Elektrosmog in der Umwelt

Bundesamt für
Umwelt, Wald und
Landschaft
BUWAL

Anlagen zur Stromversorgung, Elektrogeräte sowie eine Vielzahl von Sendeanlagen für verschiedene Funkanwendungen erzeugen nichtionisierende Strahlung (NIS). Je nach Intensität kann dieser Elektrosmog die menschliche Gesundheit beeinträchtigen. Mit der NIS-Verordnung will der Bundesrat die Bevölkerung vor solchen negativen Auswirkungen schützen.
Die vorliegende Broschüre beschreibt die wichtigsten Quellen von Elektrosmog, nimmt eine Einschätzung der Risiken vor, zeigt bestehende Forschungslücken auf und gibt Tipps für die Reduktion der individuellen Belastung.

BUWAL, Juni 2005

Elektrosmog in der Umwelt

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
BUWAL

Vorsorgen im Interesse der Gesundheit

Die vielfältigen Möglichkeiten der modernen Informations- und Kommunikationstechnik haben unseren Alltag in den letzten zehn Jahren grundlegend verändert. Der rasche Aufschwung der Mobiltelefonie oder des Internets sind dafür nur zwei Beispiele.

Ob zuhause, am Arbeitsplatz oder unterwegs, überall nutzen wir immer mehr elektrische Geräte und Funkanwendungen. Kehrseite dieser Entwicklung ist eine zunehmende Belastung der Umwelt durch nichtionisierende Strahlung (NIS). Zum Schutz vor deren negativen gesundheitlichen Folgen hat der Bundesrat im Februar 2000 die Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) in Kraft gesetzt. Für die Strahlung von Versorgungsanlagen – wie etwa Stromleitungen, Mobilfunkantennen oder Rundfunksender – schreibt sie Immissionsgrenzwerte vor, welche die Bevölkerung vor den heute wissenschaftlich anerkannten Gesundheitsschäden schützen. Darüber hinaus enthält sie strenge Vorschriften für Anlagen in der Nähe von Orten, wo sich Menschen lange Zeit aufhalten. Hier wird die Belastung im Sinne der Vorsorge noch strenger begrenzt.

Die relativ komplexe Materie, die uns fehlenden Sinnesorgane zur Wahrnehmung der Strahlung sowie die nach wie vor bestehenden Forschungslücken und Unsicherheiten über die Gesundheitsrisiken öffnen den Raum für Spekulationen und diffuse Ängste. Mit der vorliegenden Publikation will das BUWAL einen Beitrag zur Versachlichung der Diskussion leisten. So werden die bisherigen Erkenntnisse über die Auswirkungen von NIS auf die menschliche Gesundheit möglichst objektiv dargestellt. Zudem haben wir den Versuch unternommen, die im Alltag unsichtbare Strahlung zu visualisieren und besser fassbar zu machen.

Die Broschüre appelliert auch an die Eigenverantwortung, denn Elektrosmog ist häufig hausgemacht. So geht die hauptsächliche NIS-Belastung in vielen Wohnungen nicht von externen Versorgungsanlagen aus, sondern wird durch die eigenen elektrischen Geräte verursacht. Hier stösst der Schutz durch den Staat denn auch an Grenzen. Es liegt deshalb nicht zuletzt an jedem Einzelnen, im ureigenen Interesse einen möglichst vernünftigen Umgang mit den Möglichkeiten der modernen Technik zu pflegen.

Philippe Roch
Direktor BUWAL

Inhalt

Das elektromagnetische Spektrum

In dieser grafischen Übersicht sind die verschiedenen Arten von elektromagnetischer Strahlung nach ihrer jeweiligen Frequenz geordnet. Elektrosmog ist eine Sammelbezeichnung für die technisch erzeugte nichtionisierende Strahlung zwischen 0 Hertz und 300 Gigahertz.
› Seiten 4 – 5

Elektrosmog und Gesundheit

Starke nichtionisierende Strahlung schädigt erwiesenermassen die menschliche Gesundheit. Biologische Wirkungen treten aber auch bei Belastungen weit unterhalb der international empfohlenen Grenzwerte auf. Weil die Wissenschaft vorläufig nicht genau abschätzen kann, wie schädlich diese Effekte sind, ist Vorsorge das beste Rezept.
› Seiten 6 – 13

NIS-Verordnung

Die in der Schweiz seit Februar 2000 gültige Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) setzt Höchstwerte für die kurzfristige Belastung des Menschen durch Versorgungsanlagen fest. Zusätzlich vermindern vorsorgliche Anlagegrenzwerte für eine Vielzahl von Emissionsquellen die Langzeitbelastung in Wohngebieten.
› Seiten 14 – 19

Stromversorgung

Elektrische und magnetische Felder sind unvermeidliche Nebenprodukte der Stromübertragung und Elektrizitätsnutzung. Die stärksten Belastungen treten in unmittelbarer Nähe von Hochspannungsleitungen und Transformatorenstationen auf.

› Seiten 20 – 27

Elektrische Geräte im Haushalt

In den meisten Wohnungen ist Elektrosmog hausgemacht. Hier haben es die Leute in der Hand, ihre Belastung mit einfachen Massnahmen deutlich zu reduzieren. So sollten dauernd betriebene Elektrogeräte – wie etwa Radiowecker – nicht in der Nähe von Orten stehen, wo sich Personen stundenlang aufhalten.

› Seiten 28 – 33

Eisenbahn

Die Magnetfelder entlang von Bahnlinien unterliegen beträchtlichen Schwankungen. Beschleunigende oder bremsende Lokomotiven erhöhen den Stromfluss und verstärken dadurch die Felder. Je mehr Züge auf einer Strecke verkehren, desto grösser sind die Belastungen.

› Seiten 34 – 37

Mobilfunk

Tausende von Basisstationen ermöglichen in der Schweiz eine praktisch flächendeckende Mobilfunkversorgung. Kehrseite ist die landesweite Zunahme der hochfrequenten Strahlung durch die Antennen.

› Seiten 38 – 45

Rundfunk, Richtfunk, Amateurfunk

Leistungsstarke Sendeanlagen zur Verbreitung von Radio- und Fernsehprogrammen stehen vorwiegend an erhöhten Standorten. Hier gibt es im kritischen Nahbereich meist keine Wohnhäuser. Deshalb kann der Anlagegrenzwert in der Regel problemlos eingehalten werden.

› Seiten 46 – 51

Funkanwendungen in Gebäuden

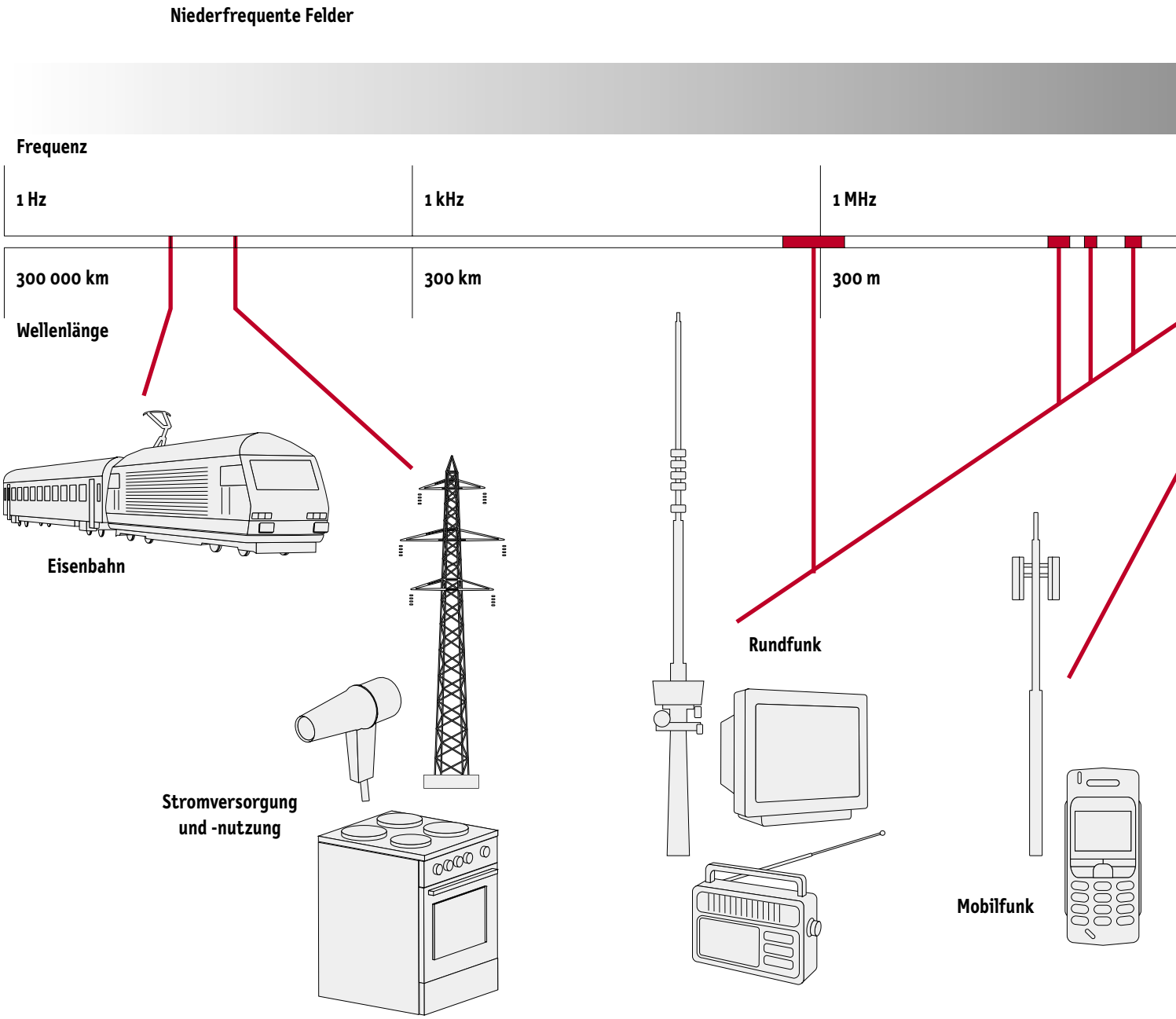
Auch im Wohnbereich kommen immer mehr Funkanwendungen zum Einsatz – so etwa schnurlose Telefone, Kopfhörer ohne Kabel, Babyfone oder WLAN-Stationen für den drahtlosen Internetzugang. Trotz relativ geringen Sendeleistungen können diese Geräte die Belastung durch hochfrequente Strahlung in Innenräumen dominieren.

› Seiten 52 – 55

Stichwortverzeichnis, Glossar, Impressum, Links

› Seite 56

Elektromagnetisches Spektrum



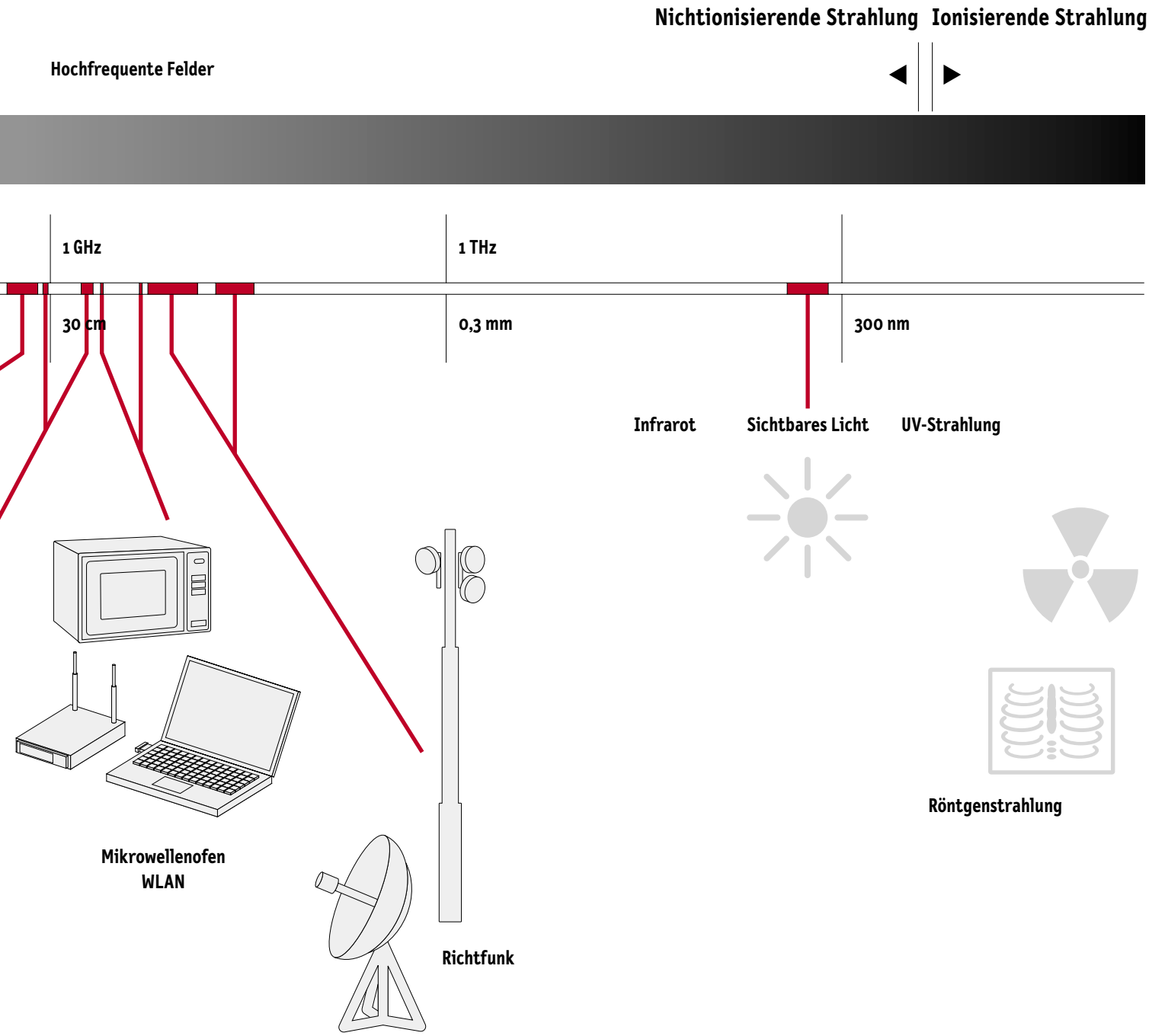
Die Abbildung zeigt das gesamte elektromagnetische Spektrum im Überblick. Elektromagnetische Strahlung tritt in unserer natürlichen und technischen Umwelt in verschiedenen Formen auf. Dazu gehören zum Beispiel die elektrischen und magnetischen Felder von Hochspannungsleitungen, die Strahlung von Mobilfunk- und Radiosendern, das sichtbare Licht oder die Röntgenstrahlen. Physikalisch unterscheiden sich diese Strahlungsarten durch ihre Frequenz, das heisst die Anzahl Schwingungen pro Sekunde. Je nach Frequenz haben sie verschiedene Ausbreitungseigenschaften und unterschiedliche Wirkungen auf den Menschen.

Unterteilung des Frequenzspektrums

Das Frequenzspektrum der elektromagnetischen Strahlung wird grob unterteilt in nichtionisierende und in ionisierende Strahlung. Bei der nichtionisierenden Strahlung unterscheidet man zwischen nieder- und hochfrequenter Strahlung, Infrarotstrahlung, sichtbarem Licht und Ultraviolettstrahlung. Technisch erzeugte Nieder- und Hochfrequenz-Strahlung bezeichnen wir auch als Elektrosmog.

Niederfrequente Felder

Zum niederfrequenten Bereich gehören die elektrischen und magnetischen Felder von Eisenbahn-Fahrleitungen, Hochspannungsleitungen oder von elektrischen Geräten im Haushalt. Da der Bahnstrom eine Frequenz von 16,7 Schwingungen pro Sekunde aufweist, haben auch die von ihm produzierten Felder eine Frequenz von 16,7 Hertz (Hz). Die öffentliche Stromversorgung verwendet demgegenüber eine Frequenz von 50 Hz.



Hochfrequente Strahlung

Ab mehr als rund 30 000 Schwingungen pro Sekunde spricht man von hochfrequenter Strahlung. Hier sind das elektrische und magnetische Feld aneinander gekoppelt und können sich als Welle frei im Raum ausbreiten. Dies wird zur drahtlosen Übermittlung von Informationen genutzt. Konkrete Anwendungsbeispiele sind Sende- und Empfangsanlagen für Radio und Fernsehen, die Mobiltelefonie sowie Richtfunk und Radar. Hier wird mit Frequenzen im Bereich von einigen hundert Kilohertz bei der Radio-Mittelwelle bis zu einigen Milliarden Hertz (Gigahertz) im Fall von Richtfunkanlagen gearbeitet. Noch höhere Frequenzen weisen die Wärmestrahlung (Infrarot) und das sichtbare Licht auf. Sie werden zwar nicht mehr als Elektrosmog bezeichnet, zählen aber ebenfalls zur nichtionisierenden Strahlung.

Ionisierende Strahlung

Im Bereich der Ultraviolettstrahlung erfolgt der Übergang zur ionisierenden Strahlung. Dazu gehören die Röntgen- und Gammastrahlung. Im Gegensatz zur nichtionisierenden Strahlung weist die ionisierende genügend Energie auf, um Bausteine von Lebewesen (Atome, Moleküle) direkt zu verändern.

Die negativen Auswirkungen von starker nichtionisierender Strahlung auf die menschliche Gesundheit sind wissenschaftlich erwiesen und unbestritten. Mit Ausnahme von Arbeitsunfällen sind Personen in unserer Umwelt jedoch nie derart hohen Immissionen ausgesetzt. Biologische Wirkungen treten aber auch bei Intensitäten weit unterhalb der international empfohlenen Gefährdungsgrenzwerte auf. Weil die Wissenschaft nicht abschätzen kann, wie schädlich diese Effekte sind, ist Vorsicht das beste Rezept.

Macht Elektrosmog krank?

Inhalt

Auswirkungen von Niederfrequenz-Strahlung > S 7

Starke Reizwirkungen > S 7

Unterschwellige Wirkungen > S 7

Erhöhtes Leukämierisiko bei Kindern? > S 7

Auswirkungen von Hochfrequenz-Strahlung > S 10

Gefährliche thermische Wirkungen > S 10

Eine Vielzahl von nichtthermischen Effekten > S 10

Das Phänomen der Elektrosensibilität > S 11

Elektrosensitivität > S 11

Elektrosensibilität > S 11

Bewertung der Auswirkungen von Hochfrequenz-Strahlung > S 12

Erläuterungen zur Tabelle > S 13

Auswirkungen von Niederfrequenz-Strahlung

Im Gegensatz zu gewissen Tieren wie Fischen oder Zugvögeln besitzt der Mensch kein Sinnesorgan für elektrische oder magnetische Felder. Er kann sie höchstens indirekt wahrnehmen. Manche Menschen verspüren zum Beispiel direkt unter einer grossen Hochspannungsleitung ein Kribbeln auf der Haut. Das elektrische Wechselfeld der Leitung versetzt die Körperhaare in Vibration, was als Prickeln wahrgenommen wird. Dieser Effekt mag zwar als Belästigung empfunden werden, er stellt jedoch keine Gefahr für unsere Gesundheit dar.

Starke Reizwirkungen

Noch stärkere elektrische und magnetische Felder, wie sie in der Umwelt üblicherweise nicht vorkommen, sind für den Menschen aber erwiesenermassen schädlich. So treten bei ausserordentlich hohen Magnetfeld-Belastungen über 10 000 Mikrotesla (µT) Fehlfunktionen von Nerven- und Muskelzellen auf. Derart starke Magnetfelder erzeugen im menschlichen Organismus elektrische Ströme, die unerwünschte Nervenreize und Muskelzuckungen auslösen. Ist das Herz extremen Immissionen im Bereich von mehr als 100 000 µT ausgesetzt, so kann es zu einer Verkrampfung des Herzmuskels kommen. Dieses Herzkammerflimmern ist lebensgefährlich.
Solche Effekte auf Nerven und Muskeln werden Reizwirkungen genannt. Sie sind wissenschaftlich eindeutig bewiesen und bilden die Grundlage für internationale Gefährdungsgrenzwerte. Werden diese nicht überschritten, so treten erwiesenermassen keine durch niederfrequente Felder ausgelöste Fehlfunktionen von Nerven- oder Muskelzellen auf.

Unterschwellige Wirkungen

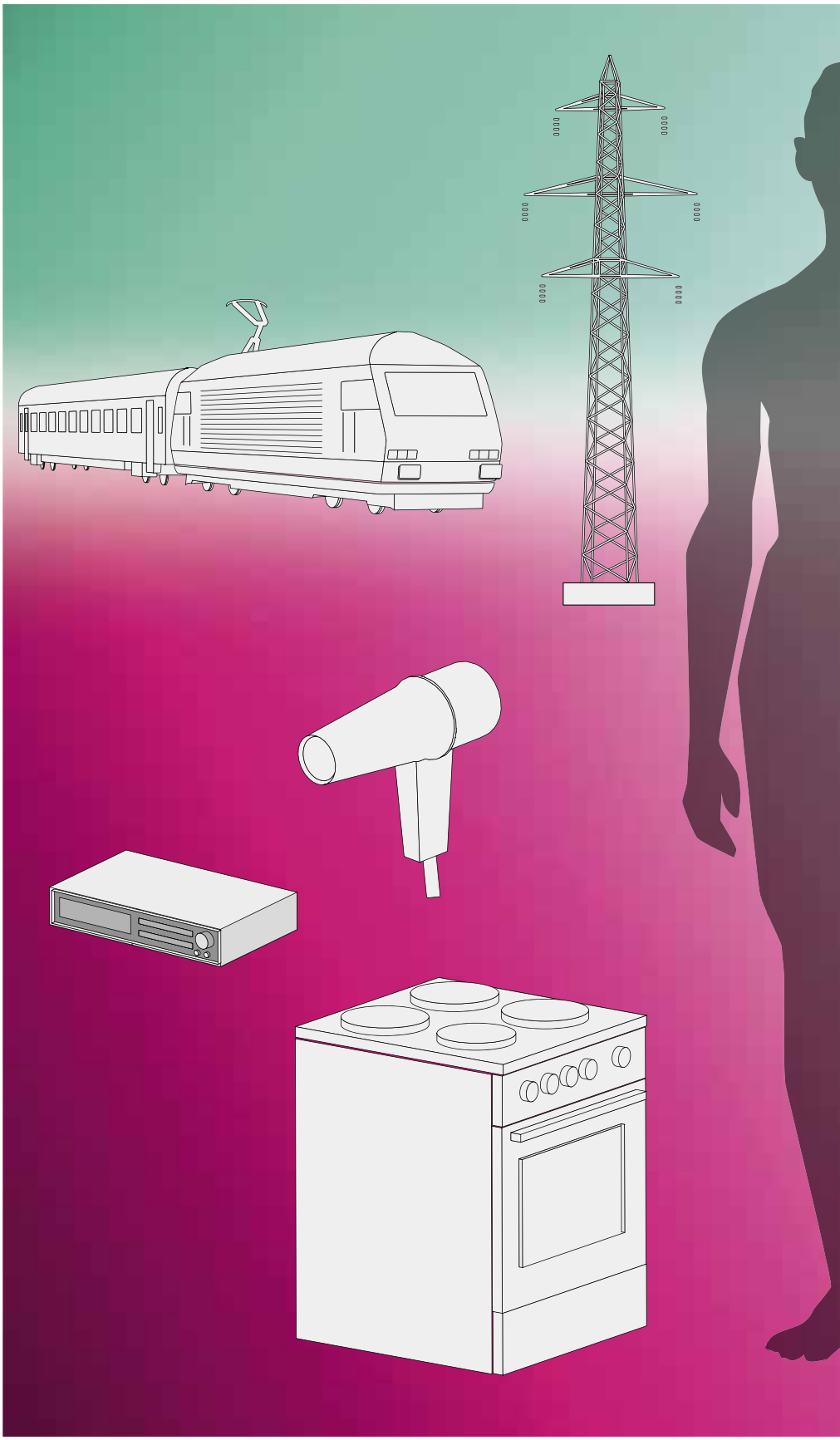
Doch auch bei Feldstärken deutlich unter den internationalen Grenzwerten weisen verschiedene Studien auf biologische Reaktionen hin. Entsprechende Effekte bezeichnet man als unterschwellige Wirkungen.
Experimente mit Menschen und Tieren ergaben unter anderem Veränderungen im Verhalten und eine Beeinflussung der Lernfähigkeit sowie des Hormonsystems. So wurde zum Beispiel das Hormon Melatonin in einer geringeren Menge als sonst üblich ausgeschüttet. Melatonin steuert den biologischen Tag-Nacht-Rhythmus, hat einen stimulierenden Effekt auf das Immunsystem und hemmt das Wachstum von Tumoren. Ein reduzierter Melatoninspiegel wird mit Schlafstörungen, Müdigkeit oder depressiven Verstimmungen in Verbindung gebracht. Als weitere Wirkung von schwachen niederfrequenten Feldern hat die Forschung Veränderungen des Wachstums, des Stoffwechsels und des genetischen Materials von Zellen beobachtet.
Es ist also unbestritten, dass es unterschwellige Wirkungen gibt, doch weiss man nicht, wie sie zu Stande kommen. Ebenso wenig lässt sich beim heutigen Kenntnisstand sagen, ob und unter welchen Bedingungen sie ein Gesundheitsrisiko darstellen.

Erhöhtes Leukämierisiko bei Kindern?

Auch epidemiologische Studien, welche die Häufung von bestimmten Krankheiten in ausgewählten Bevölkerungsgruppen untersuchen, sind ein Mittel, um mehr über allfällige Gesundheitsauswirkungen durch nichtionisierende Strahlung zu erfahren. Zur Klärung der Frage, ob niederfrequente Magnetfelder die Entstehung oder Entwicklung von Krebs begünstigen, werden seit den frühen 80er-Jahren in verschiedenen Ländern solche Studien durchgeführt. Deren Ergebnisse waren lange Zeit uneinheitlich und widersprüchlich. Neuste Untersuchungen und Gesamtauswertungen von früheren Studien kommen inzwischen aber zu einem übereinstimmenden Schluss. Demnach besteht ab einer – über längere Zeit gemittelten – Magnetfeldbelastung von 0,4 µT möglicherweise ein doppelt so hohes Risiko für Blutkrebs bei Kindern.
Auch die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) zieht diesen Schluss und hat deshalb im Jahre 2001 die niederfrequenten Magnetfelder als potenzielles Karzinogen für Menschen eingestuft. Die IARC erachtet es demnach als möglich – wenn auch nicht als wahrscheinlich oder bewiesen –, dass schwache Magnetfelder ein Leukämierisiko darstellen.
Hier zu Lande erkranken pro Jahr rund 60

Niederfrequente Felder

Kinder an Leukämie. Falls eine Langzeitbelastung durch niederfrequente Magnetfelder von mehr als 0,4 µT das Risiko für Kinderleukämie tatsächlich verdoppeln würde, was freilich noch nicht bewiesen ist, liesse sich ungefähr eine Neuerkrankung pro Jahr durch die Magnetfelder erklären. Die übrigen 59 Fälle wären anderen Ursachen zuzuschreiben.
Der Verdacht auf ein erhöhtes Leukämierisiko ist mit ein Grund, um die Langzeitbelastung durch niederfrequente Magnetfelder im Sinne der Vorsorge möglichst niedrig zu halten. Soweit es sich bei den Quellen um elektrische Geräte in den eigenen vier Wänden handelt, liegen die Einflussmöglichkeiten bei den Bewohnerinnen und Bewohnern selbst. Dagegen fallen elektrische Anlagen in der Umwelt in den Geltungsbereich der seit Februar 2000 rechtskräftigen NIS-Verordnung. An Orten, wo sich Menschen längere Zeit aufhalten, hat der Bund damit vorsorgliche Massnahmen zur Verringerung der Magnetfelder angeordnet. Dies gilt etwa für Wohnungen, Büros, Schulen, Spitäler und Kinderspielplätze. An diesen Orten müssen neue Hochspannungsleitungen und Transformatorenstationen bei voller Auslastung einen Anlagegrenzwert von 1 µT einhalten. Die Langzeitbelastung liegt jedoch in der Regel deutlich tiefer, weil die Anlagen nur selten voll ausgelastet sind.



In seinem Alltag ist der Mensch nichtionisierender Strahlung aus verschiedensten Quellen ausgesetzt. So erzeugen Fahrleitungen von Eisenbahnen, Anlagen zur Elektrizitätsversorgung oder strombetriebene Geräte im Haushalt niederfrequente elektrische und magnetische Felder. Sind diese sehr stark, so vermögen sie im Körper elektrische Ströme hervorzurufen, die ungewollte Nerven- oder Muskelkontraktionen auslösen können.

Hochfrequente Felder

Fernseh- und Radiosender, Mobilfunkantennen, Mobiltelefone, Radaranlagen oder Mikrowellenöfen erzeugen hochfrequente Strahlung. Diese hat andere physikalische Eigenschaften als niederfrequente Felder und unterscheidet sich auch in der Art, wie sie auf den Menschen einwirkt. Intensive Hochfrequenz-Strahlung wird im Körper in Wärme umgewandelt, was empfindliche Organe schädigen kann. Die Auswirkungen von schwacher Strahlung sind derzeit noch ungenügend erforscht.

Auswirkungen von Hochfrequenz-Strahlung

Beim Mikrowellenofen machen wir uns die Wärmewirkung von intensiver Hochfrequenz-Strahlung zu Nutze: Biologisches Gewebe wie Gemüse oder Fleisch nimmt die Strahlungsenergie auf und erhitzt sich. Diese rasche Erwärmung von biologischem Gewebe geschieht jedoch nicht nur bei Mikrowellen, sondern bei jeder elektromagnetischen Strahlung mit hoher Frequenz – so auch bei der Strahlung von Radio- oder Mobilfunksendern. Voraussetzung für die Erwärmung ist allerdings eine genügende Intensität der Strahlung.
Viele biochemische Reaktionen im menschlichen Organismus funktionieren nur innerhalb einer engen Temperatur-Bandbreite. Erkrankungen mit hohem Fieber zeigen uns, dass bereits eine Erwärmung des Körpers um wenige Grad Celsius diese Abläufe empfindlich stören kann. Thermische Wirkungen durch elektromagnetische Strahlung sind deshalb prinzipiell unerwünscht.

Gefährliche thermische Wirkungen

Im Alltag sind wir normalerweise keiner derart intensiven Hochfrequenz-Strahlung ausgesetzt, als dass sie auf Grund ihrer Wärmewirkung unserer Gesundheit schaden könnte.
Gefährlich wird es, wenn sich die Körpertemperatur infolge der aufgenommenen Strahlung um mehr als 1 bis 2 °C erhöht. Dann treten Wirkungen wie bei Fieber oder starker Hitzeeinwirkung auf: Die Gedächtnisleistung nimmt ab, und es kommt zu einer Beeinträchtigung verschiedener Körperfunktionen sowie der Fortpflanzungsorgane. Besonders gefährdet sind Organe mit schlechter Durchblutung und entsprechend limitierter Wärmeabfuhr wie etwa die Augen, deren Linsen sich trüben können (Grauer Star). Bei noch stärkerer Wärmeentwicklung kommt es zu inneren Verbrennungen oder zum Tod durch Hitzschlag.
Gut dokumentierte Berufsunfälle im Ausland – vor allem mit Radaranlagen – belegen die Gefährlichkeit von starker Hochfrequenz-Strahlung. So verspürte ein Mechaniker, der versehentlich in unmittelbare Nähe eines Radarsenders geriet, ein starkes Hitzegefühl und erlitt schwere Verbrennungen. Er und zwei ebenfalls betroffene Arbeitskollegen mussten mit Hautschäden und schwer gestörter Blutgerinnung in ein Spital eingeliefert werden. Alle drei klagten über Müdigkeit, Schwindel, Kopfschmerzen und ein Druckgefühl über den Augen. Diese akuten Wirkungen intensiver Hochfrequenz-Strahlung sind wissenschaftlich gut untersucht. Sie treten erst ab einer gewissen Strahlungsstärke auf. Die entsprechende Schwelle bildet die Grundlage für international anerkannte Grenzwerte, welche die Bevölkerung vor Gesundheitsschäden durch kurzzeitige Exposition schützen.

Eine Vielzahl von nichtthermischen Effekten

Doch auch bei Strahlungsintensitäten deutlich unterhalb der internationalen Grenzwerte weisen verschiedene Studien auf biologische Effekte hin. Da diese Körperreaktionen nicht auf einer Erwärmung beruhen, bezeichnet man sie als nichtthermische Wirkungen.
Experimente mit Versuchspersonen haben beispielsweise gezeigt, dass Mobilfunkstrahlung Einfluss auf Hirnströme und Schlafphasen haben kann. Bei Laborstudien wurden Verhaltensänderungen bei Tieren oder physiologische Veränderungen in Zellkulturen durch schwache hochfrequente Strahlung beobachtet.
Weitere Verdachtsmomente stammen aus epidemiologischen Untersuchungen. So haben Studien in der Umgebung von TV- und Radiosendern höhere Leukämie- oder Lymphomraten ergeben als erwartet. Die Resultate sind jedoch nicht einheitlich, und manche Untersuchungen weisen methodische Mängel auf.
Hinweise zu möglichen Gesundheitsauswirkungen kommen zum Teil auch aus der Bevölkerung. So klagten etwa Anwohner in der Nähe des inzwischen stillgelegten Radio-Kurzwellensenders Schwarzenburg (BE) gehäuft über gesundheitliche Beschwerden wie Nervosität, Unruhe, Schlaflosigkeit, allgemeine Schwäche, Müdigkeit und Gliederschmerzen. Eine epidemiologische Studie des Bundes ergab dabei einen statistischen Zusammenhang zwischen den Schlafstörungen und dem Sendebetrieb. Ob dafür wirklich die Strahlung des Senders oder allenfalls andere Begleitfaktoren verantwortlich sind, konnte die Studie allerdings nicht abschliessend klären.
Das Auftreten von nichtthermischen Wirkungen durch hochfrequente Strahlung ist jedoch unbestritten. Allerdings weiss man bis heute nicht, wie solche Effekte zustande kommen. Ebenso wenig lässt sich beim heutigen Kenntnisstand sagen, ob und unter welchen Bedingungen diese Wirkungen ein Gesundheitsrisiko bedeuten. Das Vorliegen widersprüchlicher Ergebnisse und die Tatsache, dass sich die Experimente zum Teil nicht wiederholen liessen, erschweren eine seriöse Bewertung. Angesichts dieser Unklarheiten ist die Wissenschaft gefordert, die Auswirkungen von schwacher Hochfrequenz-Strahlung auf die menschliche Gesundheit weiter zu untersuchen.

Starke elektromagnetische Strahlung führt zu einer Erwärmung des menschlichen Körpers und kann dadurch fieberähnliche Beschwerden auslösen. Die Grenzwerte der NISV schützen uns vor diesen unerwünschten thermischen Wirkungen.

Das Phänomen der Elektrosensibilität

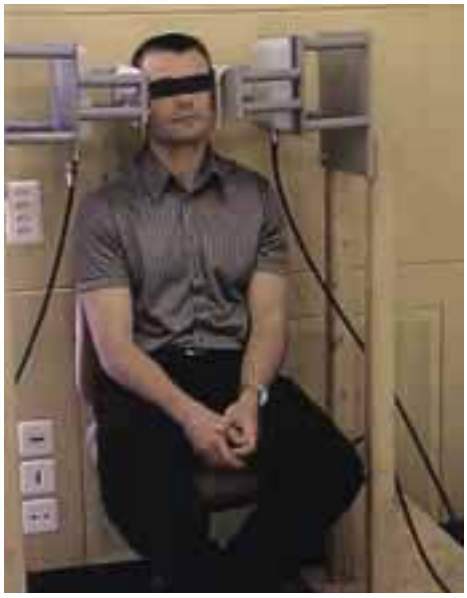
Der Mensch hat kein Sinnesorgan, um nichtionisierende Strahlung direkt zu erkennen. Dennoch scheint es besonders empfindliche Leute zu geben, die selbst schwache Felder wahrnehmen können. Und zum Teil führen Personen ihre gesundheitlichen Symptome auf Elektrosmog zurück. Fachliteratur sowie Öffentlichkeit bezeichnen diese Phänomene als Elektrosensitivität und Elektrosensibilität. Die beiden Begriffe werden nicht immer konsequent unterschieden und teilweise auch gegenteilig verwendet.

Elektrosensitivität

Damit bezeichnet man die Fähigkeit gewisser Menschen zur bewussten Wahrnehmung von schwacher elektromagnetischer Strahlung, was in Experimenten gemessen werden kann. Dabei müssen die Versuchspersonen eine reale Immission von einer Scheinexposition unterscheiden können. Rund 5 Prozent der Personen gelingt dies besser, als durch Zufall zu erwarten wäre. Die Fähigkeit zur Wahrnehmung von schwachen Feldern bedeutet jedoch nicht, dass diese Leute auch unter Elektrosmog leiden.

Elektrosensibilität

Wenn Leute gesundheitliche Beschwerden dem Einfluss von schwacher nichtionisierender Strahlung zuschreiben, so spricht man von Elektrosensibilität oder elektromagnetischer Hypersensibilität. Solche Personen klagen häufig über unspezifische Symptome wie Schlafstörungen, Kopfschmerzen, Nervosität, allgemeine Müdigkeit, Konzentrationsschwäche, quälende Ohrgeräusche (Tinnitus), Schwindel, Glieder- oder Herzschmerzen.
Die Ursachen für diese Gesundheitsauswirkungen lassen sich meist nicht genau bestimmen. Neben Elektrosmog kommen auch andere Faktoren in Frage – so etwa Stress, Lärm, flackerndes Licht und Chemikalien sowie körperliche oder psychische Erkrankungen. Auch gibt es bisher keine allgemein anerkannten Kriterien für eine objektive Diagnose von Elektrosensibilität. Zudem scheint es, dass die beiden Phänomene Elektrosensibilität und Elektrosensitivität unabhängig voneinander bestehen. So muss also jemand, der elektrosensibel ist, keine überdurchschnittliche Feldwahrnehmung haben und umgekehrt.
Im Zusammenhang mit Elektrosensibilität und -sensitivität sind viele Fragen offen, und es besteht noch ein erheblicher Forschungsbedarf.



Bestrahlung des Kopfes mit elektromagnetischen Feldern, wie sie Mobiltelefone ausstrahlen, in einem wissenschaftlichen Experiment. Bereits eine Exposition während 30 Minuten verändert die Gehirnaktivität. Daraus lassen sich jedoch keine Schlüsse über mögliche gesundheitliche Auswirkungen ziehen.

Elektrosensible Personen fühlen sich durch schwache nichtionisierende Strahlung weit unterhalb der international anerkannten Immissionsgrenzwerte beeinträchtigt. Oft leiden sie unter unspezifischen Symptomen wie quälenden Ohrgeräuschen.

Bewertung der Auswirkungen von Hochfrequenz-Strahlung

Evidenz	Wirkung		
	Gravierend	Einschränkung des Wohlbefindens	Gesundheitsrelevanz unklar
Gesichert	Thermische Wirkungen (z.B. Beeinträchtigung der Gedächtnisleistung und verschiedener Körperfunktionen, Linsentrübung [Grauer Star], innere Verbrennungen)		
Wahrscheinlich		Unspezifische Symptome (Kopfschmerzen, Müdigkeit, Konzentrationsschwierigkeiten, Unbehagen, brennende Haut usw.)	
			Hirnströme
			Schlafphasen
Möglich	Leukämien/Lymphome		
	Hirntumore		
		Schlafqualität	
		Elektromagnetische Hypersensibilität	
			Kognitive Funktionen, Reaktionszeiten
Unwahrscheinlich	Mortalität		
	Weitere Tumortypen		
Nicht beurteilbar	Abort		
	Genotoxizität		
	Brustkrebs		
	Augentumore		
	Hodentumore		
		Psychisches Befinden	
		Unspezifische Symptome (Schlafstörungen, Kopfschmerzen usw.)	
			Hormonsystem
			Immunsystem
			Bluthochdruck

Expositionsquelle
Diverse, über dem Immissionsgrenzwert
Mobiltelefon
Mobiltelefon
Mobiltelefon
TV-/Radiosender
Mobiltelefon
Radiosender
Mobiltelefon
Mobiltelefon
Mobiltelefon
Diverse
Diathermiegeräte
Berufliche Exposition
Diverse
Mobiltelefon
Radarpistolen
Diverse
Mobilfunkbasisstation
Diverse
Diverse
Radiosender

Erläuterungen zur Tabelle

Die nebenstehende Tabelle basiert im Wesentlichen auf der im Jahr 2003 veröffentlichten und 2004 aktualisierten Literaturstudie «Hochfrequente Strahlung und Gesundheit» (BUWAL UM-162-D). Diese hat das Institut für Sozial- und Präventivmedizin Basel im Auftrag des BUWAL erstellt. Sie enthält eine differenzierte Beurteilung der Ergebnisse von über 200 Studien.

Bewertet wird zum einen, wie sicher ein Effekt nachgewiesen ist (Evidenz). Dazu werden folgende Kategorien unterschieden:

Gesichert: Der Effekt hält einer streng wissenschaftlichen Beweisführung stand.

Wahrscheinlich: Ein Effekt ist mehrfach in verschiedenen Studien festgestellt worden. Deren Qualität überzeugt so weit, dass sich andere Einflussfaktoren mit grosser Sicherheit ausschliessen lassen. Ein plausibler Wirkungsmechanismus fehlt aber.

Möglich: Der Effekt ist vereinzelt in Studien beobachtet worden, doch sind die Ergebnisse nicht einheitlich. Berichte über Einzelfälle stützen die wissenschaftlichen Hinweise.

Unwahrscheinlich: Es gibt keine Hinweise für den Effekt, aber mehrfache Hinweise für dessen Abwesenheit.

Nicht beurteilbar: Die Datenlage ist für eine Aussage zu spärlich.

Zum andern werden die Effekte – unabhängig davon, als wie sicher ihr Nachweis gilt – bezüglich ihrer Gesundheitsrelevanz beurteilt:

Gravierend: Der Effekt stellt eine drastische Einschränkung der Lebensqualität dar. Er ist lebensbedrohlich und reduziert die Lebenserwartung.

Einschränkung des Wohlbefindens: Lebensqualität und Wohlbefinden sind erheblich eingeschränkt, ohne dass die Symptome direkt lebensbedrohlich wären.

Unklare Gesundheitsrelevanz: Die Effekte sind zwar physiologisch messbar, doch liegen die beobachteten Veränderungen in der normalen Bandbreite von gesunden Menschen. Da sie in der Regel nicht wahrgenommen werden können, stellen sie weder ein akutes Gesundheitsrisiko noch eine Beeinträchtigung der Lebensqualität dar. Allerdings ist unklar, ob sie längerfristig zu einem Gesundheitsrisiko führen.

Die seit Februar 2000 gültige Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) soll die Bevölkerung in der Schweiz vor Elektrosmog schützen. Zur Abwehr der bekannten und wissenschaftlich belegten Gesundheitsrisiken setzt sie Höchstwerte für die kurzfristige Belastung des Menschen fest. Zusätzlich vermindern vorsorgliche Anlagegrenzwerte für eine Vielzahl von Emissionsquellen die Langzeitbelastung in Wohngebieten.

Vorschriften zum Schutz der Bevölkerung vor Elektrosmog

Inhalt

Das Schutzkonzept der Verordnung > S 15

Geltungsbereich der NISV > S 15

Begrenzung der kurzfristigen Belastung > S 16

Immissionsgrenzwerte > S 16

Vorsorgliche Begrenzung der Langzeitbelastung > S 17

Anlagegrenzwerte > S 17

Orte mit empfindlicher Nutzung > S 17

Neue Bauzonen > S 18

Kontrolle durch Berechnungen oder Messungen > S 18

Abnahmemessung > S 18

Kontrollmessung > S 19

Messung von Mobilfunkstrahlung > S 19

Das Schutzkonzept der Verordnung

Nichtionisierende Strahlung ist in unserem Wohn- und Arbeitsumfeld allgegenwärtig. Sie entsteht bei sämtlichen elektrischen Anlagen und Geräten sowie bei Sendeanlagen jeglicher Art. Auf Grund der technologischen Entwicklung sowie der vermehrten Nutzung von elektrischen Geräten und Funkanwendungen in Beruf und Freizeit dürfte die Belastung in Zukunft weiter zunehmen. Um die Bevölkerung vor den erwiesenen und vermuteten Gesundheitsauswirkungen dieser Strahlung zu schützen, hat der Bundesrat auf den 1. Februar 2000 die Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) in Kraft gesetzt.
Der Geltungsbereich der NISV beschränkt sich auf ortsfeste Emissionsquellen wie Stromleitungen, Transformatorenstationen, Eisenbahnen sowie auf Sendeanlagen für Mobilfunk, Rundfunk oder Radar. Dagegen werden Handys, Schnurlostelefone, Bildschirme, Mikrowellenöfen oder andere elektrische Geräte von der NISV nicht erfasst. Um deren Strahlung zu begrenzen, braucht es international anerkannte Vorschriften und Standards, die unser Land nicht im Alleingang erlassen kann.
Nichtionisierende Strahlung darf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Bevölkerung nicht beeinträchtigen. Dieses Ziel verfolgt die NISV auf zwei Wegen:

- Zur sicheren Verhinderung der wissenschaftlich anerkannten Gesundheitsschädigungen begrenzt sie die kurzfristige Strahlenbelastung.
- Zum Schutz vor eventuellen, noch ungenügend bekannten Gesundheitsrisiken reduziert sie vorsorglich auch die Langzeitbelastung.

Geltungsbereich der NISV

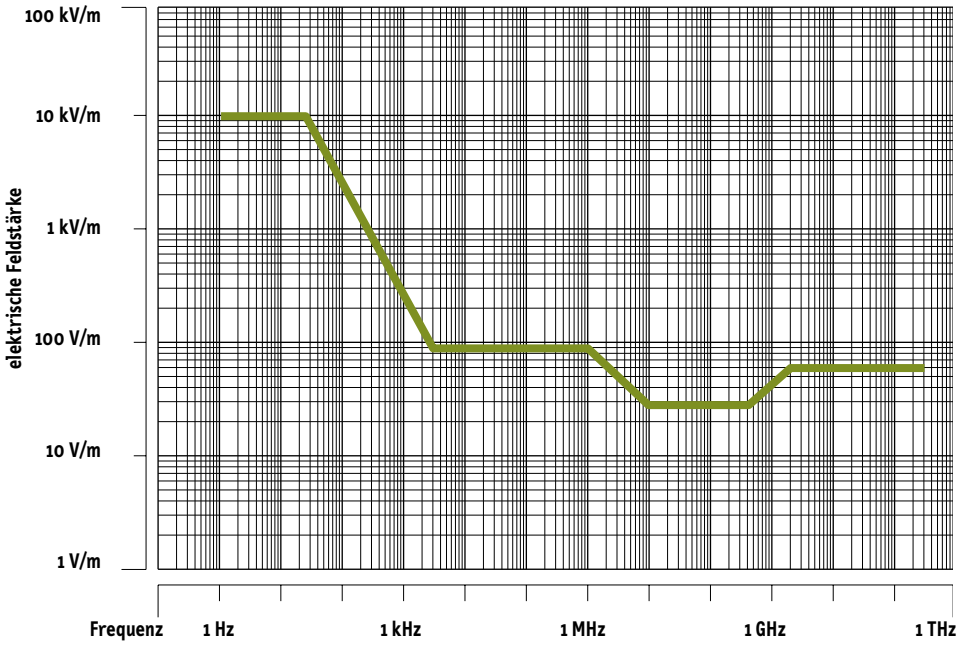
Von der NISV erfasste Anlagen:	Von der NISV nicht erfasst:
– Hochspannungsleitungen (Frei- und Kabelleitungen)	– Mobiltelefone
– Transformatorenstationen	– Schnurlostelefone
– Unterwerke und Schaltanlagen	– Bluetooth
– Elektrische Hausinstallationen	– Mikrowellenöfen
– Eisenbahnen und Strassenbahnen	– Kochherde
– Mobilfunkanlagen	– Elektrische Geräte (wie Fernseher, Computermonitore, Radiowecker, Föhn, Rasierapparat, Bügeleisen usw.)
– Richtfunkanlagen	– Medizinische Geräte
– Drahtlose Teilnehmeranschlüsse (WLL)	– Betriebsmittel am Arbeitsplatz
– Rundfunkanlagen	
– Betriebsfunkanlagen	
– Amateurfunkanlagen	
– Radaranlagen	

Die NISV enthält Vorschriften für ortsfeste Anlagen, die nichtionisierende Strahlung zwischen 0 Hertz und 300 Gigahertz erzeugen.

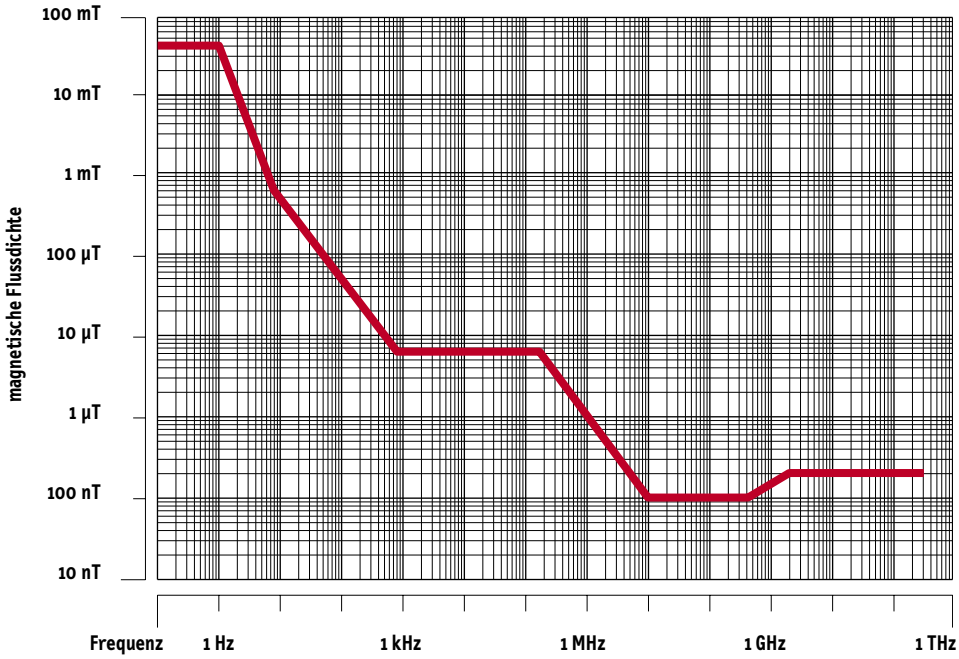
Ortsfeste Versorgungsanlagen – wie die Mobilfunkantenne im Hintergrund – müssen die Grenzwerte der NISV einhalten. Hier wird die elektromagnetische Strahlung mit einer Messantenne erfasst.

Begrenzung der kurzfristigen Belastung

Zur Begrenzung der kurzfristigen Belastung legt die NISV Immissionsgrenzwerte fest. Diese orientieren sich an den Empfehlungen der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP), wie sie in vielen Ländern zur Anwendung kommen. Bei Einhaltung dieser Grenzwerte können keine der wissenschaftlich anerkannten negativen Auswirkungen auf die Gesundheit auftreten. Dazu zählen etwa die Erwärmung des Körpers durch sehr starke Strahlung von Sendern sowie das ungewollte Auslösen von Nervenimpulsen oder Muskelkontraktionen durch intensive elektrische oder magnetische Felder.
Die Immissionsgrenzwerte müssen überall eingehalten werden, wo sich Menschen sowohl langfristig als auch kurzzeitig aufhalten.



Die in der NISV vorgeschriebenen Immissionsgrenzwerte (grüne Linie) für die elektrische Feldstärke variieren je nach Frequenz der Strahlung. Denn die Wirkungen auf den Menschen treten in Abhängigkeit von der Frequenz bei verschiedenen Intensitäten auf.



Aus demselben Grund sind auch die Immissionsgrenzwerte für die magnetische Flussdichte (rote Kurve) frequenzabhängig.

Anlage	Frequenz	Immissionsgrenzwert
Eisenbahnen	16,7 Hz	300 µT und 10 000 V/m
Hochspannungsleitungen	50 Hz	100 µT und 5000 V/m
Rundfunksender	10 – 400 MHz	28 V/m
Mobilfunksender	900 MHz	41 V/m
	1800 MHz	58 V/m
UMTS-Sender	2100 MHz	61 V/m

Beispiele von Immissionsgrenzwerten für verschiedene Frequenzen.

Immissionsgrenzwerte

- Die Immissionsgrenzwerte der NISV sind international harmonisiert.
- Sie schützen vor wissenschaftlich anerkannten Gesundheitsschäden.
- Sie berücksichtigen die Gesamtheit der an einem Ort auftretenden niederfrequenten oder hochfrequenten Strahlung.
- Sie müssen überall eingehalten werden, wo sich Menschen – auch nur kurzfristig – aufhalten.

Vorsorgliche Begrenzung der Langzeitbelastung

Die Immissionsgrenzwerte gewährleisten den Schutz vor den anerkannten, akuten Auswirkungen. Sie schützen jedoch nicht vor vermuteten Effekten bei tieferen Strahlungsintensitäten und insbesondere bei Langzeitbelastungen. Hier besteht noch ein erheblicher Forschungsbedarf. Beim Erlass der NISV wollte der Bundesrat jedoch nicht auf weitere Resultate der Forschung warten und hat deshalb im Sinne der Vorsorge Massnahmen zur Begrenzung der Langzeitbelastung getroffen.
Die Bestimmungen basieren auf dem Vorsorgeprinzip des Umweltschutzgesetzes (USG), wie es in Zweckartikel 1, Absatz 2 festgelegt ist: «Im Sinne der Vorsorge sind Einwirkungen, die schädlich oder lästig werden könnten, frühzeitig zu begrenzen.». Der blosse Verdacht genügt also bereits, ohne dass die Schädlichkeit bewiesen werden muss. Das USG schreibt in Artikel 11 weiter vor, solche Umweltbelastungen seien mit Massnahmen an der Quelle zu begrenzen. Kriterien sind dabei die technische und betriebliche Machbarkeit sowie die wirtschaftliche Tragbarkeit.
Die NISV setzt dieses Vorsorgeprinzip um, indem sie für verschiedene Kategorien von Emissionsquellen Anlagegrenzwerte festsetzt. Diese gelten für die Strahlung einer einzelnen Anlage und liegen deutlich unterhalb der Immissionsgrenzwerte. Bei Mobilfunkanlagen sind sie rund 10-mal tiefer angesetzt und im Fall von neuen Hochspannungsleitungen sogar 100-mal. Die Anlagegrenzwerte müssen dort eingehalten werden, wo sich Menschen während längerer Zeit aufhalten. Die Schweiz verfügt damit für diese so genannten Orte mit empfindlicher Nutzung über eine der weltweit strengsten Regelungen.
Angesichts der unklaren Risikolage bei den Gesundheitsauswirkungen bieten allerdings auch diese strengen Anlagegrenzwerte keine 100-prozentige Sicherheit. Eine Unbedenklichkeitsgarantie können Behörden und medizinische Fachleute weder heute noch in Zukunft abgeben. Dies betrifft allerdings nicht nur die Strahlungsproblematik, sondern zahlreiche neue Technologien. Es ist nicht möglich, auf wissenschaftlicher Basis alle potenziellen Gesundheitsrisiken auszuschliessen, denn die Lebensvorgänge sind zu vielfältig, als dass jeder denkbare biologische Effekt im Voraus untersucht werden könnte. Indem die Anlagegrenzwerte jedoch die Langzeitbelastung reduzieren, minimieren sie auch das Risiko für allfällige, heute noch nicht klar erkennbare Gesundheitsfolgen.

Anlagegrenzwerte

- Die Anlagegrenzwerte der NISV sind Vorsorgegrenzwerte.
- Sie liegen deutlich tiefer als die Immissionsgrenzwerte.
- Sie basieren auf dem Vorsorgeprinzip des Umweltschutzgesetzes und sind auf Grund technischer, betrieblicher und wirtschaftlicher Kriterien festgelegt worden.
- Sie begrenzen die Strahlung einer einzelnen Anlage.
- Sie müssen dort eingehalten werden, wo sich Menschen während längerer Zeit aufhalten.
- Damit sorgen sie dafür, dass die Elektrosmogbelastung an Orten mit empfindlicher Nutzung grundsätzlich niedrig ist, womit auch das Risiko für vermutete Gesundheitsauswirkungen vermindert wird.

Die Anlagegrenzwerte stützen sich nicht auf medizinische oder biologische Erkenntnisse, sondern sind anhand technischer, betrieblicher und wirtschaftlicher Kriterien festgelegt worden. Folglich handelt es sich nicht um Unbedenklichkeitswerte, und ihre Einhaltung garantiert auch nicht, dass sich jede gesundheitliche Auswirkung ausschliessen lässt. Umgekehrt bedeutet es aber auch nicht, dass negative Auswirkungen auftreten, falls die Anlagegrenzwerte überschritten sind.

Orte mit empfindlicher Nutzung

Der vorsorgliche Schutz durch die Anlagegrenzwerte beschränkt sich auf Orte, an denen sich Personen regelmässig während längerer Zeit aufhalten. Hier soll die Langzeitbelastung möglichst niedrig gehalten werden. Zu diesen Orten mit empfindlicher Nutzung zählen zum Beispiel Wohnungen, Schulen, Spitäler, Büros oder Kinderspielplätze.
Nicht in die Kategorie der Orte mit empfindlicher Nutzung fallen dagegen Balkone und Dachterrassen, Treppenhäuser, Autogaragen, Lager- und Archivräume, nichtständige Arbeitsplätze, Kirchen, Konzert- und Theatersäle, Campingplätze, Sport- und Freizeitanlagen, Fahrgasträume in Eisenbahnen und Aussichtsterrassen.

Anlage	Frequenz	Anlagegrenzwert
Eisenbahnen	16,7 Hz	1 µT (24-h-Mittelwert)
Hochspannungsleitungen	50 Hz	1 µT
Rundfunksender	10 – 860 MHz	3 V/m
Mobilfunksender	900 MHz	4 V/m
	1800 MHz	6 V/m
UMTS-Sender	2100 MHz	6 V/m

Beispiele von Anlagegrenzwerten für verschiedene Anlagen. Diese müssen im so genannten massgebenden Betriebszustand eingehalten werden. Weitere Angaben dazu finden sich in den Beschreibungen der jeweiligen Anlagekategorien.

In der Nähe von bestehenden oder geplanten Versorgungsanlagen, die nichtionisierende Strahlung emittieren, ist das Einzonen von neuen Baugebieten – zum Schutz der Bevölkerung – künftig nur noch dort erlaubt, wo der Anlagegrenzwert eingehalten werden kann.

Neue Bauzonen

Zusätzlich zu den Massnahmen an der Quelle sorgt die NISV auch mit planerischen Vorgaben für eine möglichst tiefe Langzeitbelastung. Sie schränkt das Einzonen von neuen Baugebieten in der Nähe bestehender oder geplanter Anlagen ein. Damit stellt sie sicher, dass keine weiteren stark belasteten Orte mit empfindlicher Nutzung entstehen. Seit dem 1. Februar 2000 ist das Ausscheiden von neuen Bauzonen nur noch erlaubt, wenn die Anlagegrenzwerte eingehalten werden können.
Anders sieht es hingegen bei früher ausgeschiedenen Baugebieten in der Nähe einer Emissionsquelle aus. Ihre Überbauung bleibt weiterhin ohne Nutzungseinschränkungen möglich, selbst wenn der Anlagegrenzwert überschritten ist. Die betreffende Anlage muss jedoch saniert werden, wobei die NISV für jede Anlagekategorie die Tragweite der Sanierung bestimmt.
Mobilfunkanlagen beispielsweise sind so zu sanieren, dass der Anlagegrenzwert ohne Ausnahme an allen Orten mit empfindlicher Nutzung eingehalten wird. Bei elektrischen Leitungen und Eisenbahnanlagen wird dies jedoch nicht verlangt. Im Fall der Stromübertragung fordert die NISV bei einer Sanierung lediglich eine Optimierung der Phasenbelegung, und bei Eisenbahn-Fahrleitungen muss ein Stromrückleiter angebracht werden. Auch wenn diese Massnahmen nicht ausreichen, um den Anlagegrenzwert im Bereich der Bauzone zu unterschreiten, schreibt die Verordnung keine weiter gehenden Sanierungsmassnahmen vor. Der Bundesrat war der Auffassung, dass eine Reduktion der Emissionen unter den Anlagegrenzwert bei bestehenden Strom- und Fahrleitungen im Allgemeinen unverhältnismässig wäre. Aus demselben Grund hat er es abgelehnt, bereits eingezonte Baugebiete wieder zurückzuzonen.

Kontrolle durch Berechnungen oder Messungen

Die zuständige Behörde von Bund, Kanton oder Gemeinde kontrolliert, ob die Grenzwerte der NISV eingehalten sind. Diese Überprüfung kann durch Berechnungen oder Messungen erfolgen.
Bei Mobilfunkanlagen zum Beispiel müssen die Betreiber zusammen mit dem Baugesuch ein so genanntes Standortdatenblatt einreichen. Gestützt auf die Sendeleistungen und Senderichtungen der Antennen wird die Strahlung in der Umgebung der Anlage berechnet. Die verantwortliche Behörde des Kantons oder der Gemeinde prüft diese Angaben und Berechnungen auf ihre Richtigkeit. Auch bei anderen Anlagetypen – wie etwa neuen Hochspannungsleitungen oder Eisenbahn-Fahrleitungen – werden entsprechende Berechnungen durchgeführt.
Nach Inbetriebnahme einer Anlage kann die Strahlung gemessen werden. Man unterscheidet dabei zwischen Abnahme- und Kontrollmessungen.

Abnahmemessung

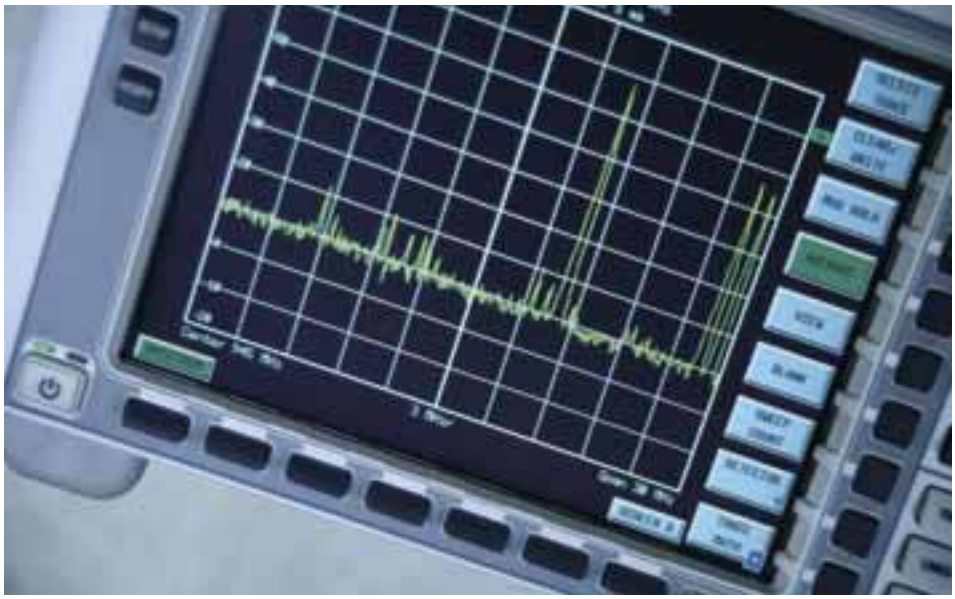
Eine Abnahmemessung erfolgt, um sicherzustellen, dass der Anlagegrenzwert in einem definierten Betriebszustand eingehalten ist – bei Mobilfunkanlagen beispielsweise bei voller Auslastung und maximal bewilligter Sendeleistung. Eine solche Messung wird in der Regel dann durchgeführt, wenn die rechnerische Prognose ein Ausschöpfen des Anlagegrenzwerts von mehr als 80 Prozent ergibt. Häufig beauftragt der Anlageninhaber eine spezialisierte Firma mit den Messungen, da diese ein hohes Fachwissen und viel Erfahrung erfordern. Gemäss dem Verursacherprinzip muss der Anlageninhaber für die entsprechenden Kosten aufkommen.
Eine Abnahmemessung lässt sich nie völlig unabhängig vom Betreiber durchführen, weil dieser die nötigen Angaben über den aktuellen Betriebszustand während der Messung liefern muss. Bei Mobilfunkanlagen verlangt die NISV die Einhaltung des Anlagegrenzwerts bei voller Auslastung und maximaler Sendeleistung. Dieser Zustand tritt jedoch nur selten auf, sendet die Basisstation doch meistens mit tieferer Leistung. Deshalb müssen die Messresultate von der aktuellen auf die maximal

bewilligte Sendeleistung hochgerechnet werden. Nur so können die Behörden beurteilen, ob der Grenzwert eingehalten ist. Für diese Hochrechnung sind die Informationen des Betreibers über den jeweiligen Betriebszustand unerlässlich.

Kontrollmessung

Eine Kontrollmessung verfolgt einen anderen Zweck. Mit ihr wird die Strahlungsbelastung für den realen Betrieb der Anlage ermittelt. Eine solche Messung lässt sich unabhängig vom Betreiber durchführen.

Mit dieser handgeführten Messantenne (oben) wird die höchste Belastung im Raum ausfindig gemacht. Der Spektrumanalysator (Mitte und unten) bildet die Resultate der frequenzselektiven Messung ab. Da jede Frequenz separat erfasst wird, lässt sich die Strahlung einer einzelnen Mobilfunkanlage gezielt ermitteln.



Messung von Mobilfunkstrahlung

Es gibt verschiedene Techniken, um die Strahlung von Mobilfunkanlagen zu messen:

Breitbandige Messung: Bei dieser Methode wird die Strahlung mit einer Messsonde in einem breiten Frequenzspektrum gesamthaft erfasst. Neben Mobilfunkanlagen tragen beispielsweise auch Fernseh- oder Rundfunksender zum Messwert bei, doch ist keine Unterscheidung der einzelnen Strahlungsanteile möglich.

Frequenzselektive Messung: Diese Technik kommt zum Einsatz, wenn sich auf Grund einer Breitbandmessung nicht schlüssig beurteilen lässt, ob eine Mobilfunkanlage den Anlagegrenzwert einhält. Dabei wird gezielt nur die Strahlung der zu prüfenden Anlage erfasst. Frequenzselektive Messungen sind anspruchsvoller und aufwändiger als Breitbandmessungen und erfordern komplexere Messgeräte.

Codeselektive Messung: Diese Technik findet bei UMTS-Strahlung Anwendung, wenn die beiden anderen Methoden kein schlüssiges Ergebnis liefern. Dabei wird gezielt nur der zeitlich konstante Anteil aus dem UMTS-Signal erfasst und anschliessend hochgerechnet. So lassen sich die gemessenen Signale eindeutig einer Sendeanlage zuordnen.

Wo Elektrizität erzeugt, transportiert und genutzt wird, entstehen als unvermeidliche Nebenprodukte elektrische und magnetische Felder. Je höher die Stromstärke und Spannung und je kleiner der Abstand zu den Strom führenden Anlagen, desto grösser sind diese Felder. Im Bereich der Stromversorgung treten die stärksten Belastungen in unmittelbarer Nähe von Transformatorenstationen und Hochspannungsleitungen auf.

Überall, wo Strom fliesst, treten niederfrequente Felder auf

Inhalt

Der Weg des Stroms vom Kraftwerk zur Steckdose > S 21

Die drei Grössen des Stroms > S 22

Wie Felder entstehen > S 22

Dreiphasenwechselstrom > S 22

Magnetfelder von Freileitungen > S 23

Reduktion des Magnetfeldes durch Phasenoptimierung > S 24

Zeitlicher Verlauf des Magnetfeldes bei einer Hochspannungsleitung > S 25

Elektrische Felder von Freileitungen > S 25

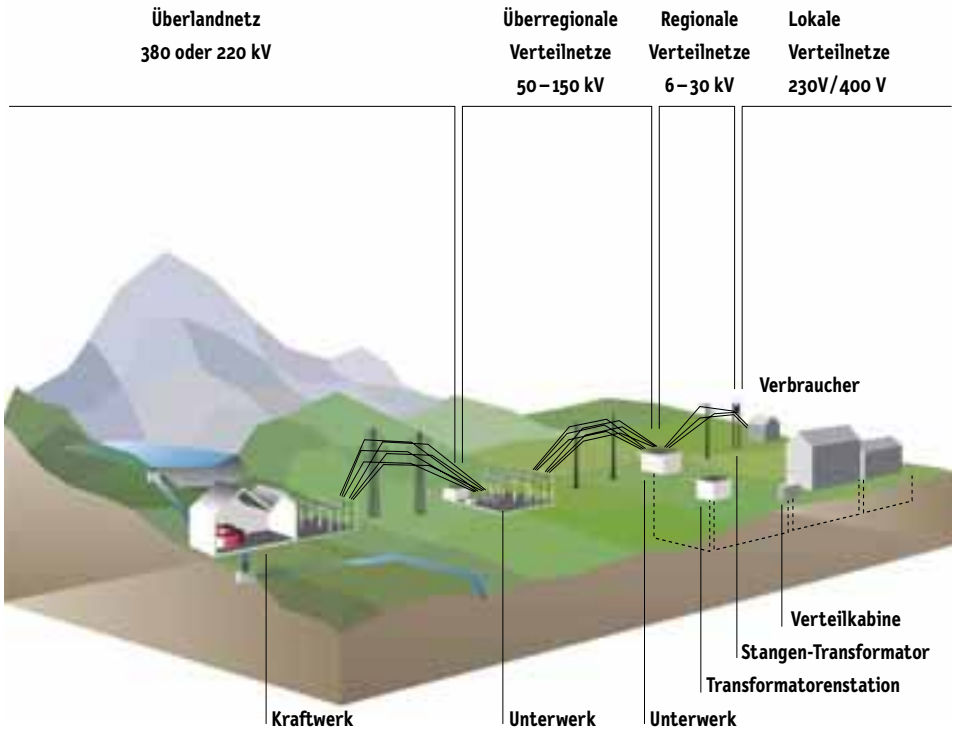
Kleinräumigere Magnetfelder bei Kabelleitungen > S 26

Vorsorgevorschriften der NISV > S 26

Magnetfeld einer Transformatorenstation > S 27

Der Weg des Stroms vom Kraftwerk zur Steckdose

In der Schweiz stammt ein überwiegender Teil des elektrischen Stroms aus Wasserkraftwerken, die oft weit von den Verbrauchszentren entfernt sind. Wenn der Strom bei uns aus der Steckdose kommt, hat er in der Regel bereits einen langen Weg hinter sich. Die Generatoren der verschiedenen Kraftwerkstypen erzeugen Strom mit einer Frequenz von 50 Hertz (Hz) und einer Spannung von 6 bis 27 Kilovolt (kV).
Hohe Netzspannungen vermindern Transportverluste in den Leitungen. Deshalb wird die Spannung vor der Einspeisung ins Übertragungsnetz durch Transformatoren in den Kraftwerken erhöht. Grosse Distanzen werden in der Regel auf Spannungsebenen von 220 oder 380 kV überbrückt. Dieses Überlandnetz besteht hauptsächlich aus Freileitungen auf Gittermasten.
Für die überregionale Verteilung wird die Spannung in Unterwerken auf 50 bis 150 kV reduziert. Hier erfolgt der Stromtransport häufig mittels Freileitungen auf Betonmasten.
Die regionale Versorgung geschieht auf einer Spannungsebene von 6 bis 30 kV. Dazu dienen erdverlegte Kabel oder Freileitungen auf Holzstangen.
In den Quartieren und Dörfern wandeln Transformatorenstationen die Spannung schliesslich noch auf die im Haushalt üblichen 230 und 400 Volt (V) um.



Vom Kraftwerk bis zum Endverbraucher muss der Strom zuerst auf höhere und später wieder auf tiefere Spannungen umgewandelt werden. Sowohl entlang der Leitungen als auch in der näheren Umgebung der Transformatorenstationen gibt es elektrische und magnetische Felder.

Die drei Grössen des Stroms

Zur Charakterisierung des Stroms werden drei Messgrössen verwendet:

Stromstärke: Die Stromstärke wird in Ampere (A) gemessen und gibt an, wie viel Strom durch einen Leiter fliesst. Verglichen mit einer Wasserleitung entspricht die Stromstärke dem Durchfluss der transportierten Wassermenge pro Zeiteinheit. Je mehr Strom fliesst, desto grösser ist die Stromstärke. In unseren Wohnungen begrenzen die Sicherungen im Verteilerkasten den Strom auf 10 oder 16 A. Die grössten Hochspannungsleitungen sind für Stromstärken von bis zu 2500 A ausgelegt.

Spannung: Die Spannung wird in Volt (V) gemessen. Im Beispiel mit der Wasserleitung entspricht sie dem Wasserdruck. Dieser ist auch vorhanden, wenn der Hahn geschlossen ist und kein Wasser fliesst. Analog dazu steht ein eingestecktes Stromkabel – zum Beispiel dasjenige einer Nachttischlampe – auch dann unter Spannung, wenn kein Licht brennt und somit auch kein Strom fliesst. Gebräuchliche Batterien verfügen über eine Spannung von 1,5 bis 12 V. Im Haushalt beträgt die Spannung 230 V und in Hochspannungsleitungen bis zu 420 000 V.

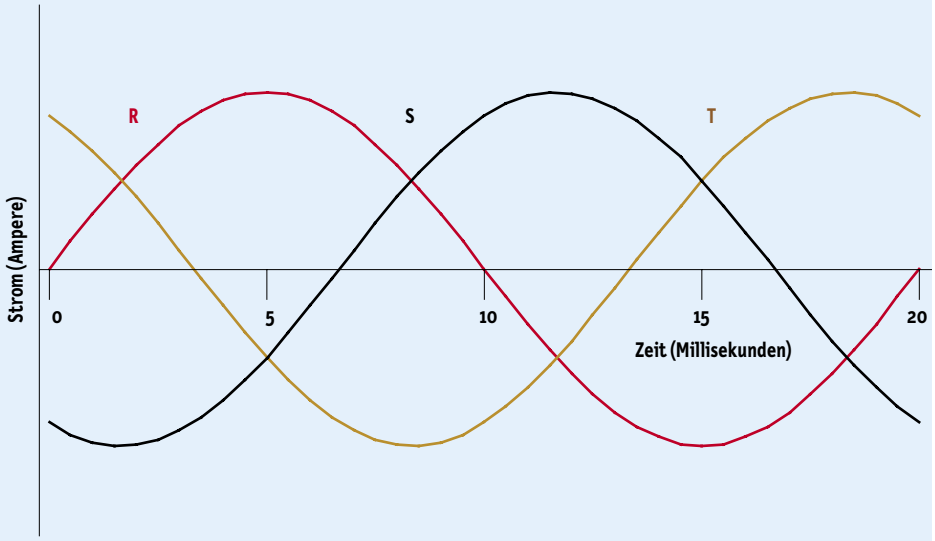
Frequenz: Die Frequenz bezeichnet die Anzahl Schwingungen pro Sekunde und wird in Hertz (Hz) ausgedrückt (1 Hz = 1 Schwingung pro Sekunde). Diese Messgrösse ist nur beim Wechselstrom von Bedeutung. Bei Batterien sind der Plus- und der Minuspol fix – sie liefern Gleichstrom, der immer in die gleiche Richtung fliesst. Im Gegensatz dazu ändert der Wechselstrom seine Flussrichtung periodisch. Der Strom in unseren Wohnungen hat eine Frequenz von 50 Hz. Beim Transport des Stroms vom Kraftwerk bis zur Steckdose bleibt die Frequenz immer gleich (50 Hz). Was sich je nach Netzebene ändert, sind Spannung und Stromstärke.

Wie Felder entstehen

Ob am Arbeitsplatz, zu Hause oder in der Freizeit – überall benutzen wir mit Elektrizität betriebene Anlagen und Geräte. Wo Strom fliesst, entstehen auch elektrische und magnetische Felder – so zum Beispiel in der näheren Umgebung von Hochspannungsleitungen, Unterwerken und Transformatorenstationen. Doch auch die strombetriebenen Geräte im Haushalt und am Arbeitsplatz erzeugen solche Felder. Elektrische Felder entstehen, sobald eine Leitung oder ein Gerät unter Spannung steht. Dies ist bereits der Fall, wenn ein Gerät über das Kabel mit der Steckdose verbunden ist. Wird es in Betrieb gesetzt, fliesst Strom, sodass nun zusätzlich zum elektrischen auch ein magnetisches Feld auftritt. Da unser Stromnetz mit Wechselstrom mit einer Frequenz von 50 Hertz (Hz) betrieben wird, handelt es sich bei den elektrischen und magnetischen Feldern ebenfalls um 50-Hz-Wechselfelder. Elektrische und magnetische Felder haben zum Teil vergleichbare Eigenschaften. Gemeinsam ist ihnen zum Beispiel, dass sie mit zunehmendem Abstand von der Quelle rasch schwächer werden. Unterschiedlich sind dagegen die Möglichkeiten zur Abschirmung. Während sich das elektrische Feld gut abschirmen lässt, durchdringt das Magnetfeld nahezu alle Materialien ungehindert. Einzig spezielle Metalllegierungen oder dicke Aluminiumbleche vermögen Magnetfelder teilweise abzuschwächen.

Dreiphasenwechselstrom

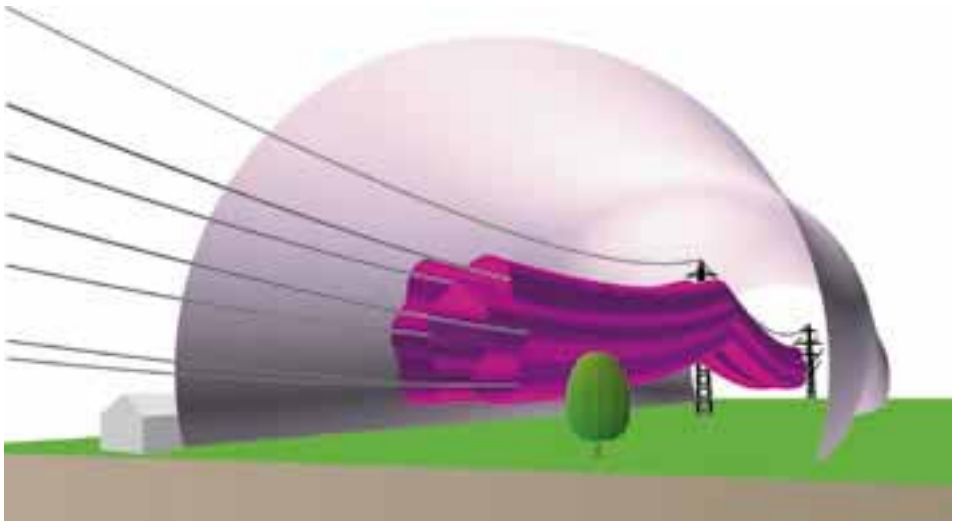
Das 50-Hz-Stromnetz wird mit Dreiphasenwechselstrom oder Drehstrom betrieben. Dabei bilden jeweils drei Phasenleiter einen Leitungsstrang. Die Wechselströme in den einzelnen Leitern sind zeitlich um den Drittel einer Schwingungsperiode verschoben – sie haben verschiedene Phasenlagen. Es gibt sechs verschiedene Kombinationsmöglichkeiten, um die mit R, S und T bezeichneten Phasen an die drei Phasenleiter eines Leitungsstranges anzuschliessen. Solange sich kein zweiter Leitungsstrang in der Nähe befindet, erzeugen alle sechs Kombinationen ein gleich starkes Magnetfeld. Sobald jedoch zwei Leitungsstränge näher beieinander sind, können sich die Magnetfelder der einzelnen Stränge gegenseitig verstärken oder abschwächen. Dies hängt davon ab, wie die Phasenbelegung des zweiten Stranges in Relation zum ersten vorgenommen wird.



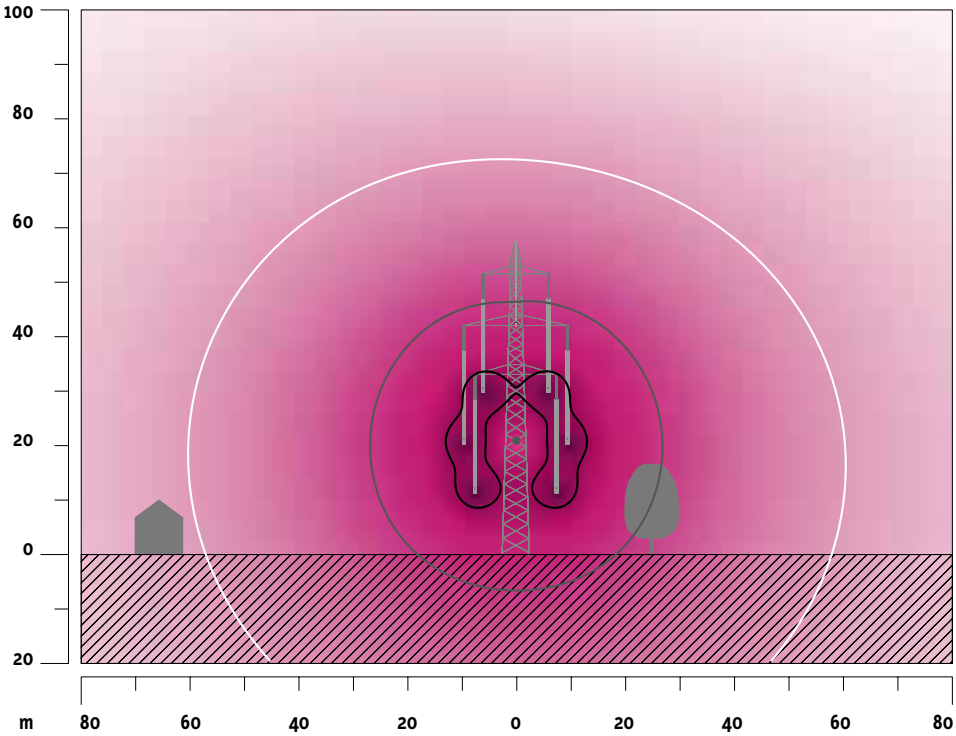
Beim Dreiphasenwechselstrom sind die Ströme in den drei Leitern zeitlich jeweils um den Drittel einer Schwingungsperiode verschoben. Die verschiedenen Phasen werden mit R, S und T bezeichnet.

Magnetfelder von Freileitungen

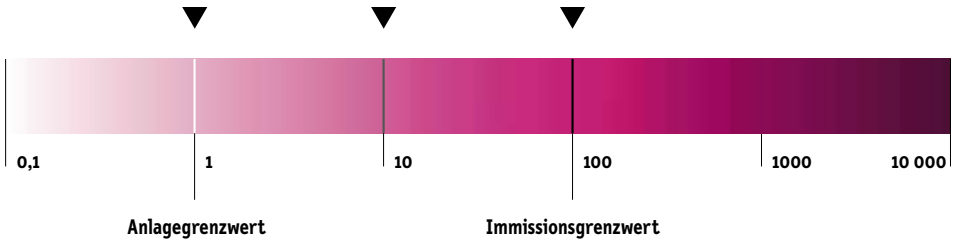
Die Stärke eines Magnetfeldes wird in Mikrotesla (µT) angegeben. Je grösser die Stromstärke und je weiter die Abstände zwischen den Strom führenden Leiterseilen, umso grösser ist die räumliche Ausdehnung des Magnetfeldes einer Hochspannungsleitung. In der Mitte zwischen zwei Masten, wo die Leiter am tiefsten hängen, treten in Bodennähe die stärksten Belastungen auf. Sie variieren je nach Bauart der Leitung und Stromstärke. Mit zunehmender Distanz von der Leitung nimmt das Magnetfeld ab. Deshalb ist es umso schwächer, je höher über dem Boden die Leiter angebracht sind. Bei Leitungen mit mehreren Strängen oder bei einem parallelen Verlauf von Hochspannungsleitungen können sich die Magnetfelder der einzelnen Stränge gegenseitig verstärken oder abschwächen. Mit einer Optimierung der Phasenbelegung lässt sich die Feldbelastung vermindern.
Gebäudemauern schirmen Magnetfelder praktisch nicht ab. Bis in eine Entfernung von 150 bis 200 m können 380-kV-Freileitungen die Magnetfeldbelastung in benachbarten Häusern deshalb erhöhen. Weiter weg ist eine normale Hintergrundbelastung vorhanden, die in Wohnungen mit Anschluss ans Elektrizitätsnetz rund 0,02 bis 0,04 µT beträgt. In der Nähe von elektrischen Geräten kann das Magnetfeld jedoch sehr viel stärker sein.



Perspektivische Darstellung des Magnetfeldes einer typischen 380-kV-Hochspannungsleitung mit zwei Strängen bei Volllast (1920 A). Im Umkreis der sechs Strom führenden Leiterseile tritt die stärkste Belastung auf. Sie beträgt innerhalb der roten Schläuche mehr als 100 Mikrotesla (µT) und bei der Hülle des grossen Tunnels noch 1 µT.



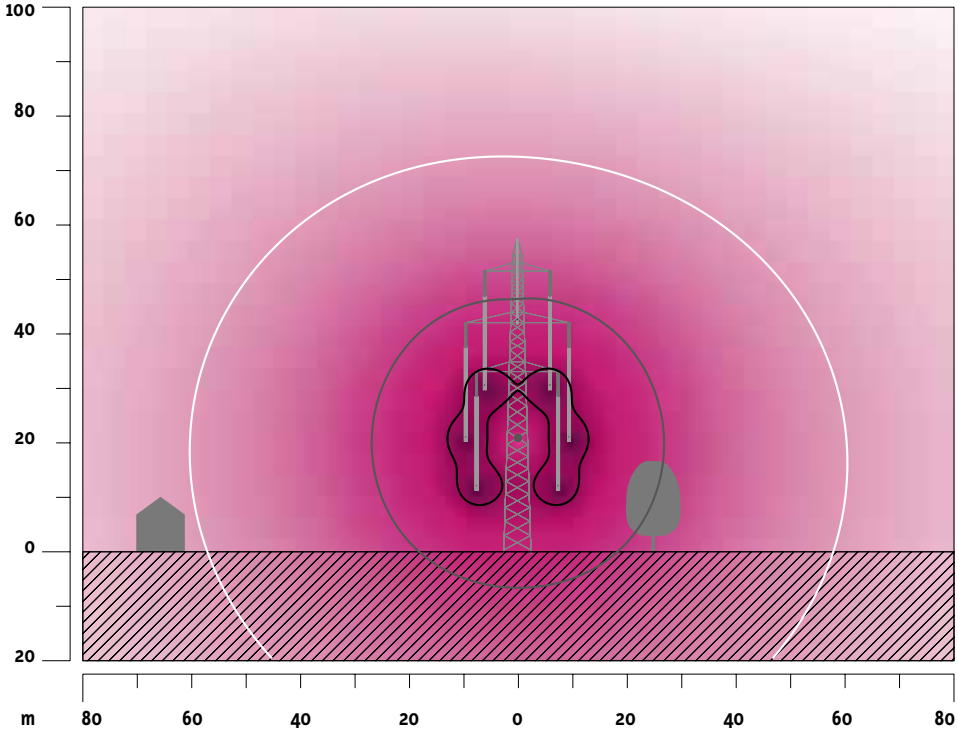
Schnitt durch das Magnetfeld der oben dargestellten Hochspannungsleitung in der Mitte zwischen zwei Masten, wo die Leiterseile am tiefsten hängen. Die Belastung nimmt mit zunehmendem Abstand von der Leitung ab und wird durch Gebäudemauern, Bäume oder den Erdboden nicht beeinflusst. Die Bedeutung der ausgezogenen Linien ist in der Farbskala unten dargestellt.



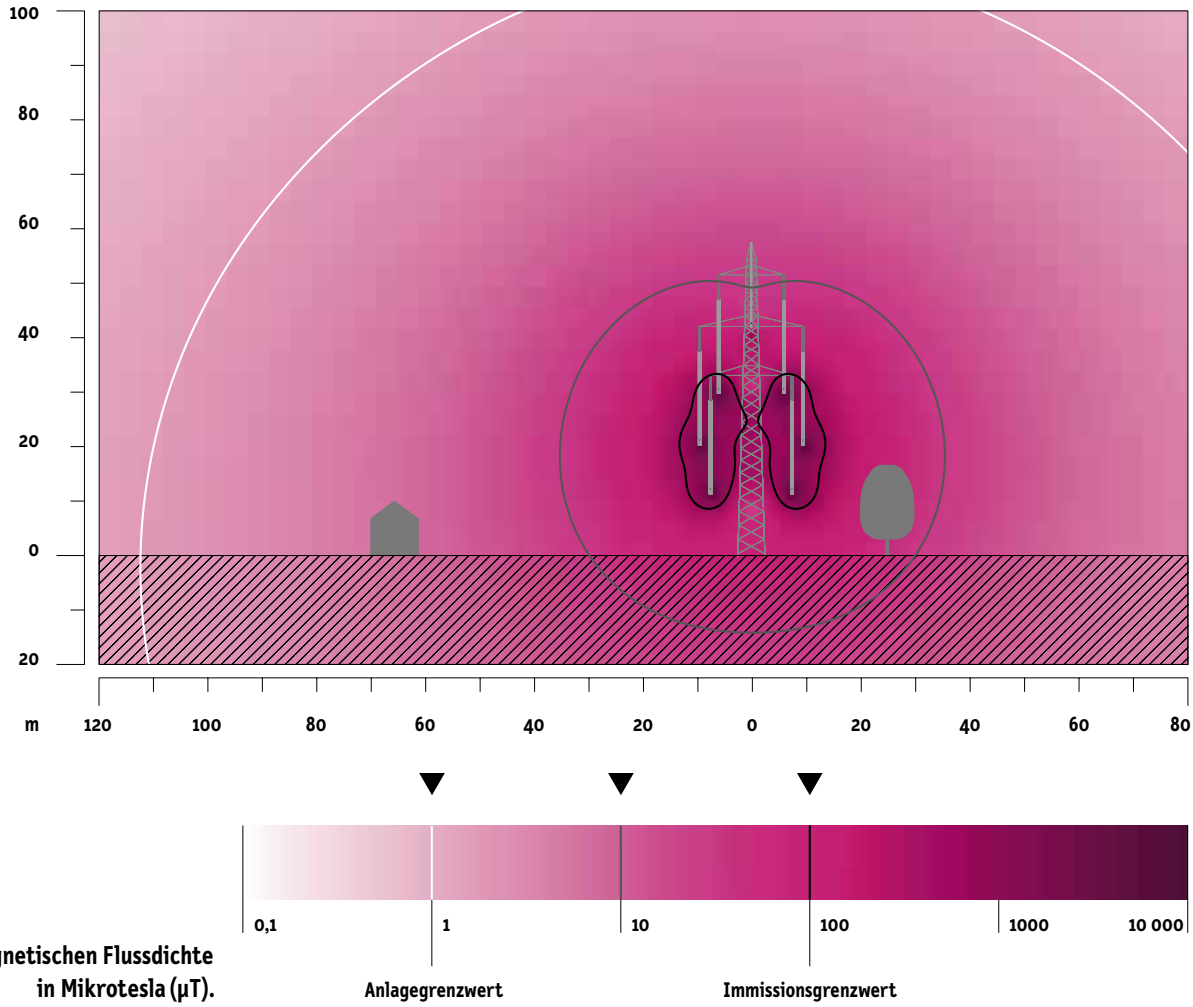
Skala der magnetischen Flussdichte in Mikrotesla (µT).

Reduktion des Magnetfeldes durch Phasenoptimierung

Im Unterschied zum elektrischen Feld lässt sich das Magnetfeld nur mit grossem Aufwand abschirmen. Die beste Möglichkeit zur Begrenzung seiner Ausdehnung besteht in der günstigen Anordnung der Leiterseile sowie in einer Phasenoptimierung. Die in den verschiedenen Leiterseilen einer Hochspannungsleitung fliessenden Wechselströme weisen zeitlich versetzte Schwingungen auf – sie haben verschiedene Phasenlagen. Je nachdem, wie die drei Phasen an den Enden einer Leitung an die Leiterseile angeschlossen sind, hat das Magnetfeld eine grössere oder kleinere räumliche Ausdehnung. Bei einer Phasenoptimierung wird versucht, die Leiterseile elektrisch so anzuschliessen, dass die räumliche Ausdehnung des Magnetfeldes minimiert wird. Dazu dienen Simulationsprogramme, die anhand der Leiteranordnung sowie der hauptsächlich vorherrschenden Lastflussrichtungen die am besten geeignete Phasenbelegung berechnen.



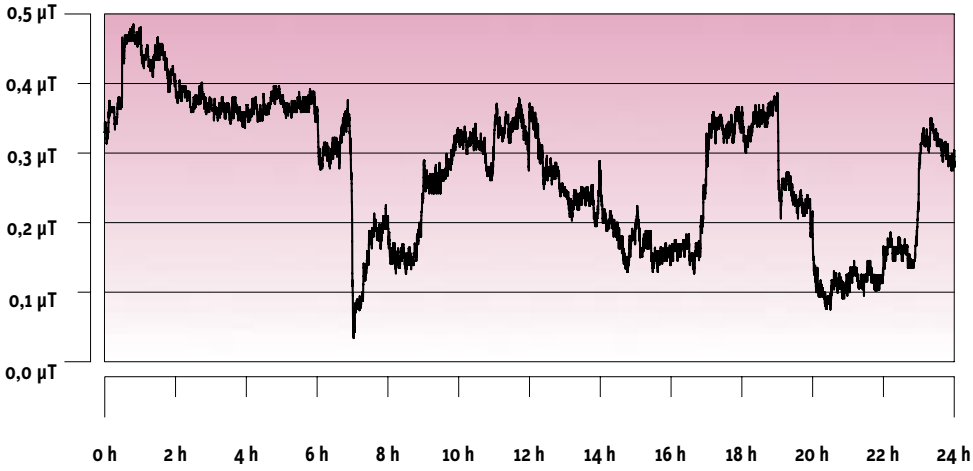
Durch eine günstige Anordnung der Leiterseile und die Optimierung der Phasenbelegung lässt sich die Ausdehnung des Magnetfeldes von Freileitungen deutlich reduzieren. Die Abbildung oben zeigt das Magnetfeld einer zweisträngigen 380-kV-Hochspannungsleitung mit optimierter Phasenbelegung. Unten ist die gleiche Leitung mit der ungünstigsten Phasenbelegung dargestellt. Die Bedeutung der ausgezogenen Linien ist in der Farbskala dargestellt.



Skala der magnetischen Flussdichte in Mikrotesla (µT).

Zeitlicher Verlauf des Magnetfeldes bei einer Hochspannungsleitung

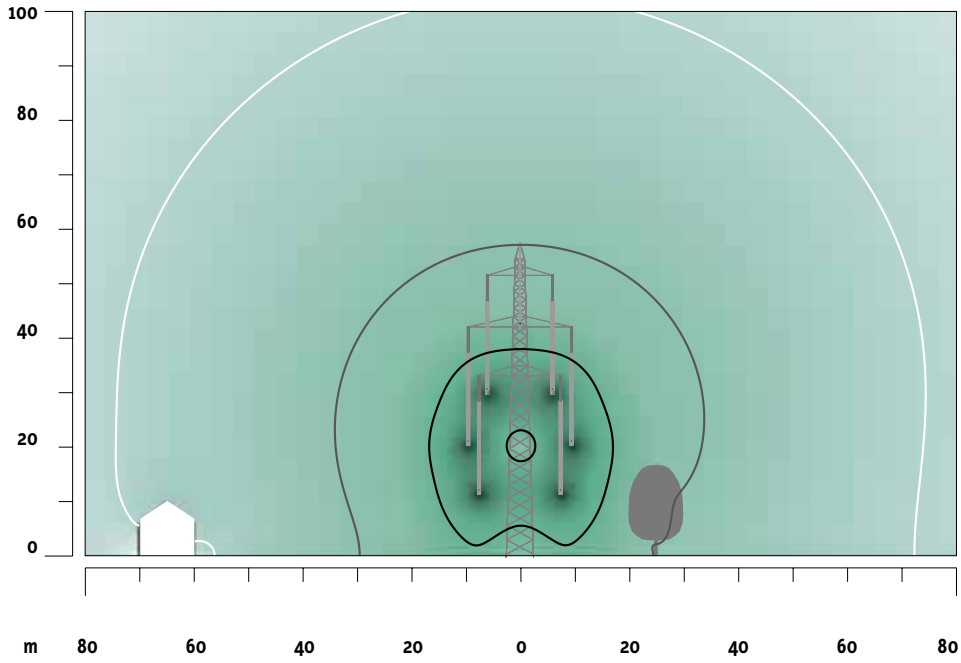
Das Magnetfeld hängt von der Stromstärke und somit vom jeweiligen Elektrizitätsverbrauch in den Haushalten und Betrieben ab. Der zeitliche Verlauf der Magnetfeldbelastung in der Umgebung einer Hochspannungsleitung widerspiegelt somit den je nach Tages- und Jahreszeit schwankenden Stromkonsum.
Im Gegensatz zur Stromstärke bleibt die Spannung praktisch konstant. Dies gilt auch für das elektrische Feld einer Hochspannungsleitung, welches sich proportional zur Spannung verhält.



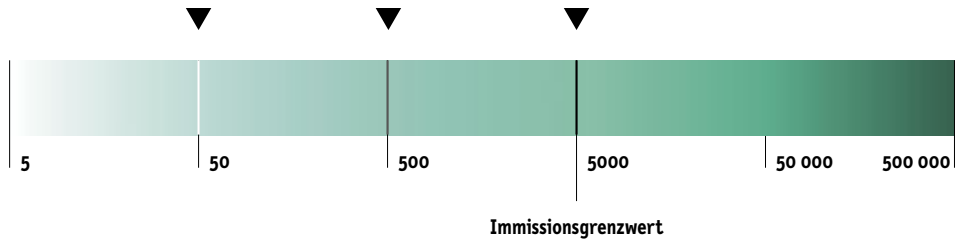
Beispiel für den zeitlichen Verlauf des Magnetfeldes in der Nähe einer 220-kV-Hochspannungsleitung während 24 Stunden an einem Werktag im Januar. Das Magnetfeld schwankt je nachdem, wie grosse Ströme die beiden Leitungsstränge führen.

Elektrische Felder von Freileitungen

Die Stärke des elektrischen Feldes wird in Volt pro Meter (V/m) gemessen. Sie hängt im Wesentlichen von der Spannung und vom Abstand zum elektrischen Leiter ab. Unter einer 380-kV-Hochspannungsleitung kann die elektrische Feldstärke in Bodennähe bis zu 5000 V/m betragen. Je tiefer die Spannung, desto geringer ist auch die Feldstärke. So misst man unter einer 220-kV-Leitung bis zu 3000 V/m, bei 110-kV-Leitungen maximal 700 V/m und unter einer 50-kV-Leitung bis zu 400 V/m. Die elektrische Feldstärke nimmt mit zunehmendem Abstand von den Leiterseilen ab, wie die Abbildung zeigt.
Schon durch schwach leitfähige Materialien wie Bäume, Sträucher oder Häuser wird das elektrische Feld verzerrt und abgeschwächt. Die Leitfähigkeit der Baustoffe von Gebäuden ist meistens ausreichend, um ein von aussen wirkendes elektrisches Feld im Innern um 90 Prozent oder mehr abzuschwächen.



Schnitt durch das elektrische Feld einer 380-kV-Hochspannungsleitung mit zwei Strängen in der Mitte zwischen zwei Masten, wo die Leiterseile am tiefsten hängen und den minimal zulässigen Abstand zum Boden aufweisen. Direkt unter der Leitung wird der Immissionsgrenzwert von 5000 Volt pro Meter gerade noch eingehalten. Gebäude, Bäume oder der Erdboden verzerren elektrische Felder und schwächen sie ab. In Wohnhäusern sind die Belastungen durch Freileitungen deshalb praktisch zu vernachlässigen. Die Bedeutung der ausgezogenen Linien ist in der Farbskala unten dargestellt.

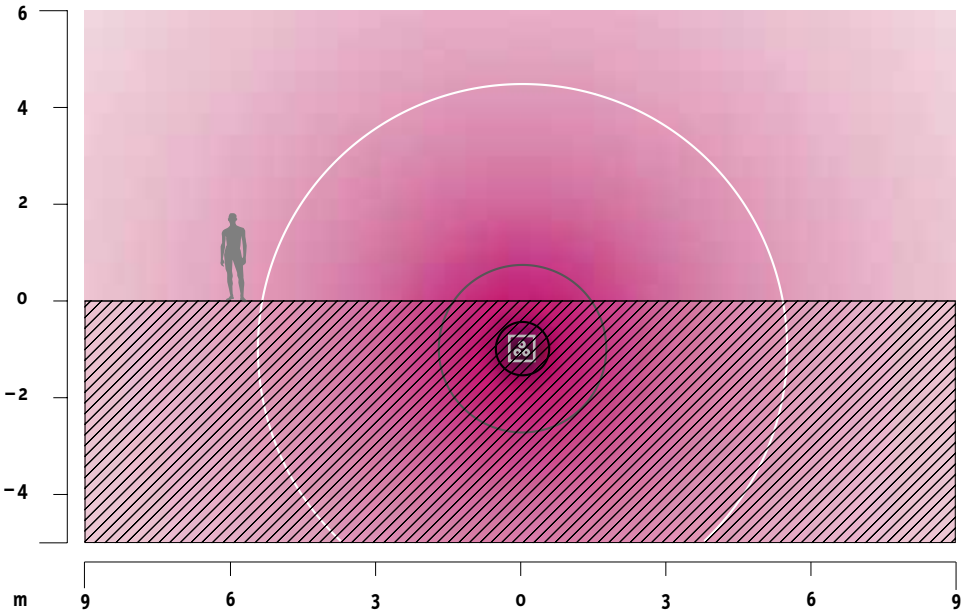


Skala der elektrischen Feldstärke in Volt pro Meter (V/m).

Kleinräumigere Magnetfelder bei Kabelleitungen

Während der grossräumige Stromtransport hauptsächlich über Freileitungen erfolgt, geschieht die lokale Verteilung des Stroms grösstenteils über erdverlegte Kabelleitungen.
Bei Freileitungen wirkt die Luft zwischen den Leitersträngen als Isolation. Damit es nicht zu einem Stromüberschlag kommen kann, müssen die Leiter einen gewissen Mindestabstand aufweisen. Bei Kabelleitungen sind die Strom führenden Leiter von einem sehr guten Isolationsmaterial umgeben und können deshalb nahe beieinander liegen, was die räumliche Ausdehnung des Magnetfeldes reduziert.
Im Vergleich zu einer Freileitung hat das Magnetfeld einer Kabelleitung bei gleichem Strom somit eine deutlich kleinere räumliche Ausdehnung. Unmittelbar über einem Kabeltrassee kann die Belastung zwar gleich gross sein wie direkt unter einer Freileitung. Sie nimmt mit zunehmendem Abstand jedoch schneller ab als bei Freileitungen.
Im Gegensatz zum Magnetfeld wird das elektrische Feld durch die Kabelschirme und das Erdreich vollständig abgehalten. Selbst unmittelbar über der Kabelleitung ist deshalb kein elektrisches Feld messbar.
Heute ist es technisch möglich, auch Hochspannungsleitungen von über 50 kV in den Boden zu verlegen. Solche Lösungen kosten jedoch deutlich mehr als Freileitungen. Zudem sind Reparaturen von Schäden aufwändiger und dauern länger. Aus diesen Gründen bevorzugen die Stromversorgungsunternehmen Freileitungen.

Perspektivische Darstellung einer erdverlegten Kabelleitung mit drei Leitern in getrennten, einbetonierten Kunststoffrohren.



Schnitt durch das Magnetfeld einer erdverlegten Kabelleitung. Hier befindet sich der Rohrblock 0,8 Meter unter der Erdoberfläche. Weil die je 745 A Strom führenden Leiter nahe beieinander liegen, ist die räumliche Ausdehnung des Magnetfeldes deutlich kleiner als bei Freileitungen, und die Belastung nimmt mit zunehmendem Abstand auch schneller ab.

Vorsorgevorschriften der NISV

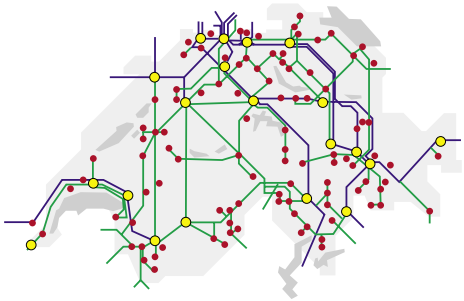
Die in der NISV festgelegten vorsorglichen Emissionsbegrenzungen für Hochspannungsleitungen sind unterschiedlich, je nachdem, ob es sich um neue, geänderte oder alte Anlagen handelt.
Neue Anlagen: Neu erstellte oder auf dem bisherigen Trassee ersetzte Hochspannungsleitungen müssen an Orten mit empfindlicher Nutzung – wie etwa Wohnungen – den Anlagegrenzwert von 1 Mikrotesla (µT) einhalten. Dieser Wert gilt für die volle Auslastung der Leitung. Da der Stromfluss zeitlich variiert und sein Maximum nur gelegentlich erreicht, liegt die durchschnittliche Magnetfeldbelastung bei Einhaltung des Anlagegrenzwerts deutlich unter 1 µT. In Ausnahmefällen können die Behörden eine Überschreitung dieses Grenzwerts bewilligen.
Änderung einer Anlage: Unter diesen Begriff fallen alle Änderungen der Leiteranordnung, der Phasenbelegung oder des Betriebszustands einer bestehenden Hochspannungsleitung. An Orten mit empfindlicher Nutzung, an denen der Anlagegrenzwert von 1 µT bereits vor der Änderung überschritten war, darf das Magnetfeld nicht noch weiter zunehmen. An allen übrigen Orten mit empfindlicher Nutzung muss der Anlagegrenzwert eingehalten sein. Auch hier können die Anforderungen in Ausnahmefällen gelockert werden.

220-kV-Freileitung bei Laax GR.

Alte Anlagen: Wenn solche Anlagen den Anlagegrenzwert an Orten mit empfindlicher Nutzung überschreiten, muss die Phasenbelegung optimiert werden. Darüber hinaus bestehen keine weiteren Anforderungen. Hält eine Leitung den Anlagegrenzwert auch nach erfolgter Phasenoptimierung nicht ein, so wird dies toleriert.

Art der Leitung	Abstand zur Einhaltung des Anlaggrenzwerts von 1 µT
380-kV-Freileitung	60 – 80 m
220-kV-Freileitung	40 – 55 m
110-kV-Freileitung	20 – 30 m
50-kV-Freileitung	15 – 25 m
110-kV-Kabelleitung	3 – 6 m

Diese Angaben für den direkten Abstand zu den Leitern gelten bei optimierter Phasenbelegung. Je höher die Leiter hängen, desto kürzer ist die seitliche Mindestdistanz zur Einhaltung des Anlagegrenzwerts.

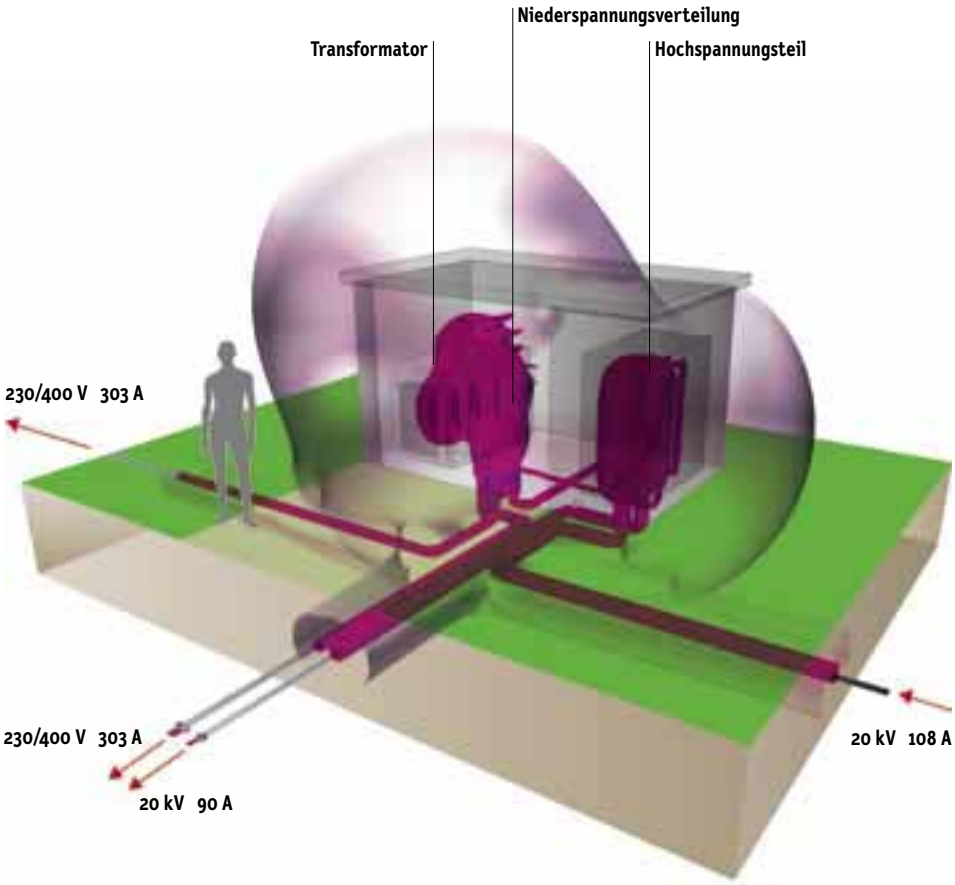


Das Netz der Hochspannungsleitungen in der Schweiz mit 380 kV (blau) und 220 kV (grün).

Magnetfeld einer Transformatorenstation

Transformatoren erhöhen oder reduzieren die elektrische Spannung. Sie gelangen in Kraftwerken, Unterwerken, Wohnquartieren und Industriegebieten zur Anwendung. Die Trafostationen in Dörfern und städtischen Quartieren werden vom regionalen Stromverteilnetz gespiesen. Sie wandeln dessen Spannung von 6000 bis 30 000 V auf die im Haushalt benötigten 230 und 400 V um. Eine einfache Transformatorenstation besteht aus Hochspannungsteil, Transformator und Niederspannungsverteilung. Die Niederspannungsverteilung selbst und ihre Verbindung mit dem Transformator erzeugen die stärksten Magnetfelder. Dies hängt damit zusammen, dass die Stromstärke hier viel grösser ist als auf der Hochspannungsseite. Zudem erhöht die räumliche Auftrennung der einzelnen Stromleiter in der Niederspannungsverteilung die Magnetfelder nochmals.
Da es eine grosse Vielfalt an Transformatorenstationen gibt, sind allgemeingültige Aussagen zu den von ihnen verursachten Magnetfeldern kaum möglich.

Neben Hochspannungsleitungen erzeugen auch Unterwerke innerhalb der Umzäunung relativ starke Magnetfelder.



Perspektivische Darstellung des Magnetfeldes einer begehbaren Transformatorenstation bei Volllast (630 kVA). Bei der dunkelroten Hülle beträgt das Magnetfeld 100 µT, bei der hellen Hülle noch 1 µT. Die dargestellte Transformatorenstation ist günstig konzipiert und mit optimierten Komponenten bestückt. Bei weniger günstig aufgebauten Trafostationen kann das Magnetfeld eine deutlich grössere räumliche Ausdehnung haben.

In den meisten Wohnungen wird die Feldbelastung nicht durch externe Emissionsquellen geprägt. Hauptursache des Elektrosmogs sind hier vielmehr die im eigenen Haushalt betriebenen Elektrogeräte. Damit haben es die Bewohnerinnen und Bewohner in der Hand, ihre Belastung mit einfachen Massnahmen vorbeugend zu reduzieren. Zum Schutz der Gesundheit sollten sie vor allem permanent betriebene Geräte nicht in der Nähe von Orten platzieren, wo sich Personen stundenlang aufhalten.

Die eigenen Elektrogeräte sind meistens die grösste Belastungsquelle

Inhalt

Quellen von Elektrosmog im Haushalt > S 29

Erhöhte Belastung im Nahbereich von Elektrogeräten > S 29

Problematik von Geräten im Dauerbetrieb > S 29

Vorsorgliche Verminderung von Elektrosmog > S 30

Vorschriften für neue Hausinstallationen > S 30

Keine Grenzwerte für elektrische Geräte > S 30

Mikrowellenöfen > S 30

Strombetriebene Geräte in Bad und Haushalt > S 31

Küchengeräte > S 31

Weniger Elektrosmog im Schlafzimmer > S 32

Bildschirme > S 32

Beleuchtung > S 33

Quellen von Elektrosmog im Haushalt

Auch in der eigenen Wohnung können wir Elektrosmog ausgesetzt sein, der von aussen einwirkt – so zum Beispiel von nahe gelegenen Hochspannungsleitungen, Transformatorenstationen, Eisenbahnlinien oder Mobilfunkanlagen. In den meisten Fällen überwiegt jedoch der hausgemachte Elektrosmog. Dabei handelt es sich um folgende Emissionen:

– Niederfrequente elektrische und magnetische Felder der elektrischen Hausinstallationen, also der fest installierten Verteil- und Sicherungskästen, Stromleitungen, Steckdosen, sowie von Verlängerungskabeln;
– Niederfrequente Felder von Beleuchtungen oder elektrischen Geräten;
– Hochfrequente elektromagnetische Strahlung, die von Schnurlostelefonen oder drahtlosen Netzwerken für Computer erzeugt wird (siehe S. 52).

Erhöhte Belastung im Nahbereich von Elektrogeräten

In Wohnhäusern mit Anschluss an das Elektrizitätsnetz beträgt die typische Hintergrundbelastung durch das Magnetfeld der Stromversorgung 0,02 bis 0,04 Mikrotesla (µT). Dies gilt für die grosse Mehrzahl der Gebäude, welche ausserhalb des direkten Einflussbereichs von grossräumig wirkenden Emissionsquellen wie Hochspannungsleitungen, Eisenbahn-Fahrleitungen oder Trafostationen liegen.
Diese Immissionen werden in der Regel überlagert durch die Magnetfelder der elektrischen Geräte im Haushalt. In deren unmittelbaren Nähe kann die Belastung deutlich erhöht sein. Starke Magnetfelder erzeugen insbesondere folgende Quellen:

– Wärme erzeugende Geräte mit grossem Stromverbrauch wie Kochherd, Boiler, Haarföhn oder Bügeleisen;
– Geräte mit Magnetspulen oder einem Transformator wie Fernseher, Niedervolt-Halogenleuchten oder Radiowecker;
– Geräte mit einem elektrischen Motor wie Bohrmaschinen, Küchenmixer oder Staubsauger.

Bei einem Haarföhn zum Beispiel können unmittelbar an der Gehäuseoberfläche Magnetfelder von über 100 µT auftreten. Sie werden aber mit zunehmendem Abstand rasch kleiner. So beträgt das Magnetfeld beim Föhn in 30 cm Distanz je nach Gerät noch zwischen 0,01 und 7 µT und in 1 m Entfernung 0,01 bis 0,3 µT. Ähnlich sind die Verhältnisse bei einem elektrischen Kochherd: Macht dessen Magnetfeld in nächster Nähe zwischen 1 und 50 µT aus, so schwächt es sich in 30 cm Abstand auf 0,15 bis 8 µT ab und beträgt in 1 m Distanz noch rund 0,01 bis 0,04 µT.

Problematik von Geräten im Dauerbetrieb

In der Regel sind wir den Belastungen durch solche Geräte nur kurzfristig ausgesetzt, weil sie nicht ständig im Einsatz stehen. Anders verhält es sich jedoch mit dauernd betriebenen Elektrogeräten wie zum Beispiel einem Radiowecker. Sind diese nahe an Orten platziert, wo man sich während mehrerer Stunden täglich aufhält, so kann eine Langzeitbelastung entstehen. Solche Orte sind zum Beispiel das Bett oder das Sofa. Durch einen genügenden Abstand zu ständig eingeschalteten Geräten lässt sich die Belastung deutlich reduzieren. Beim Radiowecker reicht eine Entfernung von rund 1 m, bis sich sein Magnetfeld nicht mehr von der Hintergrundbelastung abhebt. Da Magnetfelder auch massiv gebaute Wände nahezu ungehindert durchdringen, ist bei der Standortwahl von elektrischen Geräten im Dauerbetrieb auch die Situation in den Nachbarzimmern zu berücksichtigen.

Vorsorgliche Verminderung von Elektrosmog

Wer die Belastung in seiner Wohnung vorsorglich vermindern will, kann dies mit relativ einfachen Massnahmen tun:

- **Ausschalten und ausstecken:** Geräte im Standby-Betrieb beziehen dauernd etwas Strom und erzeugen deshalb auch ein Magnetfeld. Werden nicht benötigte Apparate ganz ausgeschaltet, so verschwindet das Magnetfeld. Wer bei längerem Nichtgebrauch zusätzlich den Netzstecker auszieht, eliminiert auch das elektrische Feld.
- **Abstand halten:** Weil die Feldbelastung mit zunehmender Distanz zur Emissionsquelle abnimmt, sollte man an bevorzugten Aufenthaltsorten genügend Abstand zu elektrischen Geräten halten. So beträgt etwa die empfohlene Mindestentfernung zum Radiowecker 1 m und zum Fernseher 2 m. Da Magnetfelder Wände fast ungehindert durchdringen, gelten diese Abstände auch für Geräte in benachbarten Räumen.
- **Elektrogeräte nicht lange am Körper betreiben:** Bei lange eingeschalteten Installationen und Geräten – wie zum Beispiel elektrischen Fussbodenheizungen – kann man besonders hohen Belastungen ausgesetzt sein. Dies gilt umso mehr, wenn sie nahe am Körper betrieben werden – wie etwa im Fall von elektrischen Heizdecken oder strombetriebenen Wasserbetten. Auch hier lässt sich die Belastung durch das Ausschalten und Ausstecken während der Nacht vermindern.

Vorschriften für neue Hausinstallationen

Die NISV legt für elektrische Hausinstallationen keinen Anlagegrenzwert im Sinn einer vorsorglichen Emissionsbegrenzung fest. Sie enthält aber technische Vorschriften für eine feldreduzierende Anordnung der Leiter und Verteilsysteme. Neuinstallationen müssen dem anerkannten Stand der Technik entsprechen. Dazu zählen insbesondere die möglichst sternförmige Anordnung der Speiseleitungen, das Vermeiden von Schlaufen in den Speiseleitungen sowie die Einrichtung der Hauptverteilsysteme in ausreichender Entfernung zu den Schlafräumen.

Keine Grenzwerte für elektrische Geräte

In der Schweiz gibt es keine rechtsverbindlichen Grenzwerte für die nichtionisierende Strahlung von elektrischen Geräten. Technische Massnahmen zur Reduktion der elektrischen und magnetischen Felder sind zwar durchaus erwünscht. Um nicht als Handelshemmnisse zu wirken, müssen sie jedoch auf internationaler Ebene beschlossen werden. Entsprechende Standards existieren zum Beispiel für Computer-Monitore mit dem bekannten TCO-Label.

Mit den Grenzwerten der NISV für Anlagen wie Hochspannungsleitungen oder Transformatorenstationen lassen sich die Intensitäten der Felder von elektrischen Geräten nicht vergleichen. Denn Elektrogeräte erzeugen sehr kleinräumige, inhomogene Felder, während die Grenzwerte der NISV für ausgedehntere Felder ausgelegt sind.

Mikrowellenöfen

Mikrowellenöfen nutzen die Wärmewirkung von hochfrequenter Strahlung mit einer Frequenz von 2,45 Gigahertz (GHz) zur Erwärmung von Speisen. Abschirmungen und Schutzvorrichtungen sorgen dafür, dass praktisch keine Strahlung aus dem Gerät austritt.

Dies lässt sich jedoch nie ganz vermeiden. Bei intakten Geräten ist die im Bereich der Sichtblende und der Ofentür austretende Leckstrahlung allerdings so gering, dass sie keine gesundheitliche Gefährdung darstellt. Ist die Türdichtung aber stark verschmutzt oder beschädigt, so kann unter Umständen mehr Leckstrahlung austreten. Wer seine Belastung durch den Mikrowellenofen vorsorglich vermindern möchte, hat folgende Möglichkeiten:

- Regelmässige Kontrolle von Türdichtungen und Gehäuse auf Beschädigungen. Beschädigte oder seit längerer Zeit eingesetzte Geräte sollten von Fachleuten überprüft und bei Bedarf ersetzt werden.
- Wahren Sie einen genügenden Abstand der Augen zum Sichtfenster, wenn das Gerät in Betrieb steht.
- Bei längerem Aufenthalt in der Nähe des eingeschalteten Mikrowellenofens ist eine Distanz von mindestens 1 m einzuhalten.

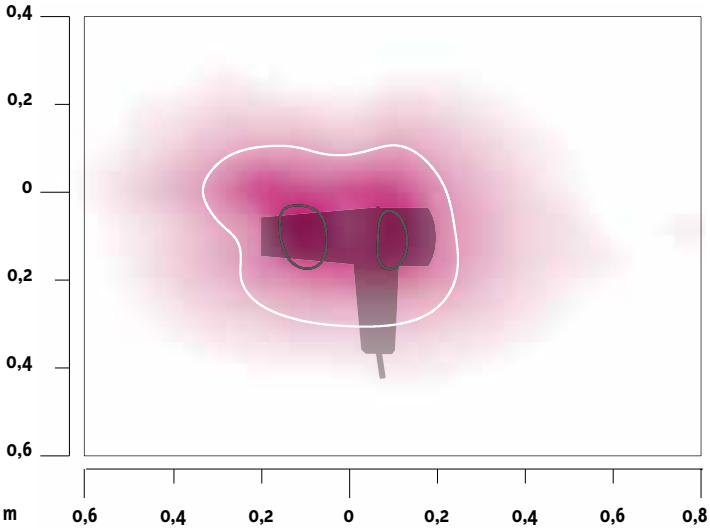
Die NIS-Verordnung gilt nur für ortsfeste Versorgungsanlagen und legt für Strom betriebene Geräte keine Grenzwerte fest. Doch auch in unmittelbarer Nähe von Haushaltapparaten können hohe Magnetfeld-Belastungen auftreten.

Strombetriebene Geräte in Bad und Haushalt

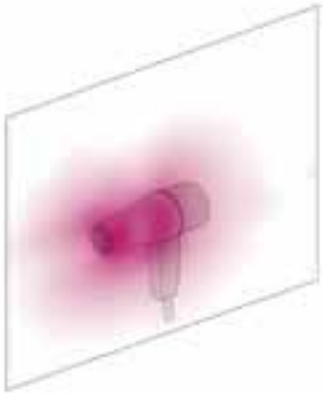
Gerät	Magnetfeld (µT) in 3 cm Abstand	in 30 cm Abstand	in 1 m Abstand
Haarföhn	6–2000	0,01–7	0,01–0,3
Elektrorasierer	15–1500	0,08–9	0,01–0,3
Bohrmaschine	400–800	2–3,5	0,08–0,2
Elektrosäge	250–1000	1–25	0,01–1
Staubsauger	200–800	2–20	0,1–2
Waschmaschine	0,08–50	0,15–3	0,01–0,15
Wäschetrockner	0,3–8	0,1–2	0,02–0,1
Bügeleisen	8–30	0,1–0,3	0,01–0,03

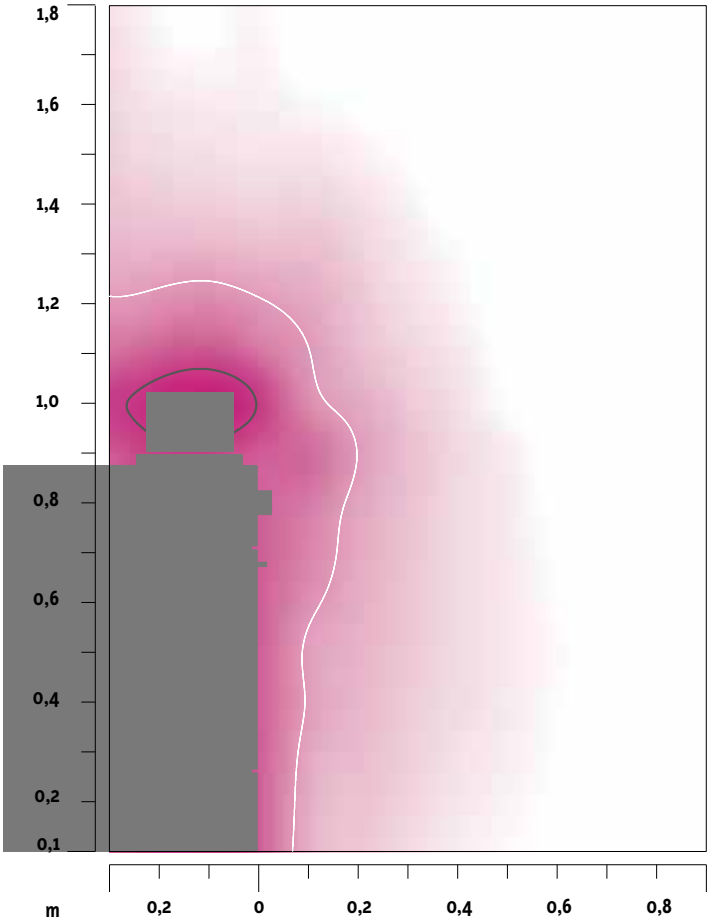
Küchengeräte

Gerät	Magnetfeld (µT) in 3 cm Abstand	in 30 cm Abstand	in 1 m Abstand
Elektroherd	1–50	0,15–8	0,01–0,04
Mikrowellenofen	40–200	4–8	0,25–0,6
Kühlschrank	0,5–2	0,01–0,3	0,01–0,04
Kaffeemaschine	1–10	0,1–0,2	0,01–0,02
Handmixer	60–700	0,6–10	0,02–0,25
Toaster	7–20	0,06–1	0,01–0,02

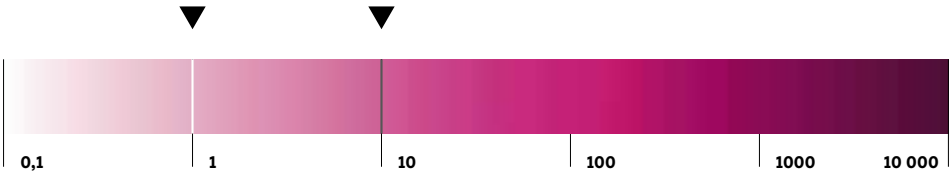


Magnetfeld eines Föhns. Unmittelbar an der Gehäuseoberfläche treten die stärksten Belastungen auf. Die Bedeutung der ausgezogenen Linien ist in der Farbskala unten dargestellt.





Wie alle Wärme produzierenden Geräte mit grossem Stromverbrauch erzeugen auch Elektroherde starke Magnetfelder. Schon in geringer Entfernung nimmt die Belastung aber rasch ab.



Skala der magnetischen Flussdichte in Mikrotesla (µT).

Weniger Elektrosmog im Schlafzimmer

Der Mensch verbringt etwa einen Drittel seines Lebens im Bett. Auf Grund der langen Aufenthaltszeit kommt der Situation im Schlafzimmer eine besondere Bedeutung zu. Sind elektrische Geräte hier ungünstig platziert, setzen wir uns entsprechend lange ihren Feldern aus. So reicht etwa das Magnetfeld eines am Kopfende aufgestellten Radioweckers weit ins Bett hinein und ist erst in 1 m Entfernung abgeklungen.
Beachten Sie folgende Empfehlungen, um die Belastung während des Schlafs möglichst zu vermindern:

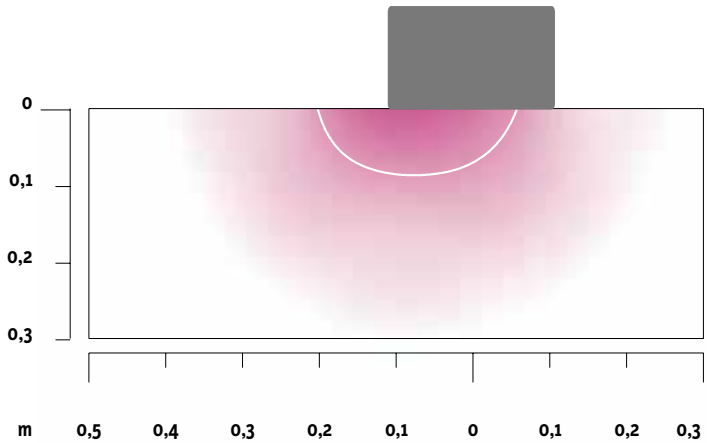
– Stellen Sie Geräte wie Computer oder Fernseher im Schlafzimmer sowie in benachbarten Räumen in einem Mindestabstand von 2 m zum Bett auf. Verzichten Sie auf den Standby-Betrieb, und schalten Sie die Apparate während der Nacht ganz aus.
– Elektrische Geräte zur Überwachung von Säuglingen und Kleinkindern sollten ebenfalls mindestens 2 m von deren Bett entfernt platziert werden.
– Netzbetriebene Radiowecker sollten nie in unmittelbarer Kopfnähe stehen. Halten Sie einen Minimalabstand von 1 m.
– Schlafen Sie nie längere Zeit auf eingeschalteten Heizkissen oder Heizdecken.
– Verlegen Sie unter dem Bett keine Verlängerungskabel.
– Stellen Sie Ihr Bett nicht in die Nähe von elektrischen Steigleitungen oder Sicherungskästen.

Bildschirme

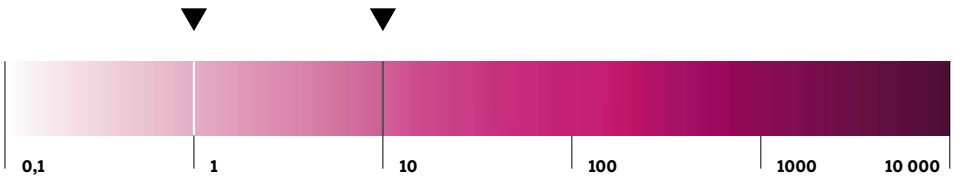
Röhrenbildschirme für Computer und Fernsehgeräte erzeugen Felder und Strahlung unterschiedlicher Art: elektrostatische Felder, niederfrequente elektrische und magnetische Felder, hochfrequente nichtionisierende Strahlung sowie schwache Röntgenstrahlung. Wer die Belastung durch Bildschirme vorsorglich verringern will, beachte folgende Empfehlungen:

– **TCO-Label:** Achten Sie beim Neukauf eines Bildschirms auf das aus Schweden stammende TCO-Label. Bezeichnungen wie TCO 99 oder TCO 03 kennzeichnen strahlungsarme Computerbildschirme.
– **Abstand halten:** Beachten Sie einen Mindestabstand von 50 cm zu Computermonitoren und eine minimale Entfernung zu Fernsehgeräten von 2 m – dies gilt auch in benachbarten Räumen.
– **Flachbildschirme erzeugen weniger Elektrosmog:** Bedingt durch die Stromversorgung erzeugen zwar auch Flachbildschirme niederfrequente elektrische und magnetische Felder. Ansonsten sind sie jedoch strahlungsfrei.

Gerät	Magnetfeld (µT)		
	in 3 cm Abstand	in 30 cm Abstand	in 1 m Abstand
Radiowecker	3–60	0,1–1	0,01–0,02
Elektrische Heizdecke	bis 30		
Fernsehapparat	2,5–50	0,04–2	0,01–0,15
Bildschirm TCO		0,2 (50 cm)	
Elektrische Fussbodenheizung		0,1–8	
Heizofen	10–180	0,15–5	0,01–0,25



Magnetfeld eines Radioweckers. Um eine Langzeitbelastung während des Schlafs zu vermeiden, sollte der Mindestabstand zwischen dem Bett und solchen permanent betriebenen Elektrogeräten mindestens einen Meter betragen. Die Bedeutung der ausgezogenen Linien ist in der Farbskala unten dargestellt.



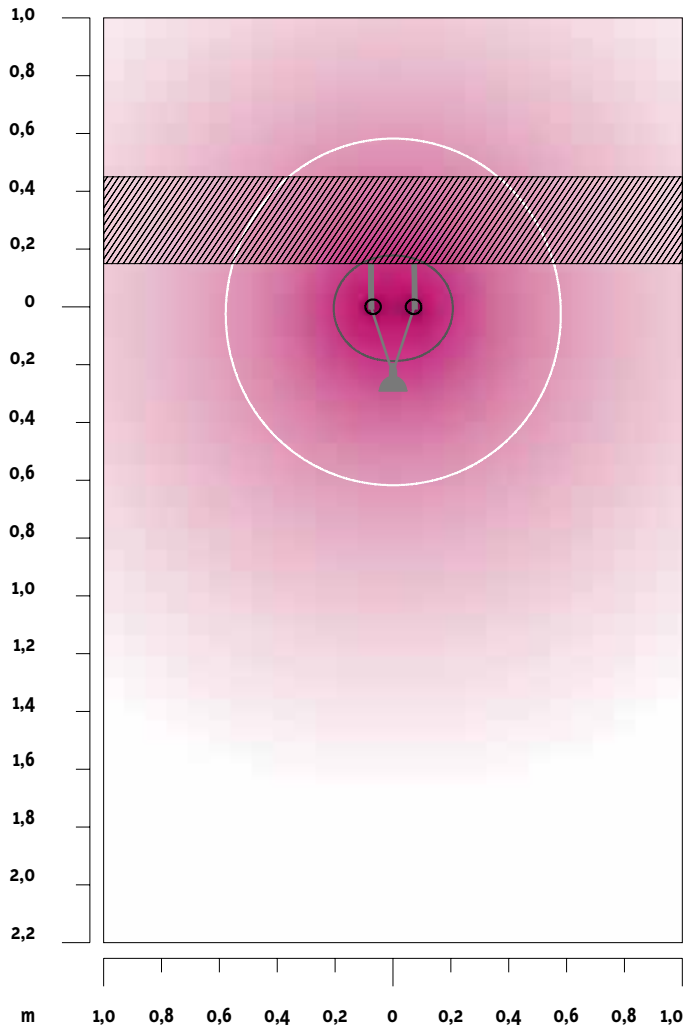
Skala der magnetischen Flussdichte in Mikrotesla (µT).

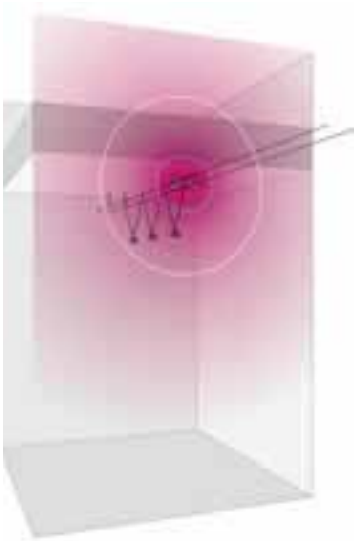
Beleuchtung

Beleuchtungssysteme wie Niedervolt-Halogenlampen verursachen relativ starke Magnetfelder. Diese stammen zum einen von den Transformatoren, welche die übliche Spannung des Stromnetzes im Haushalt von 230 V auf 12 V reduzieren, und zum andern von den stromleitenden Drähten. Um dieselbe Leistung zu erzielen, muss die Stromstärke in den Leitern der mit kleiner Spannung betriebenen Lampen grösser sein als bei konventionellen Beleuchtungen. Damit sind zwingend auch die Magnetfelder stärker. Liegen die Stromleiter zudem nicht eng beieinander, so verstärkt sich das Feld zusätzlich und ist auch im oberen Stockwerk noch messbar.
Um Ihre Belastung vorsorglich zu reduzieren, beachten Sie bei der Wahl der geeigneten Beleuchtung Folgendes:

- **Glühlampen:** Sie erzeugen die kleinsten Magnetfelder von allen Beleuchtungen. Wegen ihrer schlechten Lichtausbeute verbrauchen sie aber wesentlich mehr Strom als Energiesparlampen.
- **Energiesparlampen:** Wegen des Vorschaltgeräts im Sockel der Lampen verursachen sie etwas stärkere Felder als Glühbirnen. Im Abstand von 50 cm sind die Felder jedoch bereits weitgehend abgeklungen. Bedingt durch ihren geringeren Stromverbrauch und die längere Lebensdauer sind Energiesparlampen ökologischer als Glühbirnen.
- **Leuchtstoffröhren:** Da ihre Felder stärker sind als jene von Energiesparlampen, empfiehlt sich ein Abstand von mindestens 1 m.
- **Halogenbeleuchtungen im Niedervolt-Bereich:** Diese Systeme erzeugen die stärksten Magnetfelder aller Beleuchtungen. Es empfiehlt sich, Transformatoren und Drähte in einem Mindestabstand von 2 m zu häufigen Aufenthaltsorten zu installieren.

Gerät	Magnetfeld (µT)		
	in 3 cm Abstand	in 30 cm Abstand	in 1 m Abstand
Glühlampe (60 W)	0,1 – 0,2		
Energiesparlampe 15 W (mit elektronischem Vorschaltgerät)	1	0,1	
Halogen-Schreibtischlampe	25 – 80	0,5 – 2	bis 0,15
Niedervolt-Halogenbeleuchtung			bis 0,3





Niedervolt-Halogenbeleuchtungssysteme erzeugen die stärksten Magnetfelder aller elektrischen Beleuchtungen. Sind sie an der Decke montiert, können sie auch in den darüber liegenden Räumen zu recht hohen Belastungen führen.

Inhalt

Elektrische Felder von Fahrleitungen > S 35

Starke zeitliche Schwankungen des Magnetfelds > S 35

Besonderheiten der Bahnstromversorgung > S 35

Den Rückstrom bündeln > S 36

Vorsorgevorschriften der NISV > S 36

Immissionen im Zug > S 37

Das Auto ist keine Alternative > S 37

Gleichstrombahnen > S 37

Die Magnetfelder von Fahrleitungsanlagen unterliegen grossen zeitlichen Schwankungen. Lokomotiven, die beschleunigen oder bremsen, erhöhen den Stromfluss, was zu einer Verstärkung des Magnetfeldes führt. Je mehr Züge auf einer Linie verkehren, desto grösser sind die Belastungen.

Stark schwankende Magnetfelder entlang von Bahnlinien

Elektrische Felder von Fahrleitungen

Die meisten Bahnlinien in der Schweiz werden mit Wechselstrom einer Frequenz von 16,7 Hertz (Hz) betrieben. Deshalb weisen die elektrischen und magnetischen Felder entlang von Eisenbahn-Fahrleitungen ebenfalls diese Frequenz auf.
Die Stärke des elektrischen Feldes beträgt direkt unter dem Fahrdraht – zum Beispiel auf einem Bahnübergang – rund 1500 Volt pro Meter (V/m) und nimmt mit zunehmendem Abstand ab. Der in der Schweiz geltende Immissionsgrenzwert für elektrische 16,7-Hz-Felder von 10 000 V/m ist also sicher eingehalten. Da die Spannung in der Fahrleitung unabhängig vom Fahrbetrieb ziemlich konstant bleibt, ändert sich auch das elektrische Feld nicht – im Gegensatz zum Magnetfeld.

Starke zeitliche Schwankungen des Magnetfelds

Weil in den Fahrleitungen nicht immer gleich viel Strom fliesst, unterliegen die Magnetfelder in der Umgebung von Bahnanlagen grossen zeitlichen Schwankungen. Wenn Lokomotiven und Triebwagen beschleunigen oder beim Bremsen Strom ins Netz zurückspeisen, ist der Stromfluss grösser und mit ihm auch das magnetische Feld. Auf einer ansteigenden Strecke oder beim Ziehen eines schweren Güterzugs benötigen die Lokomotiven ebenfalls mehr Strom.
Die Stromeinspeisung in die Fahrleitung erfolgt typischerweise in Abständen von 25 bis 30 km. Fährt in einem Versorgungsabschnitt zwischen zwei Einspeisepunkten kein Zug, so fliesst kein Strom. Somit tritt auch kein magnetisches Feld auf. Im dargestellten Beispiel ist dies nachts zwischen 1.00 und 4.30 Uhr der Fall. Sind jedoch Züge unterwegs, so ist das Magnetfeld entlang des ganzen Streckenabschnitts vorhanden, über den die Züge mit Strom versorgt werden. Die Feldbelastung neben der Bahnlinie variiert mit dem Verkehrsaufkommen im jeweiligen Versorgungsabschnitt, der aktuellen Position der Züge und dem schwankenden Strombedarf der Triebfahrzeuge.
Weil die Magnetfelder des allgemeinen Elektrizitätsnetzes und der Bahnversorgung eine unterschiedliche Frequenz aufweisen, lassen sich ihre Intensitäten nicht eins zu eins miteinander vergleichen. Denn je nach Frequenz treten gesundheitliche Effekte ab einer anderen Magnetfeldstärke auf. Der in der NISV festgelegte Immissionsgrenzwert zum Schutz vor kurzfristigen Wirkungen beträgt für 50-Hz-Magnetfelder 100 Mikrotesla (µT), für 16,7-Hz-Felder hingegen 300 µT.

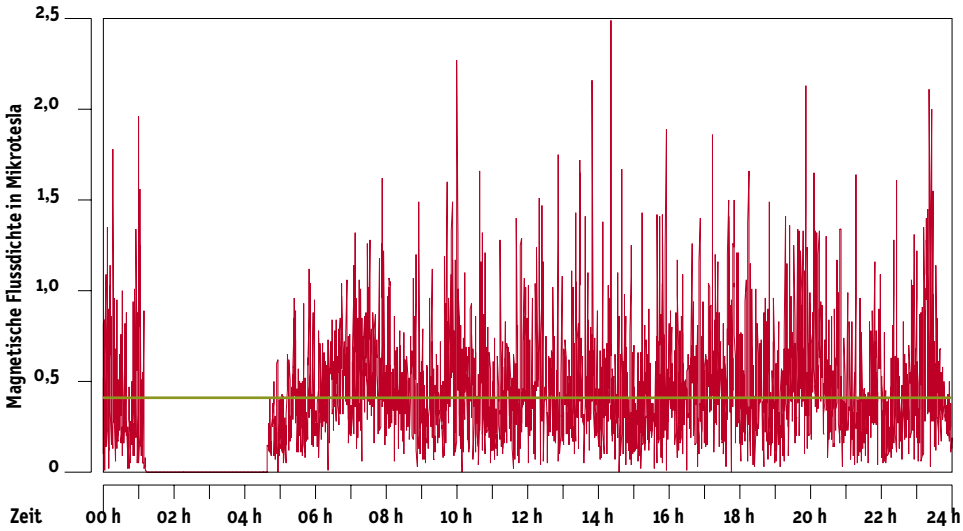
Besonderheiten der Bahnstromversorgung

So wie das allgemeine Elektrizitätsversorgungsnetz werden auch die meisten Bahnlinien in der Schweiz mit Wechselstrom betrieben. Neben dieser Gemeinsamkeit gibt es jedoch bedeutende Unterschiede, welche auch die Magnetfelder in der Umgebung von Bahnstromanlagen beeinflussen:

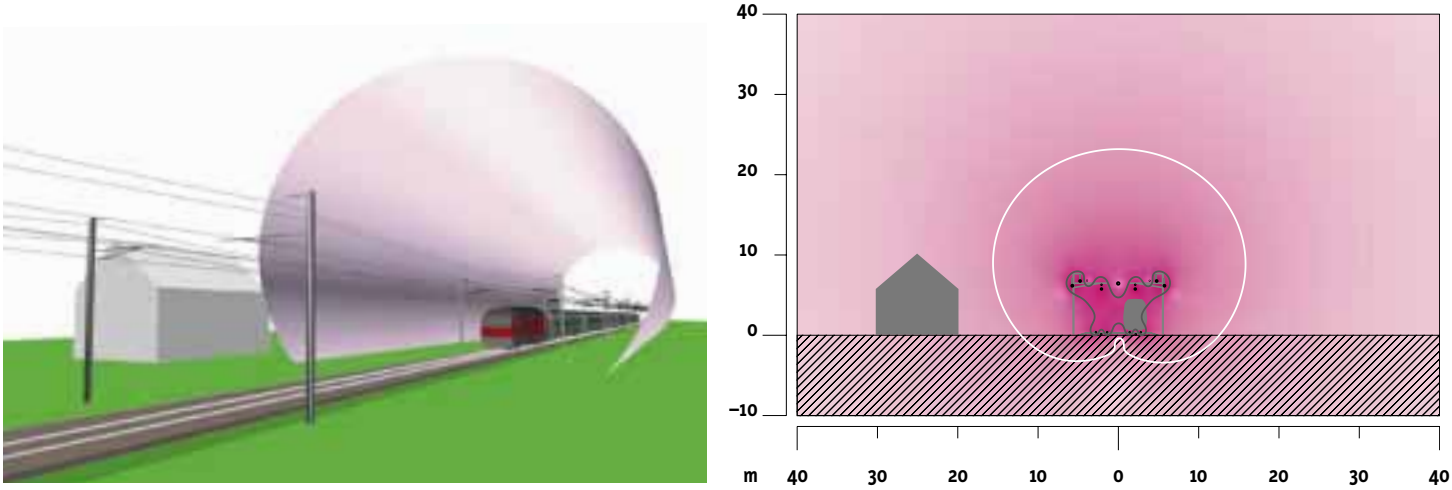
Tiefere Frequenz: Bahnstrom weist eine Frequenz von 16,7 Hertz (Hz) auf. Demgegenüber wird die normale Stromversorgung mit 50 Hz betrieben. Dieser Unterschied hat historische Gründe, denn für das reibungslose Funktionieren der ersten elektrischen Bahnmotoren war eine möglichst tiefe Frequenz von Vorteil. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts haben sich deshalb mehrere europäische Länder – darunter auch die Schweiz – nach verschiedenen Versuchen auf die seither beibehaltene Frequenz von 16,7 Hz geeinigt.
Dieser Entscheid erforderte den Bau und Betrieb eines bahneigenen Stromversorgungsnetzes. So verfügen grosse Bahnunternehmen wie die SBB über eigene Kraftwerke und Übertragungsleitungen. Zusätzlich wird aber auch 50-Hz-Wechselstrom aus dem öffentlichen Netz mit so genannten Frequenz-Umformern in 16,7 Hz umgewandelt. Von den Kraftwerken gelangt der Bahnstrom über eigene Hochspannungsleitungen auf der Spannungsebene von 132 Kilovolt (kV) zu den Unterwerken. Hier wird diese Spannung auf die von den Lokomotiven benötigte Fahrleitungsspannung von 15 kV hinuntertransformiert.

Weniger Stromleiter: Die allgemeine Stromversorgung ist als Leitungsnetz mit drei Phasen aufgebaut – hier besteht der Stromkreis aus drei Phasenleitern. Das Übertragungsnetz für den Bahnstrom kommt dagegen mit einem Hin- und einem Rückleiter aus, die beide unter Spannung stehen. Auf der Bahnlinie selbst erfolgt die Stromversorgung der Lokomotiven nur über die Fahrleitung. Als Rückleitung dienen die Schienen, das Erdseil und das Erdreich.

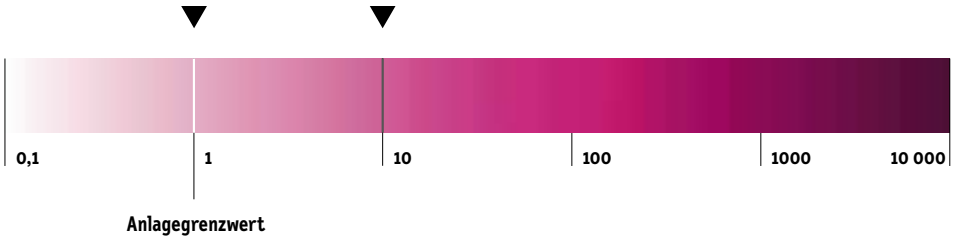
Mobile Stromverbraucher: Elektrische Geräte und Maschinen haben in der Regel einen festen Standort. Im Unterschied dazu verändern die vom Bahnstromnetz versorgten Lokomotiven ständig ihre Position. Zudem können sie beim elektrischen Bremsen sogar Strom erzeugen. Der Motor wird dabei zu einem Generator, der die Bremsenergie in Elektrizität umwandelt und in die Fahrleitung zurückspeist.



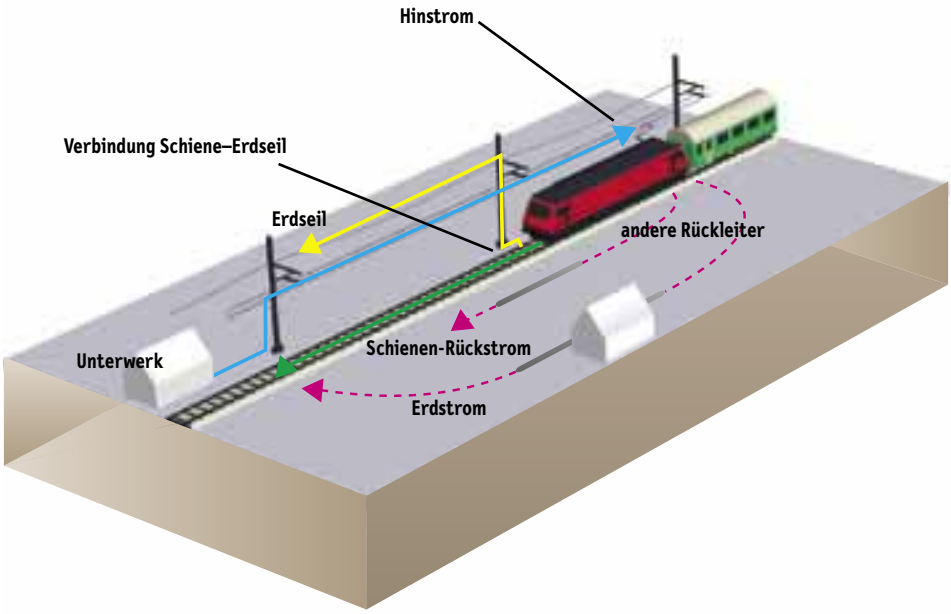
Das 16,7-Hz-Magnetfeld an der Doppelspurstrecke zwischen Luzern und Basel bei Nottwil LU, gemessen in 10 Meter Distanz zur Trasseemitte: Die Belastung schwankt je nach Verkehrsaufkommen. Wenn keine Züge fahren, bleiben auch die Immissionen aus. Der Mittelwert über 24 Stunden (grüne Linie) beträgt 0,41 Mikrotesla. Dieser ist massgebend für den Vergleich mit dem Anlagegrenzwert, welcher – ebenfalls über 24 Stunden gemittelt – 1 Mikrotesla beträgt und hier somit eingehalten ist.



Magnetfeld bei einer typischen Doppelspurstrecke. Auf der dargestellten Hüllfläche in der perspektivischen Ansicht (links) beträgt die über 24 Stunden gemittelte magnetische Flussdichte 1 Mikrotesla (µT). Der Schnitt durch das Magnetfeld senkrecht zum Bahntrassee (rechts) zeigt, wie die Belastung mit zunehmendem Abstand von der Fahrleitung abnimmt. Die graue Linie entspricht einem 24-Stunden-Mittelwert von 10 µT und die weisse Linie einem Wert von 1 µT.



Skala der magnetischen Flussdichte in Mikrotesla (µT).



Vom Unterwerk aus werden die Lokomotiven über den Fahrdraht mit Strom versorgt (blauer Pfeil). Über die Schienen (grüner Pfeil), das Erdseil (gelber Pfeil), das leitende Erdreich und andere Rückleiter im Boden (rote Pfeile) fliesst der Strom dann zurück ins Unterwerk. Bedingt durch die Distanz zwischen den Hin- und Rückströmen ist die räumliche Ausdehnung des resultierenden Magnetfeldes von Eisenbahn-Fahrleitungen relativ gross.

Den Rückstrom bündeln

Für die Intensität der Magnetfelder von Eisenbahn-Fahrleitungen ist ausserdem von Bedeutung, dass die Wege der Hin- und Rückströme relativ weit auseinander liegen. Der Hinweg führt über den Fahrdraht. Zurück fliesst der Strom zum einen über die Schienen und das Erdseil. Bedingt durch die Verbindung der Schienen mit dem Boden sucht sich ein Teil des Rückstroms seinen Weg jedoch auch durch das Erdreich oder über unterirdisch verlegte Metallrohre – wie jene der Gas- oder Wasserversorgung. Solche vagabundierenden Ströme können weite Entfernungen zurücklegen und kehren erst in der Nähe des Unterwerks wieder zum Bahntrassee zurück.
Je weiter die Hin- und Rückströme auseinander liegen, desto grösser ist – bei gleicher Stromstärke – die räumliche Ausdehnung des Magnetfeldes. Um sie zu reduzieren, ist es günstig, wenn ein möglichst grosser Anteil des Rückstroms durch das Erdseil fliesst, da dieses dem Fahrdraht am nächsten liegt.

Vorsorgevorschriften der NISV

Die in der NISV festgelegten vorsorglichen Emissionsbegrenzungen für Fahrleitungen von Wechselstrombahnen sind unterschiedlich, je nachdem, ob es sich dabei um neue, geänderte oder alte Anlagen handelt:

– **Neue Anlagen:** Darunter fallen Fahrleitungen von Neubaustrecken und Bahn-

linien, deren Trassee verschoben wird. An Orten mit empfindlicher Nutzung müssen sie den Anlagegrenzwert von 1 Mikrotesla (µT) einhalten. Dieser wird als Mittelwert über 24 Stunden gemessen. Bei einer Doppelspurstrecke zum Beispiel wird der Anlagegrenzwert in der Regel – je nach Verkehrsaufkommen – ab einer Distanz von 10 bis 25 m zur Fahrleitung eingehalten. In begründeten Fällen können die Behörden ausnahmsweise eine Überschreitung des Anlagegrenzwertes bewilligen.

– **Geänderte Anlagen:** Als Änderung im Sinne der NISV gilt der Ausbau auf mehr Spuren. An Orten mit empfindlicher Nutzung, wo der Anlagegrenzwert bereits vor dem Ausbau überschritten war, darf die Intensität der Magnetfelder nicht weiter zunehmen. An allen übrigen Orten mit empfindlicher Nutzung ist der Anlagegrenzwert einzuhalten. Auch bei geänderten Anlagen sind in Ausnahmefällen Lockerungen der Anforderungen möglich.
– **Alte Anlagen:** Unveränderte Fahrleitungen oder solche, die auf dem bestehenden Trassee erneuert werden, gelten als alte Anlagen. Sofern sie den Anlagegrenzwert an Orten mit empfindlicher Nutzung überschreiten, müssen sie mit einem – möglichst nahe beim Fahrdraht montierten – Rückleiter (Erdseil) ausgerüstet werden. Dies ist heute bereits bei den meisten Bahnstrecken der Fall. Daneben verlangt die NISV für alte Anlagen keine weiter gehenden Massnahmen.

Immissionen im Zug

Im Wageninneren von Zügen sind wir ebenfalls Magnetfeldern ausgesetzt. Diese entstehen einerseits durch die Ströme in der Fahrleitung und in den Schienen. Anderseits verursacht auch die zuginterne Stromversorgung für Licht, Heizung und die Klimaanlagen solche Felder. Die interne Stromversorgung erfolgt von der Lokomotive aus über die so genannte Zugsammelschiene – einen unter dem Wagenboden eingebauten Kabelstrang – bis zum letzten Wagen.
Messungen in einem Doppelstockzug auf der Strecke Bern – Zürich haben gezeigt, dass die Magnetfelder zeitlich stark schwanken und je nach Aufenthaltsort im Zug sehr verschieden sein können. In der unteren Etage des ersten Wagens nach der Lokomotive war das Magnetfeld am höchsten. Auf Sitzhöhe betrug der zeitliche Mittelwert 4 µT. Kurzzeitige Spitzenwerte erreichten 10 µT. Hauptquelle der Magnetfelder ist hier die Zugsammelschiene, deren Einfluss mit dem Abstand zur Lokomotive jedoch immer mehr abnimmt. In der oberen Etage des ersten Wagens hinter der Lokomotive sowie in den beiden Stockwerken des Steuerwagens am anderen Ende des Zuges war die Magnetfeldbelastung etwa ähnlich gross und betrug im zeitlichen Mittel rund 0,7 µT. Die kurzzeitigen Spitzen reichten bis 3,5 µT.
Weil Züge nicht zu den Orten mit empfindlicher Nutzung gehören, gilt im Wageninnern auch keine vorsorgliche Begrenzung der Magnetfeldbelastung.

Auch im Innern von Zügen sind wir Magnetfeldern ausgesetzt. Je nach Wagen und Abteil ist die Belastung unterschiedlich.

Das Auto ist keine Alternative

Die Magnetfeldbelastung im Zug ist allerdings kein Grund für einen Wechsel des Verkehrsmittels. Denn auch in Autos treten Magnetfelder auf. Diese stammen zum Teil von der Bordelektrik, werden aber häufig auch von magnetisierten Felgen und Stahlgürteln in den Autoreifen verursacht. Bei Messungen in fahrenden Personenwagen wurden die grössten Belastungen im Fussbereich des Beifahrers und auf dem Rücksitz festgestellt. Je nach Modell waren sie sehr unterschiedlich und deckten den gleichen Bereich ab wie die Felder in Zügen.

Gleichstrombahnen

Trams, Trolleybusse und gewisse Schmalspurbahnen werden mit Gleichstrom betrieben. Dadurch entstehen statische elektrische und magnetische Felder. Für die magnetischen Gleichfelder legt die NISV einen Immissionsgrenzwert von 40 000 µT fest, der erfahrungsgemäss mit grosser Reserve eingehalten wird. Für die im Alltag auftretenden Gleichfelder gibt es seitens der Forschung keinerlei Hinweise auf potenzielle Gesundheitsrisiken. Deshalb sieht die NISV für Gleichstrombahnen auch keinen Anlagegrenzwert vor.

Dank tausenden von Basisstationen für den Mobilfunk kann man in der Schweiz heute praktisch überall mit dem Handy telefonieren. Kehrseite dieser flächendeckenden Versorgung ist die landesweite Zunahme der hochfrequenten Strahlung durch die Antennen. In der Umgebung solcher Mobilfunkanlagen schwankt die Belastung im Tagesverlauf je nach Anzahl der übermittelten Gespräche. Auf Grund der unmittelbaren Nähe zum Kopf belasten Mobiltelefone die Benutzerinnen und Benutzer aber deutlich stärker als jede Basisstation.

Immer mehr hochfrequente Strahlung durch die Mobiltelefonie

Inhalt

Aufschwung des Mobilfunks > S 39

Netzstruktur > S 39

Einheiten und Grössen > S 41

Strahlung in der Umgebung einer Mobilfunkanlage > S 42

Wie Mobiltelefone und Basisstationen senden > S 43

Tagesverlauf bei Basisstationen > S 43

Vorsorgevorschriften der NISV > S 44

Bewilligung und Kontrolle einer Mobilfunkanlage > S 44

Tipps für Handybenutzer > S 44

Strahlungsbelastung von Basisstation und Mobiltelefon im Vergleich > S 45

Richtwert für Mobiltelefone > S 45

Bedingt durch die Nähe zum Kopf beim Telefonieren belasten Handys ihre Benutzer viel stärker als Mobilfunkantennen.

Aufschwung des Mobilfunks

Die Mehrheit der Schweizer Bevölkerung besitzt mittlerweile ein Handy. Über 9000 Basisstationen für den Mobilfunk stellen sicher, dass wir damit fast überall im Inland telefonieren können. Nach 1993 hat der damals eingeführte Mobilfunkstandard GSM das bestehende Natel-C-Netz allmählich abgelöst und so wesentlich zum Aufschwung der Mobiltelefonie beigetragen. Mit UMTS ist seit dem Jahr 2002 nun bereits das Netz der dritten Generation im Aufbau. Als Folge des ständig erweiterten Angebots und der wachsenden Nachfrage im Bereich des Mobilfunks nimmt aber auch die Belastung der Umwelt mit hochfrequenten elektromagnetischen Wellen zu.
Im Gegensatz zur Stromversorgung, bei der die Strahlung ein unerwünschtes Nebenprodukt ist, dient sie beim Mobilfunk als bewusst eingesetztes Transportmittel zur drahtlosen Übetragung von Informationen.

Netzstruktur

Ein Mobilfunknetz besteht aus vielen Funkzellen. Zu jeder Zelle gehört eine Antenne, die via Funk Verbindung zu den Mobiltelefonen in ihrer näheren Umgebung herstellt. Üblicherweise werden von einem Standort aus mehrere Zellen versorgt. Alle Antennen an diesem Standort bilden eine so genannte Basisstation.
Die Basisstationen sind mit herkömmlichen Leitungen oder über Richtfunk mit einer Telefonzentrale verbunden. Von dort empfangen sie Anrufe, die sie an ein Mobiltelefon in ihren Zellen weiterleiten müssen. Umgekehrt übermitteln sie dorthin auch Gespräche, die mit einem Handy in ihrem Versorgungsgebiet geführt werden.
Jede Basisstation kann nur eine begrenzte Anzahl Gespräche übermitteln. Die Grösse einer Funkzelle wird somit durch die Intensität der Nutzung bestimmt. In ländlichen Gegenden mit kleiner Mobiltelefondichte haben die Zellen einen Radius von mehreren Kilometern. Dagegen sind es in städtischen Gebieten nur einige hundert Meter. Noch kleiner sind die häufig in

GSM: Der Mobilfunkstandard «Global System for Mobile Communications» ist in der Schweiz seit 1993 in Betrieb. Die GSM-Netze arbeiten in zwei Frequenzbereichen: bei 900 MHz (GSM900) und 1800 MHz (GSM1800).

UMTS: Das «Universal Mobile Telecommunications System» ist der Standard der dritten Mobilfunkgeneration. Das seit 2002 im Aufbau begriffene UMTS-Netz arbeitet im 2-GHz-Frequenzband (1900 bis 2200 MHz). Im Vergleich zu GSM lässt sich mit UMTS eine grössere Datenmenge übertragen, sodass zum Beispiel auch die Übermittlung von bewegten Bildern möglich ist.

Innenstädten verwendeten Mikrozellen. Sie kommen dort zum Einsatz, wo das Gesprächsaufkommen besonders hoch oder die Funkabdeckung auf Grund der dichten Bauweise schwierig ist. Schliesslich gibt es noch Picozellen mit einem beschränkten Radius von einigen dutzend Metern. Sie stellen die Versorgung innerhalb von Gebäuden sicher.

Die Sendeleistung einer Antenne muss so stark sein, dass die zu übermittelnden Funksignale die Mobiltelefone auch am Rand der Zelle noch erreichen. Sie darf aber nicht zu intensiv sein, weil sonst die Signale in anderen Zellen gestört würden. Da Antennen von kleinen Zellen mit einer tieferen Sendeleistung operieren, erzeugen sie eine geringere Strahlenbelastung. Obwohl es dafür mehr Antennen braucht, wird die von allen Anlagen insgesamt abgestrahlte Leistung – zumindest in städtischen Gebieten – nicht grösser, sondern kleiner. Ein feinmaschiges Netz kann mit einer insgesamt geringeren Sendeleistung sogar mehr Gespräche übertragen.

Mast mit Mobilfunkantennen (zuoberst) und Richtfunkantennen (rund). Letztere verbinden die Basisstationen mit den Telefonzentralen.

Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA056863)

Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA056863)

Je mehr an einem Ort telefoniert wird, umso dichter ist das Netz der Mobilfunkanlagen, wie der Vergleich zwischen der Stadt Genf und dem ländlichen Bière VD zeigt. Jeder rote Punkt steht für eine Mobilfunkbasisstation. Die Karten entsprechen dem Stand vom 1. Juni 2004. Auf der Internet-Seite www.funksender.ch sind die Standorte aller Sendeanlagen der Schweiz ersichtlich.

Einheiten und Grössen

Mobilfunkantennen senden elektromagnetische Wellen oder Strahlung von hoher Frequenz aus – diese wird auch als hochfrequente nichtionisierende Strahlung bezeichnet.

Frequenz: Sie bezeichnet die Anzahl Schwingungen einer elektromagnetischen Welle pro Sekunde und wird in Hertz (Hz), Megahertz (MHz) oder Gigahertz (GHz) angegeben.
1 Hz = 1 Schwingung pro Sekunde
1 kHz = 1000 Hz
1 MHz = 1 000 000 Hz
1 GHz = 1 000 000 000 Hz
Die Mobilfunknetze in der Schweiz operieren bei 900 MHz (GSM900), 1800 MHz (GSM1800) sowie zwischen 1900 und 2200 MHz (UMTS).

Sendeleistung in Watt (W): Diese Grösse gibt an, wie viel Energie einer Antenne pro Zeiteinheit zugeführt wird. Typische Werte pro Senderichtung liegen zwischen wenigen Tausendstel Watt und rund 40 bis 50 W. Bedingt durch die variable Auslastung der Mobilfunkanlagen treten im Laufe eines Tages gewisse Schwankungen auf.

Äquivalente Sendeleistung ERP in W: ERP steht für «equivalent radiated power » oder äquivalente Strahlungsleistung und ist eine weitere Grösse zur Angabe der Sendeleistung, die ebenfalls in Watt angegeben wird. Sie dient zur Berechnung der Immissionen und ist in der Schweiz für die Bewilligung von Mobilfunkanlagen massgebend. Die ERP-Werte liegen wesentlich höher als jene der zugeführten Sendeleistung. Bei einer typischen Mobilfunkantenne machen sie etwa das 30fache aus. Sie tragen der Tatsache Rechnung, dass eine Antenne ihre Strahlung nicht rundum gleichmässig, sondern gebündelt in einen Sektor abgibt. Im Gegensatz zur zugeführten Sendeleistung beschreibt der ERP-Wert die Verhältnisse im gebündelten Abstrahlungskegel. Die Situation ist vergleichbar mit einem Scheinwerfer. Wegen der Bündelung ist sein Licht wesentlich heller als jenes einer normalen Glühbirne mit gleicher Leistung. In diesem Beispiel würde die ERP der erforderlichen Leistung einer herkömmlichen Glühlampe entsprechen, welche die gleiche Helligkeit erzeugt wie der Scheinwerfer in seinem Strahlungskegel.

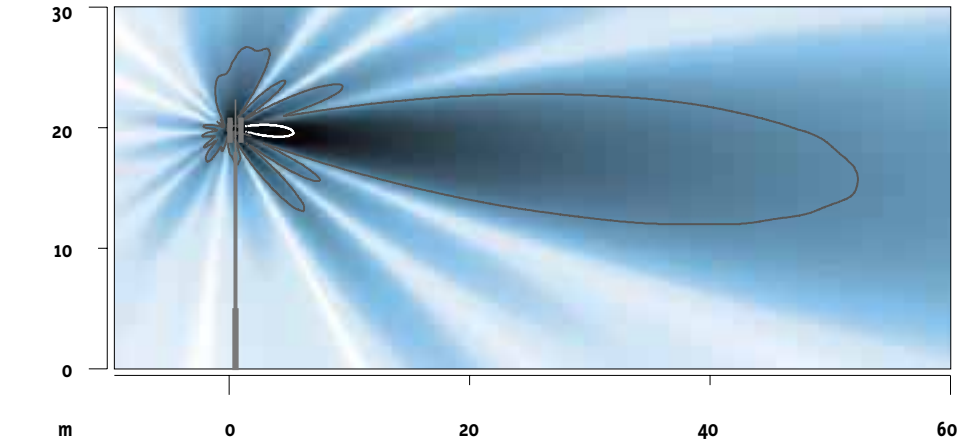
Elektrische Feldstärke: Sie ist ein Mass für die Intensität der Strahlung und wird in Volt pro Meter (V/m) gemessen.

Via Funk stellen die Antennen einer Basisstation den Kontakt zu den Mobiltelefonen in ihrer näheren Umgebung her.

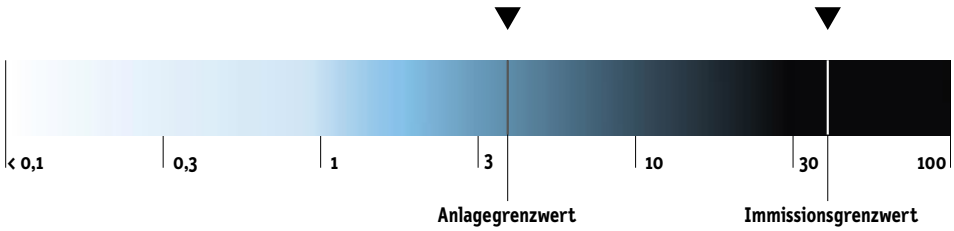
Leistungsflussdichte: Auch diese Grösse gibt die Intensität der Strahlung an. Sie misst die pro Zeiteinheit durch eine senkrechte Bezugsfläche durchtretende Energie und wird in der Einheit Watt pro Quadratmeter (W/m²) oder Mikrowatt pro Quadratzentimeter (µW/cm²) angegeben.
Aus der elektrischen Feldstärke lässt sich die Leistungsflussdichte berechnen und umgekehrt. Die Leistungsflussdichte ist proportional zum Quadrat der elektrischen Feldstärke. Beide Feldgrössen stehen in einem direkten Zusammenhang zur Sendeleistung einer Antenne:

– Die Leistungsflussdichte ist direkt proportional zur Sendeleistung. Eine Verdoppelung der Sendeleistung führt also zu einer Verdoppelung der Leistungsflussdichte.
– Die Feldstärke wächst demgegenüber nur mit der Wurzel der Sendeleistung an. Eine Verdoppelung der Sendeleistung erhöht die elektrische Feldstärke folglich nur um den Faktor $\sqrt{2}$, was einer Zunahme um 41 Prozent entspricht. Diese physikalische Tatsache ist auch von Bedeutung, wenn zwei Antennen von verschiedenen Standorten aus mit gleicher Sendeleistung denselben Ort bestrahlen. Die kumulierte Feldstärke verdoppelt sich auch in diesem Fall nicht, sondern steigt lediglich um 41 Prozent an. Für eine Verdoppelung der Feldstärke müssten vier Antennen mit gleicher Stärke einen bestimmten Ort bestrahlen, und für eine Verzehnfachung wären 100 Antennen erforderlich.

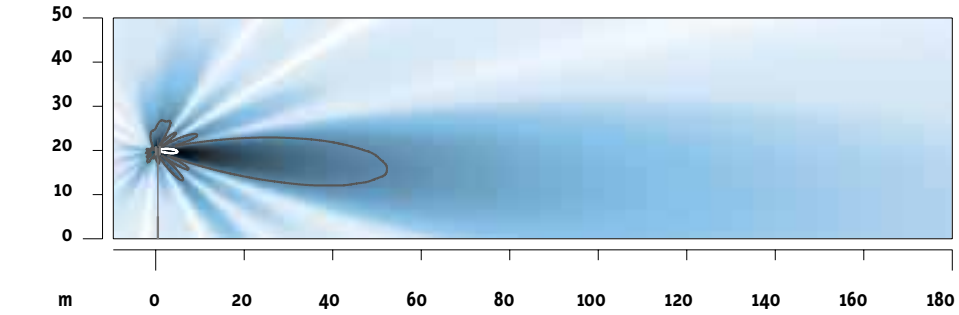
Elektrische Feldstärke	Leistungsflussdichte	
(V/m)	W/m²	µW/cm²
61,4	10	1000
33,6	3	300
19,4	1	100
10,6	0,3	30
6,1	0,1	10
3,4	0,03	3
1,9	0,01	1
1,1	0,003	0,3
0,6	0,001	0,1
0,3	0,0003	0,03
0,2	0,0001	0,01



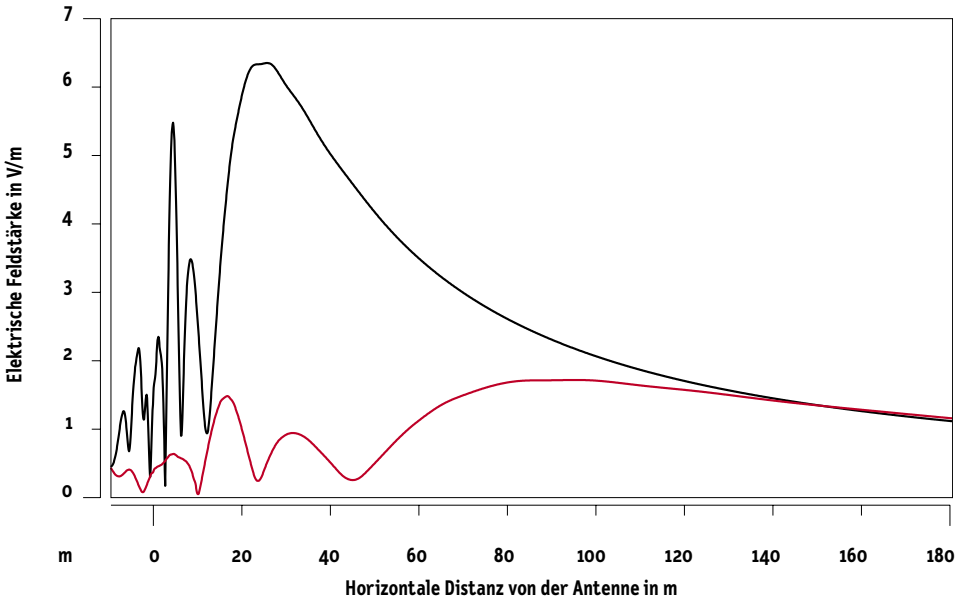
Strahlung in der Umgebung einer Mobilfunkantenne mit einer äquivalenten Sendeleistung von 1000 Watt ERP im Frequenzbereich um 900 MHz (GSM900). Die Antenne befindet sich auf einem 20 Meter hohen Mast und ist leicht gegen den Boden gerichtet. Die Bedeutung der ausgezogenen Linien ist in der Farbskala unten dargestellt.



Skala der elektrischen Feldstärke in Volt pro Meter (V/m).



Das Strahlungsmuster der gleichen Mobilfunkantenne wie oben – hier in einem grösseren Ausschnitt.



Verlauf der elektrischen Feldstärke in zunehmender Entfernung von der oben dargestellten Antenne in zwei verschiedenen Höhen über Boden. Die schwarze Linie gibt die Belastung in der Hauptstrahlrichtung 15 m über Boden an, die rote Kurve entspricht den Immissionen 1,5 m über Boden.

Strahlung in der Umgebung einer Mobilfunkanlage

Die Intensität der Strahlung in der Umgebung einer Mobilfunkanlage hängt von mehreren Faktoren ab. Alle diese Parameter werden von den Bewilligungsbehörden bei der Berechnung der Immissionen einer geplanten Anlage berücksichtigt:

- **Äquivalente Sendeleistung:** Je grösser die Sendeleistung einer Anlage, desto grösser ist auch die Strahlungsintensität in der Umgebung.
- **Räumliches Abstrahlungsmuster der Antenne:** Die Antennen von Basisstationen strahlen nicht in alle Richtungen gleich stark. Vielmehr bündeln sie die Strahlung – ähnlich wie ein Autoscheinwerfer – und lenken diese in die gewünschte Hauptstrahlrichtung. Ausserhalb des Kegels ist die Strahlung zwar noch vorhanden, aber stark reduziert. Neben der Hauptstrahlrichtung sind so genannte Nebenkeulen zu erkennen.
- **Abstand zur Antenne:** Bei doppeltem Abstand sinkt die elektrische Feldstärke auf die Hälfte. Dies gilt insbesondere entlang der Hauptstrahlrichtung. Am Boden ist der Verlauf dagegen komplizierter. So stammen die Immissionen im Nahbereich einer Antenne primär von den Nebenkeulen. Ausserhalb ihres Einflussbereichs steigt die Feldstärke mit zunehmendem Abstand allmählich an, weil hier die Strahlung des Hauptkegels dominiert. Sie erreicht im vorliegenden Beispiel bei rund 90 m ihr Maximum und klingt erst dann allmählich ab.
- **Dämpfung durch Mauerwerk und Dächer:** Mauerwerk und Dächer schwächen die von aussen auf ein Gebäude treffende Strahlung ab. Dies gilt auch für das Gebäude, auf dem eine Anlage steht. Falls sich in einem Betondach keine Oberlichter befinden, wird die Strahlung zu einem grossen Teil abgeschwächt. Durch unbeschichtete Glasfenster, Ziegel- und Holzdächer kann die Strahlung hingegen leicht eindringen.

Wie Mobiltelefone und Basisstationen senden

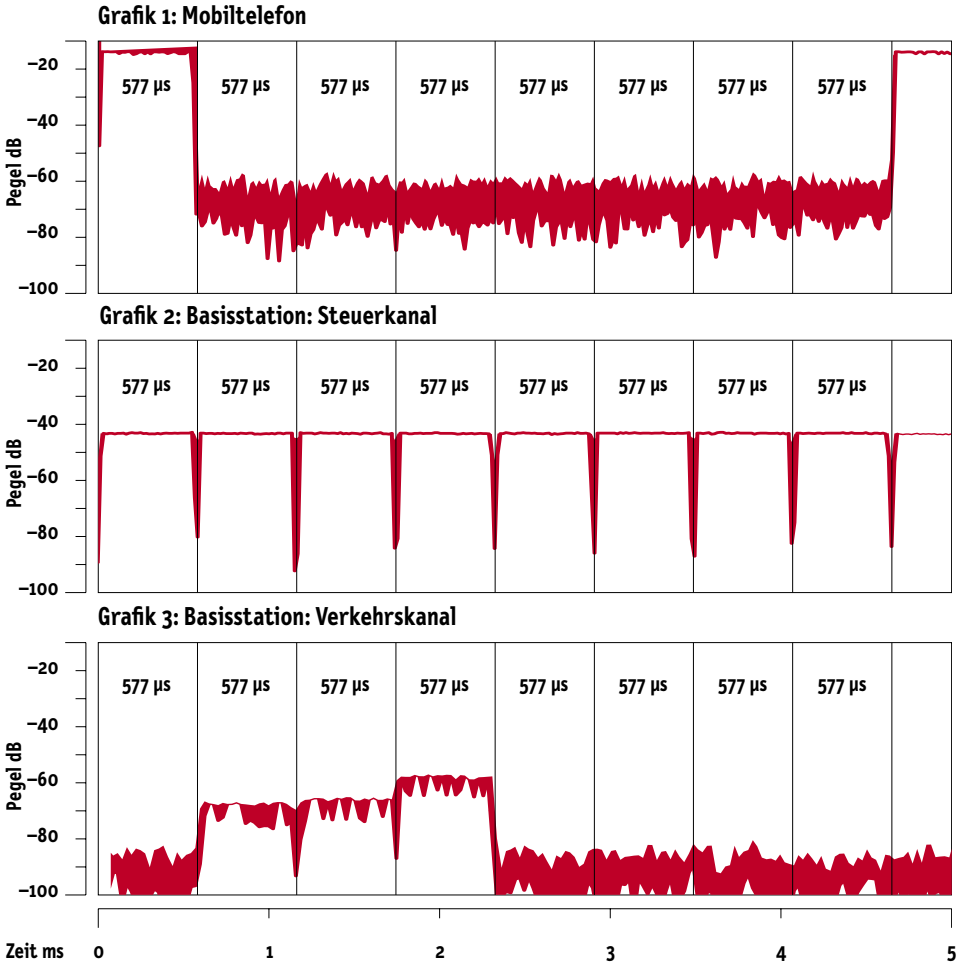
Damit in einer Zelle mehrere Personen gleichzeitig telefonieren können, teilen sich beim GSM-System bis zu acht Benutzer den gleichen Frequenzkanal. Jeder von ihnen erhält einen Achtel der Zeit (sog. Zeitschlitz) für die Übertragung zugewiesen. Die Information wird in einzelne Pakete von 577 Mikrosekunden (µs) Dauer aufgeteilt, die in Intervallen von 4,6 Millisekunden (ms) abgesetzt werden (s. Grafik 1). Das Mobiltelefon gibt aus diesem Grund eine gepulste Strahlung mit einer Wiederholungsrate von 217 Pulsen pro Sekunde ab.

Mobiltelefone des GSM-Standards sind mit einer dynamischen Leistungsregelung ausgestattet. Beim Aufbau einer Gesprächsverbindung sendet das Telefon jeweils mit maximaler Leistung. Anschliessend wird diese so weit reduziert, dass gerade noch eine genügend gute Verbindung mit der Basisstation aufrechterhalten bleibt.

Die Basisstation ihrerseits sendet auf einem Steuerkanal (BCCH, Broadcast Control Channel) und auf Verkehrskanälen (TCH, Traffic Channel).

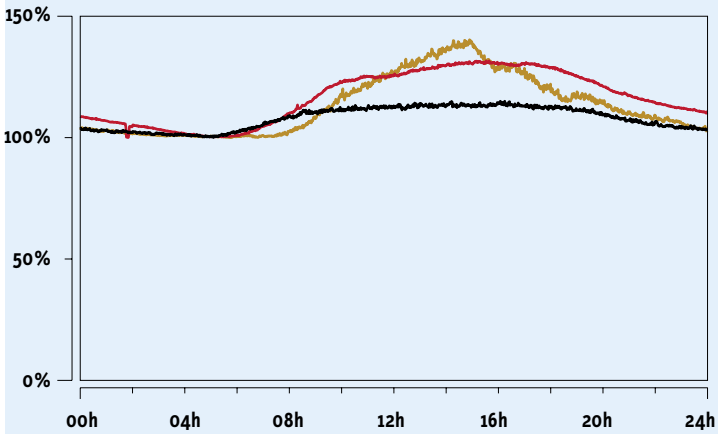
Der Steuerkanal (BCCH) strahlt alle acht Zeitschlitze mit voller Leistung aus (s. Grafik 2). Zwischen den einzelnen Zeitschlitzen wird kurz ausgetastet. In einem Zeitschlitz werden technische Informationen übertragen, die zum Beispiel für den Verbindungsaufbau oder die Aufrechterhaltung der Verbindung notwendig sind. Die übrigen Zeitschlitze des BCCH werden zur Übertragung von Gesprächen verwendet oder künstlich mit Leerinformation gefüllt.

Wenn die Kapazität des BCCH zur Gesprächsübertragung nicht mehr ausreicht, werden Verkehrskanäle zugeschaltet. Diese emittieren nur in den tatsächlich benötigten Zeitschlitzen Strahlung und sind so reguliert, dass möglichst wenig Leistung abgestrahlt wird (s. Grafik 3). Je nach Anzahl der übertragenen Gespräche und je nach Verbindungsqualität sieht das zeitliche Sendemuster eines Verkehrskanals verschieden aus. Im Beispiel sind die Zeitschlitze 2 bis 4 mit je unterschiedlicher Sendeleistung belegt, die Zeitschlitze 1 sowie 5 bis 8 sind nicht aktiv.



Zeitliches Sendemuster von Mobiltelefon (oben) und Basisstation (Mitte: Steuerkanal; unten: Verkehrskanal). Beim Pegel in dB handelt es sich um logarithmische Einheiten: Ein Unterschied von 20 bedeutet Faktor 100 in der Sendeleistung und Faktor 10 in der Feldstärke.

Tagesverlauf der elektrischen Feldstärke bei Basisstationen



Tagesverlauf der Strahlungsimmissionen von drei verschiedenen Basisstationen. Dargestellt ist die elektrische Feldstärke während 24 Stunden in % des Grundpegels. Bei 100% senden nur die Steuerkanäle.

Die Strahlungsbelastung in der Umgebung einer Mobilfunkanlage ist nicht immer gleich stark, sondern variiert im Tagesverlauf je nach Anzahl der übermittelten Gespräche. Während der Nacht sind praktisch nur die Immissionen des Steuerkanals vorhanden. Im Laufe des Vormittags steigen mit der Zahl der übermittelten Gespräche und der zugeschalteten Verkehrskanäle auch die Immissionen an. Ihren Höhepunkt erreicht die Strahlenbelastung im Laufe des Nachmittags oder am frühen Abend.

Die tatsächliche Strahlungsbelastung ist im zeitlichen Durchschnitt und speziell während der Nacht niedriger als mit rechnerischen Prognosen und Abnahmemessungen ausgewiesen. Dort wird nämlich auf die nur selten auftretende maximal mögliche Belastung abgestellt.

Vorsorgevorschriften der NISV

An Orten mit empfindlicher Nutzung müssen Mobilfunkanlagen den Anlagegrenzwert der NISV einhalten. Dies gilt zum Beispiel für Wohnungen, Schulen, Spitäler, Büros oder Kinderspielplätze. Zu einer Anlage gehören alle Mobilfunkantennen auf demselben Mast, auf dem gleichen Gebäude oder solche, die sonst in einem engen räumlichen Zusammenhang stehen. Der Anlagegrenzwert muss bei voller Auslastung eingehalten sein – das heisst bei maximalem Gesprächs- und Datenverkehr mit der höchstmöglichen Sendeleistung. Es gelten folgende Anlagegrenzwerte:

– 4 V/m für GSM900-Anlagen
– 6 V/m für GSM1800 und UMTS-Anlagen
– 5 V/m für eine Kombination von GSM900- und GSM1800/UMTS-Anlagen

In der Hauptstrahlrichtung und ohne Dämpfung durch Gebäudestrukturen bedingen diese Anforderungen die folgenden Abstände zu einer Antenne:

Sendeleistung (ERP) pro Senderichtung	Abstand zur Einhaltung des Anlagegrenzwerts (in der Hauptstrahlrichtung)	
	GSM 900	GSM 1800 UMTS
10 W ERP	5,5 m	3,7 m
100 W ERP	18 m	12 m
300 W ERP	30 m	20 m
700 W ERP	46 m	31 m
1000 W ERP	55 m	37 m
2000 W ERP	78 m	52 m

Befindet man sich nicht im Hauptstrahl oder wird die Strahlung durch eine Gebäudehülle gedämpft, so reduzieren sich diese Abstände wesentlich – bei der rechnerischen Prognose im Standortdatenblatt im Extremfall bis auf einen Dreissigstel.

Bewilligung und Kontrolle einer Mobilfunkanlage

Für die meisten Mobilfunkanlagen muss der Betreiber eine Baubewilligung einholen. Je nach Kanton kann dieses Verfahren in den Einzelheiten etwas anders ablaufen. Die Grundsätze sind jedoch überall dieselben.

– **Einreichung von Baugesuch und Standortdatenblatt:** Der Mobilfunkbetreiber ist verpflichtet, bei der Standortgemeinde ein Baugesuch einzureichen. Zu den erforderlichen Unterlagen gehört auch das so genannte Standortdatenblatt. Darin liefert der Betreiber bestimmte Angaben – so etwa zu den Sendeleistungen und Hauptstrahlrichtungen der Antennen – und berechnet die zu erwartende Strahlung in der Umgebung der Anlage. Zudem regelt das kantonale Baurecht, ob für den geplanten Antennenmast am vorgesehenen Standort ein Bauprofil aufzustellen ist.
– **Publikation des Baugesuchs und Einsprachemöglichkeit:** Die Gemeinde ist verpflichtet, das Baugesuch zu publizieren und öffentlich aufzulegen. In den meisten Kantonen können Anwohner die Unterlagen während dieser Zeit einsehen und allenfalls Einsprache einreichen. Aus dem Standortdatenblatt geht hervor, bis zu welchem Abstand zwischen Wohnort und Anlage die Betroffenen zu einer Einsprache berechtigt sind.
– **Materielle Prüfung von Gesuch und Einsprachen:** Die zuständige Baubewilligungsbehörde prüft das Gesuch und nimmt bei Bedarf die Unterstützung der kantonalen NIS-Fachstelle in Anspruch. Diese überprüft die Berechnungen und Angaben im Standortdatenblatt, was manchmal einen Augenschein vor Ort bedingt. Geprüft werden auch die eingegangenen Einsprachen. Nach allfälligen Einspracheverhandlungen wird über das Baugesuch entschieden.
– **Baubewilligung und Rekursmöglichkeiten:** Hält eine geplante Mobilfunkanlage die Grenzwerte der NISV sowie die baurechtlichen Vorschriften ein, so muss sie von der zuständigen Behörde bewilligt werden. Der Entscheid über das Baugesuch wird dem Gesuchsteller und den Einsprechern mitgeteilt. Diese haben die Möglichkeit, den Entscheid über kantonale Beschwerdeinstanzen bis hin zum Bundesgericht anzufechten.
Bei einer Ausschöpfung des Anlagegrenzwerts zu mehr als 80 Prozent schreiben die Behörden eine Abnahmemessung der Strahlungsbelastung nach Inbetriebnahme der Anlage vor. Damit wird nicht nur auf dem Papier, sondern im realen Betrieb überprüft, ob eine erstellte Anlage den Grenzwert einhält.

Tipps für Handybenutzer

Benutzerinnen und Benutzer von Mobiltelefonen können ihre Strahlungsbelastung vermindern, wenn sie sich an folgende Empfehlungen halten:

– **Strahlungsarme Mobiltelefone:** Benutzen Sie möglichst strahlungsarme Geräte. Je kleiner die spezifische Absorptionsrate, das heisst der SAR-Wert eines Mobiltelefons ist, desto weniger Strahlung absorbiert der Kopf während eines Gesprächs. Die SAR-Werte finden sich in den Bedienungsanleitungen der Mobiltelefone oder im Internet unter **www.topten.ch** und **www.handywerte.de.**
– **Freisprecheinrichtung:** Damit vergrössern Sie den Abstand zur Antenne des Mobiltelefons. Entsprechend weniger Strahlungsleistung dringt in Ihren Kopf ein. Um auch andere empfindliche Körperstellen zu schützen, empfiehlt es sich beim Telefonieren mit einer Freisprecheinrichtung, das Handy weder in der Brusttasche nahe am Herzen noch in den vorderen Hosentaschen zu tragen.

Strahlungsbelastung von Basisstation und Mobiltelefon im Vergleich

Mobiltelefone haben zwar eine wesentlich niedrigere Sendeleistung als eine Antennenanlage. Die Belastung des Menschen durch das Handy während eines Gesprächs ist jedoch viel höher als jene durch die leistungsstärkste Basisstation. Grund dafür ist, dass sich das Mobiltelefon nur einige Millimeter vom Kopf entfernt befindet, während man der Antenne einer Basisstation kaum näher als einige Meter kommt. Auf Grund der grossen Distanz zur Basisstation ist der ganze Körper gleichmässig deren Strahlung ausgesetzt. Das Mobiltelefon bestrahlt hingegen vorwiegend den Kopf.
Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass die Basisstation dauernd strahlt, das Mobiltelefon jedoch nur während einer Verbindung. Wenn kein Gespräch geführt wird – also im Bereitschafts- oder Standby-Modus – empfängt ein eingeschaltetes Handy zwar laufend Kontrollsignale von der nächsten Basisstation, sendet seinerseits aber nur alle paar Minuten ein kurzes Signal, um mitzuteilen, wo es sich befindet.
Bei GSM sind auch die Signalformen unterschiedlich. Die Strahlung des Mobiltelefons weist eine deutliche 217-Hz-Pulsung auf. Der Steuerkanal der Basisstation sendet permanent mit kurzen Austastungen. Wenn zum Steuerkanal dann noch Verkehrskanäle hinzukommen, resultiert bei einer Basisstation ein recht kompliziertes und variierendes Summensignal, denn die Signale der Verkehrskanäle sehen je nach Anzahl Gespräche verschieden aus.

Basisstation	Mobiltelefon
stärkerer Sender	schwacher Sender
beträchtliche Distanz zu Personen	sehr kleine Distanz zum Kopf
gleichmässige Bestrahlung des ganzen Körpers	lokale Bestrahlung des Kopfes
geringe absorbierte Leistung	im Kopf höhere absorbierte Leistung
Strahlung dauernd vorhanden	Strahlung nur während einer Verbindung vorhanden
Strahlung hat eine komplizierte Signalform (gilt für GSM)	Strahlung weist eine regelmässige 217-Hz-Pulsung auf (gilt für GSM)

Richtwert für Mobiltelefone

Für Mobiltelefone gilt in der Schweiz ein internationaler Richtwert. So sollen die Geräte eine spezifische Absorptionsrate (SAR) von 2 Watt pro Kilogramm Körpergewicht (W/kg) nicht überschreiten. Die SAR gibt an, wie viel Strahlungsleistung der Kopf beim Telefonieren aufnimmt und in Wärme umwandelt. Je kleiner die spezifische Absorptionsrate, desto strahlungsärmer ist ein Mobiltelefon.

Berechnetes Beispiel der Strahlungsbelastung des Kopfes beim Telefonieren mit einem Handy: Das dargestellte Mobiltelefon hat einen SAR-Wert von 0,61 W/kg. Die höchste Belastung tritt im weiss-gelben Bereich in den äussersten Schichten des Kopfes auf. Gegen innen nimmt die Intensität stark ab. Im schwarzen Bereich ist sie 100 000-mal kleiner als aussen.
(Originalgrafik: IT'IS Foundation, ETH Zürich)

- **Empfangsqualität:** Bei guter Verbindung zur Basisstation sendet das Handy mit geringerer Leistung. Sie können die Strahlungsbelastung deshalb reduzieren, wenn Sie zum Telefonieren Orte mit gutem Empfang wählen und eingeschlossene oder unterirdische Räume meiden.
- **Nicht im Auto telefonieren:** Im Auto ist der Empfang schlecht, weil die Metallkarosserie die Strahlung stark dämpft. Wenn überhaupt, sollte man im Wageninnern deshalb nur über eine Aussenantenne telefonieren. Wie verschiedene Studien belegen, erhöhen Mobilfunkgespräche beim Fahren das Unfallrisiko. Grund dafür ist die Ablenkung vom Verkehrsgeschehen. Aus Sicherheitsgründen ist das Telefonieren im Auto hier zu Lande ohnehin nur mit einer Freisprechanlage erlaubt.
- **Verbindungsaufbau:** Während des Verbindungsaufbaus sendet das Mobiltelefon am stärksten. Halten Sie das Gerät nach der Nummernwahl deshalb nicht direkt ans Ohr, sondern etwas vom Kopf weg, bis die Verbindung steht. Dadurch lässt sich die Belastung vermindern.
- **Kurze Gesprächsdauer:** Je kürzer ein Anruf mit dem Handy, desto weniger Strahlung nimmt der Körper auf.

Rundfunksender zur Verbreitung von Radio- und Fernsehprogrammen befinden sich vorwiegend an erhöhten Standorten ausserhalb des Siedlungsgebiets. Amateurfunkanlagen stehen in der Regel in Wohngebieten, sind jedoch nur beschränkte Zeit auf Sendung. Anlagen für den Richtfunk konzentrieren die Strahlung in einem eng begrenzten Kegel.

Die meisten Rundfunksender strahlen abseits der Siedlungsgebiete

Inhalt

Rundfunk > S 47
Sendeleistungen > S 47
Radio > S 47
Vorsorgevorschriften der NISV > S 49
Fernsehen > S 49
Richtfunk > S 50
Richtfunk in der Schweiz > S 50
Enge Bündelung der Strahlung > S 50
Grenzwerte für Richtfunkanlagen > S 50
Amateurfunk > S 51
Grenzwerte für Amateurfunkanlagen > S 51

Rundfunk

Rundfunksendeanlagen dienen der Verbreitung von Radio- und Fernsehprogrammen durch die Luft. Sie befinden sich meist an erhöhten Standorten auf Hügeln oder Bergen. Einige der grossen Anlagen sind nach bekannten Berggipfeln benannt – so zum Beispiel die Sender La Dôle, Chasseral, Rigi, Säntis oder Monte San Salvatore. Daneben gibt es eine Vielzahl kleinerer Anlagen. Insgesamt verbreiten in der Schweiz rund 400 Radio- und 600 Fernsehsender die Programme. Ihre Standorte mit Angabe der Sendeleistung sowie der ausgestrahlten Programme finden sich im Internet unter **www.funksender.ch**

Die Rundfunksendeanlagen Rigi SZ (links) und Bantiger BE (oben). Die Richtfunkschüsseln im unteren Teil der Türme verbinden die Anlagen mit anderen Sendestationen. Oben sind die Antennen für die Verbreitung der Fernseh- und Radioprogramme angebracht.

Sendeleistungen

Rundfunkanlagen, die ein grosses Gebiet versorgen, arbeiten mit hohen Sendeleistungen. Auf Grund der Topografie unseres Landes befinden sich diese leistungsstarken Anlagen vorwiegend an erhöhten Standorten, so dass im kritischen Nahbereich meist keine Wohnhäuser vorhanden sind. Die Strahlung von solchen Rund-

Radio

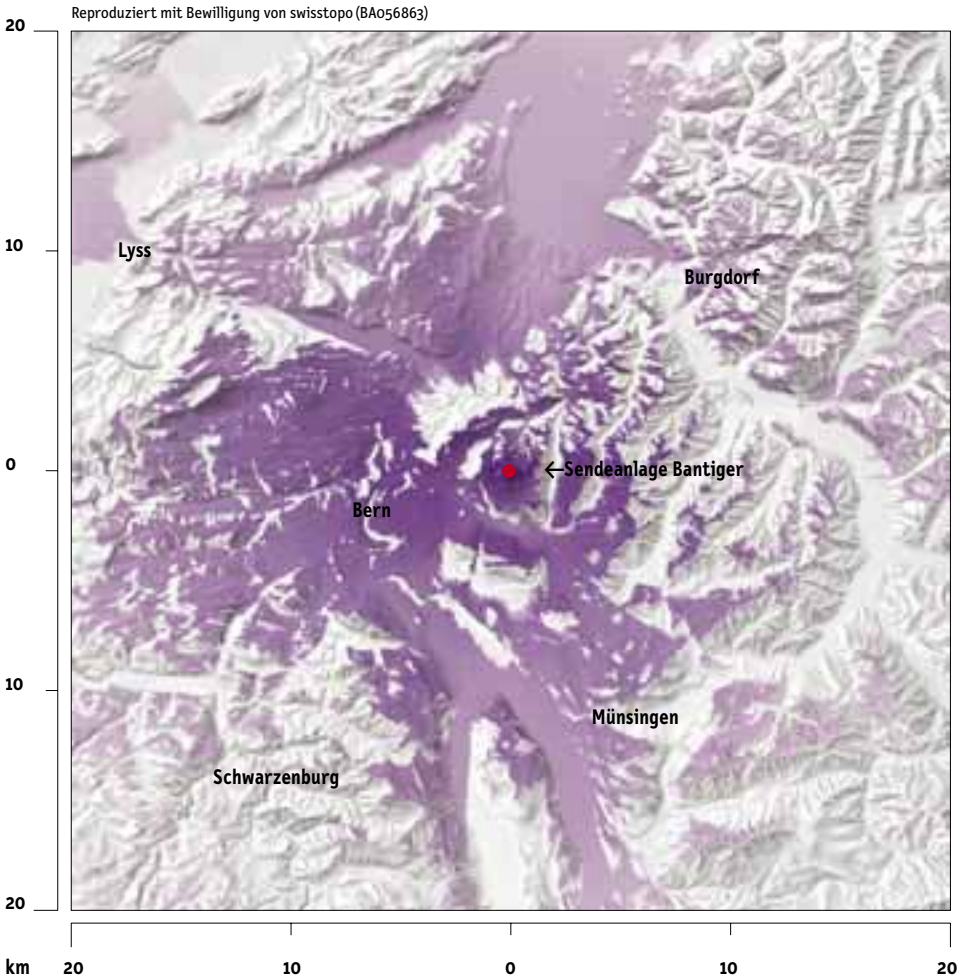
Die Übertragung von Radioprogrammen erfolgt auf verschiedenen Frequenzen. Die jeweiligen Frequenzbänder sind nach der Wellenlänge der Strahlung benannt.

Mittelwelle (MW): Der Bereich von 300 Kilohertz (kHz) bis 3 Megahertz (MHz) wird als Mittelwelle bezeichnet. In diesem Frequenzband hat man hier zu Lande in den 1920er-Jahren die ersten Radioprogramme ausgestrahlt und etwas später auch die Landessender Beromünster, Sottens und Monte Ceneri betrieben. Mit Einführung der Ultrakurzwelle (UKW) verlor die Mittelwelle wegen ihrer schlechteren Tonqualität zunehmend an Bedeutung. Seit Mitte der 90er-Jahre werden nur noch die beiden Programme «Option musique» und «Musigwälle 531» auf Mittelwelle gesendet.

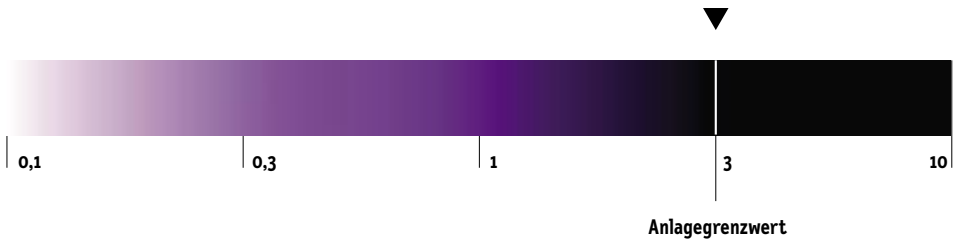
Ultrakurzwelle (UKW): Die meisten Radioprogramme werden auf UKW ausgestrahlt. Dieses Frequenzband liegt zwischen 30 und 300 MHz. Für Radioprogramme sind speziell die Frequenzen von 87,5 bis 108 MHz reserviert. In der Schweiz wird seit den 50er-Jahren auf UKW gesendet. Im Vergleich zur Mittelwelle ist die Tonqualität besser, und es kann in Stereo gesendet werden.

Digitalradio T-DAB: Als mittelfristige Ergänzung zu UKW soll das terrestrische Digitalradio T-DAB dienen. Das T steht für die Ausstrahlung über terrestrische Sendeanlagen, und DAB ist die Abkürzung für Digital Audio Broadcasting, zu deutsch «digitaler Hörfunk». Mit seiner Einführung hat man in der Schweiz 1999 begonnen. Daneben werden digitale Radioprogramme auch über Kabel und Satellit verbreitet.
Bei DAB wird das Tonsignal vor der Ausstrahlung digitalisiert, das heisst, in eine Zahlenfolge aus 1 und 0 übersetzt – vergleichbar mit der Speicherung auf einer Musik-CD. Das Empfangsgerät wandelt die digitalen Daten dann wieder in Sprache und Musik um. Mit dieser Technologie ist es möglich, auch im fahrenden Auto ohne störendes Rauschen Radio zu empfangen. DAB wird vorwiegend im UKW-Bereich zwischen 223 und 230 MHz gesendet.

funksendern wird vertikal eng gebündelt und, leicht gegen den Boden gerichtet, in alle Himmelsrichtungen abgegeben. Zusätzlich gibt es Füllsender, deren Sektorantennen mit niedrigen Sendeleistungen Täler versorgen.
Ausserhalb der Städte und Agglomerationen tragen Rundfunksender zumeist den Hauptteil zur Hintergrundbelastung an hochfrequenter Strahlung bei. In dicht besiedelten Gebieten dominieren dagegen häufig die Immissionen durch Mobilfunkantennen.
Wie sich die Umstellung von der analogen auf die digitale Übertragungstechnik hinsichtlich der Strahlungsbelastung auswirkt, lässt sich gegenwärtig nicht klar abschätzen. Zwar benötigt die digitale Technik im Vergleich zur analogen für die Übertragung einer bestimmten Anzahl von Fernsehprogrammen weniger Frequenzen. Diese Einsparung würde jedoch wieder verloren gehen, sofern künftig mehr Programme als bisher über die Luft verbreitet werden.
Die digitale Übertragung kommt, für eine gleiche Empfangsqualität, grundsätzlich mit niedrigeren Sendeleistungen aus als die analoge. Die Ersparnis an Sendeleistung würde aber aufgehoben, wenn Fernsehsignale künftig auch für mobile Fernsehapparate im Haus («portable indoor») mit einer kleinen Geräteantenne ausgelegt würden – statt wie bisher nur für den Empfang über eine Dachantenne («fixed outdoor»). In diesem Fall müsste der dämpfende Effekt der Gebäudehülle nämlich durch eine entsprechend höhere Sendeleistung wettgemacht werden. Ob die Einführung des Digitalfernsehens (DVB-T) zu tieferen Sendeleistungen – und somit auch zu einer geringeren Strahlungsbelastung – führt, ist also abhängig von der Zahl der künftig verbreiteten Programme und den Anforderungen an die Empfangsqualität.



Darstellung der elektrischen Feldstärke im Umkreis der Sendeanlage Bantiger BE. Es handelt sich um eine Berechnung unter vereinfachten Annahmen, welche die Beugung und Reflexion der Strahlung nicht berücksichtigt. Auf Grund der Topografie besteht im Bereich der weissen Flächen kein Sichtkontakt zum Sender. Obwohl die elektrische Feldstärke hier mit weniger als 0,1 V/m gering ist, sind Radio- und Fernsehempfang meistens noch möglich.



Skala der elektrischen Feldstärke in Volt pro Meter (V/m).

Bezeichnung	Wellenlänge	Frequenz	In der Schweiz verwendete Rundfunkfrequenzen
Langwelle (LW)	1 – 10 km	30 – 300 kHz	nicht verwendet
Mittelwelle (MW)	100 – 1000 m	300 kHz – 3 MHz	531 kHz – 1,5 MHz (MW-Radio)
Kurzwelle (KW)	10 – 100 m	3 – 30 MHz	ab Ende 2004 nicht mehr verwendet
Ultrakurzwelle (UKW)	1 – 10 m	30 – 300 MHz	47 – 68 MHz (analoges Fernsehen) 87,5 – 108 MHz (UKW-Radio) 174 – 230 MHz bisher: analoges Fernsehen und digitales Radio künftig: digitales Radio und Fernsehen
Mikrowellen	1 mm – 1 m	300 MHz – 300 GHz	470 – 862 MHz bisher: analoges, künftig digitales Fernsehen 1452 – 1492 MHz künftig: eventuell Übertragung von lokalen digitalen Radioprogrammen

Vorsorgevorschriften der NISV

An Orten mit empfindlicher Nutzung müssen Rundfunksender den Anlagegrenzwert der NISV einhalten. Zu einer Anlage gehören alle Rundfunk-Sendeantennen, die auf demselben Mast angebracht sind oder in einem engen räumlichen Zusammenhang stehen.
Der Anlagegrenzwert muss bei maximaler Sendeleistung eingehalten sein. Er beträgt:
– 8,5 Volt pro Meter (V/m) für Mittelwellensender
– 3,0 V/m für alle übrigen Sendeanlagen

Da die meisten Rundfunkanlagen ausserhalb von Siedlungsgebieten stehen, kann der Anlagegrenzwert meist problemlos eingehalten werden. Einzig bei gewissen Bergrestaurants oder Bergbahnstationen direkt neben einem Sender besteht die Möglichkeit, dass der Grenzwert überschritten wird. Im Gegensatz zu Mobilfunkanlagen, die ihren Anlagegrenzwert zwingend einhalten müssen, können die Behörden bei Rundfunkanlagen in begründeten Ausnahmefällen eine Überschreitung bewilligen.

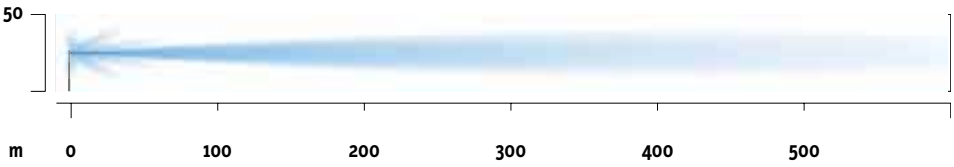
Fernsehen

Die meisten Fernsehprogramme empfangen wir über Kabel oder Satellit. Die Programme des Schweizer Fernsehens werden jedoch auch über terrestrische Sender verbreitet. Dazu nutzt man Frequenzen, die teilweise im UKW-Bereich (47–68 MHz und 174–230 MHz) und zum Teil darüber liegen (470–862 MHz).

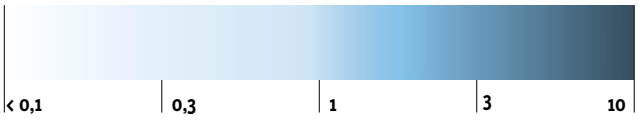
DVB-T: Ende 2001 hat auch beim Fernsehen die Umstellung von der konventionellen analogen Übertragungstechnik auf das digitale DVB-T-Verfahren begonnen. Die Abkürzung steht für Digital Video Broadcasting-Terrestrial (terrestrisches digitales Fernsehen). Vorteile dieser Technik sind die bessere Bild- und Tonqualität sowie die Möglichkeit, zusätzliche Daten zu verbreiten. Zudem geht DVB-T sparsam mit den Frequenzen um. So können auf einem herkömmlichen analogen Fernsehkanal – je nach gewünschter Qualität – zwei bis sechs digitale Programme gleichzeitig gesendet werden.

Die Stadt Zürich wird vom nahen Üetliberg aus versorgt. Da die meisten Rundfunksender auf Bergen oder Hügeln stehen, sind bewohnte Gebiete kaum je von starker Strahlung betroffen.

Richtfunk



Schematische Darstellung der Strahlung einer Richtfunkanlage. Die Bedeutung der Farben ist in der unten stehenden Skala ablesbar.



Skala der elektrischen Feldstärke in Volt pro Meter (V/m).

Diese Richtfunkantennen auf dem Jakobshorn GR verbinden Mobilfunk-Basisstationen über relativ kurze Distanzen mit einer Telefonzentrale.

Richtfunk in der Schweiz

In der Schweiz existiert ein landesweites Richtfunknetz mit typischen Distanzen von 50 bis 70 km zwischen den Sende- und Empfangsantennen. Solche Entfernungen werden mit Frequenzen von 4 bis 13 Gigahertz (GHz) überbrückt. Die dafür eingesetzten Parabolantennen erreichen Durchmesser bis zu einigen Metern und sind meistens auf hohen Türmen an exponierten Lagen – wie Hügeln – installiert.
Neben dem landesweiten Netz werden zunehmend auch Richtfunkverbindungen über kurze Distanzen erstellt. Sie dienen zum Beispiel dazu, Mobilfunk-Basisstationen mit den Zentralen zu verbinden. Zur Überbrückung kürzerer Distanzen von wenigen hundert Metern bis zu einigen Kilometern verwendet man Frequenzen im Bereich von 18 bis 38 GHz. Die dazu eingesetzten Parabolantennen haben einen kleineren Durchmesser von einigen dutzend Zentimetern.

Enge Bündelung der Strahlung

Parabolantennen bündeln die Strahlung so stark, dass sie in einem engen Strahl konzentriert wird und sich geradlinig zwischen der Sende- und der Empfangsantenne ausbreitet. Wegen dieser starken Bündelung können Richtfunksender im Vergleich zum Rundfunk mit sehr niedrigen Leistungen arbeiten. Für lange Strecken genügen grundsätzlich einige 100 Milliwatt (mW) pro Frequenz, und bei kurzen Entfernungen sind es 10 bis 100 mW. Richtfunkanlagen senden in der Regel nicht gepulst, sondern kontinuierlich und mit konstanter Leistung.
Trotz der anfänglich starken Bündelung weitet sich der Richtstrahl auf dem Weg von der Sende- zur Empfangsantenne allmählich auf. Am Empfangsort wird deshalb eine wesentlich grössere Fläche als jene der Parabolantenne bestrahlt. Je weiter die beiden Anlagen auseinander liegen, desto grösser ist auch die bestrahlte Fläche.
Neben dem Hauptstrahl erzeugen Parabolantennen noch eine Reihe von deutlich schwächeren Nebenstrahlen oder Nebenkeulen. Da sie die Anlage in einem anderen Winkel verlassen als der Hauptstrahl, können sie auch das Gelände neben und unter der Antenne treffen. Messungen bei einer starken Sendeanlage des landesweiten Richtfunknetzes haben Streustrahlungen im Bereich von 0,03 bis 0,15 Volt pro Meter (V/m) ergeben. Wenn im Nahbereich einer Richtfunksendeantenne Immissionen messbar sind, so gehen sie von solchen Nebenkeulen aus.

Grenzwerte für Richtfunkanlagen

Ortsfeste Richtfunkanlagen fallen in den Geltungsbereich der NISV. Sie müssen die Immissionsgrenzwerte einhalten, was in der Regel problemlos möglich ist. Überschreitungen können grundsätzlich nur auftreten, wenn sich jemand in unmittelbarer Nähe der Antenne direkt im Richtstrahl befindet. Weil der menschliche Körper in einem solchen Fall die Richtfunkverbindung stark abschwächen oder sogar unterbrechen würde, sind entsprechende Situationen in der Praxis auch aus betrieblichen Gründen unerwünscht. Richtfunkantennen werden deshalb an erhöhten Standorten installiert und bei Bedarf eingezäunt, so dass normalerweise niemand in den Richtstrahl gelangen kann. Damit sind auch die Immissionsgrenzwerte eingehalten. Die NISV legt für Richtfunkanlagen keinen Anlagegrenzwert fest.

Richtfunk

Richtfunkverbindungen dienen der drahtlosen Übermittlung von Telefongesprächen, Daten sowie Radio- und Fernsehprogrammen zwischen zwei Punkten mit direkter Sichtverbindung. Sie unterstützen und ergänzen die Informationsübertragung über das Kabelnetz. Besonders in topografisch schwierigem Gelände sind sie einfacher zu installieren und wirtschaftlicher als Kabelleitungen. Richtfunkanlagen bestehen aus je einer Parabolantenne am Sende- und Empfangsort.

Amateurfunk

In der Schweiz gibt es rund 5000 Amateurfunker – weltweit sind es mehr als eine Million. Ihre Funkanlagen stehen meistens in Privatwohnungen. Es ist jedoch auch möglich, sie von einem Auto, Schiff oder Flugzeug aus zu betreiben. Für den Amateurfunk stehen zahlreiche Frequenzen zwischen Langwelle und Mikrowelle zur Verfügung.
Die entsprechenden Antennen sind häufig auf dem Dach oder in unmittelbarer Umgebung installiert. Weil das Basteln und Experimentieren einen wesentlichen Bestandteil dieser Freizeitbeschäftigung ausmacht, gibt es sehr verschiedene Konstruktionen. Für die niedrigen Frequenzen werden in der Regel fix installierte Drahtantennen eingesetzt. Wer die höheren Kurzwellenfrequenzen nutzt, setzt einfache Vertikalstrahler und Richtantennen ein. Und im Bereich der Ultrakurzwellen und Mikrowellen wird mit Richtantennen, Vertikalstrahlern sowie Parabolspiegeln gearbeitet.
Im Gegensatz zum Mobilfunk oder Rundfunk stehen die Amateurfunkanlagen nicht dauernd in Betrieb und erzeugen damit auch nicht permanent Strahlung, da diese nur beim Senden auftritt. Die Konzession erlaubt eine maximale Sendeleistung von 1000 Watt (W). In der Praxis sind die Funkanlagen jedoch oft nur für Leistungen bis 100 W ausgelegt.
Da die Antennen häufig in Wohngebieten stehen, sind ihre Abstände zu anderen Wohnungen allerdings relativ klein. Deshalb können Amateurfunkanlagen im Betriebszustand in ihrer näheren Umgebung den Hauptteil zur Belastung an hochfrequenter Strahlung beitragen. Alle ortsfesten Anlagen fallen in den Geltungsbereich der NISV und müssen die festgesetzten Grenzwerte einhalten.

Auf Grund der grossen Typenvielfalt können Amateurfunkantennen sehr verschieden aussehen. Hier ist eine so genannte Yagi-Dachantenne abgebildet.

Grenzwerte für Amateurfunkanlagen

Amateurfunkanlagen müssen die Immissionsgrenzwerte der NISV einhalten. Je nach Frequenz liegen diese zwischen 28 und 87 V/m. Darüber hinaus ist kein Anlagegrenzwert einzuhalten, solange die Betriebsdauer unter 800 Stunden pro Jahr liegt. Dies ist bei Hobbyanwendungen praktisch immer der Fall. Sendet eine Anlage ausnahmsweise doch mehr, so muss sie an Orten mit empfindlicher Nutzung einen Anlagegrenzwert einhalten. Dieser beträgt bei Langwellen- und Mittelwellensendern 8,5 V/m und für alle übrigen Frequenzbänder 3,0 V/m. Für den Vollzug der NISV bei Amateurfunkanlagen sind die Kantone oder Gemeinden zuständig.

Geräte für den Amateurfunk.

Frequenzen für den Amateurfunk

Bezeichnung des Frequenzbandes	In der Schweiz für den Amateurfunk verwendete Frequenzen
Langwelle	135,7 – 137,8 kHz
Mittelwelle	1,81 – 2 MHz
Kurzwelle	Mehrere Frequenzbänder zwischen 3,5 und 29,7 MHz
Ultrakurzwelle	50 – 52 MHz 144 – 146 MHz
Mikrowelle	Mehrere Frequenzbänder zwischen 430 MHz und 250 GHz

Nicht nur im Freien, sondern auch in unseren Wohnungen gibt es immer mehr Funkanwendungen. Dazu zählen zum Beispiel schnurlose Telefone, Kopfhörer ohne Kabel, Babyfone oder WLAN-Stationen für den drahtlosen Zugang zum Internet. Obwohl alle diese Geräte mit relativ geringen Sendeleistungen arbeiten, können sie die Belastung durch hochfrequente Strahlung in Innenräumen dennoch dominieren. Um die Immissionen möglichst niedrig zu halten, sollten diese Funkanlagen deshalb in gebührendem Abstand zu häufigen Aufenthaltsorten wie Bett, Sofa, Schreibtisch oder Kinderzimmer platziert werden.

Inhalt

Funkanlagen in Gebäuden > S 53

Schnurlostelefone > S 53

Technische Daten von Schnurlostelefonen > S 53

Berechnete Immissionen von DECT-Basisstationen > S 53

Drahtlose Netzwerke – WLAN > S 54

Sendeleistungen > S 54

Technische Daten zu WLAN > S 54

Gemessene Immissionen von WLAN > S 54

Bluetooth > S 55

Technische Daten zu Bluetooth > S 55

Berechnete Immissionen von Bluetooth > S 55

Babyfone > S 55

Technische Daten zu funkbetriebenen Babyfonen > S 55

Auch in Wohnungen strahlen immer mehr Minisender

Funkanlagen in Gebäuden

Mobilfunkantennen, Rundfunksender sowie weitere Funkanlagen im Freien sind nicht die einzigen Quellen hochfrequenter Strahlung. Auch innerhalb von Gebäuden werden immer mehr Funkanwendungen genutzt – so etwa drahtlose Netzwerke (WLAN), Schnurlostelefone oder Babyfone. Diese Technologien verwenden zum Teil ähnliche Frequenzen wie der Mobilfunk, teilweise aber auch höhere. Sie arbeiten mit relativ geringen Sendeleistungen, befinden sich wegen ihrer Installation in Innenräumen jedoch oft in unmittelbarer Nähe zu häufig benutzten Aufenthaltsorten.
Die meisten Technologien arbeiten mit gepulster Strahlung, wobei die Pulsmuster sehr unterschiedlich sind.

Schnurlostelefone

Schnurlostelefone bestehen aus einer mit dem Festnetz verbundenen Basisstation und einem oder mehreren Mobilteilen zum drahtlosen Telefonieren. Die heute gebräuchlichen Geräte basieren auf dem DECT-Standard und arbeiten in einem Frequenzbereich von 1880 bis 1900 MHz. DECT steht für «Digital Enhanced Cordless Telecommunications».
Das Signal der DECT-Telefone ist mit 100 Hz gepulst. Die Sendeleistung beträgt während eines Pulses 250 Milliwatt (mW) und im zeitlichen Mittel 10 mW. Sie ist somit niedriger als jene eines GSM-Mobiltelefons bei schlechten Empfangsverhältnissen, das in diesem Fall mit einer Pulsleistung von 1000 oder 2000 mW – respektive einer mittleren Leistung von 125 oder 250 mW – sendet. Im Gegensatz zum Schnurlostelefon passt das Handy seine Sendeleistung jedoch den Empfangsbedingungen an und kann sie unter optimalen Bedingungen bis um das 1000-fache reduzieren.
Die Sendeleistung von DECT-Basisstationen beträgt im Puls ebenfalls 250 mW und im zeitlichen Mittel 10 mW für jedes von der Basisstation bediente Mobilteil. Im Handel sind DECT-Basisstationen mit bis zu sechs Telefonhörern erhältlich.
Während Letztere nur während eines Gesprächs senden, strahlt die DECT-Basisstation dauernd, also auch, wenn nicht telefoniert wird – dann mit einer mittleren Sendeleistung von 2,5 mW. Um die Immissionen niedrig zu halten, empfiehlt es sich, die Basisstation in möglichst grossem Abstand zu Orten mit langen Aufenthaltszeiten zu platzieren – also zum Beispiel nicht in der Nähe von Betten, Sitzgruppen oder Arbeitstischen.
Als Alternative zu den DECT-Telefonen gibt es noch einige wenige Schnurlosmodelle nach dem CT1+-Standard. Hier sendet die Basisstation nur während eines Gesprächs, und das Sendesignal ist ungepulst. Die von solchen Modellen genutzten Frequenzbereiche werden allerdings ab Ende 2005 für den Mobilfunk freigegeben. Somit dürfte unter ungünstigen Umständen kein störungsfreier Betrieb mehr möglich sein. CT1+-Telefone, die ihrerseits den Mobilfunk stören, müssen ausser Betrieb genommen werden.

Berechnete Immissionen von DECT-Basisstationen

Abstand von der DECT-Basisstation	Berechnete elektrische Feldstärke (zeitliches Mittel) (Quelle: BAKOM)
0,5 m	0,7 – 4,9 V/m
1,5 m	0,2 – 1,6 V/m
3 m	0,1 – 0,8 V/m
7 m	0,05 – 0,4 V/m

Technische Daten von Schnurlostelefonen

	DECT Basisstation	DECT Mobilteil	CT1+ Basisstation	CT1+ Mobilteil
Frequenz	1880 – 1900 MHz	1880 – 1900 MHz	930 – 932 MHz	885 – 887 MHz
Pulsung	100 Hz	100 Hz	keine	keine
Maximale Sendeleistung	250 mW	250 mW	10 mW	10 mW
Mittlere Sendeleistung bei Gespräch	10 mW (pro Mobilteil)	10 mW	10 mW	10 mW
Mittlere Sendeleistung ohne Gespräch	2,5 mW (pro Mobilteil)	0 mW	0 mW	0 mW
Sendestatus	sendet dauernd	sendet nur während eines Gesprächs	sendet nur während eines Gesprächs	sendet nur während eines Gesprächs
Reichweite	ca. 50 m in Gebäuden, ca. 300 m im Freien			

Im Gegensatz zu herkömmlichen Telefonapparaten mit Kabel emittieren DECT-Schnurlostelefone und ihre Basisstationen gepulste Strahlung.

Drahtlose Netzwerke – WLAN

WLAN steht für «Wireless Local Area Network», auf Deutsch drahtloses lokales Netzwerk. Mit dieser Funktechnik lassen sich mehrere Computer ohne Kabel untereinander verbinden. Auf gleiche Weise wird WLAN auch für den Datentransfer zu Peripheriegeräten wie Druckern, Scannern und Projektoren eingesetzt. Die sowohl innerhalb von Gebäuden als auch im öffentlichen Raum genutzte Technik ermöglicht zudem den drahtlosen Zugang ins Internet oder in ein Firmennetzwerk.

Hotspots: Beispiel für eine öffentliche WLAN-Anwendung ist der drahtlose Breitband-Internetzugang an viel frequentierten Orten wie etwa Bahnhöfen, Flughäfen, Restaurants, Universitäten, Freibädern oder Marktplätzen. An solchen Hotspots nimmt der Laptop über eine Funkkarte Kontakt zu einer fix installierten Sende- und Empfangsstation auf, die über einen Rechner mit dem Internet verbunden ist. Solche WLAN-Basisstationen heissen Access-Points. Je nach Hotspot ist der Internetzugang gebührenpflichtig oder kostenlos.

WLAN in der eigenen Wohnung und in Firmen: Auch in der eigenen Wohnung sind drahtlose Internetzugänge über Access-Points möglich. Die WLAN-Basisstation wird hier über die Telefonleitung oder das TV-Kabel mit dem Internet verbunden. In Betrieben lassen sich Computer und Peripheriegeräte über Access-Points nicht nur mit dem Internet, sondern auch mit dem internen Firmennetzwerk (Intranet) drahtlos verbinden.

Die mit einem Access-Point betriebenen WLAN-Anwendungen werden als Infrastruktur-Netzwerke bezeichnet. Fehlt ein Access-Point, können die Endgeräte auch direkt miteinander kommunizieren. In diesem Fall spricht man von einem Adhoc-Netzwerk.

Sendeleistungen

WLAN-Anwendungen arbeiten in der Schweiz je nach Standard entweder im Frequenzband von 2,4 oder von 5,2 bis 5,7 Gigahertz (GHz).

Die Access-Points senden nicht nur während einer Datenübertragung, sondern auch im Bereitschaftsmodus. Dieses Steuersignal ist mit einer Frequenz von 10 bis 100 Hertz (Hz) gepulst. Während der Datenübertragung senden sowohl der Access-Point als auch die Funkkarte des Computers Signale, die mit einer höheren Frequenz gepulst sind – je nach Qualität der Funkverbindung und der Anzahl beteiligter Stationen bis zu 250 Hz.

Die maximalen Sendeleistungen bei WLAN sind mit 100 mW, 200 mW oder 1 W zum Teil höher als bei DECT-Basisstationen und -Telefonen. Im Vergleich zur WLAN-Basisstation (Access-Point) ist die Strahlungsbelastung durch die WLAN-Funkkarte des Computers in der Regel grösser, da sich diese näher beim Menschen befindet.

Technische Daten zu WLAN

Standard	IEEE 802,11b	IEEE 802,11h
Frequenz	2,4 – 2,4835 GHz	5,15 – 5,35 GHz, 5,47 – 5,725 GHz
maximale Sendeleistung	100 mW	200 mW – 1 W (Leistungsregelung nach Bedarf)
Pulsung im Bereitschaftsmodus	10 – 100 Hz	10 – 100 Hz
Pulsung während Datenübertragung	10 – 250 Hz	10 – 250 Hz
Reichweite	~30 m im Haus, ~300 m im Freien	~30 m im Haus, ~300 m im Freien

Gemessene Immissionen von WLAN

Access-Points im öffentlichen Raum (100 mW/200 mW)	
Distanz zum Access-Point	Gemessene maximale elektrische Feldstärke
1 m	0,7 – 3 V/m
2 m	0,4 – 1,5 V/m
5 m	0,1 – 0,7 V/m
10 m	0,05 – 0,4 V/m

Access-Points in der Wohnung (100m W/200 mW)	
Distanz zum Access-Point	Gemessene maximale elektrische Feldstärke
1 m	0,7 – 1,3 V/m
5 m	0,1 – 0,3 V/m

WLAN-Funkkarten für Computer (100 mW/200 mW)	
Distanz zur WLAN-Karte	Gemessene maximale elektrische Feldstärke
50 cm	1,1 – 4,9 V/m
1 m	0,7 – 2,8 V/m

Ortsfeste WLAN-Anlagen im öffentlich zugänglichen Raum müssen die Immissionsgrenzwerte der NISV einhalten. Auf Grund der niedrigen Sendeleistungen ist dies immer der Fall. Anders als etwa bei Mobilfunk-Basisstationen legt die Verordnung für WLAN dagegen keine vorsorglichen Grenzwerte fest.

Bluetooth

Bluetooth-Geräte arbeiten mit relativ schwachen Sendeleistungen – entsprechend gering ist die Strahlenbelastung.

Bluetooth ist ein Funkstandard für die drahtlose Datenübertragung über kurze Distanzen – zum Beispiel zwischen Computer und Drucker oder zwischen Kopfhörer und Mobiltelefon. Er unterscheidet sich von der WLAN-Technik durch eine kürzere Reichweite und ein anderes Übertragungsverfahren. Bluetooth verwendet für die Datenübermittlung 79 verschiedene Frequenzkanäle bei 2,4 GHz. Die Frequenzen werden pro Sekunde 1600-mal gewechselt, womit das Signal mit 1600 Hertz gepulst ist.

Für Bluetooth-Geräte existieren drei Leistungsklassen mit maximalen Sendeleistungen von 1 mW, 2,5 mW oder 100 mW. Diese liegen also tiefer als bei DECT- und WLAN-Anwendungen.

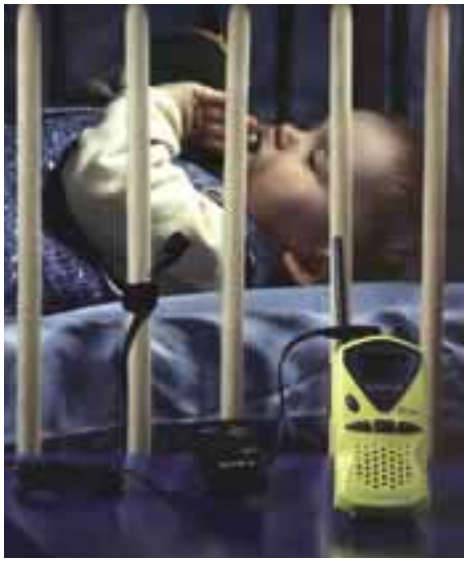
Technische Daten zu Bluetooth

Frequenz	Sendeleistung	Pulsung	Reichweite
2,4 – 2,4835 GHz	1 mW	1600 Hz	ca. 10 m
2,4 – 2,4835 GHz	2,5 mW	1600 Hz	ca. 15 m
2,4 – 2,4835 GHz	100 mW	1600 Hz	ca. 100 m

Berechnete Immissionen von Bluetooth

Sendeleistung (Leistungsregelung nach Bedarf)	maximale elektrische Feldstärke in 50 cm Distanz	maximale elektrische Feldstärke in 1 m Distanz
1 mW	ca. 0,4 V/m	ca. 0,2 V/m
2,5 mW	ca. 0,6 V/m	ca. 0,3 V/m
100 mW	ca. 3.5 V/m	ca. 2 V/m

Babyfone



Babyfone dienen der akustischen Überwachung von Säuglingen und Kleinkindern. Dabei nimmt das Sendegerät über ein Mikrofon die Laute des Babys auf und übermittelt sie an einen Empfänger, der die Geräusche über einen Lautsprecher wiedergibt. Die beiden Apparate können entweder über ein eigenes Kabel, das Hausstromnetz oder über Funk miteinander verbunden sein.
Funkbetriebene Babyfone werden mit 27,8 oder 40,7 MHz betrieben. Einige Modelle sind dauernd auf Sendung und erzeugen folglich auch permanent Strahlung, andere dagegen senden nur, wenn ein Geräusch vorhanden ist. Mit einer entsprechenden Wahl des Geräts kann die Elektrosmogbelastung niedrig gehalten werden:

- Babyfone, welche die Geräusche via Stromnetz übertragen, erzeugen keine nennenswerte Elektrosmog-Belastung.
- Bei den funkbetriebenen Geräten verursachen jene, die nur senden, wenn ein Geräusch vorhanden ist, die geringsten Emissionen.
- Unabhängig vom Gerätetyp empfiehlt es sich, zwischen einem funkbetriebenen Babyfon und dem Kind einen Mindestabstand von 1,5 bis 2 m zu halten.

Technische Daten zu funkbetriebenen Babyfonen

Frequenz	Sendeleistung	Reichweite
27,8 MHz	100 mW	ca. 400 Meter
40,7 MHz	10 mW	ca. 400 Meter

Stichwortverzeichnis

Amateurfunk	51
Anlagegrenzwerte	17
Äquivalente Sendeleistung	41
Babyfon	55
Beleuchtung	33
Bildschirm	32
Bluetooth	55
Drahtlose Netzwerke (WLAN)	54
Eisenbahn	34
Elektrische Feldstärke	41
Elektrische Geräte	28
Elektromagnetisches Spektrum	4
Elektrosensibilität	11
Fernsehsender	49
Föhn	31
Frequenz	22, 41
Gesundheitsauswirkungen	6
Gleichstrombahnen	37
Grenzwerte	16
GSM	39
Halogenbeleuchtung	33
Handy	45
Haushaltsgeräte	28
Hausinstallationen	30
Hochfrequente Strahlung	5
Hochspannungsleitungen	23
Immissionsgrenzwerte	16
Ionisierende Strahlung	5
Kabelleitungen	26
Kochherd	31
Leistungsflussdichte	41
Leukämie	7
Messungen	18
Mikrotesla	23
Mikrowellenofen	30
Mobilfunk	38
Mobilfunkantenne	42
Mobiltelefon	45
Nichtionisierende Strahlung	4
Nichtthermische Wirkungen	10
Niederfrequente Felder	4
NIS-Verordnung	14
Orte mit empfindlicher Nutzung	17
Phasenoptimierung	24
Radiosender	47
Radiowecker	32
Richtfunk	50
Rundfunksender	47
Schnurlostelefon	53
Spannung	22
Stromstärke	22
Stromversorgung	21
Thermische Wirkungen	10
Tram	37
Transformatorenstation	27
Trolleybus	37
UMTS	39
Watt	41
WLAN (Drahtlose Netzwerke)	54

Glossar

Frequenz: Die Frequenz bezeichnet die Anzahl Schwingungen pro Sekunde und wird in Hertz (Hz) angegeben. Dabei steht 1 Hz für eine Schwingung pro Sekunde. Im Funkbereich sind Kilohertz (1000 Hz), Megahertz (1 000 000 Hz) und Gigahertz (1 000 000 000 Hz) gebräuchliche Einheiten.

Hochfrequenz-Strahlung: Nichtionisierende Strahlung mit einer Frequenz von 30 Kilohertz bis 300 Gigahertz wird als Hochfrequenz-Strahlung bezeichnet. In diesem Bereich sind das elektrische und magnetische Feld aneinander gekoppelt und können sich als Welle frei im Raum ausbreiten. Mobiltelefonie, verschiedene Funkanwendungen, Radaranlagen sowie Radio und Fernsehen nutzen diese Eigenschaft für die drahtlose Übertragung von Informationen.

Ionisierende Strahlung: Als ionisierende Strahlung bezeichnet man die elektromagnetische Strahlung im höchsten Frequenzbereich. Sie weist genügend Energie auf, um Elektronen aus Atomen und Molekülen herauszulösen und damit die Bausteine von Lebewesen zu verändern. Dazu zählen zum Beispiel die Gamma- und Röntgenstrahlung.

Nichtionisierende Strahlung: Nichtionisierende Strahlung besitzt nicht genügend Energie, um die Bausteine von Lebewesen zu verändern. Sie umfasst die UV-Strahlung, das sichtbare Licht, Wärmestrahlen, die Hochfrequenz-Strahlung sowie alle niederfrequenten elektrischen und magnetischen Felder. Technisch erzeugte nieder- und hochfrequente nichtionisierende Strahlung wird landläufig auch als Elektrosmog bezeichnet.

Niederfrequente Felder: Im Gegensatz zur Hochfrequenz-Strahlung sind das elektrische und magnetische Feld im Frequenzbereich zwischen 0 Hz und 30 kHz nicht aneinander gekoppelt. Deshalb spricht man hier eher von Feldern als von Strahlung. Quellen dieser Felder sind insbesondere Eisenbahn-Fahrleitungen, Hochspannungsleitungen, weitere Anlagen der Stromversorgung wie Trafostationen und Unterwerke sowie elektrische Geräte.

NIS-Verordnung: Grundlage der seit 1. Februar 2000 rechtskräftigen „Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung“ (NISV) ist das Umweltschutzgesetz. Mit der NISV will der Bund die Bevölkerung vor schädlichen und lästigen Auswirkungen von nichtionisierender Strahlung schützen.

Impressum

Herausgeber:
Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL
Das BUWAL ist ein Amt des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Konzept und Text:
Alexander Reichenbach, Sektion Nichtionisierende Strahlung, BUWAL
Begleitung BUWAL:
Jürg Baumann, Stefan Joss, Andreas Siegenthaler, alle Sektion Nichtionisierende Strahlung; Norbert Ledergerber, Abteilung Kommunikation

Konzept, redaktionelle Bearbeitung und Produktion:
Beat Jordi, Biel
Grafikkonzept, Illustrationen und Layout:
Beat Trummer, Biel

Bildnachweis:
BUWAL/AURA: Umschlag, 2 l. u., 2 r. u., 3 l. u., 3 M. u., 3 r. u., 11 u., 13 o., 14, 18, 19 M., 19 u., 28, 29, 30, 38, 40, 41, 52, 53, 54; Archiv Fotoagentur AURA, Luzern: Umschlag, 2 o., 3 l. o., 3 M. o., 3 r. o., 6, 13 u., 17, 20, 26, 27, 32 o., 34, 37, 39, 46, 47, 49, 50; Beat Trummer, Biel: 10, 55 l.; Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Universität Zürich: 11 o.; Sektion Nichtionisierende Strahlung, BUWAL: 19 o., 32 u., 51 o.; www.dj4uf.de: 51 u., www.kenwood.de, Pressefoto: 55 r.

Bezug der gedruckten Fassung
BBL, Verkauf Bundespublikationen
CH-3003 Bern
www.bundespublikationen.admin.ch
Art.-Nr. 810.400.014d

PDF-Download
www.bafu.admin.ch
Nummer: DIV-5801-D

Hinweis:
Die Broschüre liegt auch auf Französisch (DIV-5801-F) und Italienisch (DIV-5801–I) vor.

© BUWAL 2005

Lesetipp

- www.umwelt-schweiz.ch
> Publikationen > Elektrosmog

Links

- www.umwelt-schweiz.ch/elektrosmog
- www.bag.admin.ch/strahlen/nonionisant/d/
- www.bakom.ch > Funk
- www.mobile-research.ethz.ch
- www.aefu.ch > Themen > Elektrosmog
- www.icnirp.de
- www.who.int/peh-emf/en
- www.feb.se/FEB/Links.html

Weitere Informationen:
Bundesamt für Umwelt, Wald
und Landschaft BUWAL
Sektion Nichtionisierende Strahlung
3003 Bern

Tel. +41 58 462 92 49
Fax +41 58 463 03 72
E-Mail: nis@bafu.admin.ch
Internet:
www.bafu.admin.ch/elektrosmog

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL