ihres Kindes keinen Zusammenhang zwischen oxidativem Stress und der Strahlung von WLAN-Geräten, die am Arbeitsplatz oder zu Hause vorhanden waren.

5 Rechtliche Regelung

WLAN-Geräte

WLAN-Geräte unterstehen der schweizerischen Verordnung über Fernmeldeanlagen (FAV) [15]. Die FAV stellt grundlegende Anforderungen an den Schutz der Gesundheit und der Sicherheit von Personen stellt, die Fernmeldeanlagen benutzen oder durch Fernmeldeanlagen bestrahlt werden. Diese Anforderungen sind in schweizerisch-europäischen Normen konkretisiert. Die Grenzwerte dieser Normen entsprechen den Grenzwerten, die in der Empfehlung des europäischen Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz - 300 GHz) [3] aufgeführt sind.

WLAN-Hotspots

WLAN-Hotspots sind räumliche Bereiche, in denen der Internetzugang über WLAN möglich ist und die entweder öffentlich zugänglich sind (Bahnhöfe, Flughäfen etc.) oder einem eingeschränkten Nutzerkreis zur Verfügung stehen (Hotels, etc.). Die Access Points von öffentlich zugänglichen Hotspots sind stationäre Sendeanlagen und fallen damit in den Geltungsbereich der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) [16]. Da die maximal erlaubte Sendeleistung von WLAN Access Points unterhalb von 6 Watt ERP liegt, sind sie von einer vorsorglichen Emissionsbegrenzung ausgenommen, d. h. sie müssen keinen zusätzlich reduzierten Anlagegrenzwert einhalten. Hingegen müssen Hotspots die weniger strikten Immissionsgrenzwerte der NISV einhalten, falls der ganze menschliche Körper gleichmässig mit der Strahlung exponiert ist. Falls sich Menschen so nahe an den Antennen eines Hotspots aufhalten, dass ihr Körper nicht mehr gleichmässig bestrahlt wird, müssen an Stelle des Immissionsgrenzwertes der NISV die Anforderungen der FAV bzw. die Grenzwertempfehlung von 2 W/kg für die spezifische Absorptionsrate [3] eingehalten werden.



6 Literatur

1. Bundesamt für Kommunikation BAKOM, 2017. Faktenblatt WLAN Wireless Local Area Networks <https://www.bakom.admin.ch/bakom/de/home/telekommunikation/technologie/wlan.html>
2. BAKOM RIR 1010 Technische Schnittstellen-Anforderungen 784.101.21 / RIR1010 Breitband-Datenübertragungssysteme <https://www.ofcomnet.ch/api/RIR/1010>
3. 1999/519/EG: Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz - 300 GHz) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A31999H0519>
4. Kühn, S., Kuster, N., 2006. Development of Procedures for the EMF Exposure Evaluation from Wireless Devices in Home and Office Environments, Supplement 1: Close-to-Body and Base Station Wireless Data Communication Devices. IT'IS Bericht. Siehe "Weitere Dokumente"
5. Funck, C., Kühn, S., Goren, T., Kuster, N., 2017. Dosimetric Evaluation of IEEE 802.11n and 802.11ac Devices. Final Report for Project 644, IT'IS Bericht. Siehe "Weitere Dokumente"
6. Jalilian, H.; Eeftens, M.; Ziaei, M.; Rössli, M., 2019. Public exposure to radiofrequency electromagnetic fields in everyday microenvironments: An updated systematic review for Europe. *Environmental Research*, 176, 2019, 2-13.
7. Hardell, L., Koppel, T., Carlberg, M., Ahonen, M., Hedendahl, L., 2016. Radiofrequency radiation at Stockholm Central Railway Station in Sweden and some medical aspects on public exposure to RF fields. *Int. J. Oncol.* 49, 1315–1324.
8. Hardell, L., Carlberg, M., Koppel, T., Hedendahl, L., 2017. High radiofrequency radiation at Stockholm Old Town: an exposimeter study including the Royal Castle, Supreme Court, three major squares and the Swedish Parliament. *Mol. Clin. Oncol.* 6, 462–476.
9. Hedendahl, L.K., Carlberg, M., Koppel, T., Hardell, L., 2017. Measurements of radiofrequency radiation with a body-borne exposimeter in Swedish schools with wi-fi. *Front. Pub. Health* 5, 279.
10. Valič, B., Kos, B., Gajšek, P., 2015. Typical exposure of children to EMF: exposimetry and dosimetry. *Radiat. Protect. Dosim.* 163, 70–80.
11. Aminzadeh, R., Thielens, A., Bamba, A., Kone, L., Gaillot, D.P., Lienard, M., Martens, L., Joseph W., 2016. On-body calibration and measurements using personal radiofrequency exposimeters in indoor diffuse and specular environments. *Bioelectromagnetics* 37, 298–309.
12. Rössli, M., Struchen, B., Eeftens, M., Roser, K., 2016. Persönliche Messungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern bei einer Bevölkerungsstichprobe im Kanton Zürich Im Auftrag des AWEL, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft in Zürich.
13. Roser, K., Schoeni, A., Struchen, B., Zahner, M., Eeftens, M., Fröhlich, J., Rössli, M., 2017. Personal radiofrequency electromagnetic field exposure measurements in Swiss adolescents. *Environment international* 99, 303–314
14. Dongus, S., Jalilian, H., Schürmann, D., Rössli, M., 2021. Health effects of WiFi radiation: a review based on systematic quality evaluation. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. DOI: [10.1080/10643389.2021.1951549](https://doi.org/10.1080/10643389.2021.1951549)
15. Verordnung vom 14. Juni 2015 über Fernmeldeanlagen FAV, SR 784.101.2.
16. Verordnung vom 23. Dezember 1999 über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung NISV, SR 814.710



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Gesundheit BAG

Kontakt für Rückfragen

Bundesamt für Gesundheit BAG
str@bag.admin.ch