



Gregor Dürrenberger, Jürg Fröhlich, Hans Kastenholz

Mobilfunk – ein Risiko?

Zum Stand des Wissens über
mögliche gesundheitliche Wirkungen
von Mobilfunkexpositionen



FSM – Forschungsstiftung
Strom und Mobilkommunikation
FSM – Swiss Research Foundation for
Electricity and Mobile Communication

November 2019

Für die finanzielle Unterstützung dieser Broschüre bedanken wir uns bei der Swisscom AG. Die Swisscom hatte keine inhaltliche Mitsprache. Für den Inhalt sind allein die Autoren verantwortlich.

Dr. Gregor Dürrenberger: Geschäftsleiter der Forschungsstiftung Strom und Mobilkommunikation (FSM). Promovierte an der ETH Zürich in Naturwissenschaften. Lange Jahre engagiert in der Umweltforschung und -lehre an der Eawag und der ETH. Seit 2000 aktiv im Bereich nichtionisierende Strahlung. Mitinitiator der FSM.

Dr. Jürg Fröhlich: Promovierte an der ETH Zürich als Elektroingenieur. Langjährige Forschungstätigkeit zu Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern auf biologische Organismen sowie zu Anwendungen für Diagnose und Therapie in der Medizin. In verschiedenen Funktionen für Medtech-Firmen tätig. Mitglied im Wissenschaftlichen Ausschuss der FSM.

Dr. Hans Kastenholz: Studium und Promotion an der ETH Zürich. Langjährige Tätigkeit in der angewandten Forschung zu Chancen und Risiken neuer Technologien an der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, der Empa in St. Gallen und der ZHAW in Winterthur. Seit 2015 freiberuflicher Consultant.

Zürich, November 2019

© FSM – Forschungsstiftung Strom und Mobilkommunikation
c/o ETH Zürich
8092 Zürich

Titelbild: Golden Sikorka/Shutterstock

Satz und Layout: SLS Nadler, Uster

ISBN 978-3-033-07653-2

Mobilfunk – ein Risiko?

Diese Broschüre richtet sich an Personen, die das Thema Mobilfunk und Gesundheit interessiert und die wissen wollen, wie die Faktenlage dazu aussieht. Dafür wurden die aus der wissenschaftlichen Literatur verfügbaren Evidenzen zu über einem Dutzend Gesundheitsbereichen systematisch aufbereitet und bewertet, sodass sie auch ohne spezialisiertes Hintergrundwissen verstanden und für die eigene Meinungsbildung genutzt werden können.

Für eilige Leser sind die wichtigsten Befunde im Kapitel «Mobilfunk und Gesundheit» (S. 6–9) zusammengefasst.

Die differenzierte Faktenlage wird im Kapitel «Wissenschaftliche Evidenzen im Detail» (S. 10–19) in übersichtlichen Tabellen nach Gesundheitsbereichen gruppiert beschrieben. Wer die zitierte wissenschaftliche Literatur kennen und konsultieren will, findet die Angaben dazu im Supplementband oder kann sie für jeden interessierenden Gesundheitsbereich via QR-Code oder Link direkt aus dem Text abrufen.

Das Kapitel «Methodik» (S. 20–24) informiert über das Vorgehen bei der Literaturanalyse und bei der Bewertung der berücksichtigten Daten.

Weil das Thema Mobilfunk und Gesundheit in der Gesellschaft breit diskutiert wird, ist das Schlusskapitel (S. 25–28) dem Thema «Risiko» gewidmet. Es wird erklärt, warum Risiken unterschiedlich wahrgenommen werden und wie Wissenschaft im politischen Diskurs genutzt wird, im Guten (sachliche, auf Evidenzen basierende Debatten) wie im Schlechten (selektive Verwendung von Wissen, um eigene Interessen zu optimieren). Eine etwas ausführlichere Darstellung des Risikokapitels findet sich im Supplementband «Risiko».

Zusammenfassung

Es wurde eine umfangreiche Literaturanalyse, die vorrangig Arbeiten der letzten knapp zehn Jahre einschliesst, durchgeführt. Die Analyse konzentrierte sich auf Studien zu biologischen und gesundheitlichen Effekten von Hochfrequenzstrahlung, wie sie der Mobilfunk nutzt. Es wurden Zell-, Tier- und Humanstudien (experimentelle Anordnungen im Labor und Bevölkerungsstudien, sog. epidemiologische Arbeiten) berücksichtigt. Die Analyse zeigt, dass keine gesundheitlich negativen Effekte von Mobilfunkstrahlung unterhalb der Grenzwerte wissenschaftlich belegt sind. Physiologische Wirkungen wurden bei Hirnstrommessungen und bei Messungen von Schlafparametern und des Herzkreislaufsystems registriert. Gesundheitlich negative Folgen dieser Wirkungen sind nicht bekannt. Beobachtet wurden sie bei Expositionen, die typischerweise bei der Nutzung von Endgeräten vorkommen. Für Expositionen wie sie Basisstationen verursachen, gibt es keine belastbaren Daten für physiologische Effekte.

Ein grosser Teil der in der Literatur diskutierten Wirkungen hat keine einheitliche oder eine zu dünne Datenlage, um gültige Schlussfolgerungen zu ziehen. Häufig sind die Ergebnisse widersprüchlich oder die Arbeiten sind untereinander nicht vergleichbar. Das gilt ganz besonders für die vielen Studien zu möglichen nichtthermischen Wirkmechanismen. Häufig handelt es sich um Zellstudien, in denen mit verschiedene Zelltypen, Expositionseigenschaften und Fragestellungen gearbeitet wurde. Am interessantesten ist hier die Forschung zu Oxidantien. Es ist bekannt, dass längerfristig erhöhte Niveaus dieser chemischen Verbindungen Zellfunktionen stören und zu tiefe Werte zu einer ungenügenden Immunantwort führen können. Die bisherigen Laborexperimente mit Mobilfunkstrahlung sind noch nicht ausreichend schlüssig. Weitere Forschung ist angezeigt.

Betreffend des viel diskutierten Krebsrisikos durch intensive Handynutzung gehen die Resultate der jüngeren Forschung Richtung «Entwarnung», sind aber nicht endgültig. Die nationalen Krebsstatistiken zeigen keine ungewöhnlichen Anstiege bei den Neuerkrankungen, wie man das bei einem entsprechenden Risiko der Handynutzung erwarten würde und die epidemiologischen Studien zeigen insgesamt keine statistisch signifikant erhöhten Risiken. Diese Aussage gilt für Nutzungsdauern bis gegen 15 Jahre. Über noch längere Perioden (oder sehr kleine Restrisiken) geben die heutigen Daten keine brauchbaren Auskünfte.

Die hier vorgelegten Bewertungen gelten mit grosser Sicherheit auch für die heute verfügbare 5G-Technologie. 5G verwendet die gleichen oder sehr ähnliche Frequenzen, Modulationsformen und Strahlungsintensitäten wie 4G, teilweise auch wie 2G und 3G. Es gibt keine wissenschaftlich plausiblen Argumente, weshalb 5G ein anderes oder grösseres Gesundheitsrisiko sein sollte als 4G. Im Gegenteil: Der neue Standard ist funktechnisch effizienter und kann eine gegebene Datenmenge mit weniger Strahlungsenergie verschicken als 3G oder 4G. Mit 5G können Emissionen tiefer gehalten werden als mit älteren Technologien.

Im Schlusskapitel wird vor dem Hintergrund der gesellschaftlichen Diskussion um mögliche Gefahren der Mobilfunkstrahlung in das Thema «Risiko» eingeführt. Es wird dargestellt, wie Laien und wie Experten Risiken wahrnehmen und weshalb diese Wahrnehmungen oft unterschiedlich sind. Ein Grund ist, dass sich Laien auf Erzählungen berufen, Experten jedoch Zahlen und Statistiken vertrauen. Weil Risikodebatten heute meist öffentliche Debatten sind, ist die mediale Präsenz zentral. Dabei kann mit Geschichten mehr Sichtbarkeit erreicht werden als mit nüchternen Forschungsfakten. Gerade deshalb ist es wichtig, wissenschaftliche Evidenzen aktiv zu kommunizieren, um das Sachwissen nicht aus der Diskussion zu verlieren.

Inhalt

Mobilfunk und Gesundheit	6
Die Sachlage in Kürze	6
Ausgewählte Themen	7
Das sagen wissenschaftliche Gremien	8
Wissenschaftliche Evidenzen im Detail	10
Evidenztabellen	10
Befunde aus Zell-, Tier- und Humanstudien	11
<i>Krebs</i>	11
<i>Neurodegeneration</i>	12
<i>Fertilität</i>	13
<i>Entwicklung</i>	13
<i>Herz-Kreislauf-System</i>	14
<i>EEG</i>	14
<i>Kognition</i>	14
<i>Schlaf</i>	15
<i>Unspezifische Symptome/Elektrosensibilität</i>	15
<i>Hormone/Drüsen</i>	16
<i>Blut-Hirn-Schranke</i>	17
<i>Verhalten</i>	17
<i>Wirkmechanismen</i>	18
<i>Anderes</i>	19
Methodik	20
Den Wald vor lauter Bäumen sehen	20
Studienqualität und Evidenz	22
Gesellschaft und Risiko	25
Zahlen und Geschichten	25
Erkenntnis und Interesse	26

Mobilfunk und Gesundheit

Die Sachlage in Kürze

- Gesundheitliche Risiken** Die Forschung konnte bis heute keine gesundheitlich negativen Effekte von Mobilfunkstrahlung unterhalb der Grenzwerte belegen. Das gilt auch für die zwei am häufigsten diskutierten Befürchtungen: das Hirntumorrisiko im Zusammenhang mit der Nutzung des Mobiltelefons und die Elektrosensibilität bzw. unspezifische Gesundheitssymptome (Kopfweg, Schlafstörungen, Konzentrationsprobleme etc.), vor allem im Zusammenhang mit der Strahlung von Basisstationsantennen.
- Physiologische Effekte** Physiologische Wirkungen ohne bekannte gesundheitliche Komponente wurden bei Hirnstrommessungen und bei Messungen von Schlafparametern und des Herzkreislaufsystems beobachtet. Dabei handelt es sich typischerweise um Expositionen in der Nähe der Grenzwertvorschriften für Endgeräte. Für die schwachen Expositionen, wie sie Basisstationen verursachen, gibt es keine belastbaren Daten für physiologische Effekte. Da heute nahezu 100% der Bevölkerung gegenüber den Feldern von Sendeanlagen des Mobil- und Rundfunks exponiert ist, sind epidemiologische Studien zu möglichen Langzeitwirkungen dieser schwachen Expositionen schwierig oder kaum durchführbar.
- 5G** Hinsichtlich der gegenwärtig in Aufbau begriffenen 5G-Mobilfunktechnik können die bisherigen Kenntnisse als weiterhin gültig angesehen werden. Die verwendeten Frequenzen, Modulationsformen und Strahlungsintensitäten dieser neuesten Mobilfunkgeneration sind vergleichbar mit 4G und teilweise auch mit 2G und 3G. Es gibt keine wissenschaftlich plausiblen Gründe, weshalb 5G im Unterschied zu 3G oder 4G ein Gesundheitsrisiko sein könnte. Im Gegenteil ermöglicht der neue Standard, weil er funktechnisch viel effizienter ist, eine gegebene Datenmenge mit weniger Strahlungsenergie zu verschicken. Angesichts der ständig steigenden Datenvolumen in unseren Mobilfunknetzen ist es durchaus geboten, die Emissionen technisch so tief als möglich zu halten – und das spricht für den Einsatz von 5G.
- Millimeterwellen** In einigen Jahren werden Frequenzen deutlich oberhalb der heute üblichen eingesetzt werden (Größenordnung 10 GHz bis 100 GHz). Diese sog. Millimeterwellen werden fast vollständig in der Haut absorbiert, dringen also im Gegensatz zu den Frequenzen unterhalb 10 GHz kaum oder nicht in den Körper ein. Die Modellierung und Abschätzung der Energieabsorption in der Haut ist bei diesen Wellenlängen noch nicht perfekt. Es fehlen teilweise empirisch geprüfte Daten zu den elektrischen Eigenschaften der exponierten Gewebe sowie entsprechende Simulationsmodelle. Diese Lücken gilt es in den kommenden Jahren mit gezielter Forschung zu schliessen.
- Risikokommunikation** Trotz der aus gesundheitspolitischer Sicht insgesamt erfreulichen wissenschaftlichen Datenlage, werden die Diskussionen über mögliche gesundheitliche Risiken des Mobilfunks anhalten, denn die Risikowahrnehmung von Menschen wird nicht primär durch Forschungsfakten bestimmt, sondern durch Meinungen, Geschichten, Bilder sowie persönliche Erlebnisse und Überzeugungen. Sodann leben wir in einer Gesellschaft, in der Risiken zu den politischen Kernthemen zählen, die nicht so schnell aus den Agenden gestrichen werden. Die Erarbeitung und Vermittlung von Wissen bleibt damit aktuell und wichtig, denn ohne relevantes Sachwissen besteht die Gefahr, dass politische Entscheide nicht faktenbasiert, sondern rein stimmungs- oder «tagespolitisch» getrieben gefällt werden.

Ausgewählte Themen

Es wurde eine umfangreiche Analyse der wissenschaftlichen Literatur der letzten ca. 10 Jahre durchgeführt. Die Analyse fokussierte auf Arbeiten zu biologischen und gesundheitlichen Effekten. Es sind Zell-, Tier- und Humanstudien berücksichtigt worden. Die Literaturlauswahl war nicht strikt systematisch. Im Methodenkapitel wird im Detail dargestellt, wie wir vorgegangen sind, um die wichtigsten Studien zu erfassen und die Sachlage ausgewogen darzustellen. Die Mitberücksichtigung einer Reihe von jüngeren Überblicksarbeiten internationaler Organisationen und Expertengremien stellt die Ergebnisse zusätzlich in den gesamtwissenschaftlichen Kontext.

Die Analyse zeigt, dass keine gesundheitlich negativen Effekte von Mobilfunkstrahlung unterhalb der Grenzwerte wissenschaftlich belegt sind. Im Folgenden referieren wir kurz die Sachlage zu den am häufigsten diskutierten Gesundheitsthemen im Zusammenhang mit Mobilfunkstrahlung:

Krebs: Es liegen inzwischen recht viele Studien zur Frage eines möglichen Krebsrisikos von Mobilfunkstrahlung vor. Die Ergebnisse lassen noch keine abschliessende bzw. endgültige Beurteilung zu, aber in den letzten Jahren hat sich die Faktenlagen in Richtung «Entwarnung» entwickelt. Die nationalen Krebsstatistiken zeigen keine ungewöhnlichen Anstiege bei Neuerkrankungen, wie man das bei einem entsprechenden Risiko – wenn es nicht sehr klein ist – erwarten würde und die epidemiologischen Studien (Fall-Kontroll- und Kohortenstudien) zeigen insgesamt keine statistisch signifikant erhöhten Risiken. Einzelne Auffälligkeiten wie Anstiege in der Verteilung von Krebssubtypen innerhalb einer Kategorie oder erhöhte Häufigkeit in der Nähe von Strahlungsquellen (Gehirnbereiche, die nahe bei der Handyantenne liegen) sind auf veränderte Kodierungspraktiken und verbesserte Diagnostik (bildgebende Verfahren, insbesondere MRI/MRT und CT) zurückzuführen. Befunde aus neueren Tierstudien, die auf ein höheres Risiko hindeuten, sind für sich und v. a. im Hinblick auf die Bedeutung für den Menschen schwierig zu interpretieren und bedürfen weiterer Abklärungen.

Neurodegeneration: Eine Risikobeurteilung ist nicht möglich. Es gibt kaum Humanstudien und die Befunde aus Tierstudien sind widersprüchlich.

Fertilität und Entwicklung: Es liegen keine überzeugenden Hinweise vor, dass Mobilfunkstrahlung, wie man ihr im Alltag ausgesetzt ist, die Fruchtbarkeit negativ beeinflussen würde. Allerdings ist die Studienlage nicht befriedigend. Viele Arbeiten sind von ungenügender Qualität, insbesondere was die Expositionsabschätzung anbetrifft. Gleiches gilt für die Embryonalentwicklung im Mutterleib. Hierzu gibt es kaum Humanstudien.

EEG: Mehrfach belegt ist der Einfluss von hochfrequenter Strahlung auf die Hirnströme, v. a. das Schlaf-EEG. Dabei handelt es sich um physiologische Effekte. Eine gesundheitlich negative Wirkung, etwa auf die subjektive Schlafqualität, ist nicht nachgewiesen. Die Befunde sind eher uneinheitlich, und ein Wirkmechanismus ist unbekannt.

Unspezifische Symptome/Elektrosensibilität: Die wissenschaftliche Evidenzlage ist eindeutig. Eine kausale Verursachung von akuten Symptomen wie Kopfweh, Schlafprobleme, Müdigkeit, Konzentrationsstörungen etc. kann nicht belegt werden. In dieselbe Richtung weisen neuere Arbeiten, die chronische Wirkungen untersucht haben. Die Datenlage ist hierzu aber weniger robust. Eine negative Beeinflussung der subjektiven Schlafqualität wird als eher unwahrscheinlich betrachtet. Die Studienergebnisse sind aber nicht homogen. Belegt ist sodann, dass die Angst vor Mobilfunkstrahlung das Wohlbefinden negativ beeinflussen bzw. schon vorhandene Beschwerden stabilisieren oder verstärken kann. Man spricht von Nozeboeffekten (im Unterschied zu Placeboeffekten, welche lindernd wirken).

Literaturanalyse

Krebs

Neurodegeneration

Fruchtbarkeit

Hirnströme

Unwohlsein

Verhalten **Verhalten:** verschiedene Untersuchungen haben Einflüsse von Handystrahlung auf das Verhalten, insbesondere von Kindern und Jugendlichen, protokolliert. Dabei wurde auch das Verhalten von Kindern (etwa Hyperaktivismus) auf die Exposition der Mutter während der Schwangerschaft bezogen. Man hat Hinweise auf mögliche Zusammenhänge gefunden, aber die Forscherinnen und Forscher betonen durchwegs, dass das Nutzungsverhalten der Jugendlichen bzw. dasjenige der werdenden Mutter während der Schwangerschaft die Effekte erklären könnte. Insgesamt gibt es keine robusten Daten, die für einen kausalen Effekt der Strahlung auf das Verhalten sprechen.

Wirkmechanismen **Wirkmechanismen:** Fast alle Daten zu möglichen nichtthermischen Wirkmechanismen sind uneinheitlich. Einzelne Studien belegen Effekte, andere konnten das nicht. Das gilt sowohl für Gen-schäden als auch für die Aktivität der Gene (Genexpression), Effekte an der Zellmembran sowie die Vitalität von Zellen und Zellfunktionen. Einzig Studien zum sog. oxidativen Stress haben wiederholt Hinweise auf einen Zusammenhang mit elektromagnetischer Strahlung geliefert: Möglicherweise werden unter Exposition mehr chemisch reaktive Substanzen – v. a. Sauerstoffspezies, sog. ROS – in der Zelle gebildet. Ob und welche gesundheitliche Bedeutung mit diesem Effekt verbunden ist, ist jedoch unklar. Hier wäre gezielte Forschung sinnvoll.

Anderes **Weitere ausgewählte Endpunkte:** (i) Interessant sind jüngere Studien, in denen Ko-Expositionen verwendet wurden. Häufig wird dabei zuerst eine Chemikalie mit bekanntem Schädigungseffekt eingesetzt, anschliessend eine Exposition mit hochfrequenter Strahlung. In den vielen Arbeiten bewirkt die Bestrahlung, dass die Zellen bzw. Organismen die Auswirkungen der Chemikalien besser verarbeiten können und dadurch die Schädigung reduzieren. Ihre Anpassungsfähigkeit scheint sich zu erhöhen (deshalb spricht man im englischen von «adaptive response»). Zwei Tumorstudien mit Tieren geben aber auch Hinweise auf promovierende (verstärkende) Wirkungen schwacher Strahlung. (ii) Die Frage, ob Mobilfunkstrahlung kognitive Fähigkeiten beeinflusst, kann noch nicht abschliessend beantwortet werden. Physiologische Effekte sind verschiedentlich dokumentiert worden. Gesundheitlich dürften diese aber kaum von Bedeutung sein. Ein besseres Verständnis der Beobachtungen und Daten wäre wünschenswert. (iii) Die Studien zur sog. Blut-Hirn-Schranke (sie verhindert den Übertritt von grösseren Molekülen aus dem Blut ins Gehirn, um dieses vor möglichen toxischen Substanzen zu schützen) geben ein einheitliches Bild: Elektromagnetische Strahlung beeinflusst die Durchlässigkeit dieser Membran nicht.

Das sagen wissenschaftliche Gremien

Unsere oben dargestellten Einschätzungen wollen wir mit denjenigen einflussreicher wissenschaftlicher Expertengruppierungen vergleichen, um so eine «Gesamtsicht» anzubieten. Für diesen Vergleich haben wir folgende Organisationen bzw. Gruppierungen ausgewählt (eine Kurzbeschreibung der Gremien findet sich im Methodenteil):

SCENIHR und EFHRAN als europäische Komitees, SSM und ANSES als Gruppierungen, die von nationalen Regierungen/Behörden (Schweden, Frankreich) einberufen worden sind, sowie ICNIRP als international/global agierende wissenschaftliche Expertenorganisation.

Es interessieren uns die Einschätzungen zur Gesundheit. Grundsätzlich gilt es zwischen biologischen oder physiologischen Effekten und Gesundheitseffekten zu unterscheiden. Die Veränderung eines biologischen Parameters sagt noch nichts über eine allfällige gesundheitliche Bedeutung aus, wenn es denn eine solche gibt. In noch sehr viel stärkerem Masse gilt es, diese Vorsicht bei Befunden aus Zell- und Tierstudien walten zu lassen. Im Methodenteil wird vor diesem Hintergrund dargelegt, wie Resultate aus Zell- und Tierstudien bei der Bewertung des gesundheitlichen Risikos beim Menschen gewichtet werden.

Für die Zusammenstellung (Figur 1) haben wir die explizit gesundheitsbezogenen Aussagen der erwähnten wissenschaftlichen Gremien genommen, bzw. die Bewertungen, die auf Humanstudien

basieren. Die «Beweiskraft» der Studienergebnisse (für das Vorhandensein von Effekten) ist in der Tabelle farblich in Evidenzkategorien festgehalten (Legende in der Verweisspalte; für die genaue Definition der Kategorien siehe Methodenteil; intuitiv dürften die Unterschiede aber verständlich sein).

In der letzten Kolonne von Figur 1 haben wir unsere eigene Bewertung aufgelistet sowie zu jedem Endpunkt noch einen erklärenden Kommentar hinzugefügt. Diese Einschätzungen werden im nachfolgenden Kapitel «Wissenschaftliche Evidenzen im Detail» hergeleitet.

Endpunkt		EFHRAN	ANSES	SCENIHR	ICNIRP	SSM	FSM	
Krebs	Kopfbereich	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	ausreichend	ausreichend	Tendenz zu Risikoabwesenheit
	andere Tumore	limitiert	limitiert	keine Hinweise	keine Hinweise	limitiert	limitiert	Inkonsistente Resultate
Neurodegeneration		limitiert	limitiert	limitiert	limitiert	limitiert	limitiert	Inkonsistent bei Tierstudien, kaum Humanstudien
Fertilität		limitiert	limitiert	limitiert	limitiert	limitiert	limitiert	Keine robusten Hinweise auf Schäden
Entwicklung		limitiert	limitiert	keine Hinweise	keine Hinweise	limitiert	limitiert	Kaum Humanstudien, Tierstudien Tendenz zu keine Effekte
Herz-Kreislauf-System		limitiert	limitiert	limitiert	keine Hinweise	limitiert	limitiert	Physiologische Effekte möglich, Tendenz zu keine Effekte
EEG		ausreichend	limitiert	limitiert	limitiert	ausreichend	ausreichend	Physiologische Effekte, Bedeutung und Auswirkungen unklar
Kognition		keine Hinweise	limitiert	keine Hinweise	keine Hinweise	limitiert	keine Hinweise	Gesundheitlich kaum relevante Effekte
Schlaf		keine Hinweise	limitiert	keine Hinweise	limitiert	limitiert	limitiert	Einige Studien mit Effekten
Blut-Hirn-Schranke		keine Hinweise	keine Hinweise	keine Hinweise	keine Hinweise	limitiert	keine Hinweise	Alle Hinweise für Risikoabwesenheit
Verhalten Kinder		limitiert	limitiert	limitiert	limitiert	limitiert	limitiert	Eher Nutzung als Strahlung für Effekte verantwortlich
unspezifische Symptome/EHS	Wohlbefinden	keine Hinweise	limitiert	keine Hinweise	keine Hinweise	keine Hinweise	keine Hinweise	Recht robuste Evidenz gegen kausale Verursachung
	Nozebo	ausreichend	ausreichend	ausreichend	limitiert	limitiert	limitiert	Mehrfache Hinweise, als Ursache offen

Figur 1
Balance-of-Evidence nach Einschätzung
ausgewählter wissenschaftlicher Gremien

ausreichend limitiert inadäquat keine Hinweise **Legende** Evidenznachweis für Effekte

Wissenschaftliche Evidenzen im Detail

Evidenztabelle

Details und Begriffserklärungen
im Methodenteil

In diesem Kapitel stellen wir den Stand der Kenntnisse zu biologischen und gesundheitlichen Wirkungen von Mobilfunkstrahlung vor. Die Zusammenstellung basiert auf einer umfassenden Analyse der wissenschaftlichen Literatur. Das genaue Vorgehen zur Selektion und Bewertung der Studien wird im Methodenteil beschrieben.

Um die Ergebnisse möglichst übersichtlich darzustellen, haben wir für jeden berücksichtigten Effekt (sog. Endpunkt) eine Evidenztabelle (Figur 2) erstellt. In ihr sind die Resultate der konsultierten Arbeiten eingetragen. Für jede Studie haben wir die Aussagekraft der Ergebnisse gemäss Autoren einer von vier Evidenzkategorien zugeordnet (siehe Legende unterhalb der Figur; genaue Definition im Methodenteil). Diese Kategorien sind in der Tabelle jeweils für Zellstudien, Tierstudien und Humanstudien – letztere untergliedert in Studien zur Physiologie, zu akuten Wirkungen und zu chronischen Wirkungen – zu finden.

Figur 2
Evidenztabelle

	Zellstudien	Tierstudien	Humanstudien		
			Physiologie	akut	chronisch
Berücksichtigt					
Weggelassen					
Evidenz					
Gesamtevidenz					
Evidenz-Reviews					

ausreichend limitiert inadäquat keine Hinweise **Legende** Evidenznachweis für Effekte

Alle qualitativ guten Studien wurden in die Zeile «Berücksichtigt» aufgenommen. Die dortigen Zahlen zeigen also für jeden Studientyp nach Evidenzkategorien geordnet die Anzahl Publikationen, die wissenschaftlich akzeptabel sind (Definition siehe Methodenteil). Qualitativ ungenügende Arbeiten wurden in einer separaten Zeile («Weggelassen») eingetragen. Für jeden Studientyp wurde eine Gesamtbewertung durchgeführt (Zeile «Evidenz»). Im Methodenteil findet sich die Beschreibung, wie die teilweise uneinheitlichen Resultate innerhalb ein und derselben Studienkategorie (z. B. Tierstudien) verdichtet wurden. Die qualitativ ungenügenden Arbeiten wurden dafür nicht verwendet. Die Beurteilungen der Zell-, Tier und Humanstudien sind schliesslich im Hinblick auf die menschliche Gesundheit zu einer Gesamteinschätzung zusammengefasst worden. Im Methodenteil wird das genau Vorgehen dazu erläutert. Alle Bewertungen sind farblich gemäss Legende kodiert.

In der letzten Zeile («Evidenz Reviews») sind die Einschätzungen aus Übersichtsarbeiten (Reviews und Metaanalysen) notiert. Diese Einschätzungen stammen von internationalen Expertengruppierungen oder von Autorenkollektiven, manchmal auch von Einzelautoren. Sie sind nicht in unsere Evidenzbeurteilungen eingeflossen, um die mehrfache Berücksichtigung von Primärarbeiten zu vermeiden (Reviewstudien basieren auf bereits publizierten Daten).

Um die Darstellung nicht zu überladen, werden die wissenschaftlichen Publikationen nicht explizit aufgelistet. Mit Hilfe der in der Verweisspalte abgebildeten QR-Codes bzw. Links können diese Angaben aber auf einfache Weise zu jedem interessierenden gesundheitlichen Endpunkt abgerufen werden. Sie sind auch in einem Supplement-Band insgesamt (QR-Code und Link) nachzulesen.

Supplement Literatur



Befunde aus Zell-, Tier- und Humanstudien

Krebs

Das Hauptaugenmerk der gesundheitsorientierten Forschung zu möglichen Wirkungen von elektromagnetischen Feldern (EMF) liegt auf dem Krebsrisiko, im Zusammenhang mit Mobilfunk v. a. bei Tumoren im Kopf- und Nackenbereich. Die relevante Quelle hier sind Mobiltelefone. Vereinzelt gibt es auch Studien zum Krebsrisiko im Umfeld von Antennenanlagen. Aufgrund der im Vergleich zur Belastung durch das Endgerät geringen Exposition gegenüber fixen Installationen ist das Forschungsinteresse daran allerdings wenig ausgeprägt – ganz im Unterschied zum öffentlichen Interesse, das v. a. den Anlagen und ihren möglichen gesundheitlichen Wirkungen gilt. Sodann wird seit einigen Jahren das Risiko von Kindern und Jugendlichen untersucht. Auch hier liegt das Interesse primär bei der Nutzung der Endgeräte bzw. beim Hirntumorrisiko.

Aufgrund der Publikationslage haben wir zu diesem Endpunkt zwei Unterkategorien definiert: Tumore im Kopfbereich und andere Tumore (inkl. Krebsstudien allgemein).

	Zellstudien	Tierstudien	Humanstudien						
			Physiologie	akut	chronisch				
Berücksichtigt						2	3	5	11
Weggelassen									1
Evidenz									
Gesamtevidenz									
Evidenz-Reviews									4

Figur 3

Studienlage zu Tumoren im Kopfbereich



Literatur Hirntumore

	Zellstudien	Tierstudien	Humanstudien						
			Physiologie	akut	chronisch				
Berücksichtigt									2
Weggelassen									1
Evidenz									
Gesamtevidenz									
Evidenz-Reviews									4

Figur 4

Studienlage zu anderen Tumoren und Krebs allgemein



Literatur Krebs allgemein

ausreichend limitiert inadäquat keine Hinweise **Legende** Evidenznachweis für Effekte

Bezüglich der Einschätzung des Krebsrisikos für Menschen hat sich die Sachlage in den letzten ca. zehn Jahren verdichtet. Die Bewertung der IARC (Internationale Krebsforschungsagentur der WHO) wird in der Wissenschaft geteilt, aber teilweise unterschiedlich interpretiert. Die IARC ordnet Hochfrequenzstrahlung der Kategorie 2B zu: «möglicherweise kanzerogen» (IARC, 2013). Konkret basiert die Einteilung darauf, dass Humanstudien nur limitierte Hinweise und Tierstudien keine robusten Belege (ausreichende Evidenz) liefern. Neuere epidemiologische Studienresultate haben an dieser Sachlage nicht grundsätzlich gerüttelt. Die neueste Metaanalyse (Röösli et al. 2019) ist eher «entwarnend». Auch Studien zu Kindern und Jugendlichen (hier berücksichtigt: drei Arbeiten, zwei ohne Effekte, eine mit inadäquater Evidenz) haben keine erhöhten Risiken offengelegt. Die teilweise inkonsistenten Resultate von Review-Arbeiten haben u. a. mit unterschiedlichen Erscheinungsdaten und mit Mehrfachzählungen von Arbeiten bzw. Datenbeständen zu tun. Sodann zeigen statistische Auswertungen von Krebsregistern unveränderte Fallzahlen.

Ein Anstieg spezifischer Tumorarten (etwa Glioblastome) kann mit verbesserter Diagnostik und veränderter Kodierung erklärt werden (Anstieg der Fallzahlen begleitet von gleichzeitigem Rückgang bei Tumoren, die früher nicht oder anders spezifiziert wurden). Dasselbe gilt hinsichtlich der

Literaturhinweise

IARC (2013): Non-ionizing radiation, Part 2: Radio-frequency electromagnetic fields. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum 102(Pt 2): 1–460.

Röösli M. et al. (2019): Brain and Salivary Gland tumors and mobile phone use: Evaluating the evidence from Various Epidemiological Study Designs. Annual Review of Public Health, 40: 221–238.

Literaturhinweise

Lerchl A. et al. (2015): Tumor promotion by exposure to radiofrequency electromagnetic fields below exposure limits for humans. *Biochem Biophys Res Commun* 459(4): 585–590.

Tillmann T. et al. (2010): Indication of cocarcinogenic potential of chronic UMTS-modulated radiofrequency exposure in an ethylnitrosourea mouse model. *International Journal of Radiation Biology* 86(7): 529–541.

Wyde M.E. et al. (2018): Report on the Toxicology and Carcinogenesis Studies in Hsd: Sprague-Dawley SD rats exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones. NTP TR 595. NIH.

Falcioni L. et al. (2018): Report of final results regarding brain and heart tumors in Sprague-Dawley rats exposed from prenatal life until natural death to mobile phone radiofrequency field representative of a 1,8 GHz GSM base station environmental emission. *Environmental Research*, doi.org/10.1016/j.envres.2018.01.037.

ICNIRP (2019): Critical Evaluation of two radiofrequency electromagnetic fields animal carcinogenicity studies published in 2018. Pre-print, Health Physics, 118.

Link

<https://www.emf.ethz.ch/de/angebot/veroeffentlichungen/archiv-kommentare/>

Lokalisation der Tumore. Die manchmal geäusserte Meinung, dass sich Tumore in jüngerer Zeit häufiger im Bereich des Ohres, an dem man mehrheitlich telefoniert, zeigen, kann nicht auf die erhöhte Strahlenbelastung dieser Gewebe zurückgeführt werden: Die Zunahme geht einher mit einer Abnahme der nichtdiagnostizierten Lokalisationen. Grund dafür ist die verbesserte Krebsdiagnostik. Die bildgebenden Verfahren ermöglichen heute, Tumore sehr genau zu lokalisieren. Ohne diese technische Möglichkeit können bzw. konnten Ärzte den genauen Ort des Tumors häufig nicht erkennen. Interpretationsspielräume bleiben trotzdem noch erhalten, weil bei vielen Studien (v. a. retrospektive Fall-Kontroll-Studien, auf die sich Risikoeinschätzungen wesentlich stützen) recht grosse methodische Unsicherheiten (v. a. bei der Erfassung der Exposition) vorhanden sind.

Jüngere Tierstudien zeigen etwas überraschend erhöhte Inzidenzen (Anzahl Neuerkrankungen). Die Studie von Alexander Lerchl hat Befunde aus einer früheren Arbeit (Tillmann, Ernst et al. 2010) bestätigt. Danach zeigen sich in einem Krebs-Mausmodell, das gegenüber EMF exponiert wird, mehr Leber- und Lungentumore sowie erhöhte Werte von Lymphomen. Die Resultate wurden im Vergleich zur Originalstudie mit einer grösseren Anzahl Tiere pro Gruppe erzielt. Allerdings konnte kein Dosis-Wirkungs-Zusammenhang gefunden werden.

Sodann zeigte sich in der grössten je durchgeführte Studie mit Ratten und Mäusen unter GSM- und UMTS-Exposition – sog. NTP-Studie (Wyde, Cesta et al. 2018) – die Tendenz v. a. einer Gewebearbeit in Herz und Hirn zu einer leicht höheren Anfälligkeit für Krebs und Gewebewucherungen (Schwannome und hyperplastische Läsionen). Diese Befunde wurden von einer italienischen Studie (Falcioni et al., 2018) teilweise bestätigt. Es gibt aber gegenüber beiden Arbeiten gewichtige Vorbehalte, die bei der Interpretation der Ergebnisse zu beachten sind. Im Falle von NTP betreffen die Vorbehalte etwa die Überlebenskurven und die Körpertemperaturen der Labortiere (für genaueres dazu: Link in der Verweisspalte und ICNIRP, 2019).

Insgesamt gesehen gehören diese jüngsten Arbeiten zu den wichtigsten Tierstudien über Mobilfunkstrahlung und Krebs, die bislang publiziert wurden. Da es sich um gleichgerichtete Hinweise auf Effekte handelt, sollte ihnen mit weiterer Forschung nachgegangen werden. Gegenwärtig ist denn auch eine Replikation in Japan und Südkorea in Vorbereitung.

Uneindeutig sind auch die Resultate des grossen Seawind-Projekts der EU. Hier wurde mit Zellkulturen gearbeitet. Die Resultate sind sehr heterogen. Es ist nicht auszuschliessen, dass das mit der Sensitivität von (nur bestimmten) Zellen für (nur bestimmte) Signale zusammenhängt, oder dass eine Wirkung nur bei bestimmten Zellzuständen eintritt. Ansonsten handelt es sich um Zufallseffekte.

Neurodegeneration

Dazu zählen alle Erkrankungen, die im Zusammenhang mit der Degeneration von Nervenzellen (Neuronen) stehen, insbesondere: Alzheimer und andere Formen der Demenz, ALS (Amyotrophe Lateralsklerose), MS (Multiple Sklerose) und Parkinson. Die Vermutung, dass elektromagnetische Felder das Risiko für solche Erkrankungen erhöhen könnten, wurde zuerst bei Magnetfeldern der Stromversorgung untersucht. Für hochfrequente Felder der Funkdienste liegen noch kaum Humanstudien vor. Wir haben diesen Endpunkt deshalb nicht weiter unterteilt.

Figur 5
Studienlage zu neurodegenerativen Effekten



Literatur Neurodegeneration

	Zellstudien		Tierstudien		Humanstudien		
	ausreichend	limitiert	ausreichend	limitiert	ausreichend	limitiert	chronisch
Berücksichtigt	2	6	1	9	6	7	2
Weggelassen	1	1	8	1	4	2	1
Evidenz							
Gesamtevidenz							
Evidenz-Reviews	2		3		4		

ausreichend limitiert inadäquat keine Hinweise **Legende** Evidenznachweis für Effekte

Bislang gibt es über einen möglichen Zusammenhang zwischen Hochfrequenzstrahlung und neurodegenerativen Erkrankungen keine robusten Erkenntnisse aus Humanstudien. Die Forschungsaktivitäten betreffen primär Laborexperimente mit neuronalen Zellen sowie Tierstudien. Die Hinweise aus diesen Arbeiten sind sehr inkonsistent.

Es gibt zwei Studien (eine Zell- und eine Tierstudie; Chen et al., 2014, Narayana et al., 2015) die auf einen negativen Einfluss von Hochfrequenzstrahlung auf das Wachstum von Nervenfasern (Neuriten) hinweisen. Sollte sich das Resultat bestätigen, wäre das von grosser Relevanz, denn das Neuritenwachstum ist sowohl für neurodegenerative Erkrankungen als auch für kognitive Prozesse von Bedeutung. Gegenwärtig sind entsprechende Forschungsarbeiten in Gang.

Fertilität

Die Wissenschaft ist auch der Befürchtung nachgegangen, ob hochfrequente elektromagnetische Strahlung die Fruchtbarkeit negativ beeinflussen könnte. Neben in aller Regel wenig aussagekräftigen und wenig robusten Studien mit menschlichen Probanden sind dazu primär Tierversuche unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt worden.

	Zellstudien				Tierstudien				Humanstudien								
	Physiologie		akut		chronisch		Physiologie		akut		chronisch						
Berücksichtigt	1	1	2	4	1	1	2	4	1	1	2	4	1	1	2	4	
Weggelassen	9	1	2	12	1	1	2	4	1	1	2	4	3	1	3	7	
Evidenz																	
Gesamtevidenz																	
Evidenz-Reviews					3	1			2							3	1

Die Mehrzahl der Studien in diesem Feld ist qualitativ ungenügend. Es liegen keine eindeutigen Resultate vor und es wurden wenig Effekte festgestellt. Aufgrund der dünnen Datenlage ist eine wissenschaftlich fundierte Beurteilung sowohl der Tierstudien als auch der Humanstudien nicht möglich.

Entwicklung

Es geht um die Frage, ob die Entwicklung eines Kindes im Mutterleib durch elektromagnetische Felder negativ beeinflusst wird. Dazu gibt es Laborstudien mit Tieren (Ratten, Mäuse) sowie einige Humanstudien, in denen die vorgeburtliche Exposition erhoben und auf Zusammenhänge mit Entwicklungsstörungen hin studiert wurden. In dieser Kategorie sind auch Arbeiten, die sich mit dem Verlauf von Schwangerschaft und Geburt beschäftigen.

	Zellstudien				Tierstudien				Humanstudien									
	Physiologie		akut		chronisch		Physiologie		akut		chronisch							
Berücksichtigt	2	1	7	10	2	1	7	10	2	1	7	10	2	1	7	10		
Weggelassen	2	1	2	5	2	1	2	5	2	1	2	5	1	2				
Evidenz																		
Gesamtevidenz																		
Evidenz-Reviews					2	2											3	3

Die verfügbaren Ergebnisse sind uneinheitlich und die Studienzahl ist begrenzt. Tierversuche geben keine überzeugenden Hinweise auf negative Wirkungen, sodass die heute vorliegende Evidenz eher entwarnend ist. Aus den Humanstudien lässt sich keine Schlussfolgerung ziehen.

ausreichend limitiert inadäquat keine Hinweise **Legende** Evidenznachweis für Effekte

Literaturhinweise

- Chen C. et al. (2014): Exposure to 1800 MHz radio-frequency radiation impairs neurite outgrowth of embryonic neural stem cells. *Sci Rep* 4, 5103.
- Narayanan S.N. et al. (2015): Possible cause for altered spatial cognition of prepubescent rats exposed to chronic radiofrequency electromagnetic radiation. *Metab Brain Dis* 30(5): 1193–1206.

Figur 6
Studien zur Fruchtbarkeit



Literatur Fertilität

Figur 7
Studien zu Entwicklung, Schwangerschaft und Geburt



Literatur Entwicklung

Herz-Kreislauf-System

Unter diesem Endpunkt sind Untersuchungen zum Einfluss von Funkstrahlung auf das Blutkreislaufsystem sowie auf Blutparameter zusammengefasst. Dazu gehören etwa Studien zum regionalen Blutfluss im Gehirn, die dank bildgebender Verfahren in der Forschung zunehmend attraktiv geworden sind. Obwohl der Bereich recht verschiedene Aspekte umfasst (von Messungen der Herzfrequenzvariabilität bis zum Erfassen des Sauerstoff- oder Zuckergehaltes des Blutes in einzelnen Hirnregionen), haben wir ihn aufgrund der beschränkten Anzahl verfügbarer Artikel nicht weiter untergliedert.

Figur 8
Studien zu Herz-Kreislauf und Blut

Literatur Kreislauf



	Zellstudien			Tierstudien			Humanstudien										
							Physiologie			akut			chronisch				
Berücksichtigt			1			2	1		2	2	1	1	1	1		1	
Weggelassen	1			4		2	1										
Evidenz	[Evidenzmatrix]																
Gesamtevidenz	[Gesamtevidenzmatrix]																
Evidenz-Reviews				1	1				1				1	1			

Aus den heute vorliegenden wissenschaftlichen Erkenntnissen kann keine valide Schlussfolgerung zur Wirkung von Mobilfunk-Expositionen auf das kardiovaskuläre System und auf Blutparameter gezogen werden. Es gibt jedoch keine Hinweise aus Zell- und Tierstudien, die auf Effekte hindeuten. Befunde aus den wenigen qualitativ akzeptablen Humanstudien erlauben keine klinischen Schlussfolgerungen.

EEG

Eine ganze Reihe von Studien hat den Einfluss von EMF auf das Gehirn mit Hilfe des Elektroenzephalogramms (EEG), der Aufzeichnung von Hirnströmen durch am Kopf angebrachte elektrische Sensoren, untersucht. Weil Hirnströme im Schlaf typische und auch recht stabile (reproduzierbare) Muster aufweisen, sollten sich allfällige Effekte der Strahlung durch eine Analyse der Hirnstromsignale erkennen lassen. Analog wurde auch das Wach-EEG studiert. Kleinere Auffälligkeiten im EEG sind in ihrer gesundheitlichen Bedeutung, sofern sie eine solche haben, nur schwer interpretierbar.

Figur 9
Studien zu Hirnströmen

Literatur Hirnströme



	Zellstudien			Tierstudien			Humanstudien									
							Physiologie			akut			chronisch			
Berücksichtigt							5	7				2			1	
Weggelassen									1							
Evidenz	[Evidenzmatrix]															
Gesamtevidenz	[Gesamtevidenzmatrix]															
Evidenz-Reviews							3	3	1	1	2	1				

Es gibt Hinweise, dass das EEG durch Mobilfunkstrahlung beeinflusst wird. Verschiedene Studien haben diesen physiologischen Effekt mehrfach nachgewiesen. Eine allfällige gesundheitliche Bedeutung ist unklar. In Kurzzeittests (z. B. Aufenthalt im Labor während einer Nacht) zeigten sich keine negativen Symptome, Einbußen des Wohlbefindens oder verminderte Schlafqualität.

Kognition

Mehrere Forschungsarbeiten sind der Frage nachgegangen, ob sich unsere Denkleistungen (kognitive Funktionen) unter EMF Exposition verändern. Das wurde primär in kontrollierten Laborstudien

ausreichend limitiert inadäquat keine Hinweise **Legende** Evidenznachweis für Effekte

mit Standardtests untersucht, oft auch zusammen mit EEG-Messungen. Mit in diese Kategorie eingeschlossen sind Verhaltensstudien an Tieren (z. B. Suchverhalten in Labyrinthen).

	Zellstudien	Tierstudien	Humanstudien						
			Physiologie			akut		chronisch	
Berücksichtigt	1	1	2	5	4	3	4	1	1
Weggelassen	1	1							
Evidenz									
Gesamtevidenz	[Gesamtevidenzbalken]								
Evidenz-Reviews		1	2	1	2	2	3		1

Figur 10
Studien zur Kognition



Literatur Kognition

Neuere Arbeiten zeigen wiederholt Effekte auf kognitive Funktionen. Es scheint, dass das Gehirn auf schwache Hochfrequenzstrahlung – schwach: Strahlung unterhalb der Grenzwerte – physiologisch reagiert. Es sollte jedoch abgeklärt werden, ob es sich um von der Strahlung verursachte Effekte handelt, oder ob Nutzungsgewohnheiten (betrifft nur Humanstudien) die entscheidende Rolle spielen.

Eine kürzlich veröffentlichte Arbeit (Foerster et al., 2018) weist auf eine Wirkung hin, die mit der Strahlung und nicht mit Mobiltelefon-Nutzungsgewohnheiten zusammenzuhängen scheint. Weil aber das Studienkollektiv eher klein war, und eine Bestätigung der Resultate durch andere Studien fehlt, sind keine endgültigen Aussagen möglich. Dass die Mobiltelefonnutzung das Verhalten, insbesondere das Schlafverhalten von Jugendlichen – etwa wegen des Blaulichts der Bildschirme – sowie subjektive Symptome beeinflussen kann, ist in jüngeren Arbeiten dokumentiert worden.

Literaturhinweis

Foerster M., Thielens A., Joseph W., Eeftens M., Rösli M. (2018): A prospective cohort study of adolescents' memory performance and individual brain dose of microwave radiation from wireless communication. *Environ Health Perspect.* 126(7), 077007: 1–13.

Schlaf

Hier geht es um Arbeiten, die sich mit der Wirkung von Hochfrequenzstrahlung auf den Schlaf befassen. Dabei wurden sowohl objektive Parameter (z. B. solche zur Schlafarchitektur wie sie sich aus EEG-Aufzeichnungen ableiten lassen) als auch das subjektive Schlafempfinden berücksichtigt. Vier der 18 Studien untersuchten auch Kinder (drei dieser Studien fanden keine Effekte).

	Zellstudien	Tierstudien	Humanstudien						
			Physiologie			akut		chronisch	
Berücksichtigt	1	1	7	2	6	1	1		
Weggelassen	1								
Evidenz									
Gesamtevidenz	[Gesamtevidenzbalken]								
Evidenz-Reviews			1	3	3		1		

Figur 11
Studien zum Schlaf



Literatur Schlaf

Die Hinweise auf eine Wirkung von hochfrequenter Strahlung auf den Schlaf sind eher schwach. Objektive Schlafparameter werden durch die Strahlung kaum beeinflusst. Die Arbeiten bezüglich der subjektiven Schlafqualität zeigen mehrheitlich ebenfalls keinen Einfluss. Neuere Studien belegen, dass nicht die Strahlung, sondern die Nutzung des Mobiltelefons für Schlafprobleme verantwortlich ist (das Blaulicht der Bildschirme reduziert die Ausschüttung des Schlafhormons Melatonin).

Unspezifische Symptome/Elektrosensibilität

Dieser Endpunkt ist einer der meist untersuchten. Unter unspezifischen Symptomen versteht man Kopfweg, Schlafstörungen, Müdigkeit, Konzentrationsschwächen, diffuse Schmerzen etc. Die Heterogenität des Symptombildes ist gross und nicht quellenspezifisch (es werden Hochspannungs-

ausreichend
limitiert
inadäquat
keine Hinweise
Legende Evidenznachweis für Effekte

kungen, aber es gibt limitierte Hinweise darauf, so dass nicht ausgeschlossen werden kann, dass Hochfrequenzstrahlung die Stressproteinausschüttung beeinflussen könnte.

Blut-Hirn-Schranke

Die Blut-Hirn-Schranke (BHS) ist eine physiologische Barriere zwischen dem Blutkreislauf und dem Nervengewebe des Gehirns. Sie schützt das Gehirn vor im Blutkreislauf zirkulierenden Krankheitserregern oder toxischen Stoffen und sie reguliert den Nährstoffhaushalt des Gehirns. Verschiedentlich wurde vermutet, dass Hochfrequenzstrahlung die Funktion dieser Schranke negativ beeinflusst und damit das Gehirn potenziell Schadstoffen, die im Blutsystem zirkulieren, ausgesetzt sein kann. Es wurde bisher keine Evidenz für diesen Verdacht gefunden. Von den fünf hier berücksichtigten Arbeiten, vier davon an Tieren (plus eine Zellstudie), konnte keine einen entsprechenden Effekt nachweisen. Es ist sehr unwahrscheinlich, dass Hochfrequenzstrahlung eine Öffnung der BHS bewirkt.



Literatur Blut-Hirn-Schranke

Verhalten

Dieser Endpunkt umfasst die Studien, die sich dem Zusammenhang zwischen Exposition und Verhalten gewidmet haben. Neun der zwölf Humanstudien haben das Verhalten von Kindern und Jugendlichen untersucht.

	Zellstudien	Tierstudien	Humanstudien		
			Physiologie	akut	chronisch
Berücksichtigt	ausreichend	limitiert	ausreichend	ausreichend	ausreichend
Weggelassen	ausreichend	limitiert	ausreichend	ausreichend	ausreichend
Evidenz	ausreichend	limitiert	ausreichend	ausreichend	ausreichend
Gesamtevidenz	ausreichend				
Evidenz-Reviews	ausreichend	limitiert	ausreichend	ausreichend	ausreichend

Figur 14

Studien zu Wirkungen auf das Verhalten



Literatur Verhalten

ausreichend limitiert inadäquat keine Hinweise **Legende** Evidenznachweis für Effekte

Aus den vorliegenden Arbeiten lassen sich keine klaren Schlüsse ziehen. Die Befunde aus Tierstudien sind widersprüchlich und zeigen, dass in diesem Feld gut kontrollierte Experimente, die abgesicherte Rückschlüsse auf das Verhalten erlauben, fast nicht möglich sind. Bei den Humanstudien sieht es ähnlich aus, aber die Ergebnisse sind etwas weniger heterogen. Die Arbeiten weisen auf mögliche Wirkungen hin, die Interpretation bleibt aber schwierig. Wie schon im Abschnitt zum Schlaf erwähnt, wird das Verhalten auch durch die Nutzung der Endgeräte beeinflusst. Mit einiger Sicherheit ist das der wichtigere Faktor. Das gilt auch für Studien, welche die Hyperaktivität von Kindern studierten. Diese steht eng im Zusammenhang mit dem Mobiltelefongebrauch der Mutter.

Wirkmechanismen

Hier geht es nicht um konkrete gesundheitliche Effekte, sondern um Erklärungen, wie Effekte ursächlich zustande kommen könnten. In der Forschung ist das Wissen um Wirkmechanismen zentral, weil damit Beobachtungen, insbesondere aus epidemiologischen Arbeiten, erklärt werden können. Für einen allfälligen nichtthermischen Risikonachweis sind deshalb solche Studien von Bedeutung (siehe etwa Negovetic und Regel, 2011).

Wir haben diesen Forschungsbereich (obwohl nicht korrekt) auf die Liste der «Endpunkte» gesetzt und vier Themenfelder definiert. Diese sind pragmatisch begründet und hätten auch anders ausfallen können. Konkret handelt es sich dabei (i) um Studien, welche das Potenzial von Mobilfunkstrahlung zur Destabilisierung des Genoms untersuchen, (ii) Arbeiten, die sich um das Schädigungspotenzial von Sauerstoffradikalen kümmern, (iii) Forschung zur Protein- und Genexpression und (iv) Studien, welche die Wirkungen von Hochfrequenzstrahlung auf Zellmembranen und Zellfunktionen zum Thema haben.

Literaturhinweise

Negovetic S., Regel S. (2011): Nichtionisierende Strahlung – Umwelt und Gesundheit. Bern, Schweizerischer Nationalfonds.

Simko M., Remondini D., Zeni O., Scarfi M.R. (2016): Quality matters: systematic analysis of endpoints related to «cellular life» in vitro data of radiofrequency electromagnetic field exposure. Int J Environ Res Public Health 13(7), E701.

Literaturhinweis

Vijayalaxmi, Prihoda T.J. (2019): Comprehensive review of quality of publications and meta-analysis of genetic damage in mammalian cells exposed to non-ionizing radiofrequency fields. Radiation Research, 191(1): 20–30.

Die bislang vorliegenden Resultate aus diesen Arbeiten konnten keinen nichtthermischen Wirkmechanismus aufzeigen. Sowohl hinsichtlich Genom als auch hinsichtlich Zellfunktionen sind die Studienbefunde heterogen. Das hängt u. a. mit den kleinen Effektgrößen zusammen, welche fast alle Zellstudien mit Mobilfunk-Exposition begleiten. Nicht sauber durchgeführte Experimente können leicht Effekte maskieren oder konstruieren. Zwei Meta-Analysen über Zellstudien haben denn auch gezeigt, dass mit zunehmender Qualität der Experimente der Effektnachweis misslingt (Simko et al., 2016; Vijayalaxmi und Prihoda, 2019).

Figur 15
Studien zu Genschäden

Literatur Genschädigung



	Zellstudien			Tierstudien			Humanstudien					
	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise
Berücksichtigt	5	3	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Weggelassen	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Evidenz	[Evidenzmatrix]											
Gesamtevidenz	[Gesamtevidenzmatrix]											
Evidenz-Reviews	5	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figur 16
Studien zur Gen- und Proteinexpression

Literatur Gen- und Proteinexpression



	Zellstudien			Tierstudien			Humanstudien					
	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise
Berücksichtigt	3	2	5	1	1	2	1	1	1	1	1	1
Weggelassen	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Evidenz	[Evidenzmatrix]											
Gesamtevidenz	[Gesamtevidenzmatrix]											
Evidenz-Reviews	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figur 17
Studien zu Zellfunktionen

Literatur Zellfunktionen



	Zellstudien			Tierstudien			Humanstudien					
	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise
Berücksichtigt	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1
Weggelassen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Evidenz	[Evidenzmatrix]											
Gesamtevidenz	[Gesamtevidenzmatrix]											
Evidenz-Reviews	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figur 18
Studien zu Sauerstoffradikalen

Literatur Sauerstoffradikale



	Zellstudien			Tierstudien			Humanstudien					
	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise
Berücksichtigt	3	2	3	1	4	2	1	1	1	1	1	1
Weggelassen	3	1	1	4	1	2	1	1	1	1	1	1
Evidenz	[Evidenzmatrix]											
Gesamtevidenz	[Gesamtevidenzmatrix]											
Evidenz-Reviews	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Die interessantesten Hinweise gibt es aus Tierversuchen hinsichtlich der Produktion von Sauerstoffradikalen. Sauerstoffradikale entstehen während des Stoffwechsels natürlicherweise und sind lebenswichtig. Ist die Konzentration dieser Stoffe in den Zellen aber erhöht (oder zu niedrig),

ausreichend limitiert inadäquat keine Hinweise **Legende** Evidenznachweis für Effekte

können Zellen in ihrer normalen Funktion behindert oder geschädigt werden. Schlussfolgerungen bezüglich Gesundheit sind aber nicht einfach. In den meisten Fällen werden oxidative Schäden durch die Zellreparaturmechanismen behoben.

Hilfreich für die Risikobeurteilung sind die Befunde zu Sauerstoffradikalen erst, wenn auch entsprechende Wirkungsketten bis hin zu gesundheitlichen Effekten verstanden sind. In dieser Hinsicht sind weitere Arbeiten wünschbar.

Anderes

Nicht alle Effektstudien werden von den oben beschriebenen Endpunkten erfasst. Wir haben deshalb auf Basis der verfügbaren Literatur – jeweils meist nur wenige Publikationen – auch noch folgende Themen angeschaut: (i) Immunsystem, (ii) Sinne (Gehör, Auge), (iii) Kinder und Jugendliche allgemein, (iv) ältere Menschen, (v) Metabolismus, (vi) Zellen allgemein, (vii) adaptive Zellreaktionen.

Keine Effekte zeigten sich in den Arbeiten zum Immunsystem und zu Sinnesorganen. Unklar ist, ob Kinder und Jugendliche anders auf Strahlung reagieren als Erwachsene. Hinsichtlich der Strahlenabsorption gibt es keine wesentlichen physiologischen Differenzen. Ob die Strahlung das Verhalten oder kognitive Fähigkeiten von Kindern beeinflusst, ist unklar. Hier wären weitere Untersuchungen hilfreich, um die schmale Evidenzlage zu verbessern. Ähnliches gilt hinsichtlich älterer Menschen. Aus den wenigen Arbeiten (Tierstudien) zum Metabolismus können keine validen Aussagen gewonnen werden, insbesondere, weil die Ergebnisse widersprüchlich sind. Der Endpunkt «Zellen allgemein» umfasst ein recht heterogenes Studiensample. Die Arbeiten geben keine Hinweise auf Effekte.

Adaptive Response: Neuere Studien zeigen eine veränderte Zellantwort auf Auswirkungen von ionisierender Strahlung oder Chemikalien bei vorgängiger oder nachträglicher Exposition gegenüber schwacher elektromagnetischer Strahlung. Sechs Tierstudien weisen in die Richtung einer verbesserten Anpassungsfähigkeit, zwei Studien zeigen dagegen eine Risikoerhöhung. Bei den Zellstudien ist die Sachlage ebenfalls uneindeutig. Hier wäre weitere Forschung lohnend, um abzuklären, welche Rolle die Dosis bei solchen Ko-Expositionen spielt.



Literatur Anderes

Methodik

In diesem Kapitel beschreiben wir das methodische Vorgehen der Literaturanalyse, deren Ergebnisse im vorstehenden Kapitel detailliert präsentiert wurden. Im ersten Abschnitt wird die berücksichtigte Studienbasis erklärt. Es wird dargelegt, welche Bestände an Arbeiten konsultiert wurden. Im zweiten Abschnitt wird zuerst gezeigt, welche Arbeiten in die Bewertung eingeflossen sind und anschliessend wird das Schema zur Bewertung der gesundheitlichen Relevanz dargestellt.

Um die Broschüre nicht zu überladen, sind die konsultierten wissenschaftlichen Fachpublikationen auch in diesem Methodenkapitel nicht explizit aufgelistet. Mit nebenstehendem QR-Code und Link können die analysierten Publikationen vollständig abgerufen werden.



Supplement Literatur

Den Wald vor lauter Bäumen sehen

Es gibt sehr viele Studien über biologische und gesundheitliche Effekte von Mobilfunkstrahlung. Das auf EMF (elektromagnetische Felder) spezialisierte Literaturportal der Uniklinik RWTH Aachen listet gegen 2000 Artikel auf (Stand Mai 2019). Davon ist die grosse Mehrheit experimenteller Natur.

Experimentelle Studien finden in Laborumgebungen statt. Untersucht werden Zellkulturen im Reagenzglas oder es werden Tierexperimente bzw. Humanstudien durchgeführt. Das Portal listet 1290 solcher Arbeiten auf. Sowohl bei Tier- als auch bei Humanstudien prüfen Ethikkommissionen vorgängig, ob ein Experiment zulässig ist oder nicht. Von den knapp 1300 Artikeln zu experimentellen Forschungen befasst sich ein knappes Viertel (23 %) mit dem Gehirn, ein weiteres knappes Viertel (23 %) mit der DNA, 15 % der Veröffentlichungen widmen sich Zellen und Zellfunktionen, ein knappes Drittel (30 %) handelt von verschiedenen weiteren Gesundheitseffekten und 8 % der Artikel fokussieren auf noch andere Aspekte, u. a. Tiere und Pflanzen.

298 Studien sind epidemiologischer Natur. Die Epidemiologie untersucht die Verteilung von Krankheiten in der Bevölkerung. Dabei interessieren Fragestellungen wie etwa, ob bestimmte Personengruppen ein grösseres Krankheitsrisiko aufweisen als der Durchschnitt der Bevölkerung, oder ob ein interessierender Stoff/Einwirkung (z. B. Mobilfunkstrahlung) ein bestimmtes Erkrankungsrisiko erhöht oder nicht. Die Statistik ist ein zentrales Instrument, um entsprechende Antworten zu finden. Von den ca. 300 epidemiologischen Arbeiten untersuchte ein Drittel (115 Studien) die Frage, ob die Strahlung – insbesondere von Mobiltelefonen – das Hirntumorrisiko erhöht, 59 Studien untersuchten andere Krebsrisiken. Etwa ein Viertel der Publikationen handelte von Elektrosensibilität, die restlichen 84 Artikel widmeten sich verschiedenen anderen Effekten.

Die Auflistung zeigt, dass nicht nur sehr viel Forschung gemacht wurde, sondern dass diese auch ein enorm breites inhaltliches und methodisches Spektrum umfasst. Dabei gilt es zu bedenken, dass in experimentellen Arbeiten auch unterschiedliche Zelllinien und Tierarten verwendet werden sowie unterschiedliche Expositionen hinsichtlich Frequenz, Strahlungsintensität (Feldstärke), Signalform (Mobiltelefon, Basisstation, Technologiegeneration – 2G, 3G, 4G), Bestrahlungsdauer, und Bestrahlungsrhythmus (anhaltend, intermittierend).

Die am häufigsten diskutierte Frage ist die, ob biologische Effekte unterhalb der Grenzwerte auftreten, eine andere, ob – falls es solche sog. nichtthermische Effekte gibt – diese von bestimmten Eigenschaften der Strahlung abhängen, z. B. nur bei bestimmten Frequenzen, Intensitäten, Modulationseigenschaften oder Bestrahlungsdauern auftreten. Simko und Kollegen sowie Mattsson und Kollegen haben dafür gegen 1000 publizierte Experimente im Hochfrequenzbereich bis hin zu Millimeterwellen bzw. Terahertzstrahlung analysiert. Es zeigte sich keine Abhängigkeit von Effekten hinsichtlich Frequenz, Intensität und Bestrahlungsdauer. Biologische Wirkungen konnten bislang nur für thermische Effekte, die vergleichsweise grosse Feldstärken im Bereich der Grenzwerte und darüber erfordern, nachgewiesen werden. Trotzdem ist das Thema wissenschaftlich noch nicht endgültig geklärt (siehe etwa Belpomme et al., 2018).

Link

www.emf-portal.org

Experimente Studien

Epidemiologische Studien

Literaturhinweise

Simko M., Remondini D., Zeni O., Scarfi M.R. (2016): Quality matters: systematic analysis of endpoints related to «cellular life» in vitro data of radiofrequency electromagnetic field exposure. *Int J Environ Res Public Health* 13(7), E701.

Mattsson M.O., Zeni O, Simko M. (2018): Is there a biological basis for therapeutic applications of millimetre waves and Thz waves? *J Infrared Milli Terahz Waves*, 39(9): 863–878.

Belpomme D. et al. (2018): Thermal and non-thermal health effects of low intensity non-ionizing radiation: An international perspective. *Environmental Pollution*, 242: 643–658.

Vor einem solch komplexen Hintergrund ist klar, dass es alles andere als einfach ist, die Evidenzlage zu überblicken. Schnell sieht man vor lauter Bäumen den Wald nicht mehr. Wir haben Sie, geneigte Leserin, geneigter Leser, im vorstehenden Kapitel durch diesen Wald begleitet. Um im Bild zu bleiben: Wir zeigten einige wichtige Winkel (Forschungsthemen), haben Ihnen etwas zum Gesundheitszustand der Bäume (Qualität der Studien) gesagt, und darauf hingewiesen, wo das Gehölz besonders dicht ist (Anzahl Publikationen) und wo nicht.

Wir hatten dazu 14 Waldregionen (biologische und gesundheitliche Themen bzw. Effekte, sog. Endpunkte) ausgewählt: Krebs, Neurodegeneration, Fertilität, Entwicklung, Herz-Kreislauf-System (inkl. Blut), Hirnströme, Kognition, Schlaf, unspezifische Symptome (inkl. Elektrosensibilität), Hormone/Drüsen, Blut-Hirn-Schranke, Verhalten, Wirkmechanismen, Anderes.

Für jeden Endpunkt haben wir die Artikel nach Studientyp (Zellexperimente, Tierstudien, Humanstudien) unterschieden. Die Humanstudien haben wir differenziert in Arbeiten zur Physiologie und zur Gesundheit, wobei bei letzteren akute und chronische Wirkungen auseinandergehalten wurden.

Zur Ermittlung der Wissenslage wurden Publikationen, mehrheitlich ab dem Jahr 2010 bis Ende 2017, aus Forschungsprogrammen in Deutschland, Holland, Frankreich, der Schweiz sowie der Europäischen Union analysiert (Figur 19). Dabei handelte es sich meist um von öffentlichen Geldern bezahlte Forschung, teilweise finanzierte auch die Industrie mit. Für die Analyse wurden die von den Programmdirektionen herausgegebenen Syntheseberichte mit den Studienschlussresultaten berücksichtigt. Für Projekte, die nicht in diesen Berichten dokumentiert waren, wurden die öffentlich zugänglichen Projektreports, Publikationen in Fachzeitschriften oder Zusammenfassungen auf den entsprechenden Programmwebsites konsultiert.

Des Weiteren wurden ca. 350 wissenschaftliche Publikationen, mehrheitlich ab 2010 bis Anfang 2019, aus anderen Regionen der Welt (plus ausgewählte wichtige neuere Artikel aus Europa) mit einbezogen. Die Auswahl dieser Artikel basierte zur Mehrheit auf drei Datenbeständen: einerseits auf dem umfassenden Synthesebericht von 2015 des wissenschaftlichen Expertengremiums der EU (SCENIHR), zum zweiten auf den regelmässig publizierten Literaturupdates der Schwedischen Strahlenschutzbehörde (sog. SSM-Berichte; letzte berücksichtigte Ausgabe 2019) sowie drittens auf den mehrmals jährlich erscheinenden Literaturzusammenfassungen der Expertengruppe BERENIS des Schweizerischen Bundesamtes für Umwelt (BAFU). Es wurden die Newsletter bis Anfang 2019 berücksichtigt. BERENIS hat insgesamt seit 2014 um 1800 Publikationen gesichtet und die wissenschaftlich wichtigsten in diesen Newslettern kommentiert.

Deutschland	Projekte: 69 Dokumente: 30
Holland	Projekte: 12 Dokumente: 37
Frankreich	Projekte: 39 Dokumente: 33
Schweiz	Projekte: 30 Dokumente: 17
EU	Projekte: 6 Dokumente: 54
«Rest of the World»	> 350 Fachpublikationen

Der Kenntnisstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von Mobilfunkstrahlung wird auch festgehalten in Übersichtsarbeiten (sog. Reviews) und in Metaanalysen (mit statistischen Mitteln werden die Daten bereits publizierter Studien zusammenfassend analysiert, um übergreifende Aussagen machen zu können). Erstere werden häufig von internationalen Expertengruppen oder Fachbehörden von Regierungen verfasst und in Rapporten der jeweiligen Institution publiziert, letztere häufig von Autorenkollektiven oder einzelnen Wissenschaftlern und in Fachzeitschriften veröffentlicht. Für diese Broschüre haben wir sowohl Metaanalysen als auch Berichte der folgenden fünf Expertengruppierungen eingeschlossen:

Endpunkte

Studientypen

Forschungsprogramme

Fachartikel

Link

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/elektrosmog/newsletter.html>

Figur 19

Datenbasis der Literaturanalyse

Reviewstudien

Literaturhinweise

- SCENIHR (2015): Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, Brussels.
- SSM (2017, 2018, 2019): Recent research on EMF and health risk – eleventh, twelfth, thirteenth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields. Swedish Radiation Safety Authority, Stockholm.
- ANSES (2018): Hypersensibilité électromagnétique ou intolérance environnementale idiopathique attribuée aux champs électromagnétiques. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective. ANSES, Maisons-Alfort.
- ANSES (2016): Exposition aux radiofréquences et santé des enfants. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective. ANSES, Maisons-Alfort.
- ANSES (2013): Update of the «Radiofrequency electromagnetic fields and health» expert appraisal. ANSES, Maisons-Alfort.
- ICNIRP (2018): Draft – ICNIRP Guidelines: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz): Appendix B: Health Risk Assessment Literature. ICNIRP.
- WHO (2014): Radiofrequency fields; Public consultation document. WHO, Geneva.
- Sienkiewicz Z., Schüz J., Poulsen A.H., Cardis E. (2012): Risk analysis of human exposure to electromagnetic fields. (revised). EFHRAN, European Commission.

Link

https://de.wikipedia.org/wiki/Elektronische_Zeitschriftenbibliothek

Literaturhinweis

- Beall J. (2018): Scientific soundness and the problem of predatory journals, in: Allison B. Kaufman, James C. Kaufman (Hrsg): Pseudoscience: The conspiracy against science, MIT Press, Cambridge/Massachusetts 2018: 283–300.

- ▶ Der Bericht des wissenschaftlichen Ausschusses der Europäischen Kommission (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, SCENIHR; das Komitee wurde kürzlich umbenannt in SCHEER – Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks). Die Literatur wurde systematisch erfasst. Wir beziehen uns hier nur auf den Teil über Hochfrequenzstrahlung.
- ▶ Die schwedische Strahlenschutzbehörde (Swedish Radiation Safety Authority – SSM) hat eine internationale Expertengruppe einberufen, die regelmässig den Stand des Wissens über potenzielle Gesundheitseffekte von EMF zusammenstellt. Die Literatur wird dabei systematisch analysiert. Wir nutzten die Berichte von 2017, 2018 und 2019. Im Bericht 2017 findet sich eine Darstellung des Wissensstandes seit 2003.
- ▶ Die EMF-Forschung wird in Frankreich seit 2011 von der Behörde ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) koordiniert. Für diese Broschüre haben wir drei Reviewarbeiten der Agentur berücksichtigt: Erstens ein Bericht zur Elektrosensibilität. Ein zweiter Bericht zur Frage der Wirkungen von Hochfrequenzstrahlung auf Kinder. Der dritte konsultierte Bericht datiert aus dem Jahr 2013 und fasst den Wissensstand zu Hochfrequenzstrahlung und Gesundheit zusammen.
- ▶ Im Entwurf der neuen Grenzwertempfehlungen der ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) wird im Anhang B der Stand der Forschung dargestellt. Die Literaturzusammenstellung stützt sich wesentlich auf Arbeiten der Weltgesundheitsorganisation (Entwurf «Environmental Health Criteria» von 2014) sowie auf die Literaturliste der oben erwähnten EU-Expertengruppe SCENIHR.
- ▶ Die Beurteilung des wissenschaftlichen Netzwerks EFHRAN (European Health Risk Assessment Network on Electromagnetic Fields Exposure). Dieses hat primär die Befunde aus Humanstudien bewertet. EFHRAN wurde von der EU im Rahmen des 6. Forschungsprogramms finanziert. Der Schlussbericht wurde 2012 vorgelegt, ist also bereits älteren Datums.

Zur Klarstellung sei an dieser Stelle nochmals betont, dass wir keine systematische Literaturanalyse aller veröffentlichten Publikationen durchgeführt haben. Wir sind aber überzeugt, dass die Auswahl die wichtigsten jüngeren Veröffentlichungen beinhaltet und umfassend genug ist, um den aktuellen Wissensstand ausgewogen darzustellen. Durch den Einschluss der oben erwähnten Review-Berichte wird das Gesamtbild zusätzlich abgesichert.

Studienqualität und Evidenz

Die Tatsache, dass eine Arbeit in einem Fachjournal veröffentlicht ist, heisst heute nicht automatisch, dass sie von hoher wissenschaftlicher Qualität ist. Ein wichtiger Grund dafür: in den letzten 10 bis 15 Jahren ist die Anzahl wissenschaftlicher Zeitschriften enorm angewachsen. Während im Jahr 2000 in der elektronischen Zeitschriftenbibliothek EZB (sie ist die Referenzbibliothek im deutschen Sprachraum) um 8000 Titel gelistet waren, betrug die Anzahl 2012 über 30 000 und 2019 bereits 117 000. Im Jahr 2000 betrug der Anteil der Zeitschriften, die gratis online genutzt werden konnten (sog. open-access Journals) etwa ein Viertel, 2012 waren es 55 % und 2019 bereits 64 %.

Das Geschäftsmodell von Open-access-Verlagen ist simpel: Autoren können Artikel gegen Entgelt publizieren. Bei den traditionellen kostenpflichtigen Zeitschriften bezahlen dagegen die Abonnenten. Viele Journals verstehen sich als rein kommerzielle Organe. Die fachliche Prüfung der Inhalte (sog. Peer-Review) findet häufig nur oberflächlich oder überhaupt nicht statt, weshalb man, nach einem Vorschlag von Jeffrey Beall, auch von Raubverlagen spricht, die bloss tun, also würden sie vollwertige wissenschaftliche Zeitschriften herausgeben. Aufgrund der grossen Zahl von Titeln (2019 erfasste die EZB 64 000 open access journals) und der teilweise intransparenten Entscheidungsprozesse ist es häufig schwierig, solche «räuberischen» Zeitschriften zu erkennen. Unstrittig ist, dass deren Zahl stark zugenommen hat und die Forschung in ihrem Kern, dem Publizieren, vor ernsthafte Probleme stellt.

Wenn wissenschaftliche Verlage nicht mehr automatisch Qualitätsgaranten sind, muss man damit leben, dass Publikationen in Fachjournalen auch von schlechter Qualität sein können. Das gilt sogar, wenn sie von Fachkollegen begutachtet wurden, denn inzwischen ist die Peer-Review zuweilen bloss eine Alibiübung. Ohne genaue Kenntnisse der Begutachtungspraxis (gibt es überhaupt eine? Wie wird sie gehandhabt? Können Verleger über die Köpfe der Begutachter hinweg entscheiden?) und/oder ohne genaue inhaltliche Prüfung eines Artikels kann die Qualität einer Publikation in einer wenig bekannten Fachzeitschrift kaum abgeschätzt werden.

Für unsere Literaturanalyse haben wir die Qualität der Publikationen berücksichtigt. Qualitativ ungenügende Arbeiten wurden nicht für die Bewertung verwendet. Für die Qualitätsselektion sind wir folgendermassen vorgegangen: Die im Rahmen der nationalen und EU-Programme durchgeführten Arbeiten haben wir alle berücksichtigt. Diese Projekte wurden erst nach einer (teilweise sehr) kompetitiven Qualitätsprüfung bewilligt. Der wissenschaftliche Standard der Forschung ist generell hoch, obwohl nicht ausgeschlossen werden kann, dass vereinzelt auch weniger überzeugende Studien abgeliefert worden sind. Bei den ca. 350 Fachartikeln aus anderen Regionen der Welt haben wir diejenigen Studien aus der Beurteilung ausgeklammert, die eines der folgenden basalen Qualitätskriterien nicht erfüllten: (i) Angaben zum Protokoll (genaues methodisches Vorgehen), (ii) Charakterisierung der Exposition bzw. Dosis nach minimalem Stand der wissenschaftlichen Praxis, (iii) Kontrollbedingung bei Experimenten bzw. Kontrollen bei Humanstudien (der Vergleich mit nichtexponierten Proben, Tieren oder Menschen ist nötig, um einen allfälligen Expositionseffekt festzustellen), (iv) Verblindung der Versuche bei Humanstudien (wenn man um die Expositionssituation weiss, kann die Objektivität von Versuchen und Resultaten nicht gewährleistet werden).

Insgesamt sind 34% der Artikel aufgrund mangelhafter Qualität aus der Bewertung ausgeklammert worden. Dieser Prozentsatz ist vergleichsweise tief. Das liegt daran, dass wir einerseits zum Vornherein nur wissenschaftlich begutachtete Projekte berücksichtigt haben und andererseits einen Grossteil der Artikel über Literaturlisten (SSM, SCENIHR, BERENIS) zusammenstellten, für welche bereits eine Qualitätsselektion vorgenommen wurde. So blieb der Anteil ungenügender oder schwacher Berichte unterdurchschnittlich. Einen Hinweis über die «reale» Grössenordnung des Anteils qualitativ mangelhafter Publikationen geben zwei kürzlich veröffentlichte Arbeiten:

Die Biologin Myrtill Simko hat zusammen mit KollegInnen eine Analyse von gegen 500 Zell-experimenten zu Mobilfunkstrahlung hinsichtlich Qualität vorgenommen. Dabei hat sie fünf Faktoren, u. a. auch die oben erwähnten, berücksichtigt. Der Befund: Nur 20% der Arbeiten erfüllten alle Qualitätskriterien – und je schlechter die Studienqualität, desto eher wurden Effekte gefunden (von den 109 qualitativ besten Experimenten zeigten nur zwei einen Effekt). Das qualitativ gleiche Resultat ergab die Studie von Vijayalaxmi und Prihoda, die sich auf Zellexperimente zu Genschäden unter EMF-Exposition bezieht.

Nicht immer kann ein Studienergebnis oder die Sachlage in einem ganzen Studienggebiet abschliessend beurteilt werden. Bei komplexen Fragestellungen braucht die Wissenschaft Zeit für seriöse Untersuchungen und die Bestätigung von Erstbefunden oder widersprüchlichen Resultaten. Bis eine robuste Bewertung vorliegt, bleiben Schwarz-Weiss-Aussagen heikel. Deshalb verwenden wir im Folgenden vier Evidenzkategorien, um den Kenntnisstand zu typisieren. Die Kategorien wurden von der IARC (Internationale Krebsforschungsagentur) definiert und auch vom Experten-netzwerk EFHRAN benutzt.

Effekt nachgewiesen	Die vorliegende(n) Arbeit(en) ist (sind) von guter Qualität und weist (weisen) auf einen Effekt hin.
Effekt limitiert nachgewiesen	Die vorliegende(n) Arbeit(en) weist (weisen) auf einen Effekt hin. Die Aussagekraft ist aber nicht über jeden Zweifel erhaben. Eine ursächliche Beziehung kann nicht nachgewiesen werden.
Effekt inadäquat nachgewiesen	Die Studie(n) ist (sind) zu wenig aussagekräftig und/oder widersprüchlich für eine seriöse bzw. aussagekräftige Beurteilung, oder: Der Endpunkt wurde kaum untersucht.
Kein Effekt nachgewiesen	Die vorliegende(n) Studie(n) ist (sind) von guter Qualität und weist (weisen) auf keinen Effekt hin.

Qualität der Peer Review

Beurteilung der Studienqualität

Literaturhinweise

Simko M., Remondini D., Zeni O., Scarfi M.R. (2016): Quality matters: systematic analysis of endpoints related to «cellular life» in vitro data of radiofrequency electromagnetic field exposure. *Int J Environ Res Public Health* 13(7), E701.

Vijayalaxmi, Prihoda T.J. (2019): Comprehensive review of quality of publications and meta-analysis of genetic damage in mammalian cells exposed to non-ionizing radiofrequency fields. *Radiation Research*, 191(1): 20–30.

IARC (2019): Preamble. IARC monographs on the identification of carcinogenic hazards to humans. IARC, WHO, Lyon.

Figur 20

Evidenzkategorien zur Bewertung der Literaturdaten

Gesamtevidenz

Um die so kategorisierten Evidenzen der einzelnen Forschungsbereiche – der Zell-, der Tier- und der Humanforschung – zu einer ausbalancierten Risikobeurteilung im Hinblick auf die menschliche Gesundheit zu bündeln, müssen die Teilerkenntnisse gewichtet werden. Für diese Gewichtung folgen wir ebenfalls dem Vorschlag der IARC:

Priorität Humanstudien

Die gewichtigsten Hinweise stammen aus epidemiologischen Studien, welche Menschen mit den im Alltag anzutreffenden Expositionen untersuchen. An zweiter Stelle kommen Humanstudien im Labor, häufig mit Expositionen deutlich über den Alltagsniveau. Tierstudien sind weniger relevant, denn Tiermodelle können nicht unbesehen auf den Menschen übertragen werden. Das gilt ganz besonders im Falle von nichtionisierender Strahlung, weil Mäuse und Ratten – die am meisten verwendeten Arten – vollkommen andere Eigenschaften der Strahlungsaufnahme zeigen als Menschen. Mit Tierstudien können aber Fragestellungen untersucht werden, die in Humanexperimenten aus ethischen oder praktischen Gründen nicht möglich sind, etwa sehr starke Expositionen, Studien mit Ungeborenen oder Kleinkindern, kontrollierte Langzeitbefeldungen oder die Analyse von Gewebeproben aus Organen nach Expositionen. Die Übertragbarkeit vom Tiermodell auf den Menschen bleibt dabei aber wie erwähnt schwierig.

Dasselbe gilt in noch grösserem Masse für Zellexperimente im Reagenzglas. Diese sind nur sehr eingeschränkt brauchbar, um einen gesundheitsrelevanten Effektnachweis zu erbringen, Sie sind aber wertvoll, um mögliche Wirkungsmechanismen zu identifizieren. Erst die Kenntnis von Wirkmechanismen erlaubt die gezielte Erforschung von Gesundheitsrisiken.

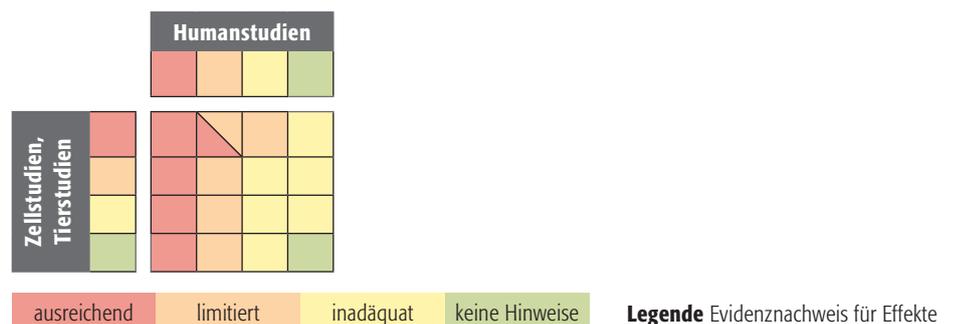
Evidenznachweis für Gesundheitseffekte

In Figur 21 haben wir die Bewertungsmatrix dargestellt. Die Evidenzen aus Humanstudien und In-vivo/In-vitro-Experimenten werden zusammengeführt, wobei die Humanstudien, wie die Figur zeigt, mit Abstand am gewichtigsten sind. Tierstudien werden als bedeutsamer angesehen als Zellexperimente. Die finale Einschätzung im Feld mit gemischten Evidenzkategorien hängt von der Qualität der Daten und den biologischen Plausibilitäten für eine mögliche Übertragbarkeit von Zell- und Tierbefunden auf den Menschen ab.

Die Berücksichtigung der Exposition in der Risikobewertung ist v. a. für Humanstudien wichtig, denn das Gesundheitsrisiko eines Stoffs wird nicht nur durch sein Potenzial, eine Krankheit bewirken zu können, bestimmt, sondern vor allem durch die Dosis, der Menschen im Alltag oder am Arbeitsplatz ausgesetzt sind oder sein können.

Die in den einzelnen Tabellen im Kapitel «Wissenschaftliche Evidenzen im Detail» zu findenden Gesamtbewertungen des Gesundheitsrisikos (jeweils zweitletzte Zeile der Tabellen) basiert auf der in Figur 21 dargestellten Bewertungsmatrix.

Figur 21
Balance-of-Evidence aus
unterschiedlichen Forschungssträngen



Gesellschaft und Risiko

In diesem letzten Kapitel erörtern wir, warum Risiken unterschiedlich wahrgenommen und beurteilt werden. Das ist insofern wertvoll zu verstehen, weil Befürworter und Opponenten einer Technologie grundsätzlich die gleichen Informationen zur Verfügung haben, seien das Medienberichte, Materialien im Internet oder wissenschaftliche Studien und Daten, sie aber trotzdem zu unterschiedlichen Einschätzungen kommen. Im ersten Abschnitt listen wir drei Gründe auf, weshalb Risiken oft nicht objektiv wahrgenommen werden: Zum ersten können Menschen nur schlecht mit Wahrscheinlichkeiten, wie sie von Experten berechnet und kommuniziert werden, umgehen. Zum zweiten unterschätzen wir fast systematisch den Zufall und interpretieren ihn gerne als Folge von (uns genehmen) Ereignissen. Drittens sind Menschen geschichtenerzählende Wesen. Eine gute Geschichte hat für uns meist eine grössere Überzeugungskraft als eine blutleere Statistik. Vor diesem vielschichtigen Hintergrund wird im zweiten Abschnitt auf die Schnittstelle Wissenschaft/Politik fokussiert. Es wird dargestellt, wie wissenschaftliche Daten ausserhalb der Forschung beurteilt und verwendet werden, und was der Unterschied zu Experteneinschätzungen ist.

Wer sich mehr für diese Themen interessiert, kann eine ausführlichere Darstellung mit dem nebenstehenden QR-Code und Link abrufen.



Supplement Risiko- und Risikoforschung

Zahlen und Geschichten

Wenn man über Risiken spricht, fällt schnell das Wort Wahrscheinlichkeit. Risiko und Wahrscheinlichkeit sind in unserer Kultur eng miteinander verknüpft. Das hat damit zu tun, dass wir unter Risiko meist etwas verstehen, das sich mathematisch mit Daten, Formeln und Computern berechnen lässt. Einem Risiko sind Zahlen zugeordnet, genauer zwei Zahlen: die Eintretenswahrscheinlichkeit und das Schadensausmass. Entsprechende Risikoanalysen sind das Handwerk von Experten. Im Alltag dagegen entscheidet man eher aus dem Bauch heraus, intuitiv. Laien nutzen nicht Statistiken und Computer, sondern Erfahrungen und Faustregeln, um risikobehaftete Entscheidungen zu fällen.

Damit ist nicht gesagt, dass Bürgerinnen und Bürger Risiken und Zahlen nicht verstehen könnten. Es geht hier spezifisch um Wahrscheinlichkeitsangaben. Unser Gehirn kann einfach nicht gut damit umgehen. Evolutionär gesehen sind wir für den Umgang mit absoluten Zahlen und mit Häufigkeiten geschaffen. Alles andere müssen wir mühsam lernen. Der Psychologe und Risikoforscher Gerd Gigerenzer hat in einem unterhaltsamen und lehrreichen Buch unzählige Beispiele zusammengetragen, die belegen, wie schwer wir uns mit Wahrscheinlichkeiten tun. Er zeigt auch, dass selbst ausgebildete Fachleute wie Ärzte grosse Schwierigkeiten haben, Wahrscheinlichkeitsaussagen – etwa im Zusammenhang mit Medikamententests – korrekt zu verstehen.

Es ist einfacher und auch transparenter, wenn man statt Wahrscheinlichkeiten absolute Zahlen nennt. Die Aussage, dass sich das Leukämierisiko von Kindern bei langzeitiger Magnetfeldexposition möglicherweise verdoppelt, ist wenig informativ, wenn man nicht weiss, wie viele Kinder das betrifft. Man interpretiert die Wahrscheinlichkeitsaussage primär emotional: Eine Verdoppelung ist beängstigend. Wenn man weiss, welche Häufigkeiten hinter der Aussage stehen, kann das Risiko objektiver beurteilt werden. Berechnet man auf Basis (i) der natürlichen Erkrankungsrate, (ii) der Anzahl Kinder mit erhöhter Exposition und (iii) dem relevanten Risikofaktor die absolute Zahl, so kommt man für die Schweiz auf ein bis zwei zusätzliche Erkrankungen pro Jahr, falls Magnetfelder das Leukämierisiko bei Kindern tatsächlich (ursächlich) erhöhen.

Risiken gibt es nur im Zusammenspiel mit dem Zufall. Ohne Zufall ist das Reden von Risiken bedeutungslos. Der Zufall macht aus einer vorhersehbaren eine unsichere Situation. Die Rolle des Zufalls wird im Alltagsdenken stark unterschätzt. Aus naturwissenschaftlicher Sicht dagegen geschehen die meisten Dinge nicht, weil jemand das so wollte, sondern durch ein Zusammenwirken von Umständen und Zufällen.

Wahrscheinlichkeit

Literaturhinweis

Gigerenzer G. (2013): Risiko. Wie man die richtigen Entscheidungen trifft. C. Bertelsmann Verlag, München.

Absolute Zahlen

Zufall

Ein wichtiger Punkt hier: Produkte eines Zufallsprozesses erscheinen nicht immer zufällig. Der Zufall kann sehr auffällige Resultate zeitigen. So hat beispielsweise der von Apple eingesetzte Zufallsgenerator zur Musikauswahl immer wieder mal ein Musikstück zwei oder dreimal nacheinander ausgewählt. Apple musste den Generator manipulieren, damit die Reihenfolge subjektiv tatsächlich als «zufällig» wahrgenommen wurde.

Krebscluster

Ein anderes Beispiel sind die sog. Krebscluster. Krebsfälle sind nie schön gleichmässig verteilt, weder räumlich noch zeitlich. Es gibt Jahre, manchmal auch mehrere Jahre nacheinander, in denen die Erkrankungsrate über oder unter dem langjährigen Durchschnitt liegt. Auch sind die Neuerkrankungen geografisch nie homogen gestreut, sondern es gibt immer Regionen oder Lokalitäten, in denen man auffällig mehr oder auffällig weniger Fälle beobachtet als im Durchschnitt. Der Zufall generiert keine regelmässigen Muster, ausser per Zufall. Diese simple Tatsache führt manchmal zu emotional verständlichen, aber sachlich unbegründeten Forderungen nach wissenschaftlicher Abklärung von lokalen Häufungen von Krebsfällen, auch im Zusammenhang mit Standorten von Mobilfunk- oder anderen Sendeanlagen.

Glaubwürdigkeit

Wenn es um Risiken geht, geht es immer auch um Glaubwürdigkeit. Experten und Laien schöpfen diese aus verschiedenen Quellen: Fachspezialisten vertrauen auf Daten und Berechnungen. Sie quantifizieren Gefahrenlagen, bedienen sich der Statistik. In Politik und Alltag dagegen wird die Glaubwürdigkeit von Risikoaussagen nicht primär an Daten festgemacht, sondern an Geschichten.

Bilder und Geschichten

In der sozialwissenschaftlichen und psychologischen Forschung sind seit den 80er-Jahren diese Dimensionen der Risikowahrnehmung intensiv untersucht worden. Eine wichtige Rolle spielen sie für unsere Erinnerung. Daten vergessen wir schnell, Bilder und Geschichten nicht. Die Fachliteratur nennt das «Verfügbarkeits-» oder «Erinnerungsbias». Gemeint ist, dass ein seltenes, aber aufsehen-erregendes Ereignis stark in Erinnerung bleibt und uns glauben lässt, dass es sich dabei um etwas Häufiges handelt. Deshalb überschätzen wir fast durchwegs das Risiko eines Terroranschlags und unterschätzen dasjenige eines einfachen Wohnungsbrandes (anders bei Brandkatastrophen wie etwa beim Grenfell Tower in London). Ähnliches gilt für Risiken mit einer grossen medialen Präsenz und für Risiken, die uns wenig vertraut sind. Vertraute Risiken wie Autounfälle unterschätzen wir meist, unbekannte und neuartige Risiken wie die Mobilfunkstrahlung überschätzen wir meist.

Literaturhinweis

Renn O. (2008): Risk governance. Coping with uncertainty in a complex world. Earthscan, London.

In Risikofragen sollten wir uns deshalb nicht primär auf Geschichten und Gefühle verlassen, sondern die nach bestem Wissen und Gewissen erhobenen Daten aus wissenschaftlichen Studien und Risikoanalysen berücksichtigen. So können wir am ehesten die Fallstricke intuitiven Urteilens vermeiden und Fehleinschätzungen verhindern.

Erkenntnis und Interesse

Wir haben gezeigt, wie Risikoeinschätzungen im Alltag funktionieren: Man weiss ein paar Dinge, vieles jedoch nicht, hat ein Bauchgefühl, hört eine Geschichte und/oder registriert, was andere meinen. Besonders wichtig sind dabei die Medien, insbesondere auch die sozialen Medien. Sie können Befürchtungen multiplizieren und zu gesellschaftlicher Bedeutung aufblähen. Ob und wie schnell ein «Risikosignal» aufgegriffen und verstärkt wird, ist dabei eine Frage der politischen Kultur. Und diese ist heute eine, folgt man dem Soziologen Ulrich Beck, die für Risiken stark sensibilisiert ist. Mit Risiken kann man oft leichter politische Aufmerksamkeit herstellen als mit anderen, möglicherweise drängenderen gesellschaftlichen Themen.

Literaturhinweis

Beck U. (1986): Die Risikogesellschaft. Suhrkamp Verlag, Frankfurt.

Risikogesellschaft

In der Risikogesellschaft wird die Forschung oft als Teil eines industriell-wissenschaftlichen Komplexes gesehen, der für die Gefährdungen mitverantwortlich ist. Entsprechend aufmerksam und kritisch wird die Wissenschaft beobachtet, werden finanzielle Abhängigkeiten durchleuchtet, Studienresultate kommentiert. Wissenschaft und Politik sind in der Risikogesellschaft keine isolierten Bereiche: Wissenschaftler äussern sich zunehmend auch politisch, u. a. um leichter an neue Forschungsmittel zu gelangen, und Politiker instrumentalisieren Studienbefunde, um genehme Positionen besser zu legitimieren.

Darum ist es in der Risikogesellschaft oft schwierig, eine Sachlage neutral und objektiv einzuschätzen. Ein anderer Grund ist, dass die wissenschaftliche Aussagekraft einer Studie nicht immer glasklar und unumstritten ist. Das gilt erst recht, wenn mehrere Publikationen zusammenfassend beurteilt werden. Studienkollektive können uneinheitliche oder gar widersprüchliche Resultate beinhalten. Der Interpretationsspielraum ist dann gross, die Gesamtevidenz der Daten nicht ohne weiteres sichtbar. Verschiedene Beobachter können verschiedene Schlüsse ziehen.

Wenn es um gesundheitliche Risiken geht, spielt für das Schlussfolgern häufig eine der drei folgenden Präferenzen die entscheidende Rolle (Högg et al., 2017): Man bewertet die Sachlage rein wissenschaftlich, man interpretiert sie im Sinn der Vorsorge oder man urteilt vor dem Hintergrund des Unbedenklichkeitsnachweises. Vorsorge und Unbedenklichkeit sind nichtwissenschaftliche, also gesellschaftliche oder politische Massstäbe.

In Figur 22 sind die zwei Hauptsichtweisen – wissenschaftlich, politisch – dargestellt. Die Figur zeigt auch nochmals die Unterschiede in der Risikowahrnehmung durch Laien und Experten, wie wir sie vorstehend diskutiert haben, etwa dass Laien eher Geschichten als Daten nutzen, oder dass persönliche Erlebnisse und emotionale Eindrücke häufig wichtiger sind als empirische Befunde.

	Wissenschaft	Gesellschaft
Wissensbasis	Empirische Daten Kausale Erklärungen	Anekdoten Erlebnisse
Risiko-Identifikation	Systematische Analyse Reproduzierbarer Nahweis	Selektives Zusammenstellen Plausible Hinweise
Wissenschaft	Gefahrenabwehr	Vorsorge Unbedenklichkeit

Der angesprochene Interpretationsspielraum basiert im Wesentlichen auf zwei Eigenschaften von Studien: einerseits der Qualität (methodische Güte – Objektivität, Reliabilität), andererseits der Klarheit der Ergebnisse (die statistische Aussagekraft des Effektnachweises). Im Folgenden zeigen wir exemplarisch, wie je nach Bewertungspräferenz wissenschaftliche Arbeiten politisch unterschiedlich interpretiert werden können.

Dazu haben wir die zwei erwähnten Eigenschaften in je drei Kategorien aufgeteilt, sodass eine Tafel mit neun Feldern entsteht (Figur 23).

- ▶ Glasklare Hinweise liegen dann vor, wenn die Arbeit von hoher Qualität ist und einen Effekt nachweisen kann (Rot).
- ▶ Wenn eine Studie von mittlerer Güte einen Effekt klar belegt hat, sagen Wissenschaftler oft, dass der Effekt möglich sei (da er statistisch nachgewiesen ist; Hellbraun), obwohl die Studie nicht die höchste Qualität besitzt.
- ▶ Eine qualitativ gute Studie, die den Effektnachweis nicht erbracht hat, wird als Indiz für die Abwesenheit des Effekts angesehen (Grün). Je mehr solche Studien vorliegen, desto überzeugender wird diese Einschätzung. Die Abwesenheit von Etwas kann aber nie bewiesen werden.
- ▶ In allen anderen Fällen ist die Evidenz des Effektnachweises inadäquat (Gelb), denn aus Studien mit unklaren Ergebnissen und/oder aus Arbeiten von mittlerer oder schlechter Qualität lassen sich keine seriösen oder gar finalen Aussagen ableiten.

		Qualität		
		hoch	mittel	tief
Effekt	ja			
	unklar			
	nein			

ausreichend limitiert inadäquat keine Hinweise **Legende** Evidenznachweis für Effekte

Wissenschaft und Politik

Literaturhinweis

Högg R., Dürrenberger G. (2017): Divergierende Risikobewertungen im Bereich Mobilfunk. Aktenzeichen/FKZ BFS AG-F 3 – 03776/FM 8865. BfS, München.

Figur 22

Risikopräferenzen in Wissenschaft und Gesellschaft

Evidenzbasierte Risikobewertung

Figur 23

Evidenzbasierte Risikobewertung durch die Wissenschaften, Erklärung siehe Text

Politische Risikobewertungen

In Politik und Alltag werden häufig keine streng wissenschaftlichen Kriterien des Evidenznachweises verwendet. Zur Beurteilung von Studienbefunden mag man sich etwa vom Vorsorgeprinzip leiten lassen (Figur 24, links). Aus dieser Warte kann eine Arbeit hoher Qualität, die zwar keinen statistisch signifikanten Effektnachweis erbracht hat, aber doch Hinweise liefert (z. B. leicht erhöhte Risikoschätzer), als begrenzte Evidenz für einen Effekt taxiert werden. Auch Studien mittlerer Qualität, die mehr oder weniger deutlich Effekte zeigen, können als begrenzte Evidenz angesehen werden. Bewertet man im Sinne eines Unbedenklichkeitsnachweises («was sich nicht als unschädlich beweisen lässt, ist potenziell möglich bzw. gefährlich»), werden auch unsichere Ergebnisse oder statistisch signifikante Resultate aus Studien mittlerer Qualität als handfeste Hinweise oder gar als wetterfeste Belege für die Anwesenheit eines Effekts gesehen (Figur 24, rechts).

Figur 24
Risikopräferenzen in der Politik
(links Vorsorgesicht,
rechts Unbedenklichkeitssicht),
Erklärungen siehe Text

		Qualität		
		hoch	mittel	tief
Effekt	ja	ausreichend	limitiert	inadäquat
	unklar	limitiert	inadäquat	keine Hinweise
	nein	keine Hinweise	inadäquat	keine Hinweise

		Qualität		
		hoch	mittel	tief
Effekt	ja	ausreichend	limitiert	inadäquat
	unklar	ausreichend	limitiert	inadäquat
	nein	ausreichend	limitiert	inadäquat

ausreichend	limitiert	inadäquat	keine Hinweise	Legende Evidenznachweis für Effekte
-------------	-----------	-----------	----------------	--

In der politischen Risikodebatte wird auch willentlich falsch interpretiert. Methodisch nicht überzeugende Arbeiten, welche keine klaren Ergebnisse zeigen, werden als Belege für ein Risiko oder als Belege für die Abwesenheit eines Effekts ausgegeben. Solche Alarmismen und Beschönigungen helfen nicht, die Diskussion sachlich voranzubringen. Sie verwirren und verunsichern, gehören und gehörten aber schon immer zum politischen und medialen Geschäft. Thomas Jefferson hat das einmal – mit Bezug zur Presse – treffend auf den Punkt gebracht: Meinungen können wahr, wahrscheinlich, möglich oder gelogen sein.

Literaturhinweis

Lipscomb E.A., Bergh A.E. (eds.) (1903–1904):
The Writings of Thomas Jefferson. Band 11, S. 225.
Washington, D.C., Thomas Jefferson memorial
Association of the United States.

Sobald die Wissenschaften in die öffentliche Arena geraten, werden Einsichten zu Ansichten. Befunde werden politisch instrumentalisiert, und zwar entlang dem ganzen von Jefferson umrissenen Spektrum. Und das ist keineswegs eine asymmetrische Angelegenheit, die von politischen Akteuren und Medienschaffenden bestimmt wird. Auch Wissenschaftler greifen zuweilen zu solchen «Stilmitteln», um sich zu profilieren oder die Mittelbeschaffung zu befördern.

Politik mit Sachwissen

Grundsätzlich plädieren wir für eine evidenzbasierte Bewertung der wissenschaftlichen Daten. Auf dieser Basis kann und soll die politische Diskussion stattfinden. Wird schon die wissenschaftliche Evidenz gefiltert, führt das zu einer sachlich zum Vornherein verzerrten Ausgangslage. In dieser Broschüre haben wir deshalb die heute vorliegende Faktenlage zu den Wirkungen von Mobilfunkstrahlung evidenzbasiert dargestellt und wissenschaftlich bewertet. Wir hoffen, dass wir damit die sachorientierte Politik stärken können – und zwar aus der Überzeugung heraus, dass politische Entscheide nur dann nachhaltig sind, wenn sie auch sachlich begründet sind. Mit platter Interessenpolitik und inhaltlicher Ignoranz lassen sich zwar Wählerstimmen gewinnen und die eigene Klientel bei der Stange halten, aber keine tragfähigen demokratischen Lösungen finden.



FSM – Forschungsstiftung
Strom und Mobilkommunikation
FSM – Swiss Research Foundation for
Electricity and Mobile Communication

FSM – Forschungsstiftung Strom und Mobilkommunikation
c/o ETH Zürich
Institut für Elektromagnetische Felder (ETZ K89)
Gloriastr. 35
CH-8092 Zürich

Tel. +41 44 632 59 78
Fax +41 44 632 11 98
info@emf.ethz.ch
www.emf.ethz.ch

ISBN 978-3-033-07653-2

ISBN 978-3-033-07653-2



9 783033 076532 >