



18. Dezember 2015

Konzept für ein nationales Monitoring elektromagnetischer Felder

Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats Gilli
09.3488 «Elektromagnetische Felder. Monitoring»

Zusammenfassung

Das Postulat Gilli vom 2.6.2009 (09.3488) «Elektromagnetische Felder. Monitoring» beauftragt den Bundesrat, die Planung und Umsetzung eines Monitorings der Expositionssituation der Schweizer Bevölkerung betreffend nichtionisierende Strahlung (NIS) zu prüfen und einen Vorschlag für notwendige Massnahmen zu unterbreiten.

Rechtsgrundlage für ein NIS-Monitoring in der Schweiz ist das Umweltschutzgesetz. Danach sollen Bund und Kantone Erhebungen über die Umweltbelastung (dazu gehört auch NIS) durchführen und den Erfolg von Massnahmen dieses Gesetzes prüfen. Die Behörden von Bund und Kantonen sollen die Öffentlichkeit sachgerecht über den Umweltschutz und den Stand der Umweltbelastung informieren, insbesondere sollen sie die Erhebungen über die Umweltbelastung und über den Erfolg der Massnahmen veröffentlichen.

Ziel eines gesamtschweizerischen NIS-Monitorings soll dabei in erster Linie sein, repräsentative Aussagen über die Belastung der Schweizer Bevölkerung durch NIS und deren zeitliche Entwicklung zu erhalten. Das Bundesamt für Umwelt BAFU hat mehrere Studien in Auftrag gegeben, um die Machbarkeit eines NIS-Monitorings abzuklären und ein Konzept erarbeiten zu lassen. Diese Grundlagenarbeiten zeigen, dass ein gesamtschweizerisches NIS-Monitoring, das repräsentative Aussagen über die Exposition der Bevölkerung liefert, möglich ist. Es sollte vier sich ergänzende Module umfassen:

- Repräsentative Messungen der Immissionen in definierten Kontexten, einschliesslich dem Wohnbereich
- Berechnung der Immissionen im Siedlungsgebiet der Schweiz, die durch Mobil- und Rundfunksendeanlagen, Hochspannungsleitungen, elektrische Unterwerke sowie Eisenbahnfahrleitungen bedingt sind
- Zusammenführung und Nutzung der Ergebnisse kantonaler und kommunaler ortsfester Immissionsmessungen in eine zentrale Plattform
- Fallstudien zur Exposition der Nutzer durch körpernah emittierende Geräte

Die Messgeräte sind vorhanden, die Algorithmen für die Berechnung der Immissionen von Mobilfunk- und Rundfunkstrahlung sowie von Magnetfeldern von Hochspannungsleitungen ebenfalls. Die Immissionsberechnungen können in die bestehende EDV-Umgebung der Lärmdatenbank sonBASE des BAFU integriert werden, woraus sich Synergiegewinne ergeben. Noch aufzubauen sind die Berechnungsgrundlagen für die Immissionen von Eisenbahnanlagen und elektrischen Unterwerken sowie die Kataster der Anlagen der Stromversorgung und der Eisenbahn, welche für die Berechnung der Immissionen benötigt werden. Die Kosten für den Bund für den Aufbau und Betrieb während 10 Jahren werden auf 7 Millionen Franken geschätzt, wovon 5.2 Millionen Franken auf externe Dienstleistungen entfallen. Angesichts der hohen strukturellen Defizite im Bundeshaushalt und der Notwendigkeit eines Stabilisierungsprogramms ist die Finanzierung des Vorhabens indes ungewiss.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
Inhaltsverzeichnis	3
1 Einleitung	4
1.1 Auftrag	4
1.2 Ziel eines NIS-Monitorings	4
1.3 Rechtsgrundlage	5
1.4 Wissenschaftliche Grundlagen	5
2 Nichtionisierende Strahlung	6
2.1 Physikalisches	6
2.2 Quellen	6
2.3 Immissionen	7
3 Optionen für ein NIS-Monitoring in der Schweiz	8
3.1 Herausforderung	8
3.2 Personenbezogene Messungen	8
3.3 Kontextbezogene Messungen	9
3.4 Ortsfeste Messungen	12
3.5 Immissionsberechnung	13
3.6 Bestimmung der Exposition durch körpernahe Geräte	15
4 Konzept für ein schweizerisches NIS-Monitoring	16
5 Kostenschätzung	17
6 Schlussfolgerung	20
7 Abkürzungsverzeichnis	21
8 Literaturverzeichnis	22

1 Einleitung

1.1 Auftrag

Das Postulat Gilli vom 2.6.2009 (09.3488) «Elektromagnetische Felder. Monitoring» beauftragt den Bundesrat, die Planung und Umsetzung eines Monitorings der Expositionssituation der Schweizer Bevölkerung betreffend nichtionisierende Strahlung (NIS) zu prüfen und einen Vorschlag für notwendige Massnahmen zu unterbreiten.

Das Postulat wird damit begründet, dass eine Vielzahl von drahtlosen Kommunikationstechnologien eingeführt worden sei, was zu einer Erhöhung der nichtionisierenden Strahlung in der Umwelt geführt habe. Der Fortgang dieser Entwicklung sei auch für die Zukunft vorauszusehen mit unbekanntem Ausgang für die Exposition der Bevölkerung. Es sei daher unabdingbar, dass die Immissionen von nichtionisierender Strahlung überwacht würden. Die technische Machbarkeit sei im Nationalen Forschungsprogramm 57 (NFP 57) «Nichtionisierende Strahlung – Umwelt und Gesundheit» erwiesen worden.

Der Bundesrat hat am 26.8.2009 in seiner Antwort das Anliegen des Postulats unterstützt. In der Tat fehle eine für die ganze Schweiz repräsentative, dauerhafte Erfassung der Belastung von Mensch und Umwelt durch nichtionisierende Strahlung. Das UVEK (Bundesamt für Umwelt) werde im Rahmen der vorhandenen Ressourcen das verlangte Konzept für ein systematisches Langzeitmonitoring der nichtionisierenden Strahlung erarbeiten und die Kosten für den Aufbau und Betrieb der benötigten Einrichtungen abschätzen. Dabei würden auch die Erkenntnisse aus dem NFP 57 berücksichtigt. Das Postulat wurde am 10.4.2011 vom Nationalrat angenommen.

Der Bundesrat hat in seinem Bericht «Zukunftstaugliche Mobilfunknetze» vom 25.2.2015 in Beantwortung der Postulate Noser (12.3580) und FDP-Liberale Fraktion (14.3149) festgestellt, dass ein NIS-Monitoring rasch an die Hand genommen werden sollte. Der vorliegende Bericht beschreibt die technisch/wissenschaftlichen Grundlagen für den Aufbau und Betrieb eines solchen Monitorings.

1.2 Ziel eines NIS-Monitorings

Etwas mehr als die Hälfte der Schweizer Bevölkerung schätzt die Strahlung von Mobilfunkantennen als gefährlich oder eher gefährlich ein (BFS 2012). Wie hoch die Immissionen durch NIS im heutigen Lebensumfeld tatsächlich sind, ist hingegen den wenigsten Bürgerinnen und Bürgern bekannt. Dies dürfte ein Grund für das latente Unbehagen weiter Teile der Zivilgesellschaft gegenüber Anlagen für die Stromübertragung und die Mobilkommunikation sein. Erstes Ziel eines NIS-Monitorings ist deshalb, der Bevölkerung auf der Basis von objektiv erhobenen Daten über ihre Exposition durch NIS eine rationale Auseinandersetzung mit der Thematik zu ermöglichen und diese zu fördern. Die Auswirkungen des rasanten technologischen Wandels auf die NIS-Immissionen, vor allem im Bereich der mobilen Kommunikation, sollen aufgezeigt und kommuniziert werden können.

Die Kenntnis der NIS-Immissionen dient des Weiteren als Erfolgskontrolle für die geltenden Schutzvorschriften, zeigt allfälligen Handlungsbedarf auf und ist Grundlage für die Evaluation künftiger technischer und regulatorischer Massnahmen.

Schliesslich kann die Forschung, die sich mit den gesundheitlichen Auswirkungen von NIS in der heutigen Umwelt befasst, mit den dafür unverzichtbaren Expositionsdaten beliefert werden.

Angestrebt werden nicht primär Immissionsdaten für einzelne Orte oder Personen, sondern solche, die für die Bevölkerung oder für Untergruppen insgesamt repräsentativ sind.

Das Monitoring des Vollzugs der NISV bei einzelnen Anlagen sowie die Einhaltung respektive Verletzung rechtlicher Vorschriften stehen vorliegend nicht im Vordergrund.

1.3 Rechtsgrundlage

Rechtsgrundlage für ein NIS-Monitoring ist das Umweltschutzgesetz (USG, SR 814.01). Nach Artikel 44 USG führen Bund und Kantone Erhebungen über die Umweltbelastung durch und prüfen den Erfolg von Massnahmen dieses Gesetzes. Der Bundesrat koordiniert die eidgenössischen und kantonalen Erhebungen und Datensammlungen. Die Behörden sollen die Öffentlichkeit sachgerecht über den Umweltschutz und den Stand der Umweltbelastung informieren, insbesondere sollen sie die Erhebungen über die Umweltbelastung und über den Erfolg der Massnahmen des USG veröffentlichen (Art. 10e Abs. 1 USG).

Zudem sollen Umweltinformationen wenn möglich als offene digitale Datensätze zur Verfügung gestellt werden (Art. 10e Abs. 4 USG).

Der Bundesrat soll mindestens alle vier Jahre den Zustand der Umwelt beurteilen und der Bundesversammlung über die Ergebnisse Bericht erstatten (Art. 10f USG).

Die Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV, SR 814.710) bildet das Ausführungsrecht zum USG für den Bereich der stationären Anlagen, die NIS emittieren. Die NISV enthält keine Bestimmungen betreffend NIS-Monitoring. Es wäre sachgerecht, eine Präzisierung des Auftrags für ein solches Monitoring in der NISV zu verankern, wie dies beispielsweise für die Erhebung der Lärmbelastung und der Luftverunreinigungen in der Lärmschutz- bzw. Luftreinhalteverordnung der Fall ist. Ein entsprechender Vorschlag für eine Ergänzung der NISV wurde in der öffentlichen Anhörung im Herbst 2014 fast einhellig begrüsst. Voraussetzung für die Aufnahme der vorgesehenen Bestimmung in die NISV ist allerdings die Finanzierbarkeit des Vorhabens, welche noch offen ist.

1.4 Wissenschaftliche Grundlagen

Als Grundlage für den verlangten Bericht hat das BAFU im Jahr 2009 eine Fachtagung mit Beteiligung von Experten sowie Behörden des Bundes und der Kantone durchgeführt. Anschliessend wurde eine Konzept- und Machbarkeitsstudie für ein NIS-Monitoring in Auftrag gegeben. Dabei wurden folgende Vorgaben gemacht:

- Das NIS-Monitoring soll repräsentative Aussagen über die Exposition der Schweizer Bevölkerung in ihrem Alltag durch elektromagnetische Felder erlauben, allenfalls auch für ausgewählte Bevölkerungsgruppen (z.B. Jugendliche, Berufstätige, betagte Menschen). Eine gesamtschweizerische Statistik der Bevölkerungsexposition hat Vorrang vor Angaben zu einzelnen Orten oder Personen.
- Es sollen alle Quellen von NIS eingeschlossen werden, die relevant zur Exposition der Bevölkerung beitragen.
- Die Immissionen sollen nach den verursachenden Quellen (Mobilfunk, Rundfunk, Stromversorgung usw.) aufgeschlüsselt werden können.
- Das Monitoring ist so anzulegen, dass langfristige Trends über mehrere Jahre oder Jahrzehnte erkannt werden können.

Der resultierende Bericht «*NIS-Monitoring Schweiz. Eine Konzept- und Machbarkeitsstudie*» (FSM 2012, Dürrenberger u. a. 2014) stützt sich auf bisherige Monitoringerfahrungen in der Schweiz und im umliegenden Ausland und auf wissenschaftliche Erkenntnisse, insbesondere aus dem Nationalen Forschungsprogramm NFP 57 «Nichtionisierende Strahlung – Umwelt

und Gesundheit» (NFP57). In der Folge wurden zu einzelnen Aspekten vertiefende Untersuchungen und Pilotstudien durchgeführt (Bürgi 2012, Bürgi 2014, Rösli u. a. 2015).

2 Nichtionisierende Strahlung

2.1 Physikalisches

Elektromagnetische Strahlung kennen wir in unserer natürlichen und technischen Umwelt in verschiedenen Formen. Physikalisch lässt sich diese Strahlung durch ihre Frequenz kategorisieren. Das Frequenzspektrum wird unterteilt in ionisierende und nichtionisierende Strahlung:

- Ionisierend ist Strahlung, die genügend Energie aufweist, um Moleküle chemisch zu verändern, z. B. Gamma- und Röntgenstrahlung.
- Nichtionisierend ist Strahlung, deren Energie nicht ausreicht, um Moleküle chemisch zu verändern; hierzu gehören z. B. Wärmestrahlung, sichtbares Licht, Ultraviolettstrahlung und technisch erzeugte Strahlung von Rundfunk- oder Mobilfunksendeanlagen, Anlagen der Stromversorgung, elektrischen Geräten usw.

Der vorliegende Bericht behandelt die Erfassung nichtionisierender Strahlung in den derzeit vor allem genutzten Frequenzbändern von 16.7 Hertz bis ca. 5 Gigahertz und umfasst damit die elektrifizierten Bahnen, die Stromversorgung und elektrische Geräte, die drahtlose Kommunikation und Radaranlagen.

Die technisch erzeugte NIS wird von Anlagen oder Geräten – im Folgenden als «Quellen» bezeichnet – emittiert und breitet sich im Raum aus. Dabei wird sie mit zunehmendem Abstand von der Quelle schwächer. Dort wo diese Strahlung auf Menschen einwirkt, spricht man von Immissionen. Für allfällige biologische oder gesundheitliche Auswirkungen ist schliesslich diejenige Strahlung massgebend, die im menschlichen Körper selbst, beispielsweise an einer Nervenzelle, in der Blutbahn oder im Gehirn, wirksam wird.

2.2 Quellen

Die Quellen von NIS sind sehr unterschiedlich. Sie lassen sich im Hinblick auf ein NIS-Monitoring grob in drei Gruppen einteilen:

- **Infrastrukturanlagen** wie Mobilfunk-Basisstationen, Rundfunkanlagen, Richtfunkanlagen, Hochspannungsleitungen, Eisenbahnfahrleitungen und Radaranlagen. Ihnen ist gemeinsam, dass sie ortsfest und meistens ausserhalb von Gebäuden installiert sind. Ihre Strahlung hat eine vergleichsweise grosse Reichweite und führt in der Regel zu Immissionen, die gleichmässig auf den menschlichen Körper einwirken.
- **Stationäre Anlagen und Geräte in Gebäuden** wie elektrische Hausinstallationen, Transformatorenstationen, Induktions- und Mikrowellenkochherde, Basisstationen von Schnurlostelefonen (DECT) und WLAN-Router. Ihre Strahlung hat eine vergleichsweise kurze Reichweite und ist primär innerhalb des Gebäudes relevant, kann aber zum Teil auch ausserhalb noch gemessen werden. Der menschliche Körper wird meistens gleichmässig exponiert, ausser er befindet sich sehr nahe bei der Quelle.
- **Mobile Geräte** wie Mobiltelefone, Schnurlostelefone, Tablet-Computer, WLAN-Karten eines Notebooks sowie portable elektrische Geräte. Ihre Strahlung ist in der Regel nur über eine kurze Distanz bedeutend. Soweit sie nahe am Körper betrieben werden, ist in erster Linie die Person exponiert, die das Gerät nutzt, wobei nur ein kleiner Teil des Körpers, z.B. der Kopf, der Strahlung ausgesetzt ist. Niedriger, aber trotzdem nicht vernachlässigbar, sind diese Immissionen für Drittpersonen, die sich in der Nähe eines solchen

Gerätes aufhalten, beispielsweise die Strahlung aktiver Mobilfunkgeräte in einem Zug für die übrigen Fahrgäste.

2.3 Immissionen

NIS-Immissionen sind extrem vielfältig. Sie unterscheiden sich zum ersten durch ihre Frequenz, welche von einigen Hertz bis in den Gigahertzbereich reicht und somit die riesige Spanne von neun Grössenordnungen (Faktor von 1 Milliarde) abdeckt. In Zukunft dürften auch noch höhere Frequenzen in grösserem Umfang technisch erschlossen werden, so dass diese Spanne weiter wachsen wird.

Sie unterscheiden sich zum zweiten durch die Intensität, die von der Stärke der Emission, dem Abstand zur Quelle und allfälligen Hindernissen auf dem Ausbreitungsweg abhängt. Stark emittierende Quellen führen bei gleichem Abstand zu höheren Immissionen als schwache. Wenn man sich jedoch näher bei einer schwach emittierenden Quelle aufhält als bei einer starken, dann kann durchaus die schwache Quelle zu höheren Immissionen führen. Bei einem Gerät, das nahe am Körper betrieben wird, ist die im Körper wirksame Strahlung wesentlich grösser als die von entfernten Anlagen oder Geräten. Angesichts der Vielzahl und Vielfalt von Quellen führt dies in der Umwelt und im Wohn- und Arbeitsbereich zu einer räumlich ausgesprochen variablen Verteilung der Immissionen. Insbesondere bei der für die drahtlose Kommunikation genutzten Strahlung können bereits innerhalb eines Meters grosse Intensitätsunterschiede auftreten.

Zum dritten weisen die Immissionen je nach Quelle auch ein unterschiedliches zeitliches Muster auf. Die Strahlung von Rundfunksendeanlagen beispielsweise ist zeitlich konstant, während diejenige von Mobilfunksendeanlagen je nach Auslastung des Netzes schwankt. Bei Hochspannungsleitungen ist zwar die Spannung stabil, die Stromstärke jedoch folgt der Nachfrage nach elektrischer Energie, was zu einem im Tages-, Wochen- und Jahresverlauf schwankenden Magnetfeld führt. Noch ausgeprägter sind die zeitlichen Schwankungen beim Magnetfeld der Eisenbahnen und bei der Strahlung von Geräten. Letztere emittieren häufig nur, wenn sie in Gebrauch sind.

Schliesslich hat die Strahlung je nach Quelle auch eine andere Signalform. Die Spanne reicht von einem idealen sinusförmigen Signal ohne Verzerrungen und Unterbrüche bis zu gepulster Strahlung mit sehr kurzen Pulsen und vergleichsweise langen inaktiven Pausen im Fall der Radarstrahlung.

Zusammengenommen ergibt dies ein Immissionsmuster in der Umwelt, das sich aus vielen Einzelbeiträgen unterschiedlicher Frequenz und Signalform zusammensetzt, deren Intensität örtlich und zeitlich auf unterschiedlichen Skalen schwankt. Wenn sich der Mensch in diesem variablen Muster bewegt, ist er in jedem Augenblick einer anderen Mischung von Immissionen ausgesetzt. Und wenn er ein NIS-emittierendes Gerät benutzt, sind die Dauer der Nutzung und dessen genaue Position am Körper entscheidend für die Exposition. Die Wirkungsforschung gibt bisher keine Auskunft, welche Dosis für allfällige gesundheitliche Auswirkungen bei alltäglichen Immissionen relevant sein könnte. Denkbar ist, dass die mittlere Immission von Bedeutung ist, es könnte aber auch die Maximalbelastung relevant sein oder die Dauer, während der ein bestimmter Pegel überschritten wird. Ungewiss ist auch, ob gewisse Signalformen, insbesondere pulsierende, biologisch besonders wirksam sind, wie dies einzelne Laboruntersuchungen nahelegen.

3 Optionen für ein NIS-Monitoring in der Schweiz

3.1 Herausforderung

Ein NIS-Monitoring, das der geschilderten Vielfalt der Immissionen vollumfänglich Rechnung trägt, wäre technisch heute nicht realisierbar. Die Herausforderung besteht darin, geeignete räumliche und zeitliche Stichproben für die Ermittlung der Immissionen zu finden, um generelle und verlässliche Aussagen für die Schweiz machen zu können. Für die Exposition der Nutzer von körpernah betriebenen Geräten braucht es dazu auch eine repräsentative Erhebung des Geräteparks, des Nutzungsverhaltens und der Absorption der Strahlung im Körper. Eine Methode, die alle Aspekte zu integrieren vermag, ist derzeit nicht in Sicht. Im Folgenden werden deshalb fünf Erhebungsmethoden vorgestellt, die einzeln oder in Kombination eingesetzt werden können und komplementäre Informationen liefern.

Um langfristige Trends nachweisen zu können, sollten die Erhebungsmethoden und die Stichproben über längere Zeit unverändert bleiben. Andernfalls können tatsächlich eingetretene Veränderungen der Immissionen nicht von methodenbedingten Abweichungen unterschieden werden. Statistische Vorabklärungen geben Auskunft darüber, wie gross eine Stichprobe sein muss, um eine reale Veränderung mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit detektieren zu können.

3.2 Personenbezogene Messungen

Da die Immissionen der Bevölkerung im Vordergrund des Interesses stehen, ist es naheliegend, eine repräsentative Gruppe aus der Bevölkerung auszuwählen und diese mit portablen Messgeräten auszustatten. Solche Messgeräte existieren für gewisse Kategorien von Strahlung und es sind Bestrebungen im Gang, sie technisch noch weiter zu entwickeln. Sie erfassen laufend die Immissionen in derjenigen Umgebung, in der sich ihr Träger/ihre Trägerin gerade befindet, und zeichnen diese als Zeitreihe auf. Ein Beispiel für eine derartige Aufzeichnung während rund 5 Stunden ist in Abbildung 1 dargestellt. Bei einer genügend grossen Gruppe und einer Aufzeichnung während mehrerer Tage erfasst man auf diese Weise die Spanne und Häufigkeitsverteilung der Immissionen weitgehend. Als Beispiel dafür ist in Abbildung 2 dargestellt, wie sich die individuelle, durchschnittliche Immission hochfrequenter Strahlung von 166 Personen verteilt.

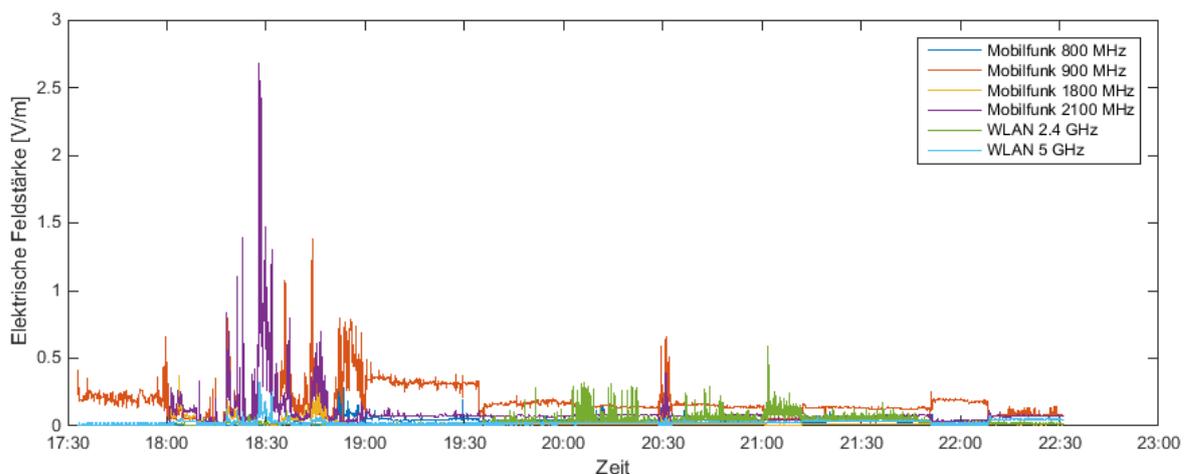


Abbildung 1 Aufzeichnung der elektrischen Feldstärke von Mobilfunkbasisstationen und WLAN mit einem tragbaren Messgerät während ca. 5 Stunden. In diesem Beispiel ist der Proband zuerst an einem Büroarbeitsplatz, dann unterwegs mit dem ÖV und zu Fuss, und am Schluss in seiner Wohnung.

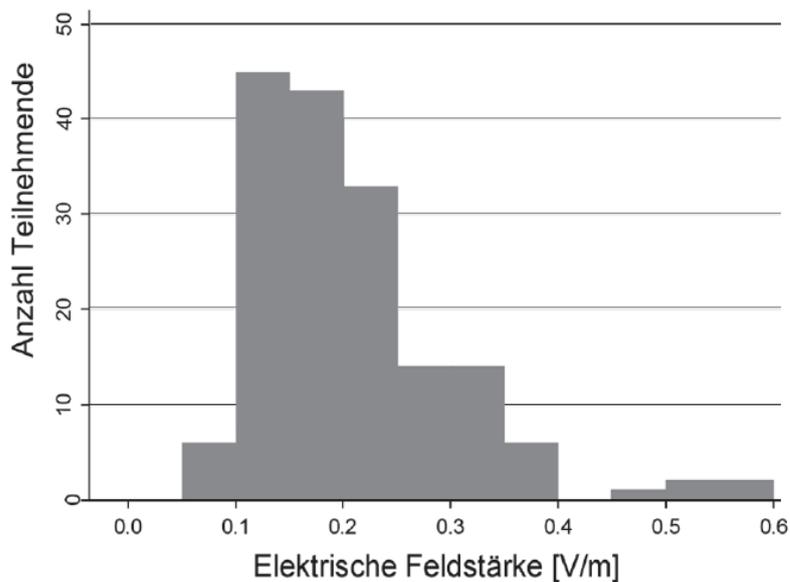


Abbildung 2 Beispiel einer Verteilung der individuellen, durchschnittlichen elektrischen Feldstärke der Hochfrequenzimmission von 166 Studienteilnehmenden (aus Mohler u. a. 2009)

Zusätzlich zur Aufzeichnung durch das Messgerät ist es von Vorteil, durch die Probanden ein Tagebuch führen zu lassen, in dem sie markante Ortswechsel und Charakteristiken ihres Lebensstils, ihres Mobilitätsverhaltens und ihrer Wohn- und Arbeitsumgebung festhalten.

Messbar sind mit den derzeit erhältlichen Messgeräten die Magnetfelder der Eisenbahn und der Stromversorgung, die Strahlung der meisten Sendeanlagen und drahtlosen Anwendungen sowie von mobilen Geräten. Letztere allerdings nur, wenn sie nicht vom Probanden selbst, sondern von Dritten verwendet werden. Die Exposition durch selbstgenutzte Geräte lässt sich mit dieser Methode nicht verlässlich erfassen; man muss sogar dafür sorgen, dass solche während der Aufzeichnung nicht aktiv sind, weil sonst das Messergebnis in unkontrollierbarer Weise verfälscht würde.

Obschon diese Methode dem angestrebten Ziel einer für die Bevölkerung repräsentativen Aussage am nächsten kommt, wird sie von den beigezogenen Experten nicht empfohlen. Erfahrungsgemäss könne nicht sichergestellt werden, dass sich die Probanden an das vorgegebene Messprotokoll halten. Absichtliche oder versehentliche Abweichungen von den Vorgaben können das Ergebnis in nicht kontrollierbarem Ausmass verfälschen. Eine repräsentative Gruppe müsste mehrere hundert Probanden umfassen, was logistisch mit grossem Aufwand verbunden wäre. Die Probanden müssten während der Dauer der Aufzeichnung Einschränkungen auf sich nehmen und Tagebücher ausfüllen, was der Bereitschaft zu wiederholter Teilnahme nicht förderlich wäre.

3.3 Kontextbezogene Messungen

Anstatt durch eine zufällig ausgewählte Bevölkerungsgruppe in ihrem realen Alltag kann man die Immissionen auch in definierten alltäglichen Situationen erfassen lassen. Beispiele für derartige Situationen sind:

- der Aussenraum in Stadtzentren, Agglomerationen, städtischen Wohnquartieren oder im ländlichen Siedlungsraum;

- der Innenbereich von Wohnungen, Arbeitsplätzen, Einkaufszentren oder Schulen;
 - der Aufenthalt in Bahnhöfen, öffentlichen Verkehrsmitteln, Automobilen
- etc.

Solche Situationen werden im Folgenden als Kontext bezeichnet. Mit derartigen Messungen lassen sich beispielsweise Fragen der folgenden Art beantworten:

- Wie hoch sind die mittleren Immissionen von Mobilfunkstrahlung der 4. Generation (LTE) in städtischen Wohnquartieren? Wie haben sie sich in den letzten 2 Jahren verändert?
- Wie hoch ist die mittlere magnetische Flussdichte aufgrund der Stromversorgung und von elektrischen Geräten in ländlichen Einfamilienhäusern? Welche Spitzenwerte treten kurzfristig auf? Welcher Anteil der Einfamilienhäuser ist einer Dauerimmission über 1 μT ausgesetzt?
- Wie hoch sind die Immissionen der Strahlung von Mobiltelefonen der Passagiere in Intercity-Zügen im Mittel und wie stark schwanken sie kurzfristig? Wie hoch ist dort die magnetische Flussdichte infolge des Fahrstroms?
- Wie verändern sich die Immissionen der gesamten Mobilfunkstrahlung mit der Einführung der 5. Generation Mobilfunk (ab ca. 2020) im ländlichen Gebiet oder in Stadtzentren?
- Wie hoch sind die Immissionen durch WLAN-Strahlung in Wohnungen? Gibt es Unterschiede zwischen Mehrfamilien- und Einfamilienhäusern, zwischen städtischem, vorstädtischem und ländlichem Wohngebiet?

Da die Immissionen in einem bestimmten Kontext – wie in der gesamten Umwelt – örtlich und zeitlich schwanken, ist es angezeigt, mehrere konkrete Situationen zum gewünschten Kontext auszuwählen und die Immissionen dort während einer gewissen Zeit und an vielen einzelnen Messpunkten zu messen. Für den Kontext «zentrales städtisches Wohngebiet» könnte beispielsweise je ein Wohnquartier im Zentrum von 10 verschiedenen Städten ausgewählt werden, verteilt über die ganze Schweiz. In jedem dieser Quartiere werden dann ein oder mehrere Messpfade festgelegt, die durch instruiertes Messpersonal mit den in Kapitel 3.2 vorgestellten portablen Messgeräten abgeschritten oder befahren werden. In Abbildung 3 ist die elektrische Feldstärke der gesamten Hochfrequenzstrahlung dargestellt, die entlang eines vorgegebenen Messpfades im Dorfzentrum von Frick mit einem tragbaren Messgerät in zwei Durchgängen im Abstand eines Monats gemessen wurde. Pilotuntersuchungen (Rööslü u. a. 2015) haben gezeigt, dass man auf diese Weise bereits nach einmaligem Durchgang und einer Messzeit von unter einer Stunde ein aussagekräftiges, reproduzierbares Ergebnis über die mittlere Immission und ihre Schwankungsbreite in diesem einen Quartier erhält. Dank dem standardisierten Messprotokoll und der kontrollierten Durchführung sind wiederholte Messungen auf denselben Messpfaden im Abstand von Monaten oder Jahren bestens geeignet, um langfristige Trends der Immissionen festzustellen. In Abbildung 4 sind für mehrere Kontexte im Raum Basel die Mittelwerte der Hochfrequenzexposition von monatlich wiederholten Pfadmessungen in einem Zeitraum von zwei Jahren wiedergegeben.

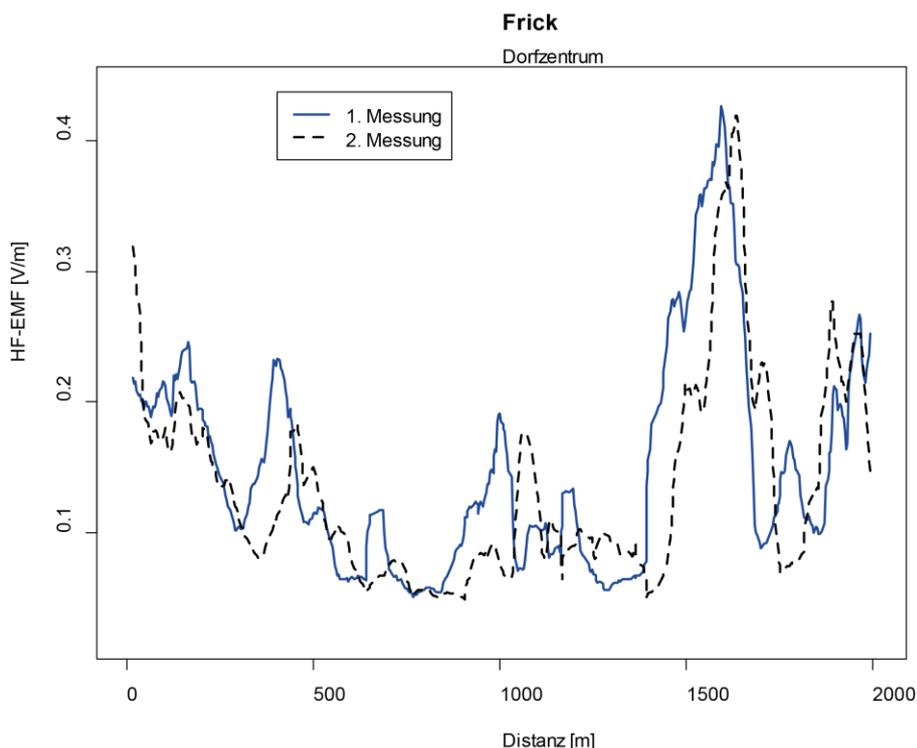


Abbildung 3 Elektrische Feldstärke der Hochfrequenzstrahlung beim Abschreiten eines vorgegebenen Messpfades von ca. 2 km Länge durch das Dorfzentrum von Frick. Die beiden Messungen fanden im Abstand von einem Monat statt (nach Rössli u. a. 2015).

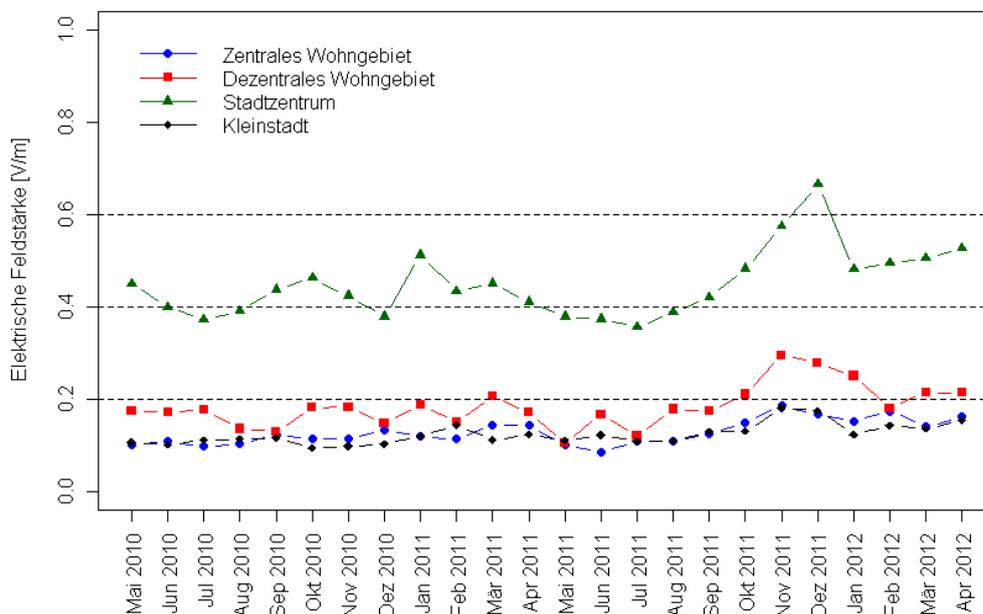


Abbildung 4 Mittlere elektrische Feldstärke der Strahlung von Mobilfunkbasisstationen an verschiedenen Aussenplätzen im Raum Basel aus wiederholten Messungen entlang vorgegebener Messpfade im Zeitraum zwischen Mai 2010 und April 2012 (aus Urbinello u. a. 2013).

Was oben für den Aussenraum exemplarisch ausgeführt wurde, kann analog auch für Innenräume oder für die Fahrt in Verkehrsmitteln umgesetzt werden, wobei die jeweilige Stichprobe dem Kontext anzupassen ist. Grundsätzlich sind Messungen während kurzer Zeit an vielen Orten aussagekräftiger als solche während langer Zeit an nur wenigen Orten.

Einer Messung zugänglich sind die gleichen Arten von Immissionen wie bei den personenbezogenen Messungen (Kap. 3.2). Die kontrollierte Messung mit instruiertem Personal hat den Vorteil, dass auch Immissionen von mobilen Geräten Dritter zuverlässig erfasst werden können, indem die messende Person selber während der Messung auf die Verwendung solcher Geräte verzichtet.

Um aus derart erhobenen Daten Aussagen über die durchschnittliche Exposition der Bevölkerung oder von interessierenden Untergruppen (z.B. Kinder, Berufstätige, Pensionierte etc.) machen zu können, müssen zusätzlich ihre typischen Aufenthaltsdauern in den jeweiligen Kontexten erhoben werden.

3.4 Ortsfeste Messungen

Wenn die Immissionen an einem bestimmten Ort, z.B. auf einem Schulhausplatz, in einem Bahnhof oder neben einer Hochspannungsleitung interessieren, können diese durch geeignete, an diesen Orten fix installierte Messgeräte aufgezeichnet werden. Über längere Zeit betrieben geben solche Aufzeichnungen detaillierte Auskunft über die zeitlichen Schwankungen der Immissionen und über langfristige Trends und sie bilden die Grundlage für die Validierung von Immissionsberechnungen gemäss Kapitel 3.5. Die Ergebnisse sind jedoch nur für die jeweilige Position des Messgerätes gültig; schon wenige Meter davon entfernt können die Immissionen namhaft abweichen. Als Beispiel ist in Abbildung 5 die von einer Messstation in Liestal während einer Woche aufgezeichnete elektrische Feldstärke der von Mobilfunkbasisstationen emittierten Strahlung dargestellt.

Mit entsprechendem instrumentellem Aufwand sind grundsätzlich sämtliche NIS-Immissionen, die heute in der Umwelt vorhanden sind, erfassbar.

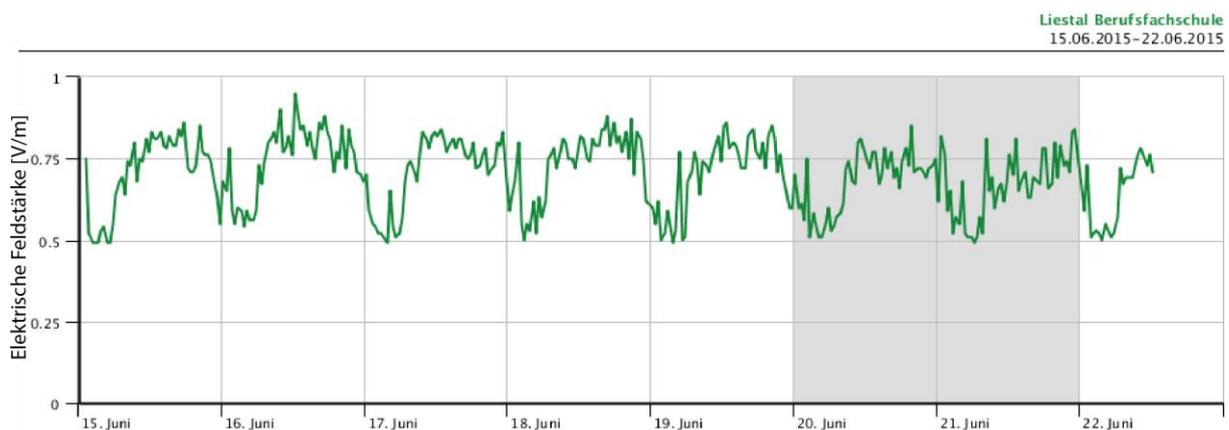


Abbildung 5 Von einer ortsfesten Messstation in Liestal BL über mehrere Tage aufgezeichnete elektrische Feldstärke der Strahlung von Mobilfunkbasisstationen (Messstation des Lufthygieneamtes beider Basel¹). Der graue Bereich bezeichnet das Wochenende.

¹ <http://www.oasi.ti.ch/web/nisbasel/>

3.5 Immissionsberechnung

Die Ausbreitung der Strahlung von der Quelle zum Immissionsort kann grundsätzlich mathematisch beschrieben und berechnet werden. Detaillierte Berechnungen sind allerdings sehr komplex und aufwendig und erfordern hohe Detailgenauigkeit der Eingabeparameter, so dass in der Regel mit Näherungsformeln und vereinfachten Modellen gearbeitet wird. Für die Modellierung werden folgende Grundlagendaten benötigt:

- Standorte (Koordinaten) der Quellen
- Art, Intensität und zeitlicher Verlauf der Emission
- Räumliches Abstrahlverhalten der Quellen in drei Dimensionen
- Topografie
- Hindernisse zwischen den Quellen und dem Immissionsort und ihre Dämpfungseigenschaften

Sind diese Parameter vollständig bekannt, kann für jeden Moment und jeden Punkt im Raum die Immission mithilfe von GIS-basierten Computerprogrammen berechnet und beispielsweise in Form von Immissionskarten dargestellt werden.

In der Praxis liegen diese vollständigen Grundlagendaten allerdings nicht vor. So sind derzeit bei Weitem nicht alle Quellen erfasst und charakterisiert. Insbesondere von mobilen Geräten sind der Standort und die zeitliche Nutzung grundsätzlich nicht im Einzelnen bekannt. Auch sämtliche mobilen oder stationären Quellen im Innern von Gebäuden wie die elektrische Verkabelung, elektrische Haushaltgeräte, WLAN-Router oder Schnurlostelefone und ihre Basisstationen sind nicht in Katastern erfasst. Modellierbar sind in erster Linie Infrastrukturanlagen in der Umwelt wie Sende- und Radaranlagen, Hochspannungsleitungen, elektrische Unterwerke, Transformatorenstationen und Eisenbahnanlagen. Derzeit besteht ein vollständiger und aktueller Kataster für Mobilfunk- und Rundfunksendeanlagen. Für die übrigen genannten Anlagekategorien müssten die Kataster zuerst noch erstellt und periodisch nachgeführt werden.

Die Dämpfungseigenschaften der jeweiligen Hindernisse zwischen den Strahlungsquellen und dem Immissionsort sind weitgehend unbekannt. Die Gebäudehüllen schwächen die von aussen kommende Strahlung je nach Baumaterial in sehr unterschiedlichem Mass ab, diese Materialien sind im Allgemeinen aber nicht bekannt, weshalb sich Modellierungen nicht für den Innenraum eignen. Eine Ausnahme stellen die niederfrequenten Magnetfelder der Stromversorgung und der Eisenbahnen dar, welche die üblichen Baumaterialien praktisch ungehindert durchdringen.

Erfahrungen mit solchen Modellierungen bestehen für die Strahlung der Mobilfunk- und Rundfunkinfrastruktur sowie pilotmässig für Hochspannungsleitungen (Bürgi 2012). In der Zentralschweiz² und in den beiden Basel³ werden jeweils in Jahresabständen die Immissionen der Rundfunk- und Mobilfunkstrahlung für das ganze Gebiet der beteiligten Kantone neu berechnet und im Internet veröffentlicht. In der Regel werden die Immissionen als zeitliches Mittel, nicht für einen bestimmten Zeitpunkt, berechnet.

² <http://www.e-smogmessung.ch>

³ <http://www.baselland.ch/immissionskataster-htm.314306.0.html>

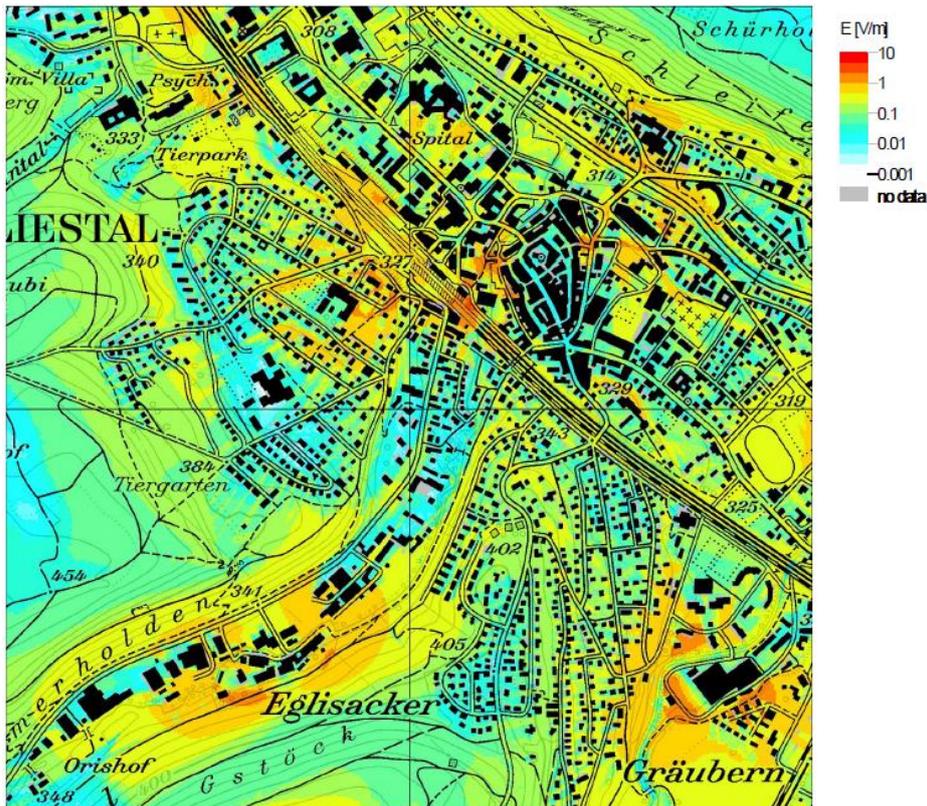


Abbildung 6 Beispiel für eine Karte mit der berechneten elektrischen Feldstärke der Strahlung von Mobilfunkbasisstationen in 1.5 Meter Höhe über Boden. Innerhalb von Gebäuden wurde die Immission nicht berechnet.
(aus Bürgi 2014; Kartenhintergrund PK25 ©Swisstopo)

Der Vorteil dieser Methode ist, dass die Immissionen flächendeckend oder sogar raumfüllend dargestellt werden können. Als Beispiel ist in Abbildung 6 eine Karte mit den berechneten Immissionen der von Mobilfunkbasisstationen emittierten Strahlung dargestellt. Dies erlaubt es, die Strahlungsquellen und die räumliche Verteilung der Immissionen zu veranschaulichen. Unter der Voraussetzung, dass die Anlagekataster aktualisiert und die Berechnungsmethodik nicht verändert werden, sind wiederholte Modellierungen im Abstand von einem oder wenigen Jahren sehr gut geeignet, um langfristige Trends der Immissionen und ihrer räumlichen Verteilung sichtbar zu machen.

Auch wenn Immissionsberechnungen in erster Linie für den Aussenraum sinnvoll sind, kann damit zumindest eine obere Grenze der Exposition der Menschen in ihrer Wohnung oder am Arbeitsplatz abgeleitet werden. In Analogie zur Modellierung der Lärmbelastung können die NIS-Immissionen aussen am Gebäude (Fassade, Dach) in einem genügend dichten Punkteraster berechnet werden (Bürgi 2014). Die von aussen stammenden NIS-Immissionen, denen die Bewohner in den dahinterliegenden Innenräumen ausgesetzt sind, können dann höchstens gleich hoch sein wie diejenigen vor der Fassade. Kombiniert mit statistischen Daten über die Nutzung der Innenräume lässt sich auf diese Weise die Verteilung der Immissionen über die Bevölkerung in (bzw. vor) ihrer Wohnung ermitteln. Aus dem Vergleich wiederholter Modellierungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten lassen sich – wie bereits bei der Kartendarstellung erwähnt – langfristige Trends zuverlässig ablesen.

Generell gilt, dass das Ergebnis der Immissionsberechnung für einen einzelnen Punkt im Raum in der Regel mit einer grösseren Unsicherheit behaftet ist als statistische Werte für ein grösseres Gebiet. Je mehr Raumpunkte in die Betrachtung eingeschlossen werden, desto eher kompensieren sich die Abweichungen der Einzelpunkte, so dass aggregierte Grössen, z.B. die mittlere Immission im Aussenraum einer Stadt zuverlässig und robust bestimmt wer-

den können. Eine parzellenscharfe Offenlegung der berechneten Immissionspunkte würde hingegen eine unrealistische Genauigkeit vortäuschen und wäre für die Kommunikation nicht geeignet.

3.6 Bestimmung der Exposition durch körpernahe Geräte

Körpernah verwendete NIS emittierende Geräte können die Person, die solche Geräte nutzt, relevant exponieren. Exponiert wird dabei nicht gleichmässig der ganze Körper, sondern in erster Linie die Körperpartie, die dem Gerät am nächsten liegt. Um die Exposition innerhalb des Körpers zu ermitteln, muss in einem ersten Schritt bestimmt werden, wie sich die Strahlung um das Gerät herum verteilen würde, wenn es isoliert, in Abwesenheit des Körpers betrieben würde. Mit dieser Kenntnis lässt sich anschliessend mit aufwendigen Computermodellen die in den Körper eindringende Strahlung für einzelne Organe berechnen. Dieses Verfahren lässt sich grundsätzlich für jedes Gerät bei bekannter Nutzungsposition am Körper und bekanntem Betriebszustand durchführen. Damit ist jedoch auch angedeutet, dass eine solche Quantifizierung jeweils nur für eine ganz bestimmte Nutzung gültig ist und nicht ohne weiteres verallgemeinert werden kann. Für eine repräsentative Aussage über die Exposition einer bestimmten Klasse von Geräten, zum Beispiel Mobiltelefonen, sind deshalb neben den technischen Messungen und Berechnungen umfangreiche Erhebungen über die Nutzung erforderlich. Zu erheben sind insbesondere:

- die Verbreitung verschiedener Fabrikate/Modelle der interessierenden Geräteklasse in der Bevölkerung
- die Position des Geräts am Körper während der Nutzung. Bei Geräten, die auch im Stand-by Betrieb Strahlung emittieren, ist auch die Position am Körper während dieser Zeiten von Bedeutung.
- die Dauer der Nutzung
- die Emission im realen Betrieb. Diese kann vom Aufenthaltsort und von der Art und Intensität der Nutzung abhängen. Ein Smartphone beispielsweise emittiert schwächer bei Kommunikation mit einem nahe gelegenen WLAN-Zugangspunkt als mit einer weit entfernten Mobilfunkantenne und die Emission ist im Mittel bei einer GSM-Verbindung stärker als mit einer UMTS-Verbindung.

Dies führt bereits für eine einzelne Geräteklasse zu einer Fülle von verschiedenen Expositionsszenarien, von denen nur einzelne ausgewählt und detailliert modelliert werden können. Eine repräsentative Modellierung für den ganzen Gerätepark und die Vielfalt der Nutzungsbedingungen wäre enorm aufwendig und nach Einschätzung der beigezogenen Experten heute nicht zu leisten. Selbst wenn dies in Zukunft einmal möglich sein sollte, müsste die ganze Erhebungskette im Abstand weniger Jahre vollständig wiederholt werden, weil sich sowohl der Gerätepark als auch das Nutzungsverhalten ziemlich rasch verändern.

Im Gegensatz zu den in den Kapiteln 3.2 bis 3.5 beschriebenen Erhebungen ist eine repräsentative Erhebung der Exposition durch die Nutzung körpernaher Geräte derzeit nicht praxisreif.

4 Konzept für ein schweizerisches NIS-Monitoring

Beim heutigen Stand der Technik erscheint für ein schweizerisches NIS-Monitoring eine Kombination aus folgenden, in Kapitel 3 beschriebenen Modulen sachgerecht:

- **Kontextbezogene Messungen** nach Kapitel 3.3. für hochfrequente Strahlung und niederfrequente Magnetfelder. In einem ersten Schritt sind die zu erfassenden Kontexte festzulegen. Mindestens eingeschlossen werden sollten:
 - Aussenbereich im Siedlungsgebiet. Dabei sollen die Gemeindetypen gemäss der Gemeindetypologie⁴ des Bundesamts für Raumentwicklung berücksichtigt und Wohnlagen unterschiedlicher Zentrumsnähe sowie Industriegebiete unterschieden werden.
 - Innenbereich von Wohnungen, differenziert nach denselben Typen von Wohnlagen
 - Fahrgastbereich in öffentlichen Verkehrsmitteln

Die Messgeräte sind erhältlich und die Methodik ist reif für den operativen Betrieb. Hochfrequente Strahlung und niederfrequente Magnetfelder können im selben Durchgang erfasst werden. Angesichts der dynamischen Entwicklung der drahtlosen Kommunikationstechniken und deren Nutzung ist eine jährliche Wiederholung angezeigt. Vertretbar ist auch, nur die Messungen im Aussenbereich und in Verkehrsmitteln jährlich, solche im Innenbereich von Wohnungen wegen des deutlich höheren logistischen Aufwandes dagegen seltener, beispielsweise nur alle 5 Jahre durchzuführen.

- **Immissionsberechnungen** nach Kapitel 3.5. Dafür bietet sich die im BAFU bestehende EDV-Umgebung der Lärmdatenbank Schweiz sonBASE⁵ an, mit der die Lärmbelastung in der Schweiz flächendeckend berechnet wird. Die Basisdaten (Geodaten, Gebäudekataster, Bevölkerungsstatistik), die sowohl für Lärm- als auch für NIS-Modellierungen benötigt werden, sind in sonBASE bereits implementiert. Damit lassen sich beträchtliche Synergien nutzen.

Immissionsberechnungen können für die Strahlung der Mobilfunk- und Rundfunkanlagen vergleichsweise rasch umgesetzt werden, da bereits ein vollständiger und aktueller Anlagekataster vorhanden ist. Es ist eine flächendeckende Modellierung mindestens für das Siedlungsgebiet anzustreben. Zu modellieren sind die zeitlich gemittelten Immissionen im Aussenraum, insbesondere an den Fassaden von Gebäuden, in denen sich Menschen während längerer Zeit aufhalten. Angesichts der dynamischen Entwicklung der Mobilfunkversorgung und -nutzung erscheint eine jährliche Erhebung angezeigt.

Bei den Magnetfeldern der Stromversorgung ist ein gestuftes Vorgehen vorzusehen, beginnend mit den Höchstspannungsleitungen (Spannung von 220 kV und höher) und sukzessive zu erweitern auf Leitungen der Netzebene 3 (Spannung unter 220 kV bis ca. 45 kV) sowie auf Unterwerke und Schaltanlagen. Zu diesem Zweck muss zuerst ein georeferenzierter digitaler Kataster der emittierenden Anlagen mit den für die Emissionen relevanten Betriebsparametern aufgebaut werden. Zu modellieren sind die Jahresmittelwerte der magnetischen Flussdichte in einem relativ engen Perimeter um die emittierenden Anlagen herum. Da niederfrequente Magnetfelder durch Gebäudestrukturen kaum beeinflusst werden, können und sollten auch Innenräume in die Modellierung eingeschlossen werden. Eine Erhebung alle 4 bis 5 Jahre dürfte ausreichend sein. Eine Modellierung der Magnetfelder von Transformatorenstationen und von Mittel- und Niederspan-

⁴ Grosszentren, Nebenzentren der Grosszentren, Gürtel der Grosszentren, Mittelzentren, Gürtel der Mittelzentren, Kleinzentren, periurbane ländliche Gemeinden, Agrargemeinden, touristische Gemeinden

⁵ <http://www.bafu.admin.ch/laerm/10312/10340/index.html?lang=de>

nungsleitungen hingegen ist angesichts der grossen Zahl der Anlagen und des enormen Aufwandes für die Bereitstellung und Aufbereitung der Anlage- und Betriebsdaten auf lange Zeit unrealistisch. Die von diesen Anlagen generierten Magnetfelder werden besser im Rahmen von kontextbezogenen Messungen nach Kapitel 3.3 erfasst.

Die Berechnung der Magnetfelder von Eisenbahnfahrleitungen in der näheren Umgebung der Bahntrassen ist zwar grundsätzlich möglich, scheitert jedoch derzeit an fehlenden Inputdaten und noch nicht validierten Berechnungsalgorithmen. Diese Grundlagen müssen noch erarbeitet werden, bevor eine grossräumige Modellierung durchgeführt werden kann. Eine Erhebung alle 5 Jahre dürfte ausreichen. Die Magnetfeldexposition der Fahrgäste in den Zügen hingegen kann bereits heute mit Hilfe von kontextbezogenen Messungen nach Kapitel 3.3 repräsentativ erfasst werden.

- **Ortsfeste Messungen** nach Kapitel 3.4 werden bereits von einigen Kantonen und Gemeinden durchgeführt. Diese reichen für die angestrebte repräsentative Aussage über die Exposition der ganzen Bevölkerung allerdings nicht aus, liefern jedoch wertvolle Zusatzinformationen über die Schwankungen der Immissionen im Tages- und Wochenverlauf und können für die Validierung der Immissionsberechnungen herangezogen werden. Es erscheint deshalb unnötig, dass der Bund ein eigenes stationäres Messnetz aufbaut und betreibt. Die bisher dispers vorliegenden Daten sollten jedoch in einer zentralen Plattform zusammengeführt und öffentlich zugänglich gemacht werden. Dazu sind eine zentrale GIS-Datenbank und die erforderlichen Schnittstellen zu den kantonalen Datenbanken aufzubauen. Für die künftige Qualitätssicherung dezentral durchgeführter Messungen sind ausserdem Messempfehlungen und Ausbildungsangebote vorzusehen. Dieses Modul erfordert einige Jahre Aufbauarbeit, welche parallel zu den kontextbezogenen Messungen und den Immissionsberechnungen ausgeführt werden kann.
- Eine repräsentative Erfassung der Exposition der Nutzer durch **körpernah betriebene, emittierende Geräte** ist angesichts der Vielfalt von Geräten und Nutzungsbedingungen nicht zu leisten. Für eine ganzheitliche Aussage sollte der Anteil körpernaher Geräte an der Gesamtexposition jedoch nicht gänzlich ausgeklammert werden. An die Stelle von repräsentativen Erhebungen und Modellierungen können Fallstudien treten, um die im Körper wirksame Strahlung bei definierten, typischen Nutzungen zu bestimmen. Im Vordergrund des Interesses stehen dabei vorerst die Endgeräte der Mobilkommunikation.

5 Kostenschätzung

Das in Kapitel 4 vorgeschlagene Konzept für ein nationales NIS-Monitoring umfasst mehrere Module, die derzeit für den operativen Betrieb unterschiedlich reif sind. Sofort ausführbar sind kontextbezogene Immissionsmessungen gemäss Kapitel 3.3. Eine Vorbereitungszeit von 2 bis 3 Jahren ist für die Implementierung der Immissionsberechnungen (Kapitel 3.5) der Mobilfunk- und Rundfunkstrahlung in die Softwareumgebung sonBASE zu veranschlagen. Für die Modellierung der Immissionen weiterer Quellengruppen, insbesondere der Anlagen der Stromversorgung und der Eisenbahnen, muss zuerst ein Anlagekataster aufgebaut werden, was einige Jahre in Anspruch nehmen dürfte. Auch die Vereinheitlichung kantonaler und kommunaler Messergebnisse und deren Zusammenführung in eine zentrale Plattform (Kapitel 3.4) erfordern eine Vorbereitungszeit von einigen Jahren.

Der modulare Aufbau des NIS-Monitoring hat den Vorteil, dass die einzelnen Module je nach ihrem Entwicklungsstand gestaffelt in Betrieb genommen werden können. Das NIS-Monitoring wird eine mehrjährige Aufbauphase und sukzessive den operativen Betrieb umfassen. Für den Aufbau ist nach heutiger Einschätzung mit mindestens 5 Jahren zu rechnen. Auch nach erstmaliger Implementierung der Module müssen diese weiterentwickelt und allfälligen neuen Entwicklungen auf der Seite der Quellen oder der Erhebungsinstrumente angepasst werden. Eine Schätzung der Kosten für den Bund für externe Beschaffungen für den

Aufbau und Betrieb findet sich in den Tabellen Tabelle 1 und Tabelle 2. Dazu kommt der Aufwand der Elektrizitäts- und Bahnunternehmen für den Aufbau der Anlagekataster, welche als Grundlage für die Immissionsberechnungen (Kapitel 3.5) im Bereich der Stromversorgung und der Bahnen benötigt werden⁶.

<i>Aufbau, einmalig</i>	
Beschaffung Messgeräte	50 000 Franken
Integration Immissionsberechnung Sendeanlagen in sonBASE (Softwareentwicklung)	500 000 Franken
Integration Immissionsberechnung Hochspannungsleitungen und el. Unterwerke in SonBase (Softwareentwicklung)	100 000 Franken
Integration Immissionsberechnung Eisenbahnanlagen in sonBASE (Softwareentwicklung)	100 000 Franken
Aufbau EDV-Plattform für kantonale und kommunale Messergebnisse	200 000 Franken
Reserve	50 000 Franken
Total Aufbau	1 000 000 Franken
<i>Wiederkehrend, jährlich</i>	
Kontextbezogene Immissionsmessungen outdoor und Verkehrsmittel	100 000 Franken
Immissionsberechnung Sendeanlagen	100 000 Franken
Wartung/Hosting Software	100 000 Franken
Fallstudien und Reserve	100 000 Franken
Total jährlich wiederkehrend	400 000 Franken
<i>Wiederkehrend, 5-jährlich</i>	
Kontextbezogene Immissionsmessungen indoor	300 000 Franken
Immissionsberechnung Hochspannungsleitungen und Unterwerke	100 000 Franken
Immissionsberechnung Eisenbahnanlagen	100 000 Franken
Total 5-jährlich wiederkehrend	500 000 Franken

Tabelle 1 Detaillierte Kostenschätzung für den Bund für externe Beschaffungen

⁶ Kein Aufwand erwächst den Elektrizitäts- und Bahnunternehmen für das Modul «Kontextbezogene Immissionsmessungen» nach Kapitel 3.3.

Position	Ansatz	Anzahl	Kosten
Aufbau	1 000 000 Franken	1	1 000 000 Franken
Wiederkehrend, jährlich	400 000 Franken	8	3 200 000 Franken
Wiederkehrend, 5-jährlich	500 000 Franken	2	1 000 000 Franken
Total			5 200 000 Franken

Tabelle 2 Kostenschätzung für den Bund für externe Beschaffungen für den Aufbau- und Betrieb während 10 Jahren

Für die ersten 10 Jahre ab Beginn des Aufbaus sind somit Kosten für den Bund von ca. 5.2 Millionen Franken zu veranschlagen. Für die Konzipierung, Ausschreibung, Auftragserteilung, Steuerung und Überwachung der externen Aufträge, die Koordination mit den Kantonen sowie die Information und Kommunikation der Ergebnisse des NIS-Monitoring ist zusätzlich eine Stelle beim BAFU erforderlich.

Dem Bund fließen durch den Verkauf von Funkkonzessionen für drahtlose Fernmeldedienste beträchtliche Einnahmen zu. Für die Mobilfunkkonzessionen der Periode 2014–2028 beliefen sich diese beispielsweise auf knapp 1 Milliarde Franken. Das vorgeschlagene NIS-Monitoring steht zu einem erheblichen Teil in direktem Zusammenhang mit der Erteilung von Funkkonzessionen durch den Bund, da erst dank diesen überhaupt hochfrequente Strahlung in die Umwelt emittiert werden darf, welche nun im Sinne einer flankierenden Massnahme durch ein NIS-Monitoring erfasst und überwacht werden soll. Die für 10 Jahre Aufbau und Betrieb veranschlagten Kosten, inklusive dem Personalaufwand beim Bund, entsprechen ca. 0.7 % dieser Konzessionseinnahmen. Der Bundesrat hat im Fernmeldebericht 2014⁷ auf die Möglichkeit hingewiesen, einen Teil der Konzessionserlöse für begleitende Massnahmen und Projekte wie Monitoring, Forschung und Entwicklung zu verwenden.

⁷ <http://www.bakom.admin.ch/dokumentation/gesetzgebung/00512/03498/index.html?lang=de>

6 Schlussfolgerung

Ein gesamtschweizerisches NIS-Monitoring, das repräsentative Aussagen über die Exposition der Bevölkerung liefert, ist möglich. Es sollte vier sich ergänzende Module umfassen:

- Repräsentative Messungen der Immissionen in definierten Kontexten, einschliesslich dem Wohnbereich
- Berechnung der Immissionen im Siedlungsgebiet der Schweiz, die durch Mobil- und Rundfunksendeanlagen, Hochspannungsleitungen, elektrische Unterwerke sowie Eisenbahnfahrleitungen bedingt sind
- Zusammenführung und Nutzung der Ergebnisse kantonaler und kommunaler ortsfester Immissionsmessungen in eine zentrale Plattform
- Fallstudien zur Exposition der Nutzer durch körpernah emittierende Geräte

Die Messgeräte sind vorhanden, die Algorithmen für die Berechnung der Immissionen von Mobilfunk- und Rundfunkstrahlung sowie von Magnetfeldern von Hochspannungsleitungen ebenfalls. Die Immissionsberechnungen können in die bestehende EDV-Umgebung son-BASE des BAFU integriert werden, woraus sich beträchtliche Synergiegewinne ergeben. Noch aufzubauen sind die Berechnungsgrundlagen für die Immissionen von Eisenbahnanlagen und elektrischen Unterwerken sowie die Kataster der Anlagen der Stromversorgung und der Eisenbahn, welche für die Berechnung der Immissionen benötigt werden. Die Kosten für den Bund für den Aufbau und Betrieb während 10 Jahren werden auf 7 Millionen Franken geschätzt, wovon 5.2 Millionen Franken auf externe Dienstleistungen entfallen. Angesichts der hohen strukturellen Defizite im Bundeshaushalt und der Notwendigkeit eines Stabilisierungsprogramms ist die Finanzierung des Vorhabens indes ungewiss.

7 Abkürzungsverzeichnis

BAFU	Bundesamt für Umwelt
GIS	Geografisches Informationssystem
GSM	Global System for Mobile Communication (Mobilfunk der 2. Generation)
Hz	Hertz (Einheit für die Frequenz)
LTE	Long Term Evolution (Mobilfunk der 4. Generation)
μT	Mikrotesla (ein Millionstel Tesla, Einheit für die magnetische Flussdichte)
NIS	Nichtionisierende Strahlung
NISV	Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung
sonBASE	GIS-Lärmdatenbank des BAFU
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (Mobilfunk der 3. Generation)
USG	Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz)
V/m	Volt pro Meter (Einheit für die elektrische Feldstärke)
WLAN	Wireless Local Area Network (drahtloses lokales Netzwerk)

8 Literaturverzeichnis

- BFS 2012 Bundesamt für Statistik 2012: Wahrnehmung von Umweltqualität und Umweltverhalten. Ergebnisse der Omnibus-Erhebung 2011
<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/02/22/publ.Document.159828.pdf>
- Bürgi 2012 Bürgi, A., Immissionskataster für niederfrequente Magnetfelder von Hochspannungsleitungen – Machbarkeits- und Pilotstudie. Bericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU, 2012.
<http://www.bafu.admin.ch/elektrosmog/> > Publikationen und Studien > 2. Immissionen
- Bürgi 2014 Bürgi, A., Statistische Analyse der Immissionsmodellierung von Sendeanlagen auf der Datengrundlage von SonBase und der Antennendatenbank des BAKOM. Bericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU, 2014.
<http://www.bafu.admin.ch/elektrosmog/> > Publikationen und Studien > 2. Immissionen
- Dürrenberger u. a. 2014 EMF Monitoring – Concepts, Activities, Gaps and Options. Int. J. Environ. Res. Public Health 2014, **11**, 9460-9479
- FSM 2012 Forschungsstiftung Mobilkommunikation (Hrsg.): NIS-Monitoring Schweiz. Eine Konzept- und Machbarkeitsstudie. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU). Zürich 2012.
<http://www.bafu.admin.ch/elektrosmog/> > Publikationen und Studien > 2. Immissionen
- Mohler u. a.. 2009 Mohler, E. u. a., Persönliche Exposition durch hochfrequente elektromagnetische Felder in der Region Basel (Schweiz): Ein Überblick über die QUALIFEX-Studie. Umweltmed Forsch Prax 2009, **14** (6) 329–338.
- NFP57 Nationales Forschungsprogramm 57: Nichtionisierende Strahlung, Umwelt und Gesundheit.
<http://www.nfp57.ch>
- Röösli u. a. 2015 Röösli u. a., Stichprobenkonzept für Messungen der nichtionisierenden Strahlung mit Exposimetern. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt. Basel 2015.
<http://www.bafu.admin.ch/elektrosmog/> > Publikationen und Studien > 2. Immissionen
- Urbinello u. a. 2013 Urbinello D. u. a., Zeitliche und räumliche Verteilung hochfrequenter elektromagnetischer Felder (HF-EMF) im Raum Basel, SwissTPH und Basel-Stadt, 2013.
<https://team.swisstph.ch/share/s/2J-bAtXETy-eSalqHiVXQQ>