



Februar 2012, Schlussbericht

NIS-Monitoring Schweiz

Eine Konzept- und Machbarkeitsstudie

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Impressum

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Luftreinhaltung und NIS, CH-3003 Bern
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer: **Dr. Gregor Dürrenberger**
Forschungsstiftung Mobilkommunikation
c/o ETH Zürich, Gloriastrasse 35
8092 Zürich

mit folgenden Partnern:

Dr. Alfred Bürgi
ARIAS umwelt.forschung.beratung, Gutenbergstrasse 40B, 3011 Bern

Dr. Jürg Fröhlich
ETH Zürich, IFH, Gloriastr. 35 8092 Zürich

Prof. Niels Kuster
IT'IS Foundation, Zeughausstr. 43, 8004 Zürich

Prof. Martin Rösli
Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut, Socinstrasse 57, 4051 Basel

Mitautoren: **Dr. Patrizia Frei**
Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut, Socinstrasse 57, 4051 Basel

Dr. Sven Kühn
IT'IS Foundation, Zeughausstr. 43, 8004 Zürich

Dr. Oliver Lauer
ETH Zürich, IFH, Gloriastr. 35 8092 Zürich

Begleitung BAFU: **Dr. Jürg Baumann**

Hinweis: Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Inhalt

DANKSAGUNG.....	8
ZUSAMMENFASSUNG.....	9
1. PROJEKTZIELE UND -ORGANISATION	10
1.1 Ziel der Studie	10
1.2 Projektstruktur / Module	10
1.3 Verantwortlichkeiten.....	12
2. BERICHTSAUFBAU, BERICHTSSTATUS UND BEGRIFFLICHKEIT	13
2.1 Struktur.....	13
2.2 Autorenschaft	13
2.3 Unabhängigkeit.....	13
2.4 Begrifflichkeit.....	13
3. NIS-MONITORING-KONZEPTE UND UMSETZUNGSVORSCHLÄGE.....	14
3.1 Generelle Aussagen	14
3.2 Methodische Ansätze	16
3.2.1 Personenbezogene Exposimetrie	16
3.2.2 Ortsbezogene Exposimetrie	16
3.2.3 Grossräumige Immissionsberechnungen	16
3.2.4 Modellierung körpernaher Anwendungen	16
3.3 Prioritäre Umsetzungsvorschläge.....	17
3.3.1 Option 1: Ortsbezogene Exposimetrie	17
3.3.1.1 Exposition gegenüber NF-Installationen	17
3.3.1.2 Exposition gegenüber IF und HF-Quellen.....	17
3.3.2 Option 2: Simulation grossräumige Immissionen	18
3.3.2.1 Immissionen von NF-Installationen.....	18
3.3.2.2 Immissionen von HF-Installationen.....	19
3.3.2.3 Indoor-Immissionen von HF-Installationen.....	19
3.4 Sekundäre Umsetzungsvorschläge.....	20
3.4.1 Option 3: Personenbezogene Exposimetrie.....	20
3.4.1.1 Exposition gegenüber NF-Installationen	20
3.4.1.2 Exposition gegenüber körperfernen IF- und HF-Quellen	21
3.4.1.3 Erfassung der Nutzungsdauer eigener mobiler HF-Geräte	21
3.4.2 Option 4: Modellierung der Exposition körpernaher Quellen	22

3.5	Wenig sinnvolle Monitoringaktivitäten	22
4.	NIS-MONITORING AKTIVITÄTEN SCHWEIZ UND EUROPA	23
4.1	Ziele	23
4.1.1	Übersicht über den Stand der Aktivitäten.....	23
4.1.2	Vergleichende Darstellung der Aktivitäten	23
4.1.3	Technische Informationen.....	23
4.2	Tabellarische Übersicht ausgewählter Monitorings.....	24
4.2.1	Datenerfassung	24
4.2.2	Kommunikation	26
4.3	Kurzbeschreibungen der ausgewählten Monitorings	28
4.3.1	Zentralschweiz.....	28
4.3.2	Kanton Zürich	30
4.3.3	Kanton Tessin	32
4.3.4	Kantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft.....	36
4.3.5	ASEB.....	39
4.3.6	Bundesnetzagentur (BNetzA) Deutschland.....	41
4.3.7	Bayern.....	43
4.3.8	Baden-Württemberg	44
4.3.9	Israel (Wave Guard Technologies)	46
4.4	Survey: Monitoring in Europa.....	47
4.4.1	Vorgehen, Umfang	47
4.4.2	Ergebnisse	47
5.	GROSSRÄUMIGE IMMISSIONSMODELLIERUNG.....	53
5.1	Ziel und Methoden	53
5.2	Bestehende Erfahrungen.....	53
5.2.1	NIS-Monitoring Zentralschweiz	53
5.2.2	Qualifex	54
5.2.3	NIS-Kataster Basel	54
5.2.4	Immissionskataster für niederfrequente Magnetfelder – Machbarkeits- und Pilotstudie.....	54
5.2.5	Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm	55
5.2.6	SonBase	55
5.3	Modellierte Quellen	55
5.4	Verwendungszweck.....	56
5.5	Modellgebiet und Konzept für Repräsentativität.....	56

5.6	Eingabedaten.....	57
5.6.1	Technische Daten von Sendeanlagen.....	57
5.6.2	Technische Daten für Anlagen der Stromversorgung und der Eisenbahnen.....	58
5.6.3	Geodaten für die Topografie.....	58
5.6.4	Gebäudedaten.....	59
5.6.5	Volkszählungsdaten.....	61
5.7	Instrumentarium.....	61
5.7.1	Ausbreitungsmodelle.....	61
5.7.2	Spezifische Anforderungen für die NIS-Modellierung.....	61
5.7.3	Anpassung für neue Quellen.....	62
5.8	Resultate und Auswertungen.....	62
5.8.1	Metrik.....	62
5.8.2	Aktualisierung.....	63
5.8.3	Auswertungen.....	64
5.8.4	Homogenität von Zeitreihen.....	64
5.8.5	Daten-Archivierung.....	64
5.8.6	Zusammenarbeit mit SonBase.....	65
5.9	Qualitätskontrolle und Modellvalidierung.....	65
5.9.1	Kalibrierungsdaten und –messungen.....	65
5.9.2	Validierungsmessungen.....	65
5.9.3	Vergleich mit Exposimetermessungen.....	66
5.10	Aufwandschätzung.....	67
5.11	Literatur.....	67
6.	EXPOSIMETRIE.....	69
6.1	Ziele.....	69
6.2	Einführung.....	69
6.2.1	EMF-Messungen mit Exposimetern: Vorteile.....	69
6.2.2	EMF-Messungen mit Exposimetern: Nachteile.....	69
6.3	Bestehende Erfahrungen.....	70
6.3.1	QUALIFEX.....	70
6.3.2	Evaluierung der Messgenauigkeit der Messgeräte.....	71
6.3.3	Langzeit-Monitoring Basel und Vergleich mit Holland/Belgien.....	71
6.3.4	PSI Studie.....	73
6.3.5	TransExpo.....	74
6.3.6	ARIMMORA.....	74

6.4	Instrumentarium	75
6.4.1	NF-MF-Messgeräte.....	75
6.4.2	Messgeräte für Mittelfrequenzen	75
6.4.3	HF-EMF-Messgeräte.....	75
6.4.4	Empfehlungen	76
6.5	Konzept für Repräsentativität	77
6.5.1	Erhebungen mit Probanden	77
6.5.1.1	Wiederholte Querschnittserhebung	77
6.5.1.2	Panelerhebung	77
6.5.2	Ortsbezogene Erhebung.....	78
6.5.3	Überlegungen zur Stichprobengrösse.....	78
6.5.3.1	Probandenerhebung	78
6.5.3.2	Ortsbezogene Erhebung.....	82
6.6	Inputdaten	84
6.7	Qualitätskontrolle/Validierung.....	84
6.8	Unterhalt	85
6.9	Anpassung für neue Quellen	85
6.10	Zeitliche Konsistenz	86
6.11	Metrik	86
6.12	Aufwandabschätzung	86
6.13	Schlussfolgerung und Empfehlung	87
6.13.1	Ortsbezogene Erhebung.....	87
6.13.2	Probandenerhebung	87
6.13.3	Allgemeines	87
6.14	Literatur	88
7.	EXPOSITION DURCH KÖRPERNAHE QUELLEN	90
7.1	Ziel und Methoden	90
7.2	Expertengruppe	91
7.3	Panel	92
7.4	Technologiecharakterisierung bezüglich Dosis körperlinterer EMF	93
7.4.1	Metrik und Dosismasse	93
7.4.2	Gewebe und Körperregionenspezifische Belastung durch EMF	94
7.5	Methoden zur Charakterisierung der Dosis körperlinterer EMF körperlinterer Quellen im Hochfrequenzbereich (10 MHz - 10 GHz).....	95
7.5.1	Bestehende Erfahrungen und Methoden	95

7.6	Methoden zur Charakterisierung der Dosis körperinterner EMF von köpfernahen Quellen im Niederfrequenzbereich (DC-10 MHz)	99
7.6.1	Bestehende Erfahrung und erprobte Methoden	99
7.7	Empfehlungen zur Charakterisierung der Dosis körperinterner EMF von köpfernahen Quellen...	101
7.8	Nahfelddosismodell	101
7.9	Modellierte Quellen / Anpassung an neue Quellen	105
7.10	Konzept für Repräsentativität und zeitliche Konsistenz.....	105
7.11	Inputdaten / Outputdaten.....	106
7.12	Validierung.....	106
7.13	Aufwandsabschätzung.....	106
7.14	Literatur	106
8.	DATENARCHIVIERUNG, DATENINTEGRATION	109
8.1	Wichtige Messdatensätze in der Schweiz	109
8.1.1	Zentralschweiz.....	109
8.1.2	Zürich.....	109
8.1.3	Tessin.....	109
8.1.4	Basel	109
8.2	Harmonisierte Datenhaltung.....	110
8.3	GIS-Daten.....	110
8.3.1	NIS Immissionsberechnungen	110
8.3.2	SonBase	110
	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	113
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	114
	TABELLENVERZEICHNIS.....	116

Danksagung

Die vorliegende Konzept- und Machbarkeitsstudie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) durchgeführt. Wir danken Jürg Baumann, Leiter Sektion NIS des BAFU, für die fachliche Begleitung. Ebenso danken wir Andreas Siegenthaler (BAFU), Martin Meier (Bundesamt für Gesundheit, BAG), Philippe Horisberger (Bundesamt für Kommunikation, BAKOM) sowie Georg Klaus (Maxwave AG) für ihre Mitarbeit im Rahmen der Projekt-Begleitgruppe.

Weiterer Dank gebührt Tommaso Pagani (SUPSI, Manno; ASEB), Sergio Kraschitz (Dipartimento del Territorio, Kanton Tessin), Herbert Limacher (AWEL, Kanton Zürich), Axel Hettich (Lufthygieneamt beider Basel), Petra Bernasconi (Amt für Umweltschutz, Kanton Zug) sowie Evi Vogel (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit).

Ebenfalls zu Dank verpflichtet sind wir allen Personen, die uns Länderdaten für den Survey zur Lage der NIS-Monitoringaktivitäten in Europa geliefert haben.

Der letzte Dank geht an Krisztina Meya (FSM) für ihre professionelle Unterstützung des Projektmanagements, für die Projektadministration sowie für Layout und Endredaktion dieses Berichts.

Zusammenfassung

Die vorliegende Konzept- und Machbarkeitsstudie stellt die wissenschaftlichen Erkenntnisse zu Monitoringansätzen im NIS-Bereich zusammen. Dabei geht es um die Erfassung typischer NIS-Belastungen im Alltag der Schweizer Bevölkerung, die relevanten Quellen und die langfristige zeitliche Entwicklung. Das Monitoring soll allgemeine, repräsentative Aussagen ermöglichen.

Vor dem Hintergrund dessen, was aus unserer Sicht wissenschaftlich leistbar und wirtschaftlich tragbar ist, werden 4 Monitoringaktivitäten beschrieben und qualifiziert. Als prioritär eingestuft sind dabei:

1. Ortsbezogene Exposimetrie (sog. Mikrokompartimentserhebungen), also die Erfassung der Exposition in typischen Lebensumgebungen mittels wiederholter Messungen auf festgelegten Messrouten. Es wird vorgeschlagen, ein solches Messprogramm in einer kleinen Studie detailliert zu spezifizieren. Wir rechnen von der Grössenordnung her mit einem halben Dutzend typischer Situationen (z.B. urban outdoor, rural outdoor, urban öffentlicher Verkehr, Büroumgebung indoor etc.), jeweils mit 3 Messrouten die monatlich zu unterschiedlichen Tageszeiten vermessen werden. Dieser Ansatz liefert robuste Hinweise auf Expositionstrends und die Expositionsanteile der verschiedenen Quellen (Ausnahme: eigene Gerätenutzung).
2. Simulationsrechnungen zur grossräumigen Immissionslage. Hier würden nur die Immissionen der Grossinfrastrukturen berücksichtigt. Es sind zwei Varianten denkbar: einerseits Simulationen in mehreren kleinen Testgebieten, welche für die Schweiz repräsentativ sind (10 - 20 von je etwa 10 km² Grösse). Andererseits könnten die bestehenden HF-Monitoringprogramme der Zentralschweizer Kantone und der Kantone Basel-Stadt und Basellandschaft mit Bundesunterstützung institutionalisiert und allenfalls harmonisiert werden. Mit einer kleinen Studien könnten folgende zwei Punkte geklärt werden: Die Relevanz von NF-Simulationen (insbesondere für das überregionale Verteilnetz (50 - 150 kV) in bebautem Gebiet) für ein schweizerisches Monitoringprogramm sowie der Mehrwert von Testgebieten gegenüber den bestehenden zwei Grossgebieten (Zentralschweiz, Basel).

Von zweiter Priorität sind:

3. Personenbezogene Exposimetrie, also die Erfassung der individuellen Expositionen (mittels Exposimetern) einer möglichst repräsentativen Bevölkerungsstichprobe. Diese Informationen stellen grundsätzlich den Goldstandard dar, da sie die „realen“ Verhältnisse abbilden. Sie sind jedoch mit einigen methodischen Schwierigkeiten behaftet (insbesondere: Rekrutierung der Probanden, Zuverlässigkeit in der Durchführung der Datensammlung) und aufgrund der bestehenden Erfahrungen aufwändig (teuer). Für eine Studie mit 100 Probanden wäre ein Gesamtaufwand von etwa 2 Personenjahren nötig. Weil die personenbezogene Exposimetrie grundsätzlich die interessantesten Daten für ein NIS-Monitoring liefert, würde es sich lohnen, diesen Ansatz in einer kleinen Zusatzstudie im Hinblick auf Monitoring-Ansprüche (bislang wurde personenbezogene Exposimetrie nur in Forschungsprojekten verwendet) durchzudenken und durchzurechnen.
4. Die Modellierung der Exposition der Bevölkerung durch die Nutzung von Geräten. Es gibt weltweit kein solches Monitoringprogramm. In dieser Studie wurde ein Konzept für ein mögliches „Nahkörpermonitoring“ entwickelt. Es ist aufgrund der Komplexität der Sachlage mit erheblichem Aufwand zu rechnen.

Schliesslich listet der Bericht noch 5 als wenig sinnvoll erachtete / nicht erwünschte Monitoringaktivitäten auf.

Im messtechnischen Bereich identifizieren wir einen Bedarf von frequenzselektiven NF-Exposimetern. Die Entwicklung solcher Geräte ist innert nützlicher Frist leistbar. In Kleinserien produziert ist mit 2 - 3 kCHF pro Gerät zu rechnen.

In den Einzelkapiteln, welche umfangmässig den grössten Teil dieses Reports ausmachen, finden sich (i) eine Dokumentation bestehender Monitoringkonzepte (5 in der Schweiz, 4 im Ausland) und die Resultate eines Surveys zum Stand von Monitoringaktivitäten in Europa, sowie (ii) das wissenschaftliche Material (3 Kapitel), das den gegenwärtigen Stand der Erkenntnisse und Erfahrungen im Bereich NIS-Monitoring darstellt. Der Bericht wird abgerundet durch (iii) technische Informationen zur Verfügbarkeit und Harmonisierbarkeit kantonalen NIS-Messdaten, sowie zum Zusammenarbeitspotential zwischen Simulationsmodellen und der im BA-FU bereits eingeführten Plattform „SonBase“ im Bereich grossräumige Lärm-Immissionsberechnungen.

1. Projektziele und -organisation

1.1 Ziel der Studie

Die Studie soll mögliche NIS-Monitoring-Konzepte darstellen und deren Machbarkeit abschätzen. Dabei soll auch, sofern angezeigt, weiterer Abklärungsbedarf für neue oder zukünftige Ansätze aufgezeigt werden.

Als Ziel des Monitorings gilt: Es soll eine möglichst repräsentative Erfassung der NIS-Belastung in der Schweiz (relevante Quellen, langfristige zeitliche Entwicklung) ermöglichen und auch erlauben, allfällige individuell erhobene Belastungen im Vergleich mit der typischen Belastung zu situieren. Im Konkreten sind folgende Anforderungen als Ausgangspunkte festgelegt worden:

- Repräsentativität für die Schweizer Bevölkerung in ihrer Lebensumgebung. Wünschbar: bevölkerungsgewichtete, örtliche/zeitliche Immissions-Verteilungsfunktionen (Minimum, Median, Mittelwert, Maximum, wobei den höchsten Perzentilen weniger Bedeutung beigemessen wird).
- Zu erfassen sind die real vorliegenden Immissionen aller Quellen (outdoor, indoor, body-worn), die relevant zur Gesamtbelastung beitragen.
- Die Immissionen sollen einzelnen Quellengruppen bzw. Technologien zugeordnet werden können, etwa: 16.7 Hz und 50 Hz (Magnetische Flussdichte), UKW, DAB, DVB-T, Mobilfunk downlink / uplink, etc. (Elektrische Feldstärke).
- Es sollen langfristige Trends über mehrere Jahre/Jahrzehnte sichtbar gemacht werden können.
- Zu erfassen/modellieren ist grundsätzlich der Effektivwert der elektrischen Feldstärke oder magnetischen Flussdichte. Allfällige weitere Signalparameter wie Pulsspitzenwerte sollen bei Bedarf aufgrund der Modulationseigenschaften aus den Effektivwerten abgeleitet werden.

Die Studie soll vor diesem Hintergrund folgende Arbeiten und Abklärungen umfassen:

- Beschreibung wichtiger/interessanter bestehender Monitoringkonzepte
- Vorschläge für geeignete Erhebungsinstrumente, Stichproben und Erhebungsperiodizitäten
- Identifikation von fehlenden Grundlagen
- Vorschläge für eine geeignete operative Durchführung, allenfalls mit Etappierung
- Vorschläge für eine geeignete Darstellung der Ergebnisse
- Grobe Kostenschätzung für die vorgeschlagenen Monitoring-Instrumente

Eine weitere wichtige Rahmenbedingung für die Studie ist sodann, dass der Bund kein permanentes Messnetz mit fixen Messstationen aufbauen will (vorbehalten: punktuelle Messkampagnen für besondere Fragestellungen und Validierungen).

1.2 Projektstruktur / Module

Modul 1: Monitoringerfahrungen

Ziel: Dokumentation bestehender NIS-Monitoringkonzepte

Methode: Dokumentenanalyse und persönliche Interviews

Inhalt: Kommentierte Übersicht bestehender NIS-Monitorings. Für die Schweiz wird, soweit leistbar, Vollständigkeit angestrebt (interkantonale, kantonale und kommunale Ebene), ausländische Konzepte sollen exemplarisch dargestellt werden.

Modul 2: Konzept

Ziel: Festlegung der zentralen Monitoringelemente / -varianten

Methode: Experten- und Bewertungsworkshop

Inhalt: Es sollen die relevanten strategischen Grundsatzentscheide beurteilt werden. Dabei stehen folgende Entscheidungsdimensionen zur Diskussion:

	Outdoor	Indoor	Close-to-body
Indiv. Exposition			
Räuml. Immission			

Für jedes Feld sind zwei weitere Entscheidungsdimensionen relevant. (i) Methodisch: Berechnung bzw. Simulationen und/oder Messungen (mobil, stationär), (ii) Signale (welche Frequenzen/Dienste sollen erfasst werden – von niederfrequenten Feldern über ‚intermediate frequencies‘ zu hochfrequenten Feldern).

Modul 3: Simulation

Ziel: Simulation zur Berechnung räumlicher Immissionen, Bestimmung der Bevölkerungsexposition bezüglich dieser Immissionen

Methode: Bestimmung der Immissionen mit einem Computermodell

Inhalt: Aufzeigen von Optionen bezüglich der modellierten Quellen, des abzudeckenden Modellgebiets sowie des Vorgehens zur Modellierung. Abzuklären sind auch Optionen bezüglich der beabsichtigten Verwendung der Resultate der Simulation.

Modul 4: Exposimetermessungen

Ziel: Bevölkerungsstichprobe mit Exposimetern zur Erfassung „individueller Expositionen“

Methode: Evaluation des Stands der Technik von Exposimetern / Re-Analyse vorhandener Exposimetermessungen / Exposimeterkonzepten

Inhalt: Ausarbeiten eines Konzeptes, beziehungsweise von Variantenvorschlägen für die Durchführung von Exposimetermessungen im Rahmen eines Monitorings, inklusive Aufwandabschätzung. Mit Hilfe von früheren Messungen ist quellspezifisch zu klären, wie gross die zeitliche und räumliche Datenvariabilität bei Exposimetermessungen ist. Daraus lässt sich ableiten, wie die Messdauer und die Messhäufigkeit pro Person konzipiert werden müssen, um für eine Person repräsentative Daten zu erhalten. Im Weiteren ist das Erhebungskonzept zu bestimmen (z.B. Panel vs. Querschnittserhebungen) und die entsprechenden Stichprobengrößen zu definieren, um statistisch aussagekräftige Messresultate für die Schweiz zu erhalten.

Modul 5: Expositions- bzw. Immissionsabschätzungen von close-to-body Quellen

Ziel: Abschätzung der körpernahen NF, IF und HF Immissionen

Methode: Monitoringmessungen im Rahmen einer Marktüberwachung und Bestimmung der spezifischen Belastung von Gewebe und Hirnregionen

Inhalt: Die Expositions- bzw. Immissionsabschätzung von close-to-body Quellen soll mittels Überwachungsmessungen nach der Produkteinführung in den Markt erfolgen. Der Fokus liegt hierbei in der Überwachung der zeitlich stark veränderlichen und unkontrolliert genutzten mobilen Kommunikationsgeräte im HF-Bereich, z.B. Mobil- / Schnurlostelefone, WLAN, Babyphones etc. Für Quellen im NF und IF Bereich, welche in der Regel eine weitaus geringere zeitliche Dynamik bzgl. der Exposition aufweisen, werden die Notwendigkeiten und Möglichkeiten eines Monitorings im Laufe der Konzeptstudie erarbeitet.

Modul 6: EDV-Plattform

Ziel: Abklärung über mögliche Optionen (EDV-Plattformen) zur Archivierung bestehender (v.a. kantonaler und interkantonal) Daten, ev. auch zur Verwaltung und Präsentation/Veröffentlichung zukünftiger „Monitoringdaten“

Methode: Evaluation bestehender Daten und Plattformen, Experteninterviews

Inhalt: Bestehende Plattformen und Technologien u.a. des Kanton Zürich, der Innerschweizer Kantone, oder beider Basel werden evaluiert. Primäres Ziel ist die Abklärung, ob und wie eine zentrale Archivierungsplattform für in der Schweiz bereits gesammelte Daten aufgebaut werden kann. Sekundäres und fakultatives Ziel ist ein Konzept zur integralen Veröffentlichung zukünftiger Monitoringdaten.

Modul 7: Synthese

Ziel: Zusammenstellung der NIS-Monitoring Optionen mit Vor- und Nachteilen

Methode: Integration der Modulergebnisse und internes Review

Inhalt: Die in den einzelnen Modulen erarbeiteten Monitoring-Optionen werden mit Vor- und Nachteilen (inkl. Kostenschätzung) systematisch zusammengestellt und bewertet.

1.3 Verantwortlichkeiten

Auftraggeber BAFU	Dr. Jürg Baumann, Sektion NIS, BAFU
Begleitgruppe	Dr. Jürg Baumann, BAFU; Philippe Horisberger, BAKOM; Martin Meier (BAG)
Externer Experte	Dr. Georg Klaus, Maxwave AG
Projektleitung	Dr. Gregor Dürrenberger, FSM (GD)
Projektadministration	Krisztina Meya, FSM
Subauftragnehmer	Prof. Martin Rösli, STPH (MR); Prof. Niels Kuster, IT'IS (NK); Dr. Jürg Fröhlich, ETH (JF); Dr. Alfred Bürgi, ARIAS (AB)
Berichterstattung	Dr. Gregor Dürrenberger, FSM

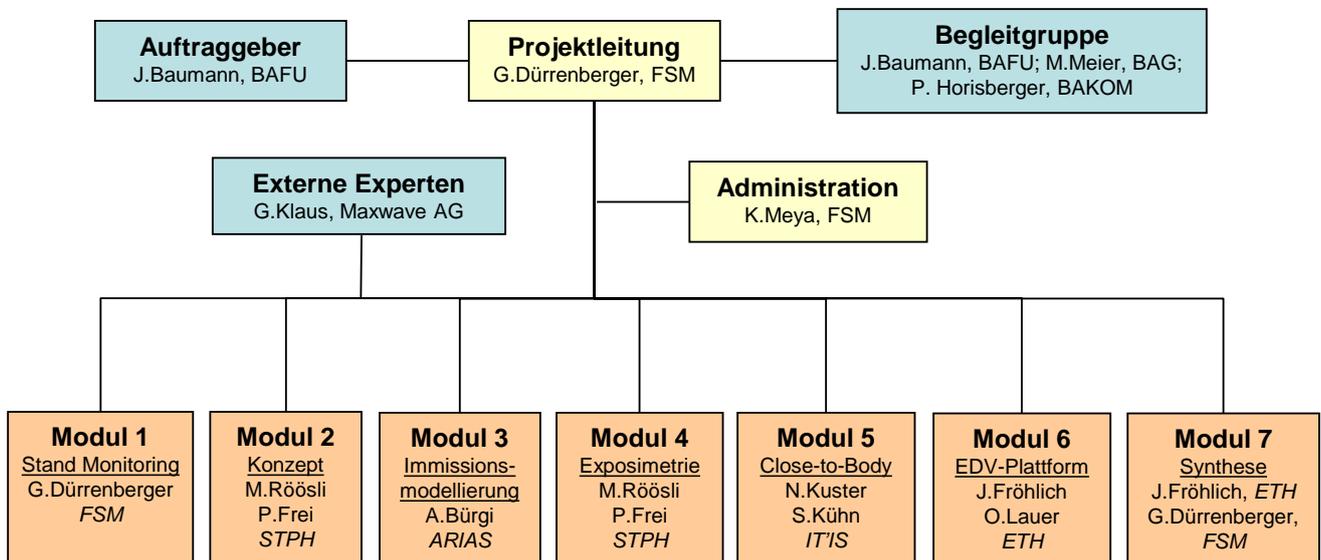


Fig. 1-1: Organigramm

2. Berichtsaufbau, Berichtsstatus und Begrifflichkeit

2.1 Struktur

Die einzelnen Kapitel entsprechen im Wesentlichen der Berichterstattung der Module. Die Konzeptarbeiten von Modul 2 zu Terminologie, Frequenzstruktur, relevanten Emissionsquellen und Modul-Reporting-Struktur sind direkt in den einzelnen Kapiteln umgesetzt.

Die Berichterstattung der Module ist integral in diesen Statusreport eingeflossen. Im Text ist die Literatur nummeriert in eckigen Klammern zu finden. Die bibliographischen Angaben finden sich jeweils am Ende der einzelnen Modulkapitel. Figuren und Tabellen sind kapitelweise nummeriert.

Das Synthesemodul als inhaltliches Resultat der Projektarbeit ist den Modulberichterstattungen vorangestellt (Kapitel 3: NIS-Monitoring-Konzepte und Umsetzungsvorschläge).

2.2 Autorenschaft

Die Autorenschaft teilt sich gemäss den oben aufgelisteten Verantwortlichkeiten auf die einzelnen Kapitel (Modulberichterstattungen) auf. Die Synthese (Kapitel 3 dieses Berichts) ist unter Federführung von JF und GD entstanden und wird von allen Autoren getragen.

2.3 Unabhängigkeit

Dieser Bericht wurde unabhängig vom Auftraggeber erstellt. Die Kommentare der Begleitgruppe, darunter auch des Auftraggebers, wurden wo sinnvoll berücksichtigt und umgesetzt. Die inhaltliche Verantwortung liegt ausschliesslich bei den Autoren.

2.4 Begrifflichkeit

Im vorliegenden Bericht werden folgende Kernbegriffe wie folgt verstanden:

- **Emission:** die von einer Anlage oder einem Gerät abgegebene elektromagnetische Leistung, peak oder zeitlich gemittelt.
- **Immission:** die an einem Ort im Raum gemessene elektrische oder magnetische Feldstärke bzw. Flussdichte, peak oder zeitlich gemittelt. Die Werte können z.B. in Immissionskatastern erfasst und/oder mit Immissionskarten visualisiert werden.
- **Exposition:** die "am Ort eines Menschen" gemessene elektrische oder magnetische Feldstärke bzw. Flussdichte. Der „Ort des Menschen“ impliziert ein Referenzvolumen (ganzer Körper oder Teil des Körpers – als Grenzfall auch ein Referenzpunkt). Aus wissenschaftlicher Sicht ist dieses Referenzvolumen unbestimmt, weil es keine biologisch/gesundheitslich eindeutigen Erkenntnisse dazu gibt. Für ein einmal festgelegtes Referenzvolumen kann die maximale Exposition (peak) oder eine zeitlich gemittelte Exposition bestimmt werden. Die zeitliche Mittelung ist immer auch eine „räumliche“, weil sich Menschen bewegen (bei einer grossräumig gegebenen Immissionssituation kann die Exposition zwischen Menschen differieren, abhängig von den Aufenthaltsmustern dieser Menschen). Wenn im vorliegenden Bericht von Exposition die Rede ist, wird, sofern aus dem Kontext nicht ersichtlich, vermerkt, wie der Begriff zu verstehen ist.
- **Dosis:** Die im Körper (oder einem interessierenden Teil des Körpers) wirksamen elektrischen Felder bzw. davon abgeleitete Grössen (wie z.B. die spezifische Absorptionsrate SAR), aufgrund der Exposition des Körpers; peak oder zeitlich und räumlich gemittelt.

3. NIS-Monitoring-Konzepte und Umsetzungsvorschläge

3.1 Generelle Aussagen

Die folgenden Bemerkungen beziehen sich auf Monitoringaktivitäten gemäss Studienzielen zur Bestimmung durchschnittlicher Immissionen und Expositionen (bzw. der Erfassung entsprechender zeitlicher Trends). Immissionsmessungen im Sinne des Aufbaus eines schweizerischen Messnetzes werden, wiederum gemäss Studienzielen, nicht weiter betrachtet.

Folgende generellen Aussagen betreffend NIS-Monitoring müssen beachtet werden:

1. Ein umfassendes Monitoring, das alle für die Exposition des Menschen relevanten Quellen (stationäre, mobile, indoor, outdoor, 0 Hz - 300 GHz) umfassen würde, ist nicht leistbar.
 - NIS-Monitoring Aktivitäten müssen sich auf das wissenschaftlich leistbare und wirtschaftlich tragbare beschränken.
2. Grundsätzlich kann ein NIS-Monitoring auf vier Ebenen ansetzen: Auf der Ebene der Emissionen (abgestrahlte Felder), der Ebene der Immissionen (Feldverteilungen im Raum), auf der Ebene der Expositionen (Felder am Ort, wo sich Menschen aufhalten) und auf der Ebene der Dosis (vom Körper aufgenommene Leistung). Das Emissionsmonitoring wird in dieser Studie nicht betrachtet. Die Dosisebene – sie ist einer zuverlässigen Erfassung nur schwer zugänglich – wird nur im Zusammenhang mit der körpernahen Nutzung von Geräten näher diskutiert.
 - Immissionsmodellierungen und/oder –messungen sagen direkt noch nichts über die Belastung von Menschen durch NIS aus, weil Immissionskataster das Verhalten der Menschen (Aufenthalte in Raum und Zeit) nicht berücksichtigen. Das ist bei räumlich, zeitlich, und vom Umfang her stark anisotropen Immissionen wie NIS noch relevanter als bei eher isotropen Immissionen wie Lärm oder Luftschadstoffen).
 - Im Hinblick auf Alltagsbelastungen ist die Exposition oder die Dosis die relevante Zielgrösse.
3. Aufgrund der wissenschaftlich fehlenden Erkenntnisse über biologische und gesundheitliche Wirkungen schwacher NIS (v.a. oberhalb ca. 1 kHz) ist es nicht möglich, eine für alle Situationen – ganzes Frequenzspektrum, körpernahe und körperferne Quellen, akute und chronische Exposition – gültige Metrik festzulegen.
 - Grundsätzlich soll daher das Monitoring möglichst frequenzselektiv sein (siehe Tabelle 3-1 für die für das Monitoring vorgeschlagenen Frequenzbänder)

1	ELF 16 ² / ₃ Hz (Bahnstrom)
2	ELF 50 Hz (Hochspannungsleitungen)
3	ELF 50 Hz (Unterwerke, Trafostationen)
4	ELF 50 Hz (Niederspannungsverteilstrom, Verteilungskabinen, Hausinstallationen, Geräte)
5	Mittelfrequenzen (0.02 - 0.1)
6	Radio LW, MW, KW (0.1 - 26)
7	Amateurfunk (25 - 30)
8	Radio UKW (87 - 108)
9	Betriebsfunk, Funkruf (Paging) (146 - 174)
10	DVB, DAB (174 - 230)
11	Tetrapol/Tetra (380 - 395)
12	Betriebs- und Amateurfunk (410 - 470)
13	DVB (470 - 790)
14	Mobilfunk-Digitale Dividende (832 - 862)
15	GSM-R downlink (918 - 925)
16	Mobilfunk-900 downlink (925 - 960)
17	Mobilfunk-1800 downlink (1805 - 1880)
18	DECT (1880 - 1900)
19	Mobilfunk-2100 downlink (2110 - 2170)
20	W-LAN (2400 - 2483; 5150 - 5725)
21	Mobilfunk-2600 downlink (2620 - 2690)
22	WiMAX (3400 - 3800)
23	Radarsysteme (3 - 30 GHz)
24	Mobiltelefone (791 - 821, 873 - 880, 1710 - 1785, 1920 - 1980, 2500 - 2570)

Tabelle 3-1: Aufteilung des Frequenzspektrums für Monitoringzwecke (MHz, wenn nichts angegeben)

- Metrik im NF-Bereich: sofern frequenzselektive NF-Messungen verfügbar sind: die magnetische Flussdichte und/oder die %-Ausschöpfung eines Referenzwertes (Immissionsgrenzwert, Anlagegrenzwert); Summenparameter: die magnetische Flussdichte der Gesamtimmission und/oder die %-Ausschöpfung der Referenzwerte auf Basis der Summenformel für körperinterne Feldstärken.
 - Metrik im IF- und HF-Bereich: frequenzselektiv die elektrische Feldstärke und/oder die %-Ausschöpfung eines Referenzwertes (Immissionsgrenzwert, Anlagegrenzwert); Summenparameter: elektrische Feldstärke der Gesamtimmission und/oder %-Ausschöpfung der Referenzwerte auf Basis der Summenformel für thermische Wirkungen (für Frequenzen unter 10 MHz allenfalls auch %-Ausschöpfung der Referenzwerte auf Basis der Summenformel für körperinterne Feldstärken).
 - Metrik für nahe am Körper verwendete Geräte: körperinterne Dosisgrößen (Leistungsdichtespektrum¹, elektrische Feldstärke, SAR); als Proxy: externe elektrische (IF- und HF-Bereich) oder magnetische (NF-Bereich) Feldstärke an den möglichen Tragepositionen von Expositometern.
 - Wir schlagen als gemeinsame Basis der Metriken vor, dass die Größen (Immissionen, Expositionen) jeweils als Tages- oder Wochendurchschnitte berechnet bzw. kommuniziert werden.
 - Die Werte können gemäss Standards im HF-Bereich als 6-Minuten-Mittelwerte (aber auch in kürzeren Intervallen), im NF-Bereich als Momentanwerte bestimmt werden. Für die Auswertungen können – je nach Fragestellung – Mittelwerte, Medianwerte oder Spitzenwerte verwendet werden.
4. Es können aufgrund des heutigen Stands der Methodik sinnvoll vier Herangehensweisen an ein NIS-Monitoring unterschieden werden (siehe auch Abschnitt 3.2):
- Der Goldstandard sind Daten zur Exposition einer repräsentativen Bevölkerungsstichprobe (personenbezogene Expositometrie)
 - Als Silberstandard kann man die Erhebung von Expositionsdaten auf vorbestimmten Messrouten ansehen (ortsbezogene Expositometrie). Diese Daten dokumentieren zuverlässig die zeitlichen Expositionstrends (etwa im Sinne eines Expositionsindex¹: 2012 = 100), wobei auch Veränderungen in den Expositionsanteilen der verschiedenen Quellen erfasst und annäherungsweise Aussagen über die durchschnittliche Exposition gemacht werden können.
 - Bronzestandard: grossräumige Immissionsberechnungen.
 - Zur Erfassung der Exposition von nahe am Körper genutzten Geräten (Elektrogeräte, Funkanwendungen) gibt es derzeit keine umfassend erprobte Methodik.
5. Die Qualität eines Monitorings wird durch konzeptionelle, messtechnische und datentechnische Unsicherheiten bestimmt. Diese Unsicherheiten sind im NIS-Bereich beträchtlich und die Erfassung oder Abschätzung (Modellierung) der „wahren“ Exposition eines Menschen (eines Kollektivs) ist nicht möglich. Gleiches gilt für die Bestimmung (über Modellrechnungen) der „wahren“ Immissionen in einer Region.
- Im Fall von Expositometermessungen ist die Geräteempfindlichkeit entscheidend (Übersprechen von Frequenzbändern, Isotropie); die beste Genauigkeit weist gegenwärtig das ETH-Expositometer auf. Die Unsicherheit der Messdaten beträgt auf Feldstärkewerte bezogen um $\pm 40\%$ (± 3 dB). Ebenfalls wichtig ist die (selektive) Dämpfung der Felder durch Abschattung des Messgeräts beim Tragen am Körper. Dieser Einfluss liegt in derselben Größenordnung wie die Gerätegenauigkeit. Messfachleute können durch geeignete Handhabung diesen Effekt allerdings weitgehend reduzieren.
 - Die zeitliche Variabilität von Messdaten ist eine weitere Herausforderung in der Bestimmung der „wahren“ Exposition. Jede Messung ist eine Momentaufnahme und bildet selten eine durchschnittliche (über längere Zeit gemittelte) Immissionsituation ab. Deshalb ist es notwendig, eine breite Datenbasis zu erzeugen, um so zeitliche Schwankungen „auszumitteln“. Bei mehreren hundert Messreihen kann die Datenvariabilität 10 bis 30 % betragen.
 - Für grossräumige (Immissions-) Simulationen gilt ähnliches. Der Immissionskataster Basel und das NIS-Monitoring Zentralschweiz zeigen eine mittlere quadratische Abweichung der Simulation gegenüber der Messung von ca. -40 % bis +60 % (etwa 3 bis 4 dB) für die Summenfeldstärke.
 - Hingegen können relative Veränderungen (Expositionstrends) einigermaßen zuverlässig abgeschätzt werden, zumindest was die Ganzkörper-Exposition gegenüber „körperfernen“ Quellen anbetrifft.
 - Für nahe am Körper genutzte Geräte sind Feldmessungen wenig geeignet, denn die Feldstärken sind stark distanzabhängig. Das gilt einerseits für die „wahre“ Exposition: die Art der Nutzung / Gerätehaltung entscheidet wesentlich über das „Einkoppelungsverhalten“ des Feldes; sie kann wichtiger sein als die modellbedingte Variabilität der Emissionen innerhalb einer Gütergruppe. Andererseits ist

¹ In den Normen figuriert die Leistungsdichte als Referenzgrösse für Fernfelder (>10 MHz). Als Dosisgrösse dient die SAR. Diese gibt keine Auskunft über die Frequenzanteile eines Signals. Wenn die Signalform eine biologische Bedeutung hat (wozu es Hinweise gibt), dann ist die spektrale Leistungsdichte (die auf die Frequenz bezogene Leistung eines Signals in einem infinitesimal kleinen Frequenzband) im Gewebe eine relevante Dosisgrösse.

das Ergebnis einer Expositormessung sehr stark von der Distanz zwischen Expositormessgerät und emittierendem Gerät abhängig. Je nach Nutzungsart und Position des Expositormessgeräts am Körper werden stark unterschiedliche Feldwerte registriert.

3.2 Methodische Ansätze

3.2.1 Personenbezogene Expositometrie

Oben als Goldstandard bezeichnet. Erhoben werden kann die NF-Exposition von Installationen (Messwerte von nahe am Körper benutzten Geräten sind wegen der ausgeprägten Distanzabhängigkeit der Feldstärken nur schwer interpretierbar) sowie die HF-Exposition gegenüber fixen und mobilen Sendern (wiederum ausser eigene nahe am Körper benutzte Geräte). Zwei Probleme: (1) für statistisch zuverlässige Daten ist eine grosse Stichprobe von mehreren hundert Personen notwendig, welche mindestens einen Tag lang (24 h) das Expositormessgerät korrekt anwendet, oder aber eine kleinere Stichprobe, die das Gerät über mehrere Tage im Einsatz hat. Das expositionsrelevante Verhalten muss zudem mittels einer repräsentativen Befragung evaluiert werden. Der Ansatz ist dementsprechend aufwändig. (2) Je nach dem Ort wo man das Expositormessgerät am Körper trägt, wird das Gerät bei ein und demselben Feld andere Messwerte generieren. Um aus diesen die „wahre“ Exposition abzuschätzen, muss man einerseits die Trageposition(en) kennen und andererseits die Ablesewerte numerisch umrechnen, z.B. auf die Feldstärke am Ort des Dosimeters, wenn der Körper nicht dort wäre, oder auf eine (über ein Referenzvolumen; siehe Abschnitt 2.4) gemittelte Exposition (wenn der Körper nicht dort wäre).

3.2.2 Ortsbezogene Expositometrie

Oben als Silberstandard deklariert. Um die zeitliche Entwicklung der Exposition zu dokumentieren, ist ein Monitoring mit Messungen der für die Bevölkerung relevanten Expositionssituationen geeignet. Solche Messungen können von geschultem Personal kontrolliert durchgeführt werden. Durch standardisierte Mitführung des Expositormessgeräts kann das oben erwähnte Problem (2) wesentlich entschärft und damit die „wahre“ Exposition robuster berechnet werden. Die wesentlichen und/oder interessierenden Expositionssituationen (Stadt, Land, indoor, outdoor, etc.) können in Form von kleinräumigen Messrouten erfasst werden. Längerfristige Veränderungen der Exposition in den gewählten Kompartimenten lassen sich so recht zuverlässig und kostengünstig festhalten. Aus derart erhobenen Daten können allerdings nicht direkt Aussagen zur Durchschnittsexposition der Bevölkerung gemacht werden, weil einerseits die Kompartimente immer eine konkrete (und keine durchschnittliche) Situation abgeben und andererseits die räumlichen Verhaltensmuster der Bevölkerung nur annäherungsweise bekannt sind.

3.2.3 Grossräumige Immissionsberechnungen

Oben als Bronzestandard bezeichnet. Wie beim Silberstandard lassen sich auch bei grossräumigen Immissionsberechnungen nicht direkt Aussagen zur Exposition der Bevölkerung gewinnen, weil das Verhalten der Menschen – Aufenthaltszeiten im Raum – nicht berücksichtigt ist. Der Vorteil gegenüber ortsbezogener Expositometrie ist, dass die Immissionssituation eines grossen Gebietes (bis zur ganzen Schweiz) berechnet werden kann; der Nachteil, dass in aller Regel nur Grossinfrastrukturen (fixe Anlagen) und Outdoorverhältnisse mit vernünftigem Aufwand simuliert werden können. Weil heute ein relevanter Teil der Exposition durch Kleininstallationen und Konsumgüter (elektrische Geräte, DECT-Telefone, WLANs, Mobiltelefone Dritter, etc.) verursacht wird, sind grossräumige Immissionsmodellierungen, die nur Grossinfrastrukturen berücksichtigen, im Hinblick auf die NIS-Exposition der Bevölkerung nur partiell aussagekräftig.

3.2.4 Modellierung körpernaher Anwendungen

Zur Erfassung der Exposition von nahe am Körper genutzten Geräten (Elektrogeräte, Funkanwendungen) gibt es keine wissenschaftlich umfassend erprobte Methodik. Es wird deshalb in diesem Bericht eine mögliche generelle Herangehensweise vorgeschlagen. Sie müsste jedoch vor einer allfälligen Umsetzung noch weiter präzisiert werden. Grundsätzlich sollen die durchschnittlichen Expositionen ausgewählter Güter modelliert und mit Expositormessstudien validiert werden. Dazu ist erforderlich, dass (i) die Exposition mit einer repräsentativen Modellpalette einer Gütergruppe mess- und simulationstechnisch erhoben wird (unter Berücksichtigung der relevanten Nutzungsarten), (ii) die Marktdurchdringung und die Nutzungsgewohnheiten per Befragung repräsentativ erhoben werden, (iii) aus all diesen Daten die durchschnittliche Exposition und deren Variabilität modelliert wird und als Validierungsproxy erwartete Feldwerte für Expositormessstudien bestimmt werden. Die Vergleichbarkeit mit der Exposition gegenüber körperfernen Quellen kann über körperinterne Grössen (elektrische Feldstärken, SAR) geleistet werden. Aufgrund fehlender Erkenntnisse über rele-

vante biologische / gesundheitliche Effekte kann dafür aber weder ein allgemeingültiges Referenzvolumen (ganzer Körper, Teilbereich des Körpers, spezifische Gewebe), noch ein allgemeingültiges Dosismass (kürzeste Spitzenbelastungen, zeitliche Durchschnittswerte, spezifische Signalanteile) angegeben werden. Je nach Wahl dieser Bezugsgrössen fallen Vergleiche zwischen der Exposition gegenüber körperfernen und derjenigen gegenüber körpernahen Quellen sehr unterschiedlich aus.

3.3 Prioritäre Umsetzungsvorschläge

3.3.1 Option 1: Ortsbezogene Exposimetrie

3.3.1.1 Exposition gegenüber NF-Installationen

Wissenschaftliche Dimension

- Methode: Messungen der (über ein Referenzvolumen gemittelten; siehe Abschnitt 2.4) Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern mit Hilfe von Exposimetern in speziell interessierenden Raumbereichen auf ausgewählten Messrouten (sog. Mikrokompartimente). Die Messungen zeigen die räumliche Verteilung der Immissionen entlang der Messrouten bzw. die durchschnittliche Exposition eines Menschen auf jeder Route und sagen nichts aus über die reale Exposition der Bevölkerung (dazu muss deren Aufenthaltszeit im Raum bekannt sein).
- Umfang: Um aussagekräftige Daten zu erhalten, müssen relevante Situationen (z.B. ein halbes Dutzend) definiert und geeignete Messrouten (z.B. 3 pro Situation) gewählt werden (das wären insgesamt um 20 Mikrokompartimente). Sodann sollten (um statistisch robuste Aussagen machen zu können) pro Messroute einige hundert Messungen vorliegen. Idealerweise werden für jede Route Messungen zu allen relevanten Tageszeiten durchgeführt.
- Unsicherheit: Die messtechnische Unsicherheit liegt im Bereich von 20-30 % (Feldstärke).
- Frequenzbänder: 1 - 4 (gemäss Tab. 3-1)
- Periodizität: eine monatliche Kadenz (unterschiedliche Wochentage) hat sich bewährt.
- Metrik: sofern frequenzselektive NF-Messungen verfügbar sind: die magnetische Flussdichte (μT) und/oder die %-Ausschöpfung eines Referenzwertes (Immissionsgrenzwert, Anlagegrenzwert); Summenparameter: die magnetische Flussdichte der Gesamtmission und/oder die %-Ausschöpfung der Referenzwerte auf Basis der Summenformel für körperinterne Feldstärken.
- Anderes/zu beachten: ein frequenzselektives NF-Exposimeter gibt es derzeit nicht auf dem Markt. Technisch kann es jedoch in nützlicher Frist entwickelt und eingesetzt werden.

Wirtschaftliche Dimension

- Initialaufwand: Gegenwärtig liegen keine gesicherten Erfahrungen vor, wie viele Kompartimente für aussagekräftige Daten notwendig sind. Im Rahmen einer Pilotstudie könnte diese Frage geklärt werden.
- Jährlicher Aufwand: Als Beispiel anzusehen: 20 Mikrokompartimente x 12 Monate (mit monatlicher Variation der Messzeiten) = 240 Messdurchgänge. Das entspricht 24 Tagen für die Messungen und nochmals so viel für die Datenaufbereitung. Insgesamt: 3 Monate Arbeit.
- Initialaufwand zur Entwicklung eines tragbaren, frequenzselektiven NF-Exposimeters: 30 - 40 kCHF. Produktionskosten pro Gerät (Kleinstserie): 2 - 3 kCHF

Bewertung/Empfehlung

Wir erachten diese Option als wissenschaftlich sinnvoll (sie erlaubt valide Aussagen über Expositionstrends und – sofern bandselektive NF-Messungen verfügbar sind – Expositionsanteile nach Quellen), als finanzierbar (siehe oben) und als wertvoll, denn sie kann den Anspruch / Auftrag, die Exposition gegenüber NIS zu „beobachten“ für den sensiblen Bereich der Immissionen von Grossinfrastrukturen erfüllen.

3.3.1.2 Exposition gegenüber IF und HF-Quellen

Wissenschaftliche Dimension

- Methode: Messungen der (über ein Referenzvolumen gemittelten; siehe Abschnitt 2.4) Exposition gegenüber IF und HF-Quellen (ausser: eigene mobile Geräte!) mit Hilfe von Exposimetern in speziell interessierenden Raumbereichen auf ausgewählten Messrouten (sog. Mikrokompartimente). Die Messungen zeigen die räumliche Verteilung der Immissionen entlang der Messrouten bzw. die durchschnittliche Exposition

eines Menschen auf jeder Route und sagen nichts aus über die reale Exposition der Bevölkerung (dazu muss deren Aufenthaltszeit im Raum bekannt sein).

- Umfang: Um aussagekräftige Daten zu erhalten, müssen relevante Situationen (z.B. ein halbes Dutzend) definiert und geeignete Messrouten (z.B. 3 pro Situation) gewählt werden (das wären insgesamt um 20 Mikrokompimente). Sodann sollten (um statistisch robuste Aussagen machen zu können) pro Messroute einige hundert Messungen vorliegen. Idealerweise werden für jedes Kompartiment Messungen zu allen relevanten Tageszeiten durchgeführt.
- Unsicherheit: Die messtechnische Unsicherheit liegt im Bereich von 40 % (Feldstärke).
- Frequenzbänder: 5 - 17, 18 (nur Basisstation), 19 - 23; (gemäss Tab. 3-1)
- Periodizität: eine monatliche Kadenz (unterschiedliche Wochentage) hat sich bewährt.
- Metrik: frequenzselektiv elektrische Feldstärke (V/m) und/oder %-Ausschöpfung eines Referenzwertes (Immissionsgrenzwert oder Anlagegrenzwert); Summenparameter: die elektrische Feldstärke der Gesamtmission und/oder die %-Ausschöpfung der Referenzwerte auf der Basis der Summenformel für thermische Wirkungen (für Frequenzen unter 10 MHz allenfalls auch %-Ausschöpfung der Referenzwerte auf Basis der Summenformel für körperinterne Feldstärken).
- Anderes/zu beachten: ein frequenzselektives IF-Exposimeter gibt es derzeit nicht auf dem Markt. Technisch kann es jedoch in nützlicher Frist entwickelt und eingesetzt werden.

Wirtschaftliche Dimension

Wie oben (nicht als zusätzlicher Aufwand anzusehen; im Rahmen desselben Prozesses zu leisten)

Bewertung/Empfehlung

Wie oben (auf IF und HF angepasst)

3.3.2 Option 2: Simulation grossräumige Immissionen

3.3.2.1 Immissionen von NF-Installationen

Wissenschaftliche Dimension

- Methode: Grossräumige Simulationsrechnungen der zeitlich gemittelten outdoor Magnetfeld-Immissionen durch Hochspannungsleitungen und durch Fahrleitungen und Hochspannungsleitungen der Eisenbahn. Berechnet für 1 m über Grund (HF: 1.5 m über Grund). Die Ergebnisse zeigen die räumliche Verteilung der Immissionen und sagen noch nichts aus über die reale Exposition der Bevölkerung (dazu muss deren Aufenthaltszeit im Raum bekannt sein).
- Umfang: Das Übertragungsnetz (220 und 380 kV) umfasst ca. 6700 km, wovon 0.5% als Kabel. Das überregionale Verteilnetz (50-150 kV) umfasst ca. 9000 km, wovon 20% als Kabel, und dürfte im Hinblick auf die Exposition (mehr Kilometer in bebautem Gebiet) bedeutsamer sein. Immissionen von Unterwerken und Trafostationen sind nur mit grossem Aufwand zu rechnen.
- Unsicherheit: Die Variabilität der berechneten Immissionen gegenüber Messwerten liegt im einstelligen %-Bereich.
- Frequenzbänder: 1, 2 (gemäss Tab. 3-1)
- Periodizität: maximal jährlich
- Metrik: frequenzselektiv magnetische Flussdichte (μT) und/oder %-Ausschöpfung eines Referenzwertes (Immissionsgrenzwert, Anlagegrenzwert); Summenparameter: magnetische Flussdichte der Gesamtmission und/oder %-Ausschöpfung der Referenzwerte auf Basis der Summenformel für körperinterne Feldstärken

Wirtschaftliche Dimension

- Initialaufwand: proportional zur Stranglänge der Leitungen. Erstaufnahme für 7000 Strangkilometer: 500 - 600 Stunden oder 3 - 4 Monate.
- Update Aufwand: $\frac{1}{3}$ des Initialaufwandes (bei gleichbleibender Installation; Änderungen sind als Initialaufwand zu berücksichtigen)

Bewertung/Empfehlung

Insgesamt leben vergleichsweise wenige Menschen in Häusern, die erhöhten magnetischen Flussdichten (mehr als 0.4 Mikrottesla) ausgesetzt sind. Aus gesundheitlicher Sicht wäre mit einem zusätzlichen Leukämiefall pro Jahr zu rechnen, falls eine chronische Magnetfeldexposition das Leukämierisiko verdoppeln würde. Insgesamt erachten wir aus gesundheitspolitischer Sicht diese NF-Immissionen als eher wenig prioritär. Um

jedoch die Relevanz besser (als hier leistbar) beurteilen zu können, wäre eine kleine Pilotstudie insbesondere zum überregionalen Verteilnetz (50 - 150 kV) in Siedlungsnähe geeignet. Dazu könnte eine Auswahl von kleinen Testgebieten (z.B. von 10 km² Grösse) mit unterschiedlicher Topographie und Bebauungsart definiert werden.

3.3.2.2 Immissionen von HF-Installationen

Wissenschaftliche Dimension

- Methode: Grossräumige Simulationsrechnungen der zeitlich gemittelten outdoor Immissionen (elektrische Feldstärke) durch Funksender, berechnet für 1.5m über Grund. Die Simulationen zeigen die räumliche Verteilung der Immissionen und sagen nichts aus über die reale Exposition der Bevölkerung (dazu muss deren Aufenthaltszeit im Raum bekannt sein).
- Umfang: abhängig von der Verfügbarkeit der Installationsdaten (insbesondere: 9, 11, 12, 15, 23 gemäss Tabelle 3-1), sowie von der Anzahl und der Grösse der gewählten Region(en). Zu letzterem: siehe Bewertung.
- Unsicherheit: die Variabilität (aus der mittleren quadratischen Abweichung) zwischen gerechneten und gemessenen Feldstärken liegt zwischen -40 % und +60 %.
- Frequenzbänder: 6 - 17, 19, 21 - 23 (gemäss Tabelle 3-1)
- Periodizität: maximal jährlich
- Metrik: frequenzselektiv elektrische Feldstärke (V/m) und/oder %-Ausschöpfung eines Referenzwertes (Immissionsgrenzwert oder Anlagegrenzwert); Summenparameter: elektrische Feldstärke der Gesamtimmission und/oder %-Ausschöpfung eines Referenzwertes (auf Basis der Summenformel für thermische Wirkungen; für Frequenzen unter 10 MHz allenfalls auch %-Ausschöpfung des Referenzwertes auf Basis der Summenformel für körperinterne Feldstärken)

Wirtschaftliche Dimension

- Initialaufwand: 8 - 10 Monate (für ca. 10 % der Schweizer Bevölkerung, urban und ländlich)
- Jährlicher Aufwand: ca. 2 Monate
- Im Falle mehrerer Kleingebiete ist gegenüber einem grösseren zusammenhängenden Gebiet mit Mehrkosten zu rechnen.

Bewertung/Empfehlung

Der Ansatz ist politisch/kommunikativ gut verwertbar, obwohl er hinsichtlich realer Bevölkerungsexposition nur begrenzt aussagekräftig ist. Es sind zumindest zwei Umsetzungsvarianten denkbar: (i) Festlegung einer Anzahl (10 - 20) kleiner (z.B. von 10 km² Grösse) und für die Schweiz repräsentativer Testgebiete (einige dieser Gebiete könnten auch für eine allfällige – siehe oben – NF-Pilotstudie verwendet werden), für welche die Modellrechnungen durchgeführt werden. (ii) in der Schweiz bestehen für die Zentralschweizer Kantone und für die zwei Basler Halbkantone bereits entsprechende Modelle und Simulationsrechnungen. Diese scheinen eine gewisse Repräsentativität für die Schweiz aufzuweisen. Der Bund kann über Verhandlungen / Kostenbeteiligungen sicherstellen, dass diese Monitoringinstrumente institutionalisiert werden und die notwendigen Ressourcen für sinnvolle Harmonisierungen und zukünftige Anpassungen bereit stehen.

3.3.2.3 Indoor-Immissionen von HF-Installationen

Wissenschaftliche Dimension

- Methode: Grossräumige Simulationsrechnungen der zeitlich gemittelten Innenraum-Immissionen (elektrische Feldstärke) durch Funksender. Die notwendigen Gebäudedaten zur Berücksichtigung von Dämpfungen und Reflexionen sind nicht in ausreichendem Masse vorhanden; als Proxy ist denkbar, eine Belastung an der Fassade zu bestimmen.
- Umfang: abhängig von der Verfügbarkeit der Installationsdaten (insbesondere: 9, 11, 12, 15, 23 gemäss Tabelle 3-1), sowie von der Anzahl und Qualität der Gebäudedaten.
- Unsicherheit: Die mittlere quadratische Abweichung zwischen Messungen und Berechnungen liegt im Bereich von 4 - 5 dB oder Faktor 2 (Feldstärke).
- Frequenzbänder: 6 - 17, 19, 21 - 23 (gemäss Tab. 3-1)
- Periodizität: maximal jährlich
- Metrik: frequenzselektiv elektrische Feldstärke (V/m) und/oder %-Ausschöpfung eines Referenzwertes (Immissionsgrenzwert oder Anlagegrenzwert); Summenparameter: elektrische Feldstärke der Gesamtimmission und/oder %-Ausschöpfung eines Referenzwertes (auf Basis der Summenformel für thermische

Wirkungen; für Frequenzen unter 10 MHz allenfalls auch %-Ausschöpfung des Referenzwertes auf Basis der Summenformel für körperinterne Feldstärken)

- Anderes/zu beachten: Diese Option ist als Zusatz zu Option 4 zu verstehen.

Wirtschaftliche Dimension

Kaum Zusatzaufwand gegenüber HF-Immissionsrechnungen (nur mehr Rechenaufwand)

Bewertung/Empfehlung

Im Rahmen eines Monitoringprogramms, in dem Immissionen von HF-Installationen berechnet werden, kann diese Option ohne nennenswerten Mehraufwand gerechnet werden.

3.4 Sekundäre Umsetzungsvorschläge

3.4.1 Option 3: Personenbezogene Exposimetrie

3.4.1.1 Exposition gegenüber NF-Installationen

Wissenschaftliche Dimension

- Methode: Messungen der (über ein Referenzvolumen gemittelten; siehe Abschnitt 2.4) Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern mit Hilfe von Exposimetern. Die Probanden können aus einem Panel stammen oder als Zufallsstichprobe aus der Bevölkerung ausgewählt werden.
- Umfang: 100 Probanden, die je einen Tag (24 Stunden) messen (inkl. Aktivitätsprotokolle)
- Unsicherheit: Die Messunsicherheit liegt im Bereich von 20 - 30 %, die Datenvariabilität (95 % Vertrauensintervall des Mittelwertes) beträgt bei 100 Probanden, welche je einen Tag (24 Stunden) messen, um 40 %.
- Frequenzbänder: 1 - 4 (gemäss Tab. 3-1)
- Periodizität: max. jährlich
- Metrik: sofern frequenzselektive NF-Messungen verfügbar sind: die magnetische Flussdichte (μT) und/oder die %-Ausschöpfung eines Referenzwertes (Immissionsgrenzwert, Anlagegrenzwert); Summenparameter: die magnetische Flussdichte der Gesamtimmission und/oder die %-Ausschöpfung der Referenzwerte auf Basis der Summenformel für körperinterne Feldstärken.
- Anderes/zu beachten: ein frequenzselektives NF-Exposimeter gibt es derzeit nicht auf dem Markt. Technisch kann es jedoch in nützlicher Frist entwickelt und eingesetzt werden. Zur Abgrenzung von Feldern, die von NF-Installationen stammen gegenüber Feldern von körpernah genutzten Geräten, kann ein Schwellenwert definiert werden (die Felder von nahe am Körper genutzten Geräten sind im allgemeinen erheblich grösser als die übrigen Felder in der Umwelt), allenfalls kombiniert mit Tagebucheinträgen, falls Tagebücher eingesetzt werden (siehe Kapitel 6.7).

Wirtschaftliche Dimension

Bislang wurde diese Methode nicht für Monitorings, sondern erst forschungsmässig eingesetzt. Der Aufwand für 100 Messtage belief sich dabei insgesamt (Rekrutierung, Instruierung, Auswertung etc.) auf 2 Jahre. Hier sollte mit einer Pilotstudie das Rationalisierungspotential, das bei einem wiederkehrenden Monitoring zu erwarten ist, ausgelotet werden.

Bewertung/Empfehlung

Eigentlich handelt es sich hier um den eingangs erwähnten Goldstandard. Die zentrale Rolle für die Entscheidung für oder gegen diese Option dürften die effektiv zu erwartenden Kosten spielen. Sie sind gegenwärtig nicht ausreichend quantifiziert.

3.4.1.2 Exposition gegenüber körperfernen IF- und HF-Quellen

Wissenschaftliche Dimension

- Methode: Messungen der (über ein Referenzvolumen gemittelten; siehe Abschnitt 2.4) Exposition gegenüber IF und HF-Quellen (ausser: eigene mobile Geräte!) mit Hilfe von Exposimetern durch Probanden, welche möglichst repräsentativ für die Schweizer Bevölkerung sind. Die Messungen zeigen die personenbezogenen Expositionen im Alltag. Die Probanden können aus einem Panel stammen oder als Zufallsstichprobe aus der Bevölkerung ausgewählt werden.
- Umfang: 100 Probanden, die je einen Tag (24 Stunden) messen (inkl. Aktivitätsprotokolle)
- Unsicherheit: Die Messunsicherheit liegt im Bereich von 30 %, die Datenvariabilität (95 % Vertrauensintervall des Mittelwertes) beträgt bei 100 Probanden, welche je einen Tag (24 Stunden) messen, um 15 %.
- Frequenzbänder: 5 - 17, 18 (nur Basisstation), 19 - 23; (gemäss Tabelle 3-1)
- Periodizität: max. jährlich
- Metrik: frequenzselektiv elektrische Feldstärke (V/m) und/oder %-Ausschöpfung eines Referenzwertes (Immissionsgrenzwert oder Anlagegrenzwert); Summenparameter: elektrische Feldstärke der Gesamtimmission und/oder die %-Ausschöpfung der Referenzwerte auf der Basis der Summenformel für thermische Wirkungen (für Frequenzen unter 10 MHz allenfalls auch %-Ausschöpfung der Referenzwerte auf Basis der Summenformel für körperinterne Feldstärken).
- Anderes/zu beachten: Zur Abgrenzung von Feldern, die von körpernah genutzten HF-Geräten stammen, können bei ausreichender Frequenzselektivität der Exposimeter die „richtigen“ Signale berücksichtigt werden. Sodann können für Anwendungen, welche für die Kommunikation dieselben Kanäle benützen, Schwellenwert definiert werden (die Felder von nahe am Körper genutzten Geräten sind im allgemeinen grösser als die übrigen Felder in der Umwelt).

Wirtschaftliche Dimension

Aufwand wie oben (nicht als zusätzlicher Aufwand anzusehen; derselbe Prozess)

Bewertung/Empfehlung

Siehe oben!

3.4.1.3 Erfassung der Nutzungsdauer eigener mobiler HF-Geräte

Wissenschaftliche Dimension

- Methode: Messungen der persönlichen Nutzung von mobilen HF-Geräten mit Hilfe von Exposimetern. Hier geht es nicht primär um die (direkte) Erfassung der relevanten Dosen, sondern um das Dokumentieren der Gerätenutzung (um Zeittrends festzuhalten oder Daten zur Expositionsmodellierung gemäss Option 8 zur Verfügung zu haben).
- Umfang: wie Option 8 oder Exposimeterstudien
- Unsicherheit: schwierig zu quantifizieren ist der sog. Bystander-Effekt (Felder von sehr nahen Geräten Dritter können nicht immer auf einfache Art vom Eigengebrauch unterschieden werden). Ohne bzw. mit objektiv korrigiertem Bystander-Effekt sind die Daten zur Nutzungsdauer robust.
- Frequenzbänder: wie 3.4.1.2
- Periodizität: wie 3.4.1.2
- Metrik: Nutzungszeiten, Feldstärken

Wirtschaftliche Dimension

Aufwand wie Exposimeterstudien (nicht als zusätzlicher Aufwand anzusehen; derselbe Prozess)

Bewertung/Empfehlung

Das Sammeln dieser Daten im Rahmen von Exposimeterstudien sollte sichergestellt werden. Eine eigens / separat konzipierte Studie ist wenig sinnvoll.

3.4.2 Option 4: Modellierung der Exposition körpernaher Quellen

Wissenschaftliche Dimension

- Methode: Unseres Wissens gibt es bislang kein Monitoringkonzept für körpernahe Quellen. Das hängt u.a. mit der Komplexität der Materie zusammen (vielfach unbekannte Geräteverbreitung, modellspezifische Emissionsunterschiede, Nutzungsintensitäten, Nutzungsarten, sowie anspruchsvolle Dosimetrie). Wir schlagen einen neuartigen Ansatz vor, der mit einer Panelbefragung die Marktdurchdringung und Technologienutzung erhebt. Zusammen mit einer Nahfeldcharakterisierung der relevanten Quellen soll die (über den ganzen oder über Teile des Körpers gemittelte) Exposition der Bevölkerung modelliert werden.
- Umfang: abhängig von der Geräteauswahl (Art und Anzahl Modelle je Gerätegruppe) sowie der Samplegrösse der Umfrage. Im Falle von Validierungsstudien mit Expositometern auch von der Anzahl der Probanden.
- Unsicherheit: aufgrund der Komplexität der Materie im Moment kaum quantifizierbar.
- Frequenzbänder: 4, 18 (Mobilteil), 20 (mobile Teile), 24; (gemäss Tab. 3-1)
- Periodizität: max. jährlich
- Metrik: maximale und/oder über bestimmte Körperregionen oder Gewebe gemittelte durchschnittliche Werte der induzierten körperinternen Felder bzw. SAR. Abschätzung der ungefähren Feldstärken am Ort möglicher Positionen von Expositometern.

Wirtschaftliche Dimension

- Initialaufwand: Entwicklung erste Nahfeld-Expositionsmodelle: 60 - 120 kCHF
- Update Aufwand: Anpassungen der Messumgebung je neuer Quellentyp: 40 - 80 kCHF; Ausmessung der Quellen: 10 kCHF pro Modell; Panelbefragung (N=1000) 50 - 100 kCHF

Bewertung/Empfehlung

Für die Abschätzung der Gesamtexposition ist diese Komponente nicht zu vernachlässigen. Ihre Erfassung ist jedoch wissenschaftlich anspruchsvoll und mit schwer quantifizierbaren Unsicherheiten behaftet. Wir schlagen vor, diese Option mit einer eigenen Konzeptstudie weiter zu präzisieren.

3.5 Wenig sinnvolle Monitoringaktivitäten

- Messnetz für Langzeitmessungen (ganzes Spektrum). Spot- oder Langzeitmessungen der Immissionen (ganzes Spektrum) an ausgewählten Orten (indoor, outdoor).
 - Diese Option ist realisierbar und (siehe Survey in Europa) verbreitet. Sie wird hier nicht weiter verfolgt, weil in der Schweiz kein NIS-Messnetz aufgebaut werden soll
- Messung der (über ein Referenzvolumen gemittelten; siehe Abschnitt 2.4) Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern von selber genutzten Geräten und Maschinen mit Hilfe von Expositometern.
 - Grund: Die Unsicherheit ist ausgesprochen hoch (siehe Abschnitt 3.1). Wir bevorzugen hier Option 3 (3.4.1.3) oder 4 (3.4.2), welche Nutzungszeiten bzw. den Gebrauch erhebt und die Exposition modelliert.
- Simulation der zeitlich gemittelten HF-Innenraum-Immissionen von (indoor) Funkinfrastrukturen (WiFi, DECT, W-LAN).
 - Grund: die örtliche Verteilung dieser Infrastrukturen und die Raumgeometrien sind nicht bekannt.
- Simulation der zeitlich gemittelten NF-Innenraum-Immissionen von gebäudeinternen Anlagen und Geräten.
 - Grund: die örtliche Verteilung und Anordnung der relevanten Quellen ist nicht bekannt.
- Simulation der zeitlich gemittelten IF-Innenraum-Immissionen von gebäudeinternen Quellen.
 - Grund: die örtliche Verteilung und Anordnung der relevanten Quellen ist nicht bekannt.

4. NIS-Monitoring Aktivitäten Schweiz und Europa

4.1 Ziele

4.1.1 Übersicht über den Stand der Aktivitäten

Ziel dieser Arbeiten war es, die in der Schweiz installierten NIS-Monitoringkonzepte zusammenzustellen und exemplarisch zu ergänzen mit Monitorings, die im Ausland installiert sind. Dabei sollen sowohl konzeptionelle Aspekte erfasst als auch die Darstellung der Ergebnisse auf dem Internet berücksichtigt werden. Im Zusammenhang mit diesen Dokumentationsarbeiten und den COST BM0704-Aktivitäten von GD, wurde ein kleiner Survey zum Stand der NIS-Monitoring-Aktivitäten in europäischen Ländern durchgeführt.

Folgende NIS-Monitorings wurden für eine detaillierte Darstellung ausgewählt:

- Schweiz: NIS-Monitoring Zentralschweiz, NIS-Monitoring Kanton Zürich, NIS-Monitoring Kanton Tessin (im Rahmen von OASI), NIS-Monitoring der Kantone Basel-Stadt und Basellandschaft, NIS-Monitoring ASEB
- Ausland: EMF-Monitoring der Bundesnetzagentur von Deutschland, EMF-Monitoring in Bayern, EMF-Monitoring in Baden-Württemberg, Emissionsmonitoring in Israel

Zu Vergleichszwecken betreffend Datenpräsentation wurde zudem das GIS-basierte Lärm-Monitoring SonBase des BAFU in die Darstellung aufgenommen.

Betreffend Umfrage zum Stand in Europa: alle Länder, die auf den Survey reagierten, sind in dieses Reporting eingeflossen; die Informationen betreffend Italien beruhen ausschliesslich auf Literaturangaben. Folgende 19 Länder sind in diesem Bericht berücksichtigt worden: AT, BG, CRO, CY, DE, FR, ES, FIN, GR, HU, IT, IRL, MT, NO, PT, RO, SE, SI, UK.

4.1.2 Vergleichende Darstellung der Aktivitäten

Die oben erwähnten (detailliert erfassten) Monitorings werden hinsichtlich folgender Aspekte vergleichend dargestellt: Dienste/Frequenzen, Messprotokoll, Berechnungsparameter. Neben einer summarischen Darstellung in Tabellenform (sowohl bezüglich der Datenerhebung als auch im Hinblick auf die Kommunikation mit der Öffentlichkeit) werden die Ansätze der Monitorings auch kurz beschrieben.

Die Rückmeldungen des EU-Survey sind kategorisiert worden: einerseits in Messaktivitäten (nach Art und Umfang), andererseits nach Simulations-/Berechnungsaktivitäten; dargestellt werden diese Aktivitäten gesondert für niederfrequente Magnetfeld-Monitorings und für Hochfrequenz-Monitorings (aufgeteilt in Radio/TV und in Mobilkommunikation).

4.1.3 Technische Informationen

Die durch die öffentliche Hand betriebenen und nachfolgend beschriebenen Monitoring-Aktivitäten der Schweizer Kantone werden in Kapitel 8.1 in technischer Hinsicht (Infrastruktur, Datenformate bzw. Datenverfügbarkeit) kurz erläutert.

4.2 Tabellarische Übersicht ausgewählter Monitorings

4.2.1 Datenerfassung

Schweiz

Dienste (in MHz)	Zentr-CH		Kt. ZH		Kt. TI		Kt. BS/BL		ASEB	
	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B
ELF 50 Hz (Übertragung)										
ELF 50 Hz (Installationen, Geräte)										
Mittelfrequenzen (0.02 - 0.1)										
Radio LW, MW, KW (0.1 - 26)		X	X					X		
Amateurfunk (25 - 30)			X							
Radio UKW (87 - 108)		X	X					X		
Betriebsfunk, Funkruf (146 - 174)	Funk-ruf	Funk-ruf	X					Funk-ruf		
DVB, DAB (174 - 230)		X	X					X		
Tetrapol/Tetra (380 - 395)		teilw.	X					X		
Betriebs- und Amateurfunk (410 - 470)			X							
DVB (470 - 790)		X	X					X		
Mobilfunk-Digitale Dividende (832 - 862)		X	X							
GSM-R (918 - 925)		X	X							
Mobilfunk-900 (925 - 960)	X	X	X		X	X	X	X	X	
Mobilfunk-1800 (1805 - 1880)	X	X	X		X	X	X	X	X	
DECT (1880 - 1900)			X							
Mobilfunk-2100 (2110 - 2170)	X	X	X		X	X	X	X	X	
W-LAN (2400 - 2483; 5150 - 5725)			X							
Mobilfunk-2600 (2620 - 2690)		X	X							
Mobiltelefone (alle Bänder)			X							
Breitband (von... bis...)	0.1 - 3000				0.1 - 3000		0.1 - 3000		0.1 - 3000	
Breitband (von... bis...)										
Messprotokoll										
rms	X		X		X		X		X	
Peak	X				X				X	
Mittelungsdauer	6 Min.		6 Min.		6 Min.		6 Min.		6 Min.	
Messperiode	Mt. - Jahre		Std.		Monat		Mt. - Jahre		Monat	
Messstation	permanent		mobil		mobil		permanent		mobil	
Berechnungen										
3-D Modell, Topographie, Gebäude	X						X			
Sendeleistung	X				X		X			
Frequenz	X				X		X			
Antennencharakteristik	X				X		X			
Antennenlage-/ausrichtung	X				X		X			
Gebäudedämpfung	X				X		X			
peak					X					
rms, Mittelwert	X				X		X			

M=Messung, B=Berechnung

Tabelle 4-1: Übersicht Datenerfassung NIS-Monitorings in der Schweiz

Ausland

Dienste (in MHz)	BNetzA		Bayern		Baden-W.		Israel*	
	M	B	M	B	M	B	M	B
ELF 50 Hz (Übertragung)			x				planned	
ELF 50 Hz (Installationen, Geräte)								
Mittelfrequenzen (0.02 - 0.1)			x					
Radio LW, MW, KW (0.1 - 26)	x		x		x		x**	
Amateurfunk (25 - 30)	x		x					
Radio UKW (87 - 108)	x		x		x			
Betriebsfunk, Funkruf (146 - 174)			x					
DVB, DAB (174 - 230)	x		x		x			
Tetrapol/Tetra (380 - 395)	x		x		(x)		x	
Betriebs- und Amateurfunk (410 - 470)	x		x		(x)			
DVB (470 - 790)	x		x		x			
Mobilfunk-Digitale Dividende (832 - 862)			x		(x)			
GSM-R (918 - 925)			x				x	
Mobilfunk-900 (925 - 960)	x		x		x		x	
Mobilfunk-1800 (1805 - 1880)	x		x		x		x	
DECT (1880 - 1900)			x					
Mobilfunk-2100 (2110 - 2170)	x		x		(x)		x	
W-LAN (2400 - 2483; 5150 - 5725)			x					
Mobilfunk-2600 (2620 - 2690)							x	
Mobiltelefone (alle Bänder)			x				x	
Breitband (von... bis...)					860 - 3000			
Breitband (von... bis...)								
Messprotokoll								
rms		x		(x)				x
Peak				x		x		x
Mittelungsdauer				1 - 2 Min.				1 Sek. - 6 Min.
Messperiode		Tage - Mt.		<10 Min.		6 Min.		dauernd
Messstation		mobil		mobil		Spot		remote
Berechnungen								
3-D Modell, Topographie, Gebäude								
Sendeleistung								
Frequenz								
Antennencharakteristik								
Antennenlage-/ausrichtung								
Gebäudedämpfung								
peak								
rms, Mittelwert								

* Emissionsmonitoring! ** nur MW

Tabelle 4-2: Übersicht Datenerfassung NIS-Monitorings im Ausland (Beispiele)

4.2.2 Kommunikation

Schweiz

Dienste (in MHz)	Zentr-CH		Kt. ZH		Kt. TI		Kt. BS/BL		ASEB	
	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B
ELF 50 Hz (Übertragung)									x	
ELF 50 Hz (Installationen, Geräte)										
Mittelfrequenzen (0.02 - 0.1)										
Radio LW, MW, KW (0.1 - 26)										
Amateurfunk (25 - 30)										
Radio UKW (87 - 108)										
Betriebsfunk, Funkruf (146 - 174)										
DVB, DAB (174 - 230)										
Tetrapol/Tetra (380 - 395)										
Betriebs- und Amateurfunk (410 - 470)										
DVB (470 - 790)										
Mobilfunk-Digitale Dividende (832 - 862)										
GSM-R (918 - 925)										
Mobilfunk-900 (925 - 960)	x				x	x	x		x	
Mobilfunk-1800 (1805 - 1880)	x				x	x	x		x	
DECT (1880 - 1900)										
Mobilfunk-2100 (2110 - 2170)	x				x	x	x		x	
W-LAN (2400 - 2483; 5150 - 5725)										
Mobilfunk-2600 (2620 - 2690)										
Mobiltelefone (alle Bänder)										
Spezial (Dienste; Bandbreite)	0.1 - 3000	0.1 - 3000	TV, Radio,		0.1 - 3000		0.1 - 3000	0.1 - 3000	0.1 - 3000	
Spezial (Dienste; Bandbreite)			DECT, WLAN, Handy							
Spezial (Dienste; Bandbreite)			Mobilfunk BS							
Spezial (Dienste; Bandbreite)			andere							
Parameter										
Feldstärke	x	x	x		x	x	x	x	x	
Grenzwertausschöpfung			x			x				
Zeitliche Auflösung										
Aktueller Wert	x				x		x			
Tagesgang	x				x		x			
Wochengang	x				x		x			
Monatsgang	x				x		x			
Jahresgang	x						x			
Mittelwerte (Messperiode)		Tag	max.			max.		Tag		
Darstellung										
Internet real-time	x				x		x		x	
Internet Dokument		x	x		x					
Grafik (Histogramm, Linien, etc.)	x		x		x	x	x		x	
Tabelle										
Standortkarte	x	x	x		x	x	x			
Feldstärkenkarte		x						x		

M=Messung, B=Berechnung

Tabelle 4-3: Übersicht Datenkommunikation NIS-Monitorings in der Schweiz

Ausland

Dienste (in MHz)	BNetzA		Bayern		Baden-W.		Israel*	
	M	B	M	B	M	B	M	B
ELF 50 Hz (Übertragung)			x				planned	
ELF 50 Hz (Installationen, Geräte)								
Mittelfrequenzen (0.02 - 0.1)			x					
Radio LW, MW, KW (0.1 - 26)			x		x		x**	
Amateurfunk (25 - 30)								
Radio UKW (87 - 108)			x		x			
Betriebsfunk, Funkruf (146 - 174)								
DVB, DAB (174 - 230)					(x)			
Tetrapol/Tetra (380-395)					(x)		x	
Betriebs- und Amateurfunk (410 - 470)					(x)			
DVB (470-790)					(x)			
Mobilfunk-Digitale Dividende (832 - 862)								
GSM-R (918 - 925)							x	
Mobilfunk-900 (925 - 960)			x		x		x	
Mobilfunk-1800 (1805 - 1880)			x		x		x	
DECT (1880 - 1900)			x					
Mobilfunk-2100 (2110 - 2170)			x		x		x	
W-LAN (2400 - 2483; 5150 - 5725)								
Mobilfunk-2600 (2620 - 2690)							x	
Mobiltelefone (alle Bänder)			x				x	
Spezial (Dienste; Bandbreite)	<10		0.1 - 3000		TV			
Spezial (Dienste; Bandbreite)	0.1 - 3000		Radio		Mobilfunk BS			
Spezial (Dienste; Bandbreite)			TV					
Spezial (Dienste; Bandbreite)			Mobilfunk BS					
Parameter								
Feldstärke							x	
Grenzwertausschöpfung	x		x		x			x
Zeitliche Auflösung								
Aktueller Wert	x		x		x		x	
Tagesgang							x	
Wochengang							x	
Monatsgang							x	
Jahresgang							x	
Mittelwerte (Messperiode)	Tag		max.		max.		Tag max.	
Darstellung								
Internet real-time							x	
Internet Dokument	x		x		x		x	
Grafik (Histogramm, Linien, etc.)	x		x		x		x	
Tabelle			x		x		x	
Standortkarte	x						x	
Feldstärkenkarte					x		x	

* Emissionsmonitoring! ** nur MW

Tabelle 4-4: Übersicht Datenkommunikation NIS-Monitorings im Ausland (Beispiele)

4.3 Kurzbeschreibungen der ausgewählten Monitorings

4.3.1 Zentralschweiz

Seit 2006 betreibt die Zentralschweizer Umweltdirektorenkonferenz (ZUDK) das NIS-Monitoring, eine systematische Überwachung der Elektromogbelastung in der Zentralschweiz (Kantone Uri, Schwyz, Nidwalden, Obwalden, Luzern und Zug). Das Monitoring umfasst flächendeckende Berechnungen der Immissionen von Rundfunk-, Funkruf-, Sicherheitsfunk- (nicht alle Kantone!) und Mobilfunkanlagen, sowie punktuelle Messungen, bis 2009 im Turnus von 3 - 6 Monaten an jeweils 6 von 24 Standorten, ab 2010 permanente Messungen an drei fixen Standorten, von Mobilfunk-Basisstationen und der Gesamtbelastung (Breitbandmessung).

Die Resultate des EMF-Monitorings sind auf einer Homepage veröffentlicht:

<http://e-smogmessung.ch/>

Die berechneten Daten werden jährlich aktualisiert und in sog. Belastungskarten für die Zentralschweiz dargestellt. Die maximale Auflösung beträgt im Siedlungsgebiet 5 m, im übrigen Gebiet 25 m. Grundlage für die Berechnungen sind die technischen und geometrischen Daten der Sendeanlagen, ein digitales Geländemodell (inklusive Gebäude – „Klotzchenmodell“) sowie ein einfaches Ausbreitungsmodell der Funkwellen (globale Dämpfungsfaktoren bei Gebäuden, keine Reflexionen), wie es etwa zur Funknetzplanung verwendet wird. Die Berechnungen werden jährlich an ca. 150 zufällig ausgewählten Punkten mit Messungen geprüft. Bei $\frac{3}{4}$ aller Messungen ist die Übereinstimmung besser als Faktor 2.

Zu den Messungen und der Simulation wird jährlich ein (interner) Bericht mit Auswertungen erstellt, zu Themen wie Stand der Belastung, Tages- und Wochengang, Anteile der verschiedenen Frequenzbänder, zeitliche Trends, bevölkerungsgewichtete Exposition, etc.

Niederfrequente Felder, wie sie bei Hochspannungsleitungen oder Trafohäuschen entstehen, werden nicht gemessen und in den Simulationen auch nicht berechnet. Es wird lediglich der Verlauf der wichtigsten Leitungen angezeigt, wobei die Übertragungsleitungen der Bahnen fehlen. Der Verlauf der Fahrdrähte entlang der Eisenbahnlinien wird hingegen angezeigt.

Kommuniziert werden folgende Informationen:

- Messort, visualisiert mit Karte und Bild
- Messresultate für GSM 900, GSM 1800, UMTS (downlinks) und die Gesamtimmission als Zeitreihen für (i) ein Jahr (Fig. 4-2) und für (ii) einen Monat
- Geographische Feldstärkekarten (11 farbige Belastungsstufen) in verschiedenen Auflösungen (zoombar von 1:500000 bis 1:10000) der Gesamtimmissionen (Fig. 4-1)
- Standorte der Funkanlagen sowie Verlauf der Hochspannungsleitungen (100, 150, 220 und 380 kV)

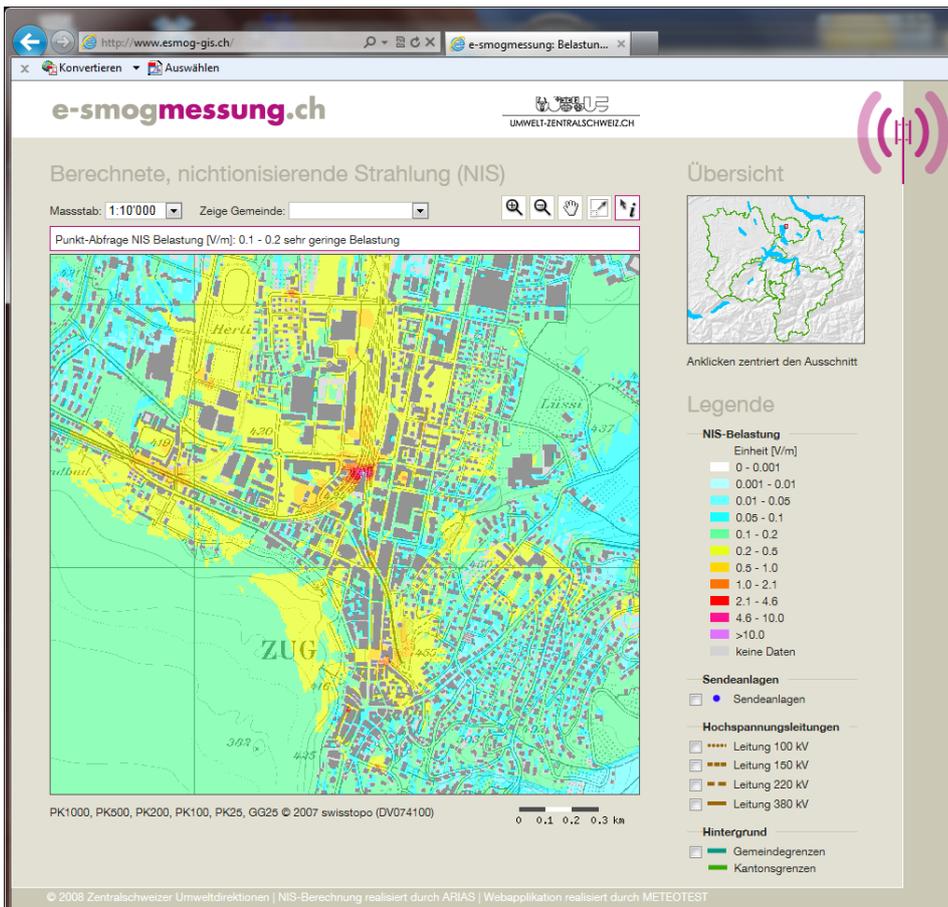


Fig. 4-1: GIS der berechneten Immissionen (hier: Masstab 1:10000)

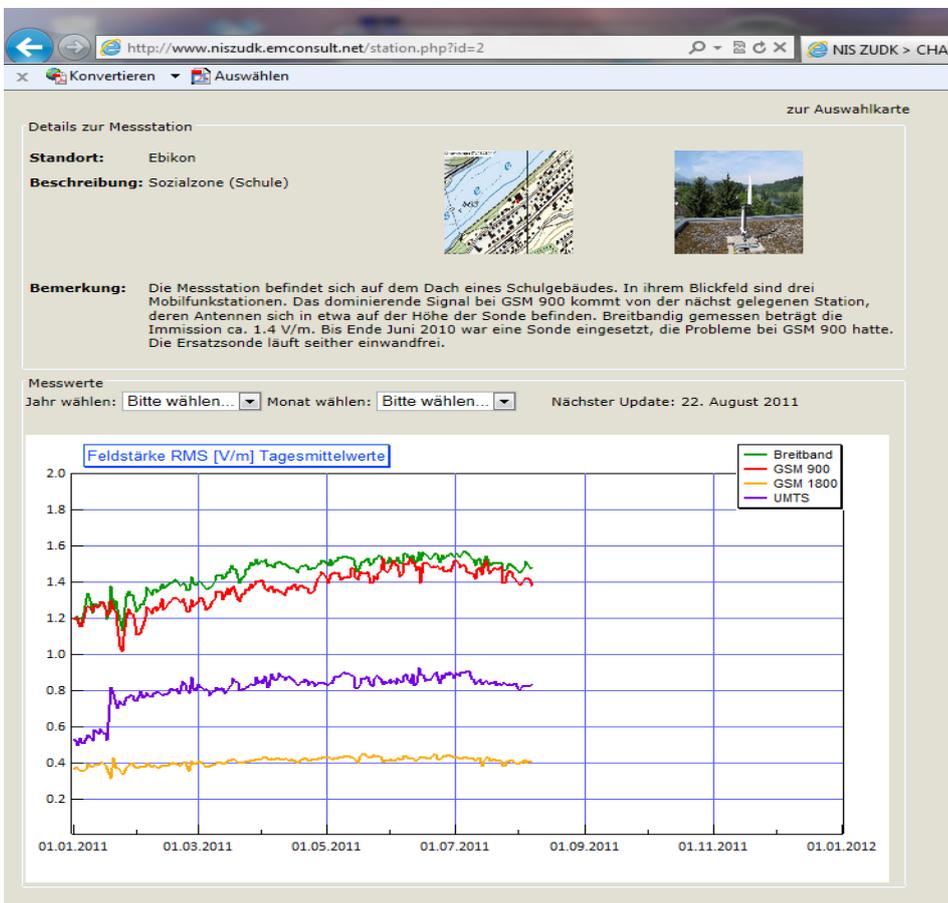


Fig. 4-2: Darstellung der online Messungen

4.3.2 Kanton Zürich

Seit dem Jahr 2004 misst der Kanton Zürich auf ausgewählten Plätzen in Städten und Gemeinden die Immissionen der elektromagnetischen Strahlung. Die Messresultate zeigen fast immer tiefe Belastungen.

Neu werden die Messungen verdichtet, so dass für die meisten Gemeinden des Kantons Ergebnisse vorliegen werden. Diese Immissionsmessungen werden periodisch wiederholt, um die zeitliche Entwicklung der Belastung und den Einfluss neuer Technologien zu verfolgen. Es ist vorgesehen eine dauerhafte NIS-Immissionsmessstation in der Stadt Zürich einzurichten.

Gemessen wird vor allem auf Pausenplätzen von Schulanlagen (an diesen Orten gilt der Anlagegrenzwert). Der gemessene Feldwert wird jeweils mit dem Anlagegrenzwert für Mobilfunk verglichen. Als Messinstrument wird seit Februar 2011 ein frequenzselektives Messsystem für hochfrequente elektromagnetische Felder (Narda SRM-3006) verwendet (vorher: EME Spy 1200 von SATIMO).

Die Resultate des EMF-Monitorings sind auf der Homepage des AWEL veröffentlicht:

http://www.awel.zh.ch/internet/audirektion/awel/de/luft_asbest_elektromog/elektromog/messungen.html#a-content

Für jeden Standort wird seit 2011 ein einheitliches Messblatt/Datenblatt (Fig. 4-3) erstellt. Letzteres ist auf dem Internet abrufbar. Das Faktenblatt kommuniziert die Gesamtbelastung sowie die relativen Immissionsanteile folgender Geräte und Funkanlagen:

- Radio, Fernsehen
- Handy, DECT, WLAN
- Basisstationen Mobilfunk
- übrige Funkanwendungen (Firmen, Private, Sicherheitsdienste)

Gemessen wird in der Regel während einer halben Stunde um die Mittagszeit oder am Nachmittag, einmal pro Jahr, jeweils 5 Messdurchläufe à 6 Minuten. Als Gesamtbelastung gelten die quadratisch gemittelten Gesamtfelder zwischen 27 und 3000 MHz (Unsicherheitsbereich: $\pm 35\%$). Kommuniziert wird die höchste Gesamtbelastung der 5 Messdurchläufe und die Anteile der oben gelisteten Dienste (die gewählte Darstellung ist allerdings nicht korrekt – Addition von Feldstärken – und sollte korrigiert werden).

NIS-Feldstärkemessung
Wädenswil

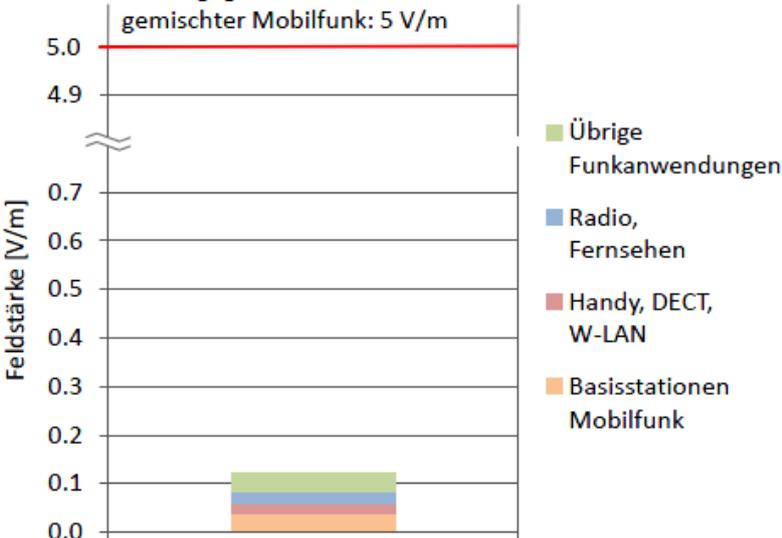
Messort	Schulhaus Eidmatt 2 Eidmattstrasse 17 8820 Wädenswil
Datum / Zeit	06.07.2011 / 14:05 bis 14:35
Messgerät	Narda SRM 3006
Bild und Karte	 
Ergebnis	Elektromagnetisches Gesamtfeld (maximaler 6-Minuten-Mittelwert): 0.12 V/m. Dies entspricht 2.4% des Vorsorgegrenzwertes.
Diagramm	<p style="text-align: center;">Feldstärkemessung Schulhaus Eidmatt 2</p> <p style="text-align: center;">Vorsorgegrenzwert gemischter Mobilfunk: 5 V/m</p>  <p style="text-align: center;">Maximaler 6-Minuten-Mittelwert</p>
Beurteilung	Der Vorsorgegrenzwert für gemischten Mobilfunk von 5 V/m wird deutlich eingehalten.

Fig. 4-3: Datenblatt einer Messstation mit Messresultaten

4.3.3 Kanton Tessin

Im Rahmen des kantonalen Umweltmonitorings werden auch die Immissionen von nicht-ionisierender Strahlung gemessen. Alle Umweltdaten sind von der Tessiner Umweltmonitoring Website abrufbar, je nach Messmethode on-line oder auf dem letzten/aktuellsten Stand (link: <http://www.oasi.ti.ch>).

Es werden Informationen zu zwei Messkampagnen bzw. NIS-Berechnungen gezeigt:

- Die berechneten Werte aus den Standortdatenblättern der Mobilfunkbasisstationen, und wo verfügbar bzw. durchgeführt die Resultate der dazugehörigen Abnahmemessungen.
- Die Messdaten der semi-permanenten Messstationen des Monitoring-Programms.

(i). Mobilfunkbasisstationen

Für die Mobilfunkbasisstationen des Kantons werden die wichtigsten Informationen verfügbar gemacht (pro Standort: Anbieter, Frequenzen, Dienste, Senderrichtungen, Leistungen, berechnete Immissionswerte, wo durchgeführt: Resultate der Abnahmemessungen, etc.)

(ii). Monitoring-Programm

Pro Standort werden über eine Periode von einem Monat die hochfrequenten NIS-Immissionen im Frequenzbereich 0.1 – 3000 MHz, sowie die Immissionen der Mobilfunkbasisstationen (GSM 900, GSM 1800, UMTS) gemessen. Inzwischen liegen Messungen an über 80 Standorten vor, v.a. in den Ballungsräumen Locarno/Ascona, Bellinzona, Lugano, Mendrisio und Chiasso. Die meisten Messungen datieren aus den Jahren ab 2007, einige Standorte weisen Messresultate älteren Datums aus.

Kommuniziert werden die Daten auf der Website unter:

<http://www.oasi.ti.ch/web/?node=rni>

Folgend Informationen werden gegeben:

- Messort auf zoombarer Karte (1:700000 bis 1:2500) mit Bild und Basisinformationen (Fig. 4-4)
- Messresultate für GSM 900, GSM 1800, UMTS und Gesamtimmissionen als Zeitreihen für die letzte gemessene Woche (Fig.4-6)
- Alle rms-Messdaten liegen in einem Messbericht als pdf-Datei vor
- Technische Informationen zu den Mobilfunkbasisstationen (Fig. 4-5) u.a. Karte mit Antennenausrichtungen, Standorte von berechneten und gemessenen Immissionen, Tabelle mit Betreiberfirmen und Antennenleistungen, Grafik mit gemessenen und berechneten Immissionen.

- Aria
 - Bollettini
 - ICTR
 - Meteo
 - Rumore
 - Traffico
 - Radiazioni non ionizzanti
 - Siti inquinati
 - Frane
 - Ricerca e confronto
- Reti di rilevamento**
- Stazioni

Stazioni

RNI:

- Aria
- Meteo
- Rumore
- Frane
- Traffico
- RNI

Ultimo aggiornamento: 16.08.2011



Pos: 711'416, 92'904

Stazione rni di Caslano

Proprietario/Rete: DT-DA-SPAAS-UPR
 Luogo: Caslano, Palazzo appartamenti
 Coordinate svizzere (x,y): 711'410, 92'730
 Altitudine: 287 m.s.l.m.
 Messa in servizio: 3.06.2010
 Stato attuale: inattiva



Parametro	Altezza	Unità
RMS 1850	13.6m	V/m
RMS 2150	13.6m	V/m
RMS 950	13.6m	V/m
RMS W.	13.6m	V/m

Attività:



Fig. 4-4: Karte mit Daten zur Messstation

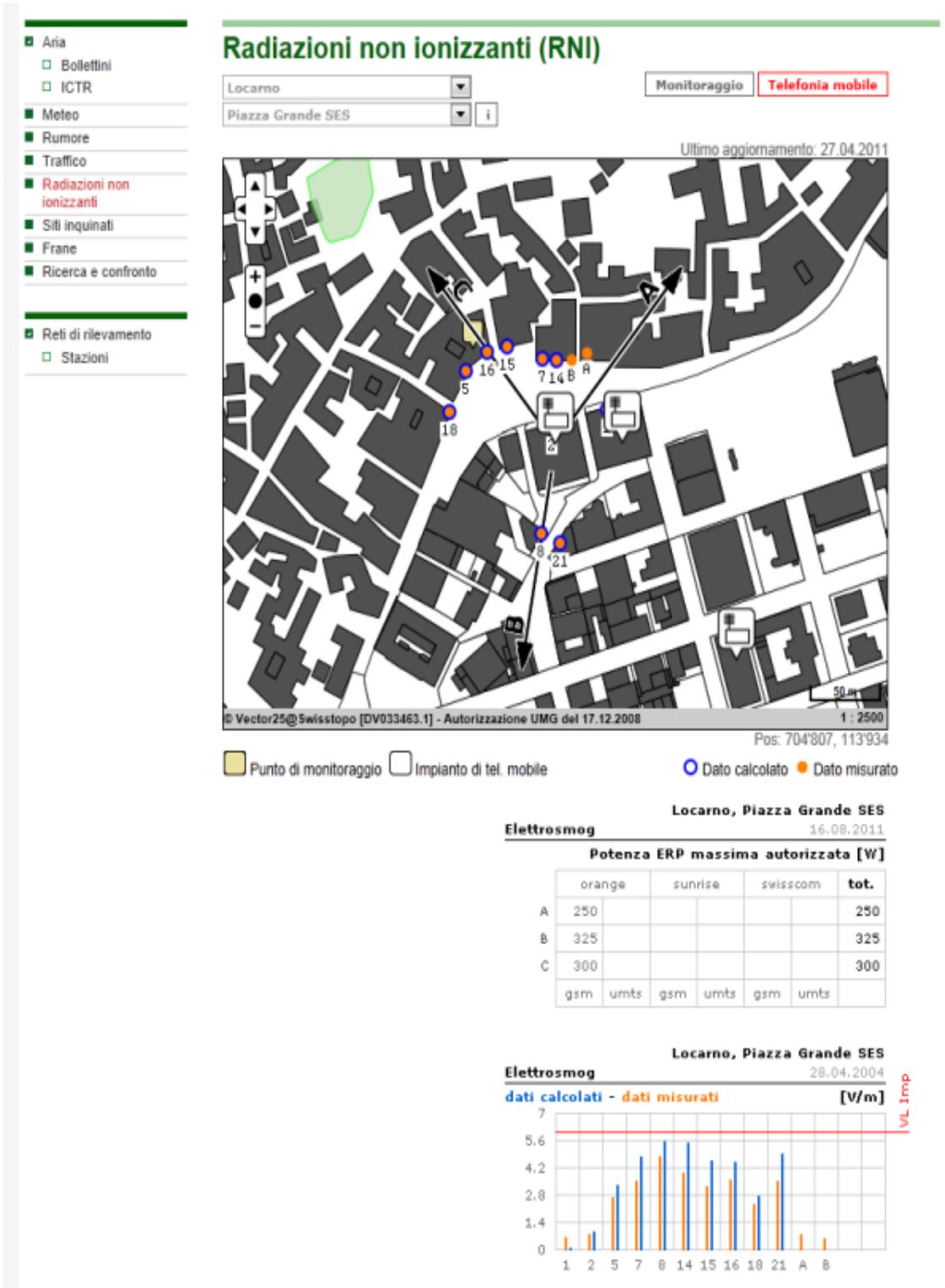


Fig. 4-5: Karte mit Daten zu Mobilfunkbasisstation

Repubblica e Cantone
Ticino

DT > DA > Sezione della protezione dell'aria dell'acqua e del suolo

Osservatorio ambientale della Svizzera italiana

www.ti.ch/oasi

» Tema
» OASI
» Dati ambientali
» Qualità dei dati
» Glossario
» Basi legali
» Per saperne di più

- Aria
 - Bollettini
 - ICTR
- Meteo
- Rumore
- Traffico
- Radiazioni non ionizzanti
- Siti inquinati
- Frane
- Ricerca e confronto

- Reti di rilevamento
 - Stazioni

Radiazioni non ionizzanti (RNI)

Castano

Via Stazione

Monitoraggio

Telefonia mobile

Ultimo aggiornamento: 27.04.2011

© Vector26@swisstopo [DV033463.1] - Autorizzazione UMG del 17.12.2009 1 : 2500 Pos: 711'389, 92'582

Punto di monitoraggio
 Impianto di tel. mobile

22-06-2010

7 g (dati semiorari)

Periodo di misurazione:
dal 01-06-2010 al 28-06-2010

A titolo di confronto il [VLImo](#), previsto dalla legislazione federale ([QRNI](#)), è di 5 V/m per la combinazione di impianti GSM900 e GSM1800-UMTS, di 6V/m per quella 1800 e frequenza superiori e di 4V/m per il 900MHz.

Attenzione: I dati sono puramente indicativi e suscettibili di cambiamento.

Documenti:
[CSL-PLZ.pdf](#)

Castano palazzina

22.06.10-28.06.10

UMTS [v/m]

Castano palazzina

22.06.10-28.06.10

GSM 1800 [v/m]

Castano palazzina

22.06.10-28.06.10

GSM 900 [v/m]

Castano palazzina

22.06.10-28.06.10

Immisione globale [v/m]

Fig.4-6: Messdaten des Monitorings

35/116

4.3.4 Kantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft

Im Rahmen des kantonalen Umweltmonitorings werden auch die Immissionen von nichtionisierender Strahlung gemessen. Die verfügbaren Umweltdaten sind von der Website des Lufthygieneamtes beider Basel abrufbar. Die NIS-Informationen unter dem Link: http://www.baselland.ch/main_elektro-htm.273859.0.html

Gegenwärtig sind drei Messstandorte in Betrieb: Laufen (Inbetriebnahme 2008), Liestal (Inbetriebnahme 2008), sowie Stadt Basel (Messeplatz; Inbetriebnahme 2006). Daten sind nicht lückenlos verfügbar.

Die Messausrüstung in Basel wurde 2010 erneuert.

Gemessen werden gegenwärtig die hochfrequenten NIS-Immissionen in Laufen mit zwei Breitbandsonden in den Frequenzbereichen 0.1 – 3000 MHz und 0.1 - 800 MHz (Gesamtimmission), sowie in Liestal und Basel in bis zu 20 programmierbaren Frequenzbändern, u.a. die Immissionen der Mobilfunkbasisstationen (GSM 900, GSM 1800, UMTS).

Folgende Informationen werden gegeben:

- Messort auf Luftbildkarte und Basisinformationen (Fig. 4-7)
- Messresultate für GSM 900, GSM 1800, UMTS (Liestal und Basel) und Gesamtimmissionen (Laufen, Liestal und Basel) als Zeitreihen (Halbstundenwerte für einen Tag oder eine Woche) (Fig. 4-8)

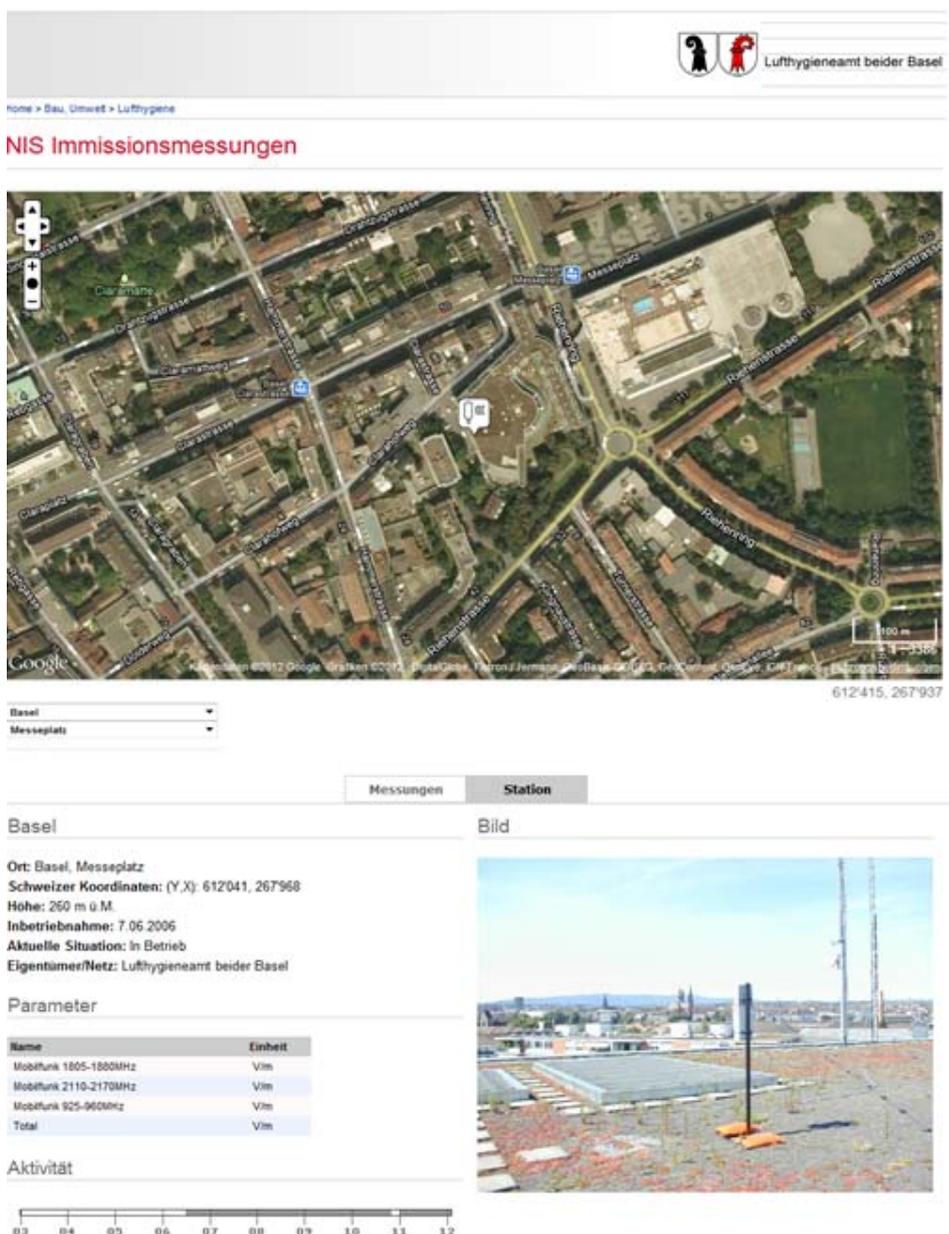


Fig. 4-7: Karte mit Daten zur Messstation

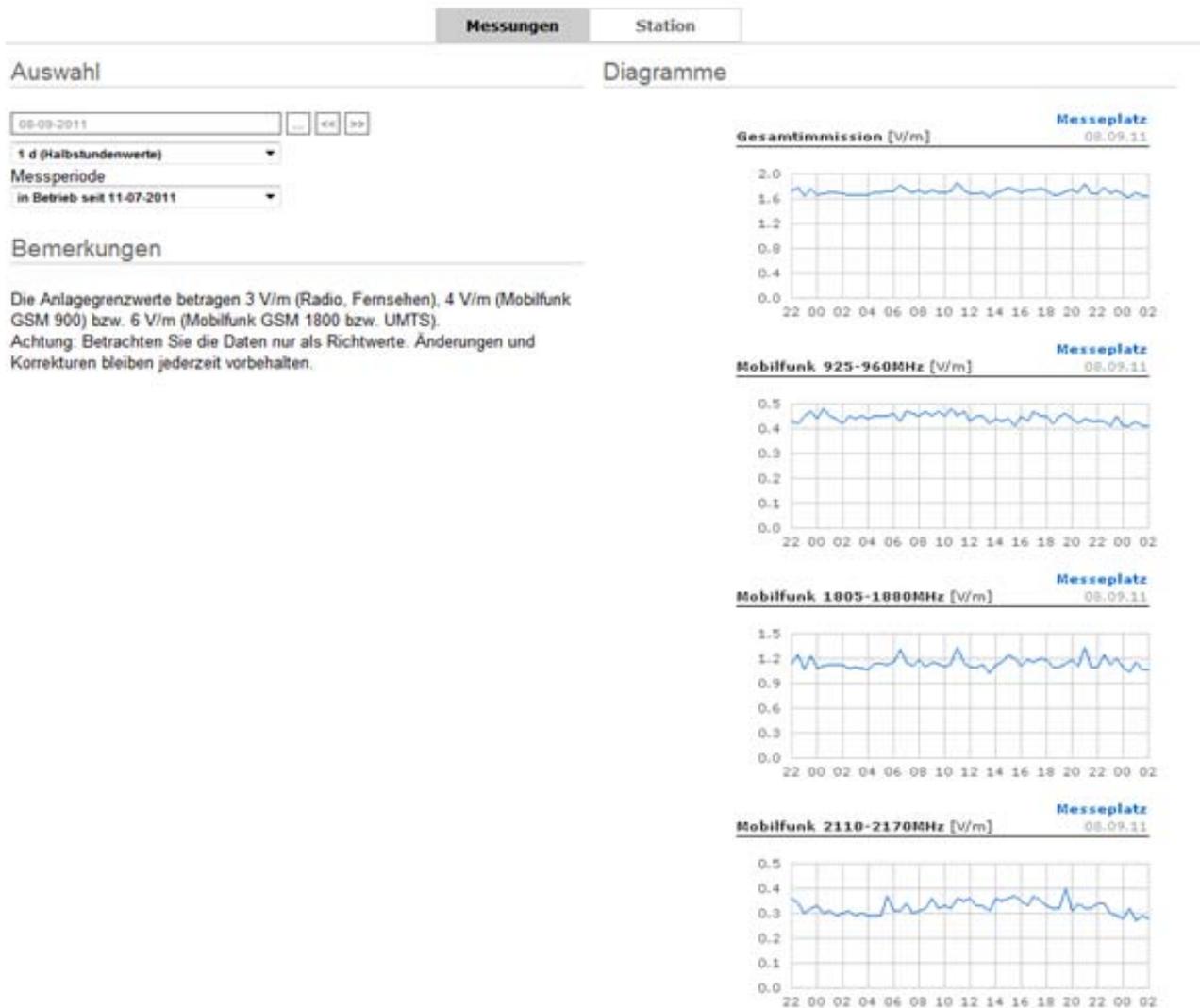


Fig. 4-8: Messdaten des Monitorings

Als Ergänzung zu den punktuellen Immissionsmessungen ist ein mit computergestützten Modellrechnungen erstellter Immissionskataster verfügbar. Er ermöglicht eine nahezu flächendeckende Darstellung der Belastung durch elektromagnetische Strahlung (stationäre Mobilfunk-, Funkruf- und Rundfunk-Sendeanlagen). Das Rechenmodell entspricht demjenigen der Zentralschweizer Kantone und weist eine Auflösung von 5 m auf. Der Kataster wurde für eine Höhe 1.5 m über Grund berechnet. In Kapitel 5 wird näher auf das Berechnungsmodell eingegangen. Der Kataster liegt seit 2010 für die Stadt Basel vor, seit Anfang 2012 auch für den Kanton Basel-Landschaft. Link: <http://www.baselland.ch/immissionskataster-hm.314306.0.html> (Fig. 4-9).

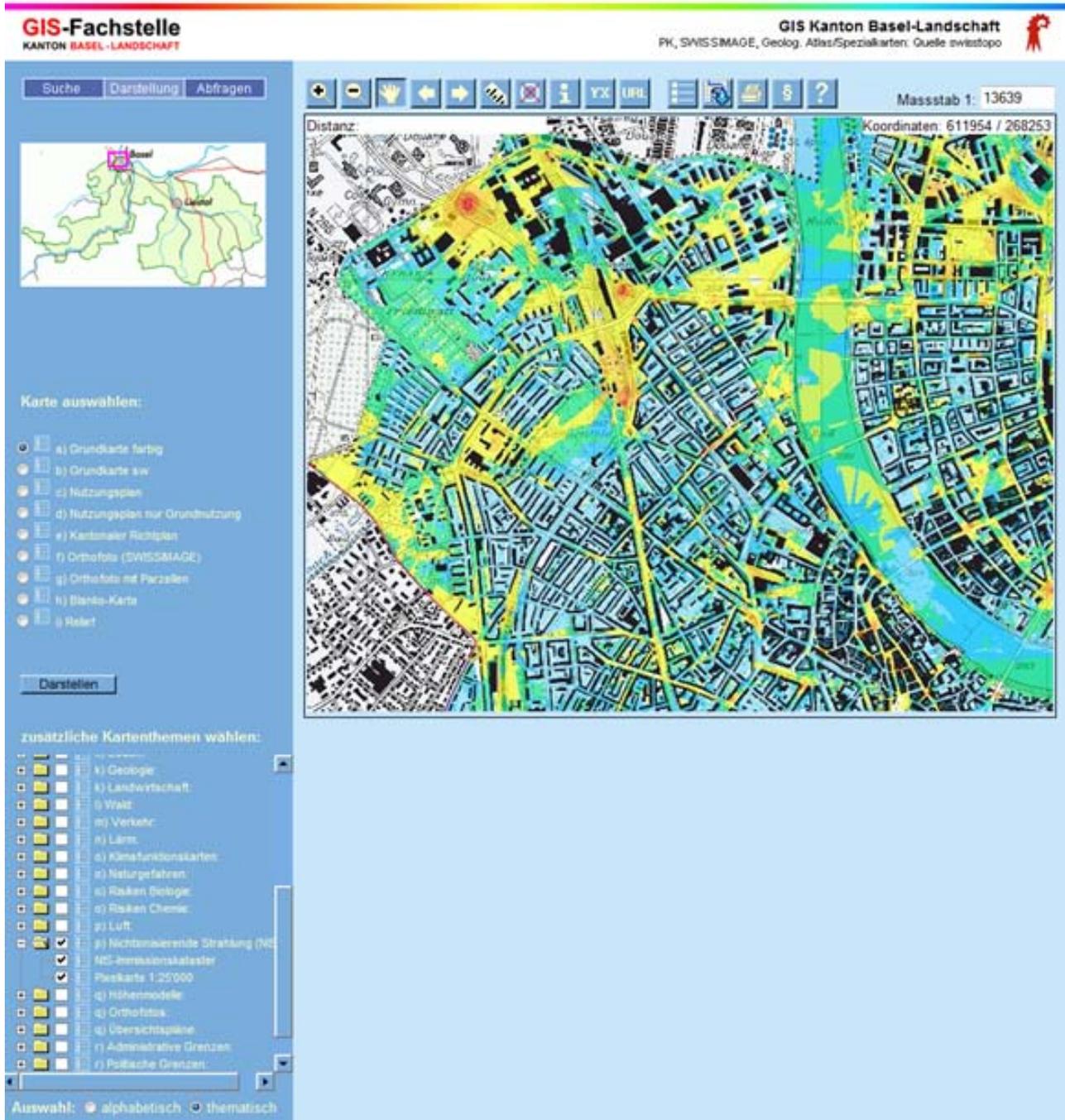


Fig. 4-9: NIS Immissionskataster-Karte

Darüber hinaus bietet der Kanton Basel auch Messungen mit einem Exposimeter bei Privatpersonen für einen Unkostenbeitrag von 150 CHF an. Diese Messwerte dienen der reinen Aufklärung von besorgten Einwohnern und werden nicht veröffentlicht.

4.3.5 ASEB

Das kommerziell tätige Kompetenzzentrum für nichtionisierende Strahlung (ASEB) bietet ein NIS-Monitoring an. Bei der Messtechnik handelt es sich um dieselbe Infrastruktur, die beim Monitoring des Kantons Tessin zum Einsatz kommt (Lieferant: TIsolutions Sagl). Das Monitoring wird unter dem Namen Remote Environmental Monitoring System (REMS) vermarktet.

Das Monitoringsystem bietet Langzeitmessungen mit der oben erwähnten Technologie an, sowie Kurzzeitmessungen mit dem persönlichen Dosimeter EmeSpy 120/121 von SATIMO. An dieser Stelle wird nur auf das internetbasierte Langzeitmonitoring eingegangen.

(i). Hochfrequente Strahlung

Pro Standort werden die hochfrequenten NIS-Immissionen im Frequenzbereich 0.1 – 3000 MHz, sowie die Immissionen der Mobilfunkbasisstationen (GSM 900, GSM 1800, UMTS) gemessen (in V/m). Daten existieren für die Kantone Luzern, Bern, Solothurn, Wallis und Tessin. Mit Ausnahme des Kantons Tessin, wo die kantonalen Monitoringdaten erfasst sind, handelt es sich in den anderen Regionen um jeweils eine oder zwei ausgewählte Lokalitäten (teilweise mit Mehrfachstandorten). Es gibt auch HF-Messungen aus der Lombardei. Häufig liegen pro Standort Daten über einen Monat vor, selten über lange Zeiträume.

(ii). Niederfrequente Strahlung

Diese Messungen wurden bislang nur für Standorte in der Lombardei durchgeführt. Es wird die magnetische Flussdichte (rms und peak) im Bereich 5 – 2000 Hz gemessen.

Kommuniziert werden die Daten auf der Website unter: <http://www.neutrino.ch/applets/rem/s/main.php>

Folgend Informationen werden gegeben:

- Messresultate für GSM 900, GSM 1800, UMTS und Gesamtimmisionen als Zeitreihen für die Messperiode (Fig. 4-10)
- Standard sind rms-Werte. Peak-Werte können zugeschaltet werden
- In separaten Fenstern können Details zum Messort und Lageplan abgerufen werden (Fig. 4-11). Allerdings sind nur wenige Standorte entsprechend dokumentiert und die Daten verfügbar.
- Die niederfrequenten Emissionen werden in vergleichbarer Art dargestellt (Fig. 4-12)

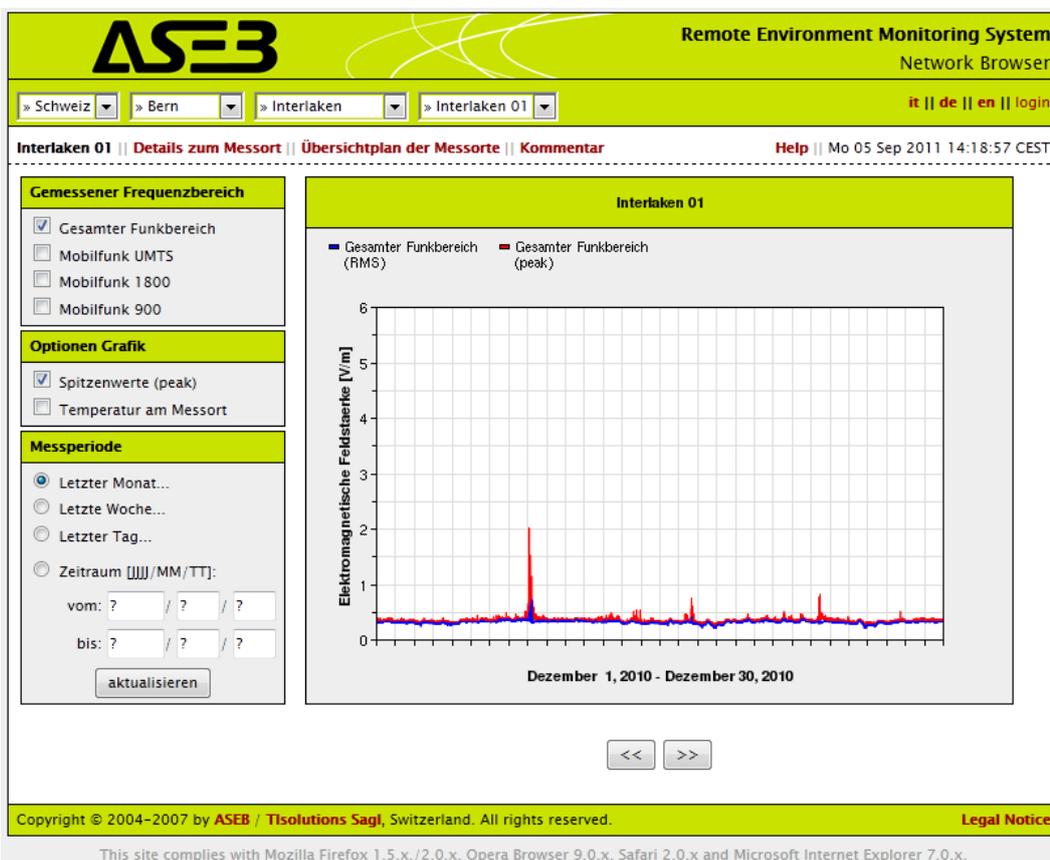


Fig. 4-10: Darstellung der Monitoringdaten für HF

4.3.6 Bundesnetzagentur (BNetzA) Deutschland

Jede standortbescheinigungspflichtige Funkanlage wird von der Bundesnetzagentur individuell bewertet und auch in unregelmäßigen Abständen am Installationsort überprüft. Auf dem Internet sind zu allen Antennen der Standort (auf einer zoombaren Karte), die Montagehöhen, die Hauptstrahlrichtungen sowie die einzuhaltenen Sicherheitsabstände vermerkt. Die Anlagen sind eingeteilt in „Mobilfunk“ und „sonstige Funkanlagen“.

Sodann setzt die BNetzA ein automatisches Messsystem (AMS) ein, das aus 14 mobilen Messstationen besteht. Mit Hilfe der AMS-Daten (stündliche Messung aller Funkdienste 9 kHz – 3 GHz) wird die Gesamtmission zweier Frequenzbereiche (1 Hz - 10 MHz sowie 100 kHz - 300 GHz) gemäss Feldstärken-Summierungsformeln der ICNIRP (Summierung mit Bezug auf die Basisgrenzwerte der Stromdichten bzw. der SAR) berechnet. Die Messdauer an einem Standort beträgt zwischen einigen Tagen und maximal 3 Monaten.

Zuletzt strebt die BNetzA, zusammen mit den Landesumweltministerien Spotmessungen an 2000 Standorten pro Jahr an. Die Länder können eine vorgegebene Anzahl Standorte vorschlagen. Die BNetzA ergänzt die Liste mit vorzugsweise Standorten, an denen eine vergleichsweise grosse Ausschöpfung der Grenzwerte vermutet wird.

Die Resultate des EMF-Monitorings sind auf der Homepage der BNetzA veröffentlicht:

(http://emf2.bundesnetzagentur.de/emf_monitoring.html)

Kommuniziert werden folgende Informationen:

- Messort bzw. Aufstellungsort der AMS; visualisiert mit zoombarer Karte von Google (Fig. 4-13; im Falle der AMS werden die Messorte auch beschrieben und mit Bildern dokumentiert)
- Messzeitpunkt bzw. Messperiode (Fig. 4-14)
- Ausschöpfung Grenzwert in Prozent für zwei Frequenzbereiche (siehe oben), als Histogramme dargestellt (Fig. 4-14). Die zwei Werte sind in mehreren zeitlichen Auflösungen abrufbar: (i) aktueller Messwert, (ii) Tagesgang (stündlich), (iii) Wochengang (täglich; häufig Spätabend- bzw. Nachtmesswert), (iv) Monats- und (v) Jahresgang (zufällig ausgewählter Tag pro Woche bzw. Monat; häufig Spätabend- bzw. Nachtmesswert).
- Angaben zu den ortsfesten Funkanlagen (Fig. 4-15)

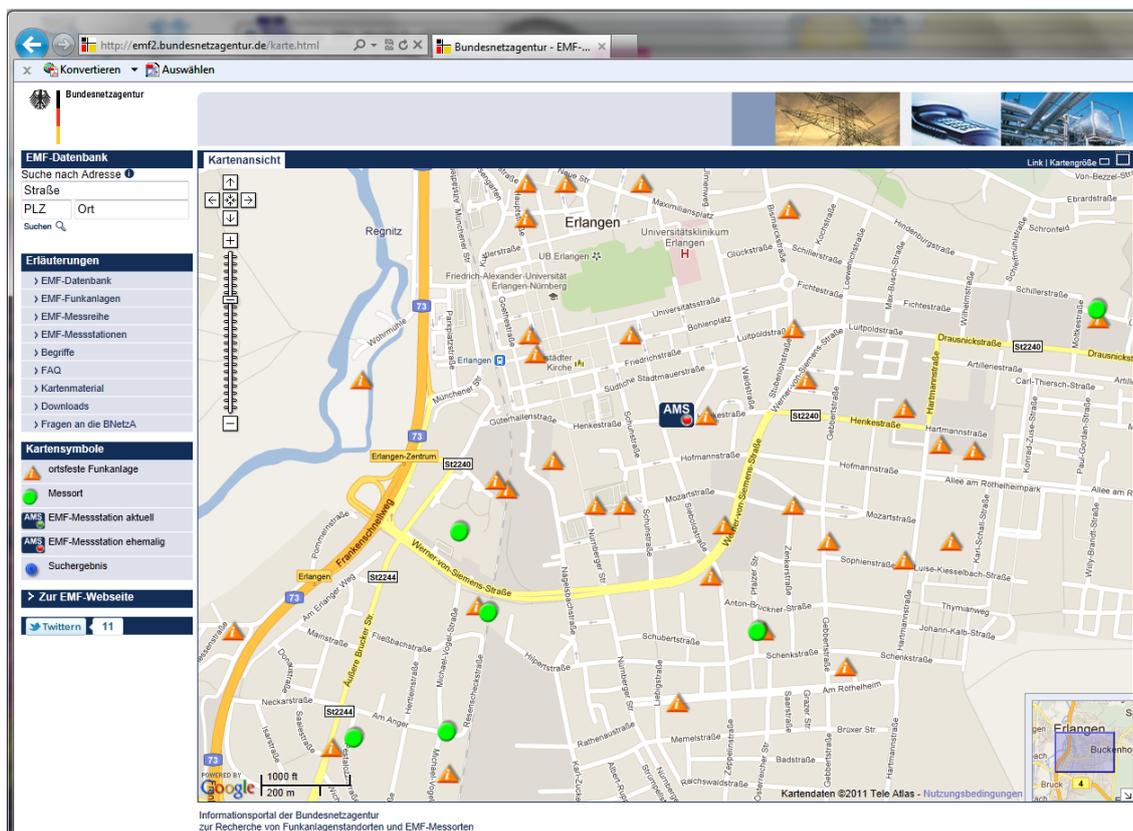


Fig. 4-13: GIS der EMF-Datenbank

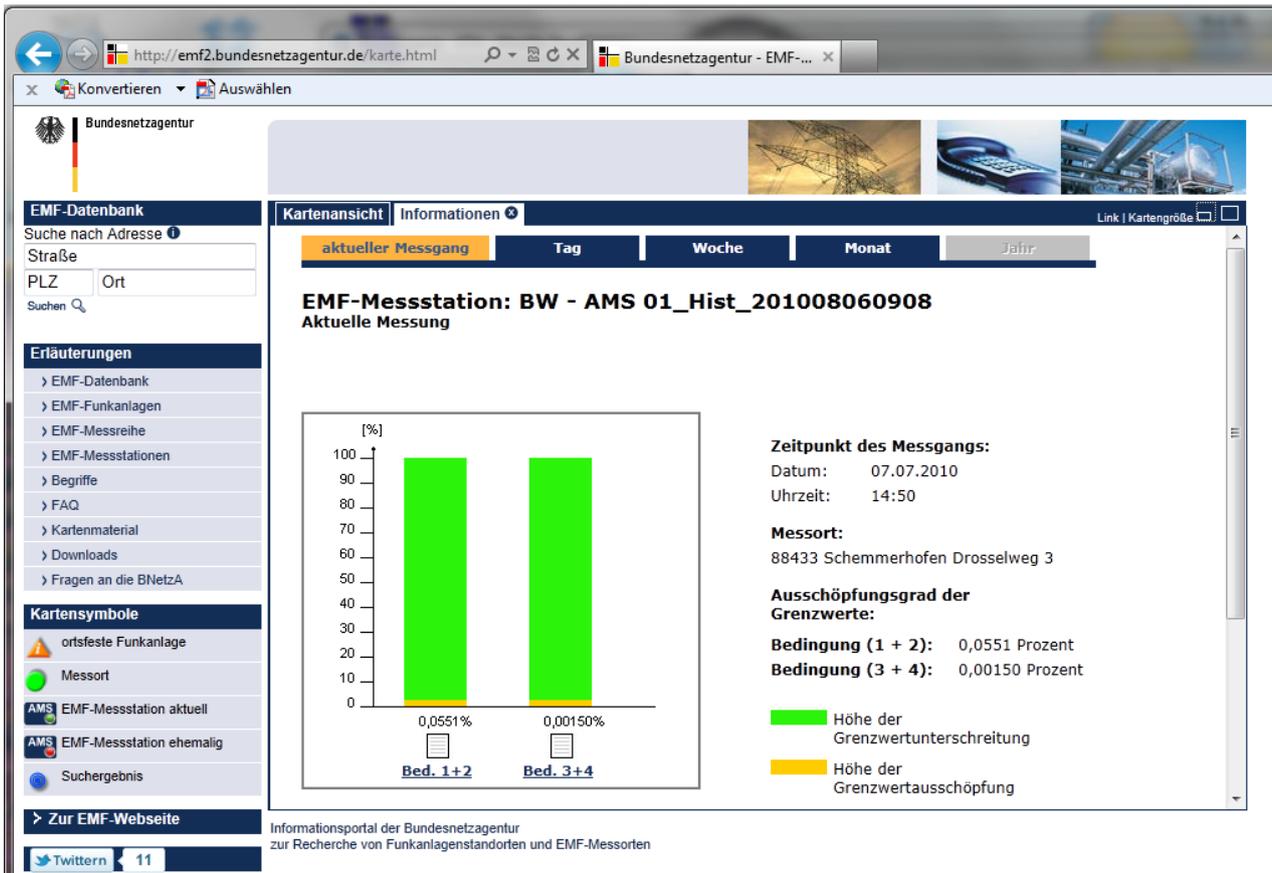


Fig. 4-14: Informationen zu den Messresultaten

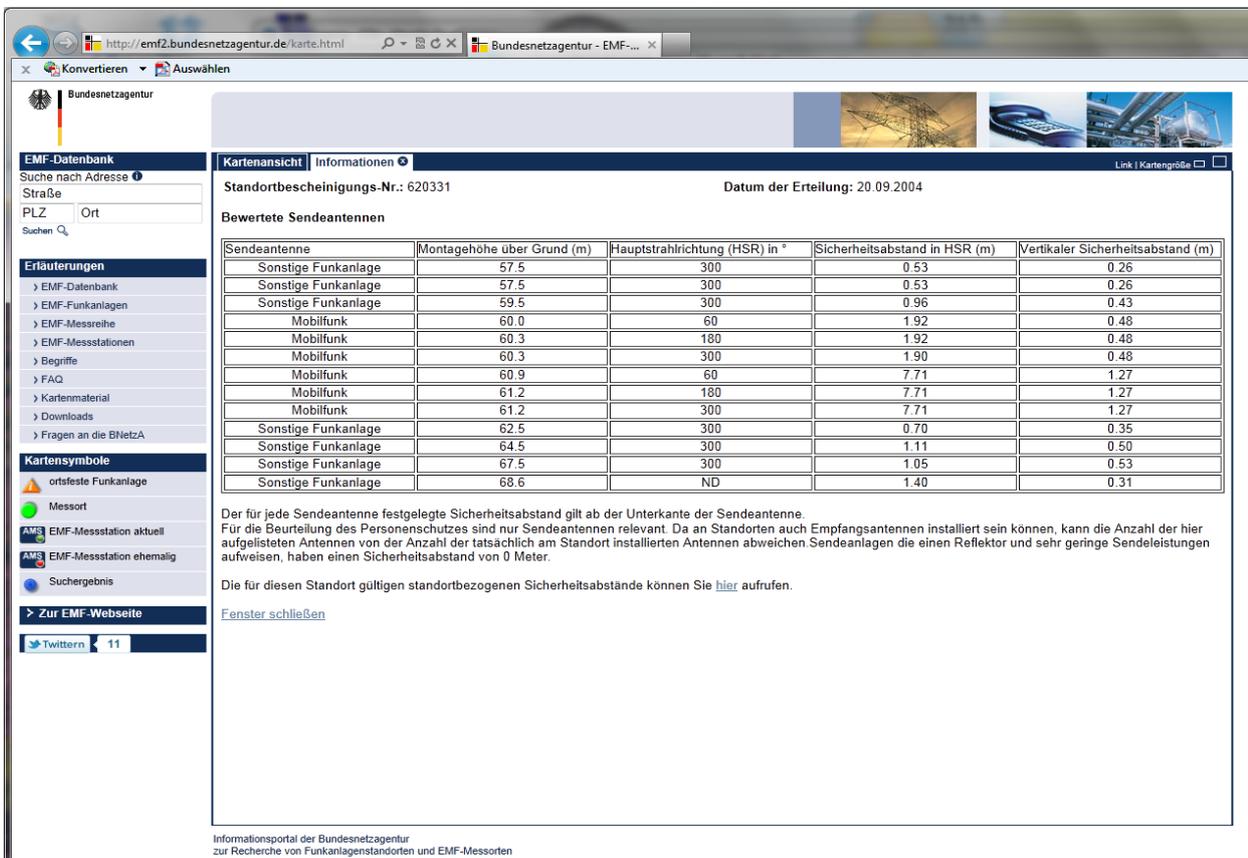


Fig. 4-15: Informationen zu den ortsfesten Funkanlagen

4.3.7 Bayern

NIS-Monitoring von 10 Hz bis 3 GHz, frequenzselektiv des Bayerischen Landesamtes für Umwelt. Erste Messungen wurden 2002/2003 durchgeführt, eine zweite Auflage 2006/2007. Dabei konnten von den ursprünglich 403 zufällig ausgewählten (aber bevölkerungsgewichteten) Standorten bei der zweiten Messkampagne 400 Standorte (auf ca. 0.5 m genau) wieder benutzt werden. Die Tageszeiten der Messungen konnten nicht reproduziert werden, die Kalenderwochen nur ungefähr (80 % innerhalb plus/minus 2 Monaten). In der Auswertung der Messungen 2006/2007 wurden auch Fehler der ursprünglichen Messungen/Auswertungen korrigiert und Anpassungen vorgenommen, um die Daten aufgrund des technischen Wandels (z.B. vom analogen zum digitalen Fernsehen) vergleichbar zu halten.

Alle Messresultate sind im Messbericht von 2008 zu finden (vergleichend mit den Messungen 2002/2003): http://www.lfu.bayern.de/strahlung/emf_monitoring/doc/endbericht_emf_06_07.pdf

Der Bericht richtet sich an Fachleute und ist für das allg. Publikum eher schwer verständlich. Die Resultate werden detailliert dargestellt und kommentiert (mit Avg.-, Max.- und Min.-Werten, Standardabweichungen, Quartilen, etc.). Sodann werden frequenzselektive bzw. dienstbezogene Verteilungsfunktionen der Ausschöpfungsgrade der Grenzwerte gezeigt (vgl. Fig. 4-16).

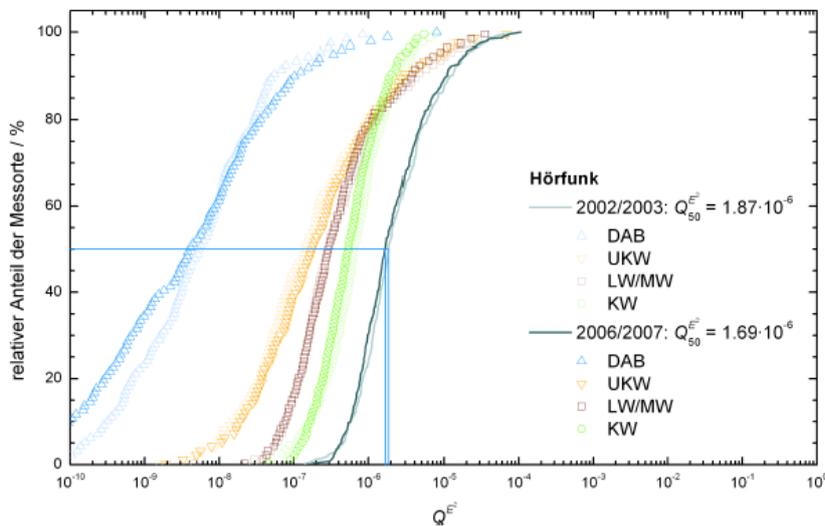


Abb. 5-7: Verteilungsfunktion der Grenzwertausschöpfungen beim Hörfunk. Durchgezogene Linien: Hörfunk gesamt. Datenpunkte: Aufschlüsselung nach einzelnen Hörfunk-Frequenzbändern.

Tab. 5-6: Statistische Lagemaße im Bereich des Hörfunks. Basis: Gleichung (4.3), Erläuterung in Kapitel 2.2.1.

Daten	Q_{avg}	SD	Q_{25}	Q_{50}	Q_{75}	IQR	Q_{90}	Q_{95}	Q_{99}
2002/2003									
gesamt	5,11	9,85	1,04	1,87	4,35	3,31	11,81	19,66	47,43
LW/MW	2,07	5,72	0,14	0,28	0,90	0,76	4,42	10,85	32,92
KW	1,10	1,26	0,35	0,64	1,26	0,92	2,69	3,67	6,45
UKW	1,90	7,93	0,04	0,15	0,69	0,64	3,16	7,30	36,26
DAB	0,04	0,13	< 0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	0,17	0,69
2006/2007									
gesamt	4,91	10,74	0,89	1,69	4,09	3,20	10,80	19,24	60,69
LW/MW	1,77	5,35	0,14	0,29	0,77	0,63	3,68	7,60	29,42
KW	0,88	0,99	0,28	0,54	1,06	0,78	2,00	2,85	5,12
UKW	2,16	9,24	0,05	0,18	0,73	0,68	2,92	9,03	53,80
DAB	0,09	0,51	< 0,01	< 0,01	0,02	0,02	0,10	0,34	1,80
Änderung von 2002/2003 auf 2006/2007									
gesamt	-0,20	5,61	-1,02	-0,07	0,61	1,63	2,02	3,51	12,29
LW/MW	-0,30	3,35	-0,11	0,00	0,07	0,18	0,27	0,62	3,06
KW	-0,21	1,42	-0,57	-0,09	0,33	0,89	1,00	1,78	3,21
UKW	0,26	4,29	-0,02	0,01	0,09	0,11	0,44	1,56	8,73
DAB	0,06	0,47	0,00	0,00	0,01	0,01	0,05	0,15	1,32

Fig. 4-16: Resultatdarstellung im Bericht des Bayerischen Landesamts für Umwelt

4.3.8 Baden-Württemberg

Die Landesanstalt für Umweltschutz hat zwischen Herbst 2001 und Frühjahr 2003 in vier Regionen von Baden-Württemberg im Frequenzbereich 9 kHz – 3 GHz Immissionsmessungen durchgeführt. Es wurde an insgesamt 895 Punkten gemessen, basierend auf einem regelmässigen 2-km-Raster. 667 Punkte lagen ausserhalb von Ortschaften.

2009 wurden an 598 Punkten die Messungen wiederholt. Dabei wurden alle relevanten Dienste gemessen, insbesondere auch das neu eingeführte digitale Broadcasting (DAB, DVB-T), sowie UMTS und Blaulichtdienste. Flugfunk, Radar und andere Dienste wurden auch vermessen und für die Kommunikation als „übrige Dienste“ bezeichnet.

Eine Darstellung der Messtechnik und Messdurchführung, die sich z.T. an der Messempfehlung des BAFU orientiert, findet sich in den unten angegebenen Berichten.

Kommuniziert wurden die Ergebnisse der Messkampagnen in Berichten, die auf dem Internet zugänglich sind. Die Messwerte werden in Prozent der Immissionsgrenzwerte und für Summendarstellungen in Prozent der Basisgrenzwerte (unter 10 MHz für Körperströme, sowie SAR) angegeben, wobei im Falle der thermischen Wirkung der Summenwert wieder auf die Feldstärke bezogen wird (Wurzel der quadrierten Feldstärken der Einzelbeiträge).

Die Einteilung in Dienste ist, den unterschiedlichen Messprotokollen der zwei Kampagnen zufolge, nicht völlig kohärent. Die feinste Aufteilung im 2009er Bericht enthält die folgenden Kategorien: LW/MW/KW-Radio, UKW-Radio, DAB, analog-TV, DVB-T, GSM, UMTS, BOS, sonstige Sender, sowie die Summenkategorien GSM/UMTS, thermische Wirkungen (0.1 - 3 GHz), Körperstromwirkung (0.01 - 10 MHz). Im 2009er Bericht werden die Ergebnisse mit denjenigen der ersten Messkampagne verglichen und bewertet (Fig. 4-17).

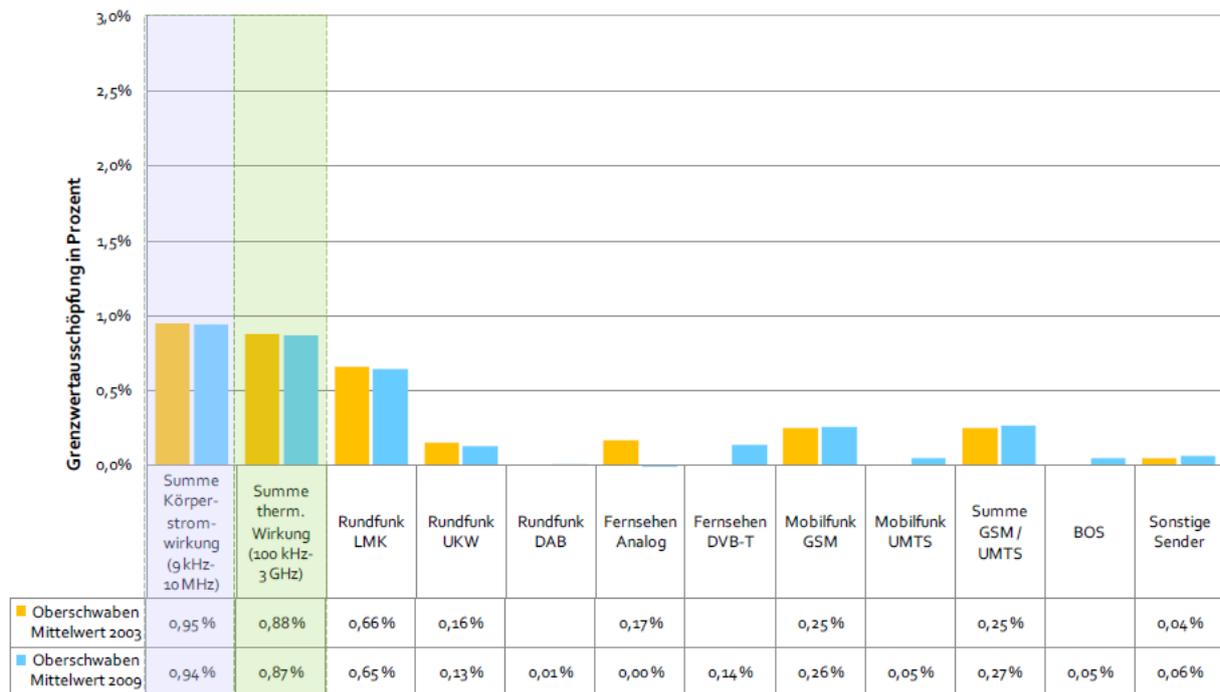


Abb. 83: Vergleich der Klassenmittelwerte des gleichen Messpunkte -Kollektivs zwischen den Messprogrammen 2003 und 2009 für das Untersuchungsgebiet Oberschwaben

Fig. 4-17: Kommunikation der Ergebnisse (hier: Vergleich der Messwerte der zwei Kampagnen)

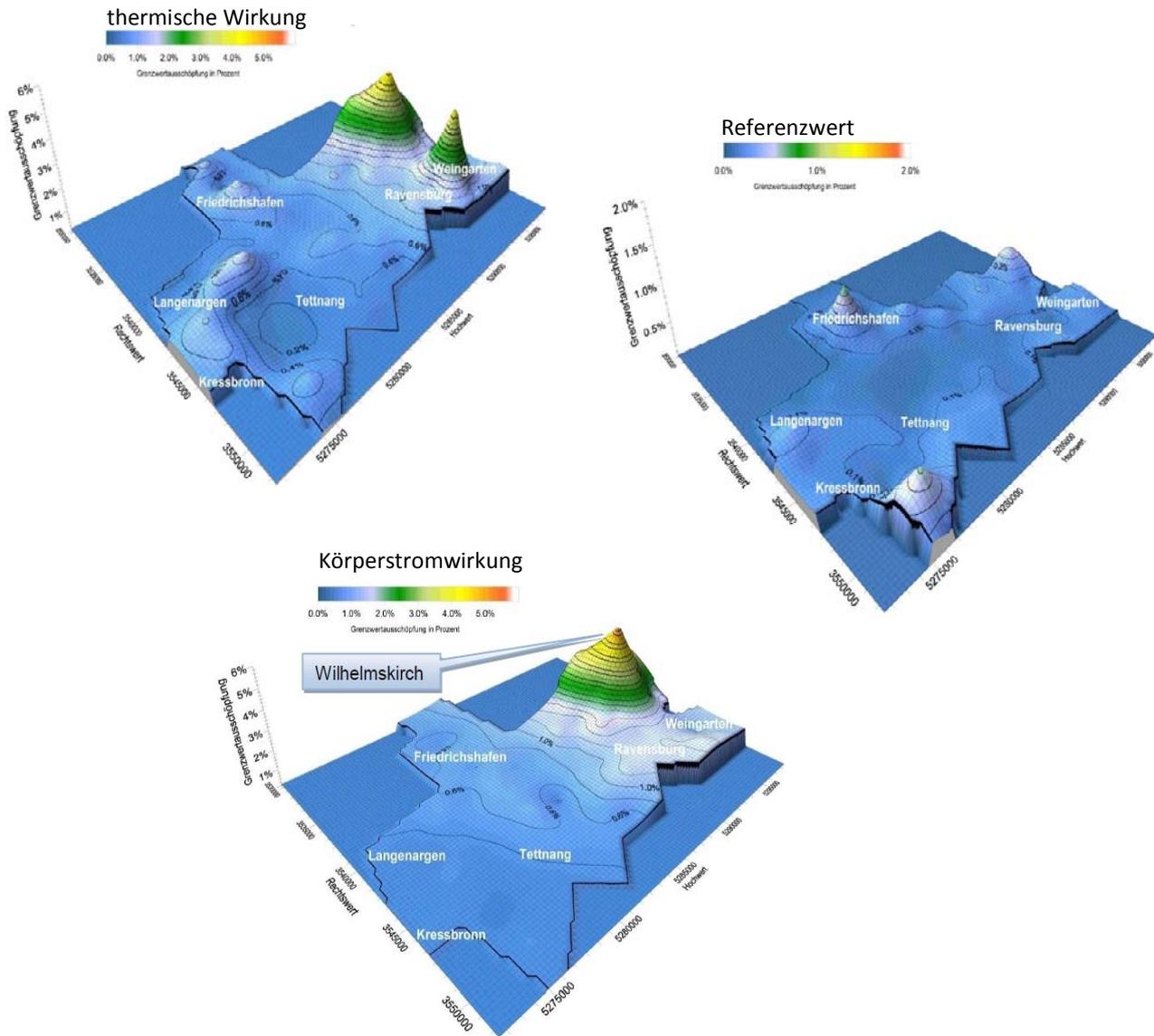


Fig. 4-18: Beispiele von Belastungskarten für Gesamtimmissionen (Grenzwertausschöpfung in Bezug auf Körperströme und thermische Wirkung) und dienstspezifisch, hier: UKW (Grenzwertausschöpfung in Bezug auf Immissionsgrenzwert für UKW)

Hauptbericht erste Kampagne: <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/13754/>;

Beschreibung des Messprotokolls der ersten Kampagne:

http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/40563/erlaeuterung_zur_messung.pdf?command=downloadContent&filename=erlaeuterung_zur_messung.pdf

Wissenschaftlicher Endbericht zweite Kampagne: <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/64157/endbericht.pdf?command=downloadContent&filename=endbericht.pdf>

4.3.9 Israel (Wave Guard Technologies)

Wave Guard Technologies ist eine Clean-Tech Firma, die Softwarelösungen für das Monitoring und das Management von NIS-Quellen entwickelt. Die ersten Produkte fokussierten auf Mobilfunk-Antennen. Gegenwärtig wird der Ansatz auf andere Technologien ausgeweitet. Im Zentrum stehen niederfrequente Anwendungen (Stromübertragung, Trafostationen, Verteilnetze etc.)

Die heute verfügbare Mobilfunk-Lösung erlaubt den Nutzern der Software, alle Mobilfunkantennen in einem Gebiet (Land, Provinz, Region, Gemeinde) zu beobachten. Dabei werden alle relevanten Monitoring-Informationen von den Netzbetreibern zur Verfügung gestellt und von der Software aufbereitet. Es handelt sich also um ein reines Emissionsmonitoring, nicht um ein Umwelt-Immissionsmonitoring.

Die Software erfasst Logfiles von allen RNC (Radio Network Controller) bzw. BSC (Base Station Controller). Die Files werden auf Echtheit und Vollständigkeit geprüft und dann in Bezug auf die interessierenden Parameter aufbereitet. Die Software „Guardian Government“ ist seit einem Jahr in Israel in Betrieb und wird vom Regulator zur Kontrolle von über 30000 UMTS-Antennen an 8200 Standorten eingesetzt. In den ersten 4 Monaten wurden 20 Antennen ausfindig gemacht, die ohne Bewilligung in Betrieb waren, und ca. 2000 Antennen, welche die behördlichen Vorgaben nicht einhielten.

Ob diese Softwarelösung mit schweizerischem Recht kompatibel ist und ob sie gegenüber dem bestehenden Qualitätssicherungssystem entscheidende Vorteile bietet, müsste im Detail abgeklärt werden.

Die Software „Guardian Municipality“ erlaubt es Gemeinden, die auf ihrem Gebiet installierten Antennen auf die Bewilligungskonformität hin zu prüfen und entsprechende Daten in der Kommunikation mit der Bevölkerung zu verwenden.

Die Software „Guardian Local“ ist auf kleinste Einheiten fokussiert (Schulen, Hotels, Unternehmen, etc.). Es werden die für diese Einheiten relevante Daten real-time gesammelt. Änderungen an den Antennenparametern werden, z.B. via E-Mail, SMS, web-alerts, etc. mitgeteilt.

Die wichtigsten Eigenschaften der softwarebasierten Monitoring-Lösung von Wave Guard sind:

- Abdeckung aller Antennen einer Region (für alle Provider und Standards anwendbar)
- Identifikation von nicht-bewilligungskonformen Antennen
- Kontinuierliches Monitoring aller relevanten Parameter
- Benutzerfreundliches Interface (Fig. 4-19)

Mehr Informationen: www.waveguardtechnologies.com

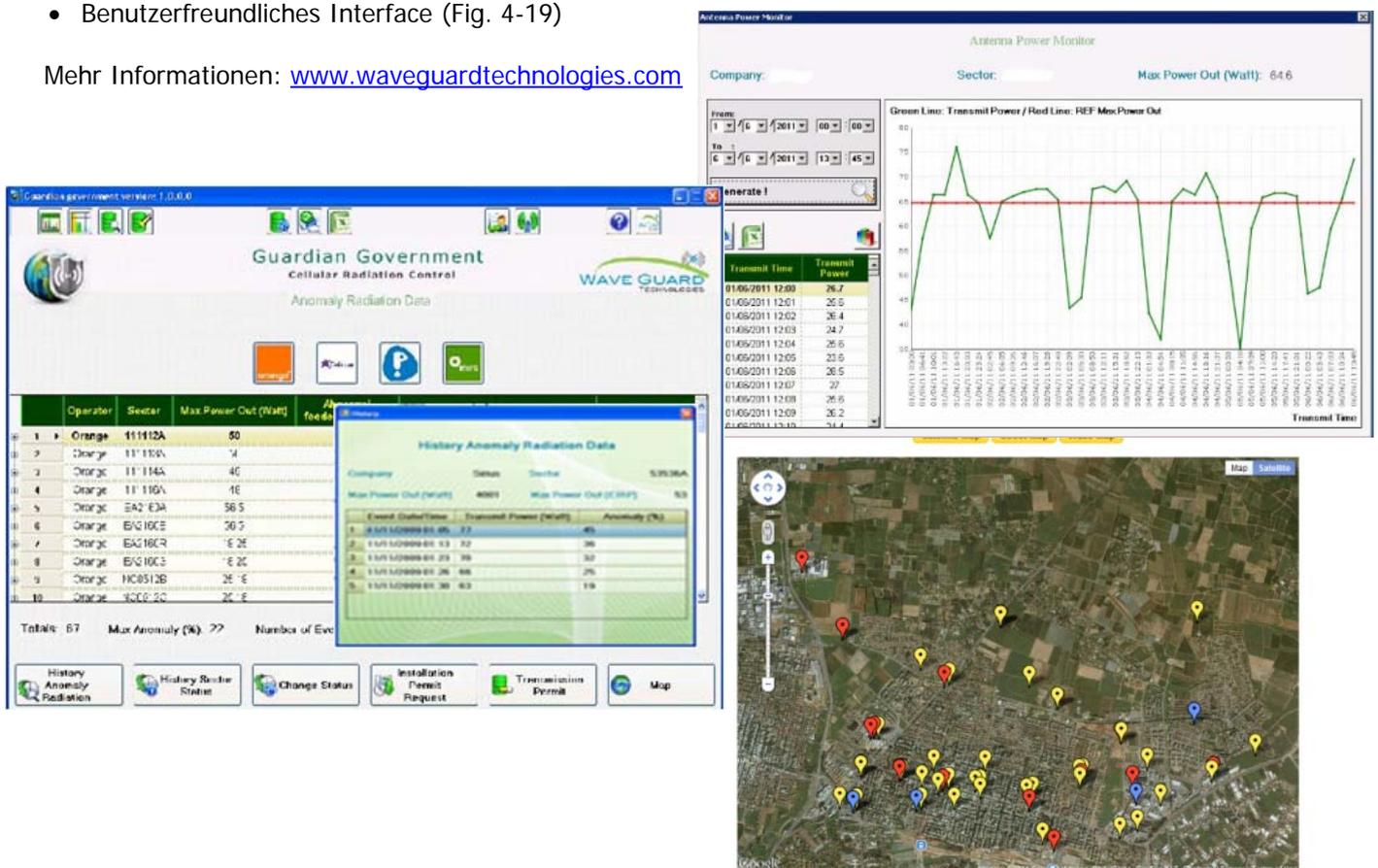


Fig. 4-19: Datendarstellungen bei Wave Guard (Bilder von Wave Guard geliefert)

4.4 Survey: Monitoring in Europa

4.4.1 Vorgehen, Umfang

Im Rahmen dieses Projektes wurde eine Befragung zur Monitoring-Situation in Europa durchgeführt. Dabei konnte auf das COST-Netzwerk der Aktion BM0704 zurückgegriffen werden. Um eine möglichst hohe Rücklaufquote zu erhalten, wurde ein sehr kurzer elektronischer Excel-Fragebogen (Fig. 4-20) aufgesetzt und über das persönliche Netzwerk (GD) an Repräsentanten der EU-Mitgliedsländer verteilt. Bei Unklarheiten in den Antworten wurde punktuell nachgefragt. Der Vollständigkeit halber sind auch Angaben über die Bewilligungspraxis von Anlagen und Geräten erfragt worden. Diese Resultate werden hier nicht dargestellt.

Zum Zeitpunkt dieses Schlussberichtes liegen die Ergebnisse folgender Länder vor: AT, BG, CRO, CY, DE, ES, FIN, FR, GR, HU, IRL, MT, NO, PT, RO, SE, SI, SK, UK. Für Italien, ein wichtiges Land im Zusammenhang mit NIS-Monitoring, sind die relevanten Angaben aus der Literatur (<http://efhran.polimi.it/>, http://www.bruitparif.fr/sites/forum-des-acteurs.bruitparif.fr/files/ressources/annexes_etude_faisabilite_ondesparif_1.pdf) entnommen worden. Insgesamt sind 20 Länder ausgewertet worden. Es dürfte sich hier somit um die aktuellste und am meisten Länder umfassende Darstellung zum Stand des NIS-Monitoring in Europa handeln.

4.4.2 Ergebnisse

Die Rückmeldungen wurden händisch ausgewertet, gesondert nach Messungen und Simulationen sowie für die drei Bereiche niederfrequente Felder, hochfrequente Felder von Radio/TV-Anlagen, sowie von Mobilfunk-Anlagen. Um einen Gesamtüberblick zu erhalten, sind die Monitoring-Aktivitäten pragmatisch in folgende Kategorien gegliedert: ad hoc Messungen/Berechnungen (zwei Kategorien – wenig, viel); systematisches Monitoring (drei Kategorien – wenig, viel, Vollerhebung); keine Messungen/Berechnungen; anderes/nicht präzisiert.

Folgendes Gesamtbild ergibt sich aus dem Survey:

- NIS-Monitoring-Aktivitäten sind in Europa verbreitet.
- Für das Monitoring werden grossmehrheitlich Messungen eingesetzt, selten Simulationsrechnungen.
- Monitoring von niederfrequenten Immissionen findet kaum statt.
- Die häufigsten Messaktivitäten betreffen hochfrequente Messung an sensiblen Standorten (auf Bürger-nachfrage hin oder im Rahmen behördlicher Messkampagnen), meist im Umfeld von Mobilfunkanlagen.
- Der Umfang der Messkampagnen (Anzahl Messungen, Messprotokolle) ist zwischen den Ländern sehr unterschiedlich
- „Systematische“ Messvorhaben mit Kommunikation der Resultate über das Internet gibt es inzwischen eine ganze Reihe. In manchen Ländern haben die über viele Jahre durchgeführten ad hoc Messungen (auf Bürgernachfragen hin) eine statistisch breite Datenbasis geschaffen, die etwa in Frankreich ausgewertet wird.

In untenstehenden Abbildungen sind die Rückmeldungen dargestellt, zunächst in zusammenfassender Beschreibung (Fig. 4-21), sodann in einer tabellarischen Übersicht unter nach den oben erwähnten Kategorien (Fig. 4-22), und schliesslich als Karten nach den erfassten Frequenzbereichen (Quellenkategorien) und Ansätzen (Messungen, Berechnungen).

Man beachte, dass die Rückmeldungen nicht systematisch geprüft oder offiziell von Behördenvertretern der Länder abgesegnet wurden. Die Darstellungen in diesem Kapitel sollen deshalb nur als Hinweise auf den Stand der Dinge auf nationaler Ebene angesehen werden.

NIR-Monitoring: European Survey			
<i>Please fill in what your country implemented with regard to NIR-monitoring</i>			
Country:	<input type="text"/>		
Your Name/Contact:	<input type="text"/>		
Your Email/e-contact:	<input type="text"/>		
Authorization procedure (Legal Requirements)			
	Measurements	Calculations	Your Comments
	Please select	Please select	Please specify, if necessary / helpful
Radio/TV	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Mobile Comm.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Powerlines, other ELF	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Other	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Domestic compliance tests of appliances	<input type="text"/>		
Monitoring during Business Operation			
	Measurements	Modelling/Calculations	Your Comments
Any Activity?	Please select	Please select	Please specify, if necessary / helpful
Radio/TV	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Mobile Comm.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Powerlines, other ELF	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Other	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Intensity	Please select	Please select	Please specify, if necessary / helpful
Radio/TV	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Mobile Comm.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Powerlines, other ELF	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Other	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Site Selection	Please select	Please select	Please specify, if necessary / helpful
Radio/TV	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Mobile Comm.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Powerlines, other ELF	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Other	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
# of Sites	Please give approx. # or specify	Please give approx. # or specify	Please specify, if necessary / helpful
Radio/TV			
Mobile Comm.			
Powerlines, other ELF			
Other			
	Please list relevant/helpful weblinks		
general:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
data:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
reports, other:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Contact: <i>gregor@mobile-research.ethz.ch; www.mobile-research.ethz.ch</i>			

Fig. 4-20: Fragebogen NIR-Survey

Antwortkategorien

Authorized Procedures:

- yes, in any case
- yes, if close to limits
- yes, places of concern
- yes, other rationale
- no

Monitoring; any activity:

- yes
- no

Monitoring; intensity, for measurement:

- longterm
- several times per year
- yearly
- less / unregular
- other
- online Provider/Site Data
- periodic Provider/Site Data

Monitoring; intensity, for calculations:

- yearly updates
- less than yearly
- other

Monitoring; site selection:

- Sample
- Hot Spots/ad hoc
- All Sites

	Radio/TV	Mobilkommunikation	ELF
Österreich	ad hoc, sowie Belastungsmessungen an exponierten Arbeitsplätzen	ad hoc, sowie Belastungsmessungen an exponierten Arbeitsplätzen	ad hoc, sowie Belastungsmessungen an exponierten Arbeitsplätzen
Bulgarien	keine, nur Kontrollmessungen bei techn. Änderungen	keine, nur Kontrollmessungen bei techn. Änderungen	keine, nur Kontrollmessungen bei techn. Änderungen
Zypern	alle 6 Monate alle Sender	alle 6 Monate alle Sender	Messungen an ca. 10'000 Standorten
Deutschland	jährlich werden Messungen an 2000 Sendern (Radio/TV/Mobilfunk), die per Zufall ausgewählt		kein Monitoring
Spanien	jährlich an einem Sample von ca. 150 Orten (versch. Selektionskriterien, jedes Jahr i.d.R. andere Standorte); Gesamtmission, Radio/TV, Basisstationen nicht einzeln.		Neue Infrastrukturen; Messung nicht präzisiert
Finnland	ad hoc	ad hoc	ad hoc
Frankreich	ca. 2500 hot spot Messung pro Jahr, meist aufgrund Bürgeranfragen, fast alles Mobilfunk. 2007 letzter Synthesereport dieser Messungen. Aufteilung in Mobilfunk und Radio/TV nicht mitgeteilt		ad hoc Messungen
Griechenland	ad hoc	20% aller Basisstationen per Zufallsprinzip	ad hoc
Ungarn	Sample von 5 Stationen (jährliche Messung und Berechnung)	Sample von 60 Stationen (jährliche Messung), 25 Stationen für Berechnung	Sample von 5 Orten für jährliche Messung
Irland	900 Stationen (v.a. Basisstationen) wurden seit 2003 vermessen, gegenwärtig pro Jahr 20-30.		ad hoc
Italien	Jährliche Messungen an vielen hundert wechselnden Standorten (meist um Basisstationen),		Messungen in Turin (2006-2008)
Kroatien	jährlich ca. 10% der Stationen (Messung und Rechnung)	jährlich ca. 10% aller Basisstationen (Messung und Rechnung)	nicht präzisiert
Malta	jährlich, alle Stationen (20)	jährlich, alle Stationen (500)	nicht präzisiert
Norwegen	ad hoc	ad hoc	ad hoc
Portugal	ad hoc (schätzungsweise um 100 Messungen an BS und Radio/TV; keine separaten Schätzungen)		nicht präzisiert
Rumänien	ad hoc auf Bürgeranfrage hin, ca. 20 pro Jahr	ad hoc auf Bürgeranfrage hin, ca. 100 pro Jahr	nicht präzisiert
Schweden	kein Monitoring	10 Standorte (dauerhafte jährliche Messungen) und pro Jahr jeweils 5 zufällig ausgewählte Standorte. Berechnungen an hot spots.	kein Monitoring
Slowakei	Mind. Alle 3 Jahr alle Stationen (Messungen)	Mind. Alle 3 Jahr alle Stationen (Messungen)	ad hoc Messungen/Berechnungen
Slowenien	Jährliche Monitoring-Messungen an einigen Dutzend wechselnden Standorten	Jährliche Monitoring-Messungen an einigen Dutzend wechselnden Standorten	Jährliche Monitoring-Messungen an einigen Dutzend wechselnden Standorten
Vereinigtes Königreich	keine Messungen	ad hoc Messungen auf Anfrage hin, durchschnittlich über 50 Standorte pro Jahr	ad hoc, gelegentliche Messungen auf Anfrage hin

Fig. 4-21: NIS-Monitoring Aktivitäten in Europa – Kurzbeschreibung (ad hoc: auf Nachfrage hin)

Man beachte in den folgenden Darstellungen, dass bei Messung der Gesamtmissionen (keine Unterscheidung in Radio/TV und Mobilkommunikation), die Kategorien trotzdem getrennt dargestellt werden. Dies betrifft (siehe Fig. 4-22): DE, ES, FR, IRL, IT, PT.

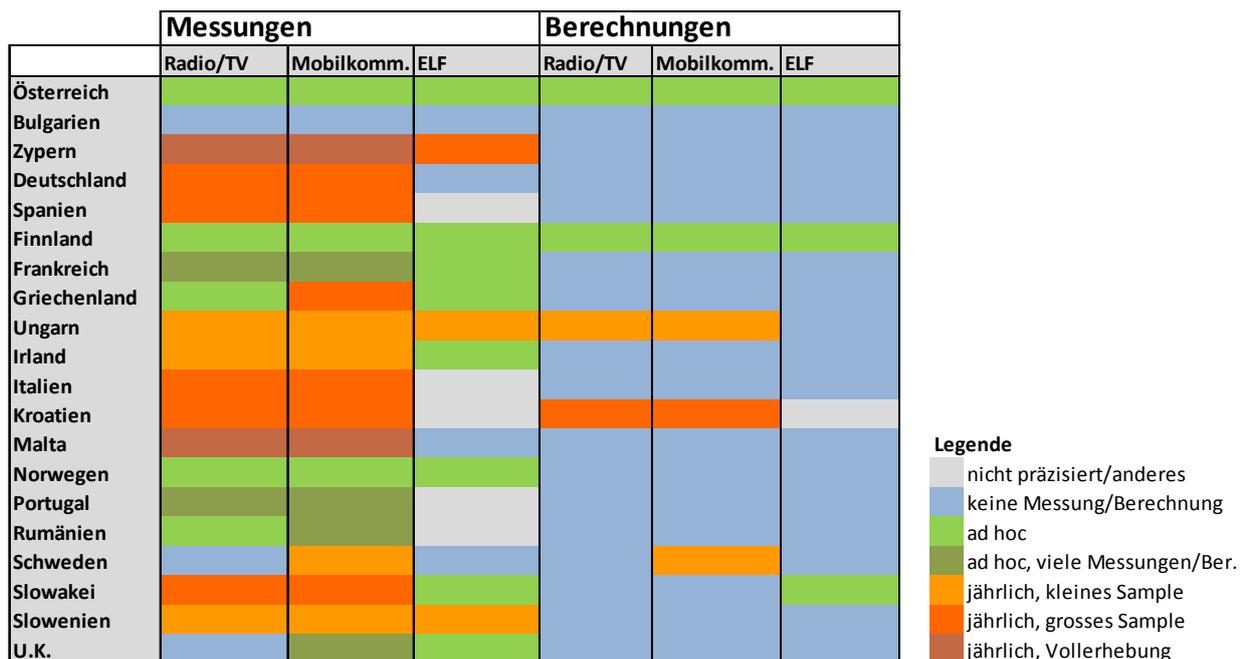


Fig. 4-22: NIS-Monitoring Aktivitäten in Europa – Übersicht

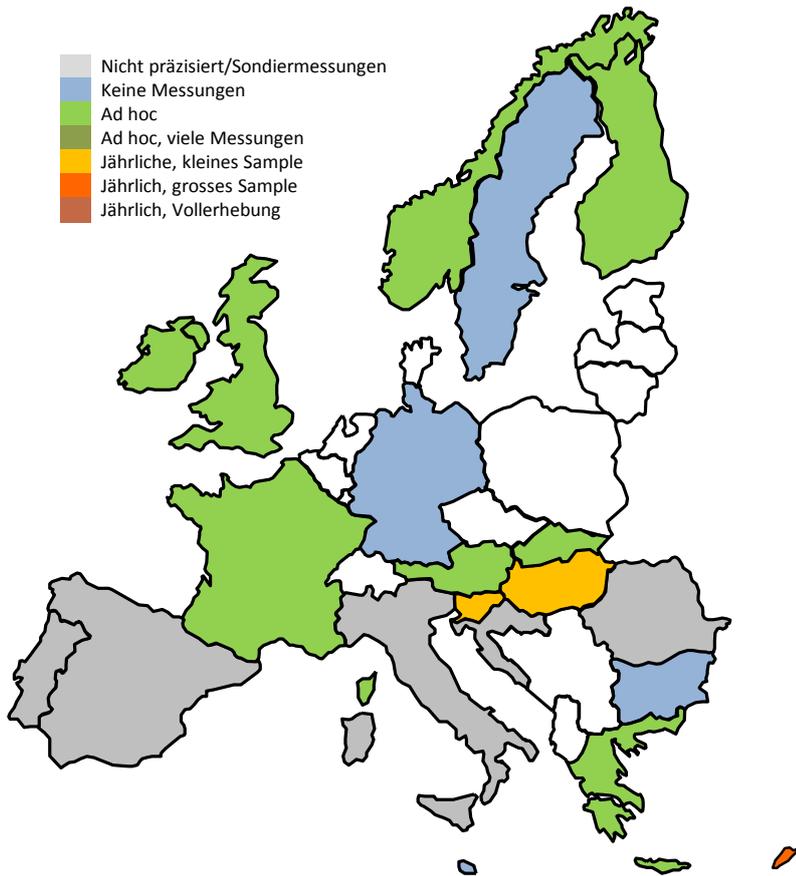


Fig. 4-23: NIS-Monitoring Messungen niederfrequenter Felder in Europa

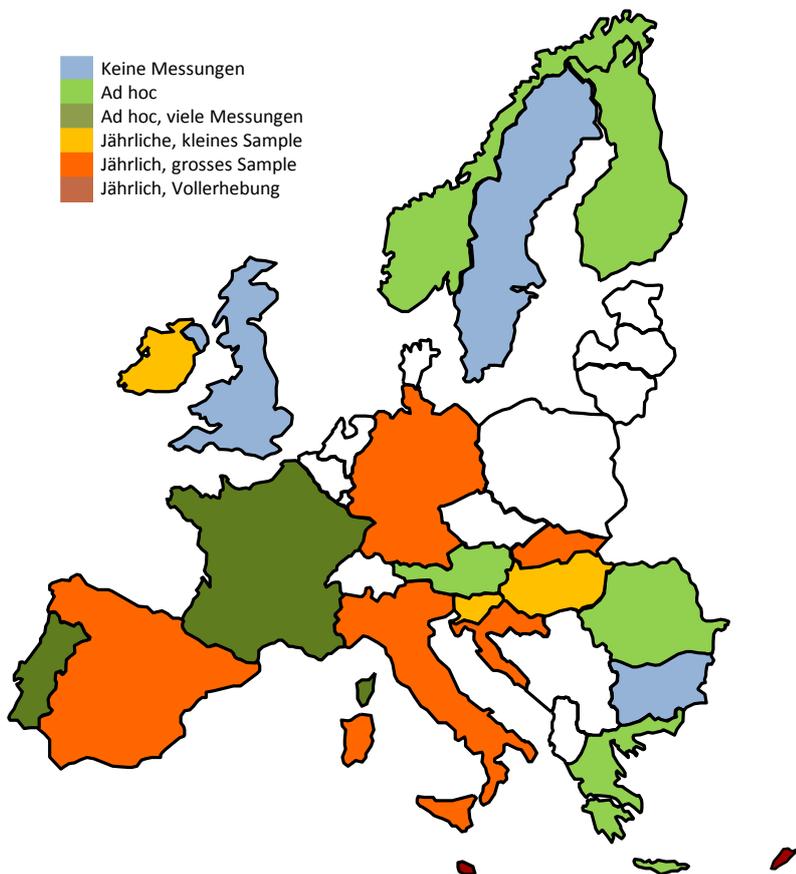


Fig. 4-24: NIS-Monitoring Messungen TV/Radio Anlagen in Europa



Fig. 4-25: NIS-Monitoring Messungen Mobilfunk-Basisstationen in Europa

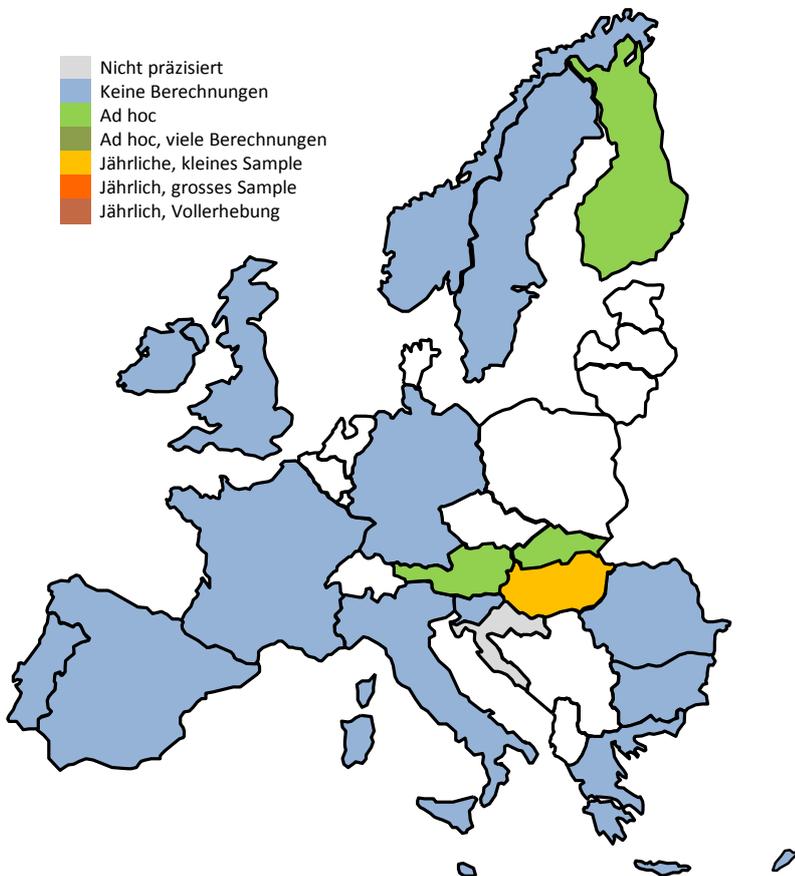


Fig. 4-26: NIS-Monitoring Berechnungen ELF in Europa

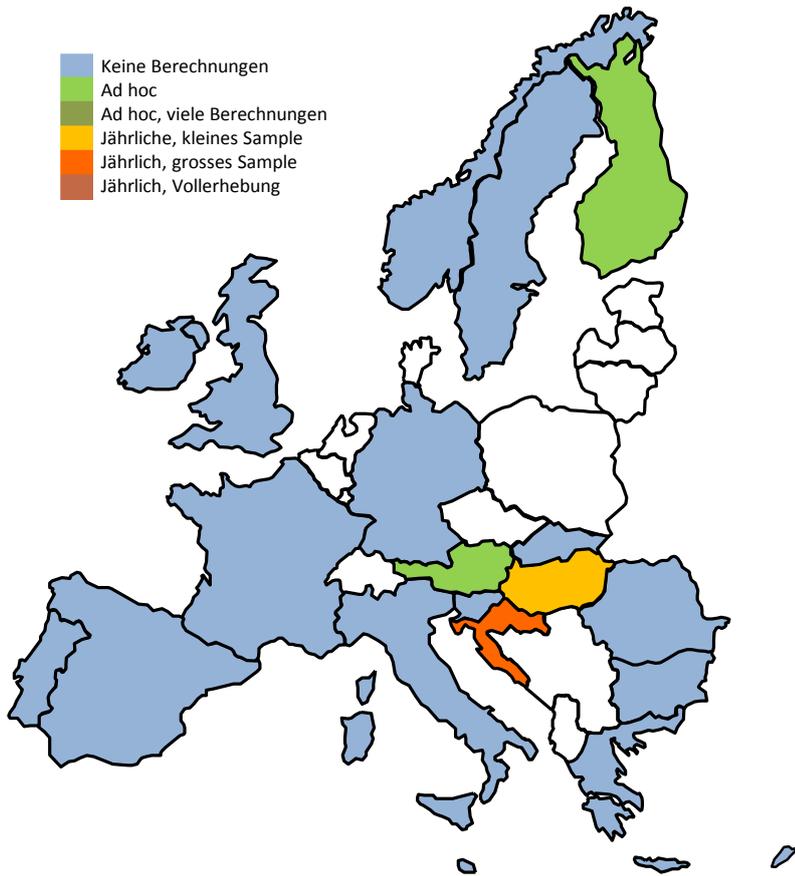


Fig. 4-27: NIS-Monitoring Berechnungen Radio/TV in Europa

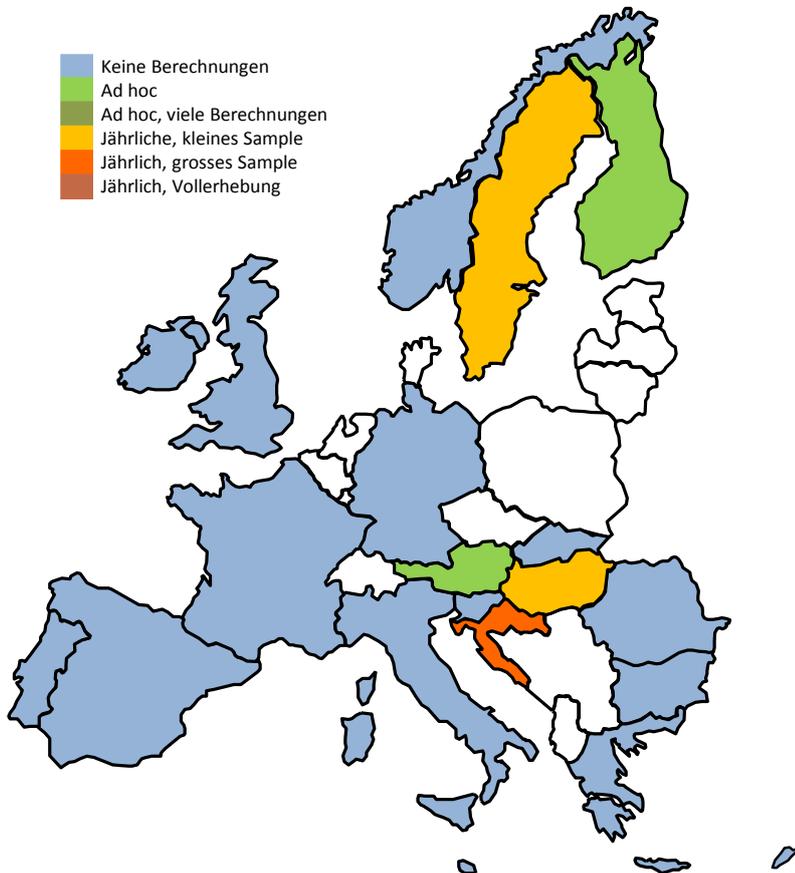


Fig. 4-28: NIS-Monitoring Berechnungen Mobilfunk-Basisstationen in Europa

5. Grossräumige Immissionsmodellierung

5.1 Ziel und Methoden

Ziel der Simulation ist die Berechnung der räumlichen Immissionen und die Bestimmung der Bevölkerungsexposition bezüglich dieser Immissionen.

Durchgeführt wird die Berechnung der Immissionen mit einem Computermodell. Berechnet werden Langzeitmittelwerte der elektrischen Feldstärke für hochfrequente Immissionen von Sendeanlagen und/oder der magnetischen Flussdichte für niederfrequente Immissionen von Anlagen der Stromversorgung. Die Berechnungen erfolgen bandselektiv und technologiespezifisch.

Ein solches Modell berücksichtigt die Position und technischen Daten der Emissionsquellen (Sendeanlagen, Hochspannungsleitungen, etc.), die Topografie und Gebäude in der Umgebung in drei Dimensionen und die Ausbreitungseigenschaften der Felder und Wellen im Raum. Modelliert werden die effektiv vorhandenen Felder im realen Betrieb auf Grund der aktuell im Betrieb verwendeten Anlageparameter (z.B. Sendeleistungen von Antennen oder Lastflüsse von Leitungen). Beispiele von solchen Modellen sind im nächsten Abschnitt 5.2 beschrieben, die benötigten Daten in Abschnitt 5.6.

5.2 Bestehende Erfahrungen

5.2.1 NIS-Monitoring Zentralschweiz

Das NIS-Monitoring Zentralschweiz ist ein gemeinsames Projekt der Zentralschweizer Umweltdirektionen (vgl. Abschnitt 4.1 von Modul 1). Ein Teil des Projekts ist die Simulation der hochfrequenten NIS von Mobilfunk Basisstationen und von Sendern für Rundfunk (Radio und TV) und Funkruf. Die Simulation erfolgt flächendeckend für das Gebiet der Zentralschweizer Kantone, mit einer Auflösung von 5 m im Siedlungsgebiet. Das Modellgebiet hat eine Fläche von ca. 4500 km² und ca. 700000 Einwohner, was je etwa 10% der Schweiz entspricht. Simuliert wird die zeitlich durchschnittliche Belastung im effektiven Betrieb.

Die flächendeckende Berechnung wurde 2008 zum ersten Mal abgeschlossen und seither jährlich aktualisiert. Das Projekt ist in [1] beschrieben. Die Resultate sind im Internet unter www.e-smogmessung.ch publiziert. Eine Auswertung der Daten wird jährlich in einem internen Bericht dokumentiert.

Datengrundlage sind Standortdatenblätter für die Sendeanlagen, ergänzt durch Betriebsdaten für Mobilfunk und Rundfunk aus den Datenbanken des BAKOM. Die Ausbreitungsrechnung verwendet semiempirische Algorithmen, welche für die Funknetzplanung von Mobilfunk- und Rundfunknetzen entwickelt wurden (z.B. von COST und ITU). Die Berechnung erfolgt mit der NISMap-Software von ARIAS. Eine vollständige Berechnung braucht auf einem Dual-Core PC ca. 3 Wochen Rechenzeit.

Ein Ausschnitt aus der Immissionskarte des NIS-Monitoring ist in Fig. 5-1 gezeigt.

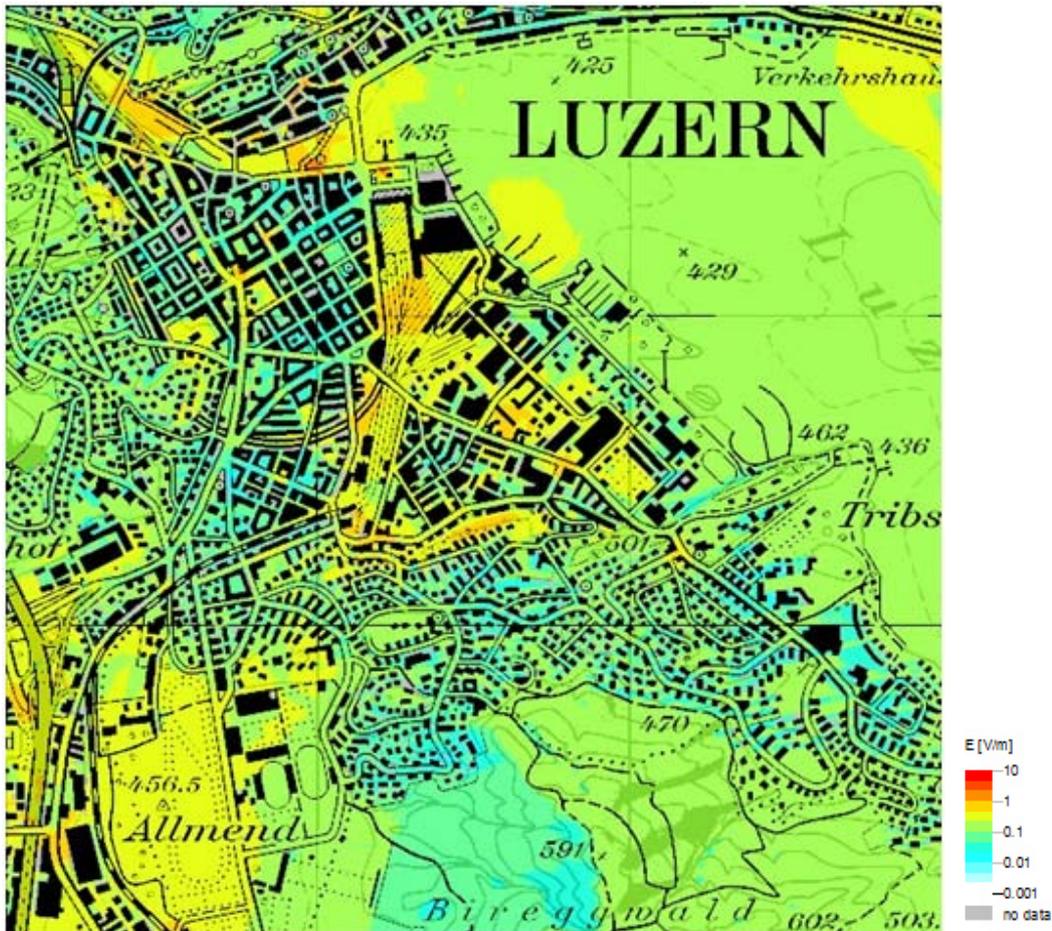


Fig. 5-1: Resultat aus dem NIS-Monitoring Zentralschweiz. Ausschnitt von 3 x 3 km² in der Stadt Luzern. Dargestellt sind die HF-NIS-Immissionen von stationären Sendern für Mobilfunk, Rundfunk und Funkruf. Kartenhintergrund PK50 © Swisstopo.

5.2.2 Qualifex

Dasselbe Rechenmodell wie für die Zentralschweiz wurde auch im Projekt Qualifex im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 57 verwendet, mit den Daten für die Stadt und Region Basel (ca. 180 km² und 380000 Einw.). Mit dem Rechenmodell (in Qualifex: „*Propagation model*“) wurde die Belastung am Wohnort der Studienteilnehmer durch Strahlung von ortsfesten Sendern (Mobilfunk und Rundfunk) bestimmt. Das Modell ist beschrieben in [4, [5].

5.2.3 NIS-Kataster Basel

Der NIS-Kataster für den Kanton Basel beruht auf demselben Modell und denselben Daten wie Qualifex. Entstanden ist er aus dem Pilotprojekt [2]. Der Kataster wurde 2010 erstmals für den Kanton Basel-Stadt berechnet und ist auf dem Internet zugänglich (<http://www.baselland.ch/Lufthygiene.273902.0.html>, Stichwort *NIS-Kataster*).

Der Kataster ist für eine Höhe von 1.5 m über Boden für Punkte im Freien, Auflösung 5 m. Im Innern von Gebäuden werden keine Feldstärken angezeigt. Eine Aktualisierung und Erweiterung auch auf den Kanton Basel-Landschaft ist seit 2012 aufgeschaltet. Wenn sie abgeschlossen ist, wird der Kataster eine Fläche von ca. 550 km² mit ca. 450000 Einwohnern überdecken.

5.2.4 Immissionskataster für niederfrequente Magnetfelder – Machbarkeits- und Pilotstudie

Diese Studie im Auftrag des BAFU hat untersucht, wie ein Immissionskataster für niederfrequente Magnetfelder von Hochspannungsleitungen erstellt werden könnte, welche Daten dafür benötigt würden, wo diese Daten verfügbar sind und welcher Aufwand für einen solchen Kataster notwendig wäre [6]. Die Untersuchung erfolgte an einem konkreten Beispiel eines Abschnitts einer 220 kV Leitung von 31 km Länge. Ein Ausschnitt aus der produzierten Immissionskarte ist in Fig. 5-2 dargestellt.

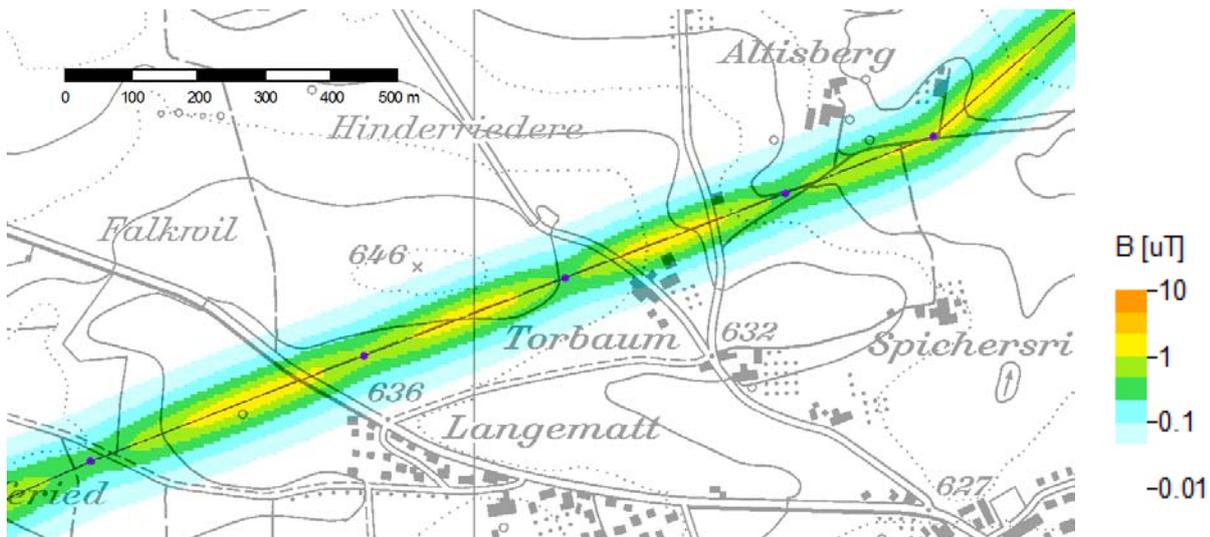


Fig. 5-2: Ausschnitt aus der Immissionskarte für eine Hochspannungsleitung.
Kartenhintergrund PK25 © Swisstopo

5.2.5 Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm

Im Rahmen des deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms wurde auch untersucht, wie gut sich die Exposition in Wohnungen aus Modellrechnungen bestimmen lässt [7], [8]. Datenbasis für die Anlagendaten waren die Standortbescheinigungen der RegTP. Diese Daten sind bedeutend weniger detailliert und präzise als die entsprechenden Daten in der BAKOM-Datenbank. Die Autoren kamen zum Schluss, dass ein solches Modell nur sinnvoll angewendet werden kann, wenn die Unsicherheiten in den Eingabedaten erheblich reduziert würden.

5.2.6 SonBase

Ausbreitungsmodellierungen für Lärm und für HF-NIS sind in vieler Hinsicht ähnlich, da es sich in beiden Fällen um Wellen von ähnlicher Wellenlänge handelt. Zwar sind die Quellen und die Eigenschaften der Wellen verschieden (akustische bzw. elektromagnetische Wellen), aber für die Ausbreitungsrechnung braucht man ähnliche Geodaten (Topografie und Gebäude in 3D). Aus diesem Grund wird in Kapitel 8 auf SonBase eingegangen.

5.3 Modellierte Quellen

Es existiert eine riesige Vielfalt von möglichen Quellen von NIS. Nicht alle davon eignen sich für eine großflächige Computersimulation. Eine solche macht eigentlich nur da Sinn, wo man die Position und die Emissionen der Quellen kennt, bzw. wo es möglich ist (technisch und vom Aufwand her) diese Daten in einem Modell zu erfassen. Damit scheidet bereits wichtige Quellen von NIS aus, so im NF-Bereich etwa die elektrischen Hausinstallationen oder im HF-Bereich z.B. die Mobiltelefone.

Sinnvoll ist eine Modellierung am ehesten für starke, ortsfeste Einzelquellen, die erheblich zu den Immissionen in ihrer Umgebung beitragen.

Daneben hängen die zu modellierenden Quellen auch davon ab, für welchen Frequenzbereich man sich interessiert.

Modellierbare Quellen sind im HF-Bereich:

- Rundfunksender (Radio und TV)
- Mobilfunk-Basisstationen (GSM, GSM-R, UMTS, LTE, ...) allenfalls auch
- Funkruf-Sender (Telepage)

- Basisstationen für Sicherheitsfunk (Polycom), sofern die Anlagedaten verfügbar sind und keine Sicherheitsbedenken dagegen sprechen
- Funkanlagen der Flugsicherung (Flugfunk, Flugnavigation, Radar), sofern man Zugang zu den Daten der Sendeanlagen hat

Nicht modellierbar sind mobile oder stark verteilte Quellen wie z.B. Mobiltelefone, DECT-Telefone oder WLAN.

Modellierbare Quellen im NF Bereich sind (bezüglich der Magnetfelder):

- Hochspannungsleitungen (Freileitungen, Kabelleitungen)
- Die Stromversorgung der Eisenbahn (Fahrleitungen und Übertragungsleitungen)
- Trafostationen und Unterwerke

Wenn Hochspannungsleitungen modelliert werden sollen, muss man sich auch entscheiden, welche Netzebenen man berücksichtigen will. So sind zwar die wohl stärksten Quellen die Leitungen des Übertragungsnetzes (220 kV und 380 kV). Diese verlaufen aber oft fern vom Siedlungsgebiet, für die Exposition der Bevölkerung ebenso wichtig sind möglicherweise auch die Leitungen des überregionalen Verteilnetzes (50 kV – 150 kV), die das Siedlungsgebiet versorgen und in dieses hineinführen. Für die tieferen Spannungsebenen der regionalen Verteilnetze (1 – 36 kV) und lokalen Verteilnetze (230/400 V) verbietet sich eine mehr als nur lokale Modellierung schon rein von der Länge der entsprechenden Netze und dem dafür nötigen Aufwand her. Trafostationen und Unterwerke sind schwierig im Detail zu modellieren, sie können allenfalls näherungsweise berücksichtigt werden.

5.4 Verwendungszweck

Der Aufbau und Umfang einer Simulation hängt auch davon ab, zu welchen Zwecken die Daten verwendet werden sollen. Dafür gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- Bestimmen der Immissionen, der massgebenden Quellen und der zeitlichen Veränderungen.
Die Resultate werden vor allem für statistische Auswertungen verwendet und in Fachberichten publiziert.
Beispiele: NIS-Monitoring Zentralschweiz, SonBase.
- Information der Bevölkerung, z.B. durch Publikation von Belastungskarten auf dem Internet.
Beispiele: NIS-Monitoring Zentralschweiz, SonBase. NIS-Kataster Basel.
- Verwendung als Datengrundlage für epidemiologische Studien.
Beispiel: Qualifex.

Je nach vorgesehenem Verwendungszweck muss unter Umständen ein anderer Modell-Output berechnet und/oder archiviert werden.

5.5 Modellgebiet und Konzept für Repräsentativität

Das Modellgebiet muss so gewählt werden, dass es repräsentativ ist für die Schweizer Bevölkerung in ihrer Lebensumgebung. Je nachdem, welcher Verwendungszweck für die Resultate vorgesehen ist, muss die Wahl des Modellgebiets anders ausfallen (vgl. Abschnitt 5.4).

Eine Möglichkeit sind ausgewählte repräsentative Orte oder Regionen. Diese müssen so ausgewählt werden, dass sie bezüglich der Landesteile (bzw. Sprachregionen), bezüglich der topografischen Lage, der Lage in grossen und kleineren Städten, Agglomerationen und Dörfern und vor allem auch bezüglich der einwirkenden Immissionen repräsentativ sind. Beispiel für eine solche Auswahl in einem Monitoring-Projekt sind etwa die 16 Messstationen des nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL), oder auch die Auswertung der Simulation in der Umgebung der 24 Messstandorte im NIS-Monitoring Zentralschweiz.

Die andere Möglichkeit ist eine flächendeckende Simulation für ausgewählte grössere Gebiete oder für die ganze Schweiz.

Je nach dem beabsichtigten Verwendungszweck ist ein anderes Modellgebiet notwendig

1. Für die Bestimmung der Immission und für statistische Auswertungen kann man sich auf eine gut gewählte Auswahl von z.B. 16 oder 24 kleinen Teilgebieten (Kacheln) von vielleicht je einigen Quadratkilometern Grösse konzentrieren.
2. Für die Darstellung einer Karte auf dem Internet kann man auch die unter (1) ausgewählten repräsentativen Teilgebiete verwenden, oder aber eine flächendeckende Karte für die ganze Schweiz, sofern gewünscht.
3. Als Datengrundlage für epidemiologische Forschung braucht man zumindest ein grosses zusammenhängendes Gebiet, z.B. eine Agglomeration, wie im Beispiel von Qualifex. Da die zu untersuchenden Effekte klein sind, ist man auf ein möglichst grosses Modellgebiet angewiesen; in der Studie zu Hochspannungsleitungen und Alzheimer-Erkrankungen von Huss et al. [11] z.B. ist das Studiengebiet die ganze Schweiz. Dies gilt umso mehr für Langzeitstudien, damit die Studienteilnehmer nicht aus dem Gebiet wegziehen.

Wenn man repräsentative Kacheln auswählt, sollte man sie gross genug auswählen, so dass sie z.B. ein ganzes Dorf, eine kleinere Stadt oder einen Stadtteil einer grösseren Stadt überdecken, z.B. etwa 3 x 3 oder 5 x 5 km². Damit erhält man auch Karten, die die räumliche Struktur der Immissionen anzeigen können. Es macht dabei keinen Sinn, wenn man die Gebiete zu klein wählt, da man immer auch noch Quellen bis zu einigen Kilometern Entfernung berücksichtigen muss, für starke Rundfunksender sogar bis zu einigen Dutzend Kilometern.

Sinnvoll wäre auch, wenn das Modellgebiet so gewählt wird, dass es die Orte oder Routen für die Exposimetermessungen einschliesst, so dass ein Vergleich der Simulation mit den Exposimetermessungen möglich ist.

Möglich wäre auch, dass eine detaillierte Modellierung in ausgewählten repräsentativen Zonen ergänzt wird durch eine flächendeckende Rasterberechnung mit niedriger Auflösung und verringerter Präzision für die ganze Schweiz, analog zu den für die Zentralschweiz berechneten niedrig aufgelösten Karten. Eine solche Karte würde erlauben, die Gebiete mit grossräumig erhöhter Belastung, z.B. durch starke Rundfunksender, zu identifizieren.

5.6 Eingabedaten

Eingabedaten für die Simulation sind Daten zur Beschreibung der Quellen (Sendeanlagen, Leitungen, etc.) und Geodaten für Objekte, die die Ausbreitung der Felder beeinflussen (Topografie, Gebäude, etc.) und die räumliche Verteilung der exponierten Bevölkerung beschreiben.

5.6.1 Technische Daten von Sendeanlagen

Notwendige technische Daten für Sendeanlagen sind Koordinaten, Höhe der Antennen über Grund, Sendeleistung (ERP im Betrieb), Funkdienst und Frequenz bzw. Frequenzband, Senderichtung, Antennentyp bzw. Strahlungsdiagramm.

Für Mobilfunk- und Rundfunksender findet man diese Daten in den Betriebsdatenbanken des BAKOM. Im Prinzip sind in der Mobilfunk-Betriebsdatenbank des BAKOM sämtliche benötigten Daten für Mobilfunksender enthalten. Diese sind aber (noch) nicht in allen Fällen vollständig, z.B. hatten Anfang 2011 noch nicht alle Betreiber die Antennentypen eingetragen. Für das NIS-Monitoring Zentralschweiz und für das Modell der Region Basel werden daneben auch Daten aus den Standortdatenblättern verwendet. Die Verwendung von redundanten Datenquellen war vor allem zu Beginn nützlich für die Qualitätssicherung der Eingabedaten, u.a., weil zu Beginn noch nicht alle Parameter in der BAKOM-Datenbank enthalten waren oder weil sie mit relativ grossen Ungenauigkeiten behaftet waren (z.B. Koordinaten ursprünglich auf ca. ± 25 m) oder Standortdatenblätter fehlerhaft waren bzw. überhaupt fehlten. Ein Vorteil der Standortdatenblätter ist, dass sie sehr präzise Angaben zu den Koordinaten enthalten (Situationspläne).

Die Mobilfunk-Betriebsdatenbank des BAKOM enthält nicht nur Makro- und Mikrozellen, sondern auch zahlreiche Picozellen mit Betriebsleistungen von wenigen Watt ERP. Solche Picozellen sind für die Simulation nur dann relevant, wenn sie sich im Freien befinden, nicht aber im Innern von Gebäuden oder z.B. in Tunneln. Auch indoor-Picozellen können zwar für die Exposition relevant sein. Sinnvoll simulieren liessen sie sich aber nur zusammen mit einer detaillierten Modellierung des Gebäudeinnern, also allenfalls für einzelne Gebäude, aber nicht im Rahmen einer grossflächigen Simulation. Ausserdem sind auch die Angaben in der BAKOM-

Datenbank nicht präzise genug, um solche Picozellen im Innern der Gebäude zuverlässig zu lokalisieren. Solche Indoor- und Tunnelanlagen sollten aus der Simulation ausgeschlossen werden. Es wäre deshalb nützlich, wenn man aus der BAKOM-Datenbank (oder einer anderen Datenquelle) auch auf die Lage der Antennen bezüglich outdoor/indoor oder Tunnel schliessen könnte.

Ausserdem benötigt man sogenannte Auslastungsfaktoren für diejenigen Funkdienste, bei denen das Signal nicht mit zeitlich konstanter Leistung abgestrahlt wird. Als Auslastungsfaktor wird hier das Verhältnis der zeitlich gemittelten Sendeleistung (ERP-Zeitmittel) zur eingestellten Sendeleistung (eingestellte ERP-Betrieb) bezeichnet. Für GSM sind diese Auslastungsfaktoren abhängig von der Anzahl Transmitter pro Funkzelle, für andere Funkdienste ev. noch von weiteren Parametern. Für Mobilfunk ist der kleinste mögliche Wert für den Auslastungsfaktor gegeben durch den Anteil der Signalisationskanäle an der ERP (BCCH für GSM, CPICH und ev. weitere für UMTS), der grösstmögliche theoretische Wert ist Eins. In der Praxis werden Mobilfunknetze so betrieben, dass die maximale Auslastung höchstens zu Spitzenzeiten erreicht wird, die zeitlich gemittelten Auslastungsfaktoren sollten dann in der Regel deutlich kleiner als Eins sein¹. Die Auslastungsfaktoren können sich im Laufe der Zeit ändern.

Für die Bestimmung dieser Auslastungsfaktoren benötigt man Angaben von den Netzbetreibern, insbesondere für neue Funkdienste (UMTS, LTE, etc.), für die es noch keine oder nur wenig Erfahrungswerte gibt.

Die Datenbanken des BAKOM enthalten auch für Rundfunksender (UKW, DAB, DVB-T, etc.) alle benötigten Parameter, mit Ausnahme des vertikalen Antennendiagramms. In den Modellen für die Zentralschweiz und die Region Basel wurden von Swisscom Broadcast Antennendiagramme für ihre Sender zur Verfügung gestellt. Für UKW-Lokalsender hat man keine solch detaillierten Angaben, sondern bezüglich des Vertikaldiagramms lediglich die Breite und vertikale Absenkung des Strahls. Daraus lässt sich ein Antennendiagramm zumindest genähert bestimmen. In zahlreichen Fällen sind diese Diagramme dipolförmig.

Für andere Funkdienste, z.B. Sender für Sicherheitsfunk oder Funkruf sind bisher nur die Standortdatenblätter als Datenquellen verfügbar.

Für die Modelle der Zentralschweiz und der Region Basel war es oft nötig, für die Verifikation der Eingabedaten auf die Standortdatenblätter zuzugreifen oder zusätzliche Auskünfte der Netzbetreiber einzuholen. Diese Informationen wurden jeweils über die NIS-Fachstellen der entsprechenden Kantone eingeholt. Für ein nationales NIS-Monitoring werden solche Informationen sicher ebenfalls gelegentlich benötigt werden, der Weg über die kantonalen Fachstellen wäre dann aber eher beschwerlich. Es wäre deshalb sinnvoll, von Beginn weg entsprechende Kontakte zu institutionalisieren und Ansprechpartner zu identifizieren.

5.6.2 Technische Daten für Anlagen der Stromversorgung und der Eisenbahnen

Für die Modellierung der Magnetfelder von Hochspannungsleitungen benötigt man Daten über die Verteilung der Ströme im Raum (vgl. [6]). Es sind dies Position und Geometrie der Masten, Leitungsdurchhang und Betriebsströme nach Betrag und Phase. Diese Daten sind bei den Leitungsbetreibern verfügbar.

Für die Übertragungs- und Fahrleitungen der Eisenbahnen benötigt man prinzipiell dieselben Daten, allerdings sind diese Daten wohl örtlich und zeitlich viel stärker variabel. Lastspitzen findet man hier nicht nur im Tages- sondern im Stundenverlauf (Taktfahrplan).

5.6.3 Geodaten für die Topografie

Benötigte topografische Daten sind ein digitales Geländemodell und digitale Landkarten als Kartenhintergrund für Feldstärkekarten. Diese Daten sind von Swisstopo für die ganze Schweiz verfügbar und auch beim BAFU vorhanden.

Bei Swisstopo sind digitale Geländemodelle mit Auflösungen von 2 m, 5 m, 10 m und 25 m erhältlich, also alle Auflösungen, die man sinnvollerweise für die Simulation verwenden kann. Digitale Pixelkarten sind verfügbar im Massstab von 1:25000 bis 1:1000000. Ebenfalls bei Swisstopo erhältlich sind Luftbilder mit Auflösung von ca. 25 cm, in Farbe und z.T. auch mit Infrarotkanal.

¹ Die Ausnahme ist z.B. eine GSM-Zelle mit einem einzigen Kanal, dem BCCH, welcher immer mit voller Leistung sendet. Für diese ist der Auslastungsfaktor immer gleich Eins. Bei UMTS liegen gegenwärtig die Auslastungen meist unter 50%.

5.6.4 Gebäudedaten

Gebäudedaten sind ein wichtiger Input für eine NIS-Simulation. Eine Sensitivitätsanalyse im Qualifex-Projekt [5] hat gezeigt, dass fehlende oder falsche Gebäudedaten die grösste der untersuchten Fehlerquellen darstellen.

Die Ausbreitung von HF-NIS wird durch Gebäude sehr stark beeinflusst. Das wichtigste Kriterium ist dabei das Bestehen einer direkten Sichtverbindung. Je nachdem, ob ein Punkt direkte Sichtverbindung zu einer Antenne hat oder sich im Funkschatten befindet, können sich die Immissionen um Grössenordnungen unterscheiden. Gebäude sind aber natürlich nicht nur Hindernisse für die Funkwellenausbreitung, sondern auch die Orte, wo sich Personen über längere Zeit aufhalten, und zwar nicht nur in der Nähe der Oberfläche wie im Freien, sondern auch, je nach Stockwerk, in grösserer Höhe über Grund. Dies ist deshalb wichtig, weil die meisten Mobilfunkantennen in der Vertikalrichtung stark gerichtet abstrahlen, mit Strahlungskeulen von wenigen Grad vertikaler Breite. Dadurch ergeben sich starke vertikale Gradienten der Immissionen. Dies muss berücksichtigt werden, wenn für die Bestimmung der Exposition von Personen die maximale und/oder mittlere Belastung in Gebäuden berechnet werden soll. Dafür braucht man Angaben zur Höhe der Gebäude und eine Methode zur Mittelung/Maximalbildung über das Gebäudevolumen.

Im NF-Bereich bewirken Gebäude zwar keine Abschirmung von (niederfrequenten) Magnetfeldern. Eine Angabe zur Höhe von Gebäuden ist aber immer noch relevant für die Bestimmung der Höhe des Aufenthaltsortes von Personen, vor allem z.B. für Gebäude direkt unter oder neben einer Hochspannungsleitung.

Mobilfunkantennen sind sehr oft auf Dächern von Gebäuden installiert. Weil der Schattenwurf durch Gebäude sehr grossen Einfluss auf die Immissionen hat, muss man deshalb die geometrische Lage der Antennen relativ zu den Gebäuden gut kennen. Man ist also auf präzise Koordinaten sowohl der Antennen wie auch der Gebäude angewiesen, mit Genauigkeiten der Grössenordnung 1 m oder besser. Mit Ungenauigkeiten im Bereich von 5 bis 10 m riskiert man, dass sich eine modellierte Antenne auf der falschen Seite einer Strasse befindet und entsprechend die Resultate bedeutungslos werden. Hohe (relative) Präzision kann auch notwendig werden, wenn eine Antenne an einer Aussenwand montiert ist. In solchen Fällen müssen die Koordinaten unter Umständen verifiziert werden, um sicherzustellen, dass sich die modellierte Antenne tatsächlich im Freien und nicht im Innern des Gebäudes befindet.

Es gibt gegenwärtig (noch) keinen Datensatz mit 3D-Gebäudedaten der die ganze Schweiz mit genügender Genauigkeit abdeckt.

Der Datensatz Vector 25 von Swisstopo enthält einen Layer Gebäude und ist schweizweit verfügbar. Die Herkunft dieser Daten ist die digitalisierte Landeskarte 1:25000. Entsprechend sind die Gebäude (für die Darstellung auf der gedruckten Landeskarte) stark generalisiert, die Lagegenauigkeit beträgt nach Angaben von Swisstopo ca. 3 – 8 m. Damit ist Vector 25 zu ungenau, um für NIS-Simulationen verwendet zu werden, jedenfalls für solche von Mobilfunk-Sendern.

Der Gebäude-Datensatz von Vector 25 ist zweidimensional. Swisstopo bietet ebenfalls einen 3D-Datensatz Swissbuildings3D an. Dieser enthält alle Gebäude der Schweiz, modelliert als Box-Modell (flache Boxen). Swissbuildings ist verfügbar als vs. 1.0. Diese Version beruht auf den Gebäudeumrissen von Vector 25. Damit ist sie für ein NIS-Monitoring ebenfalls in den meisten Fällen zu ungenau.

Swisstopo plant ebenfalls einen Datensatz Swissbuildings3D vs. 2.0, als Teil des topographischen Landschaftsmodells TLM. Dieser soll wesentlich genauer werden (besser als 1 m) und auch die Dachformen berücksichtigen. Vorgesehen ist ein Produktions- und Erneuerungszyklus des Modells von 6 Jahren (wie für die Landeskarte). Erste Daten sollten ab 2012 verfügbar werden. Es ist aber nicht klar, ob dieser Zeitplan eingehalten werden wird, und Swisstopo will im Moment noch keine Aussagen dazu machen. Für ein NIS-Monitoring ist dieser Datensatz sicher der am besten geeignete, sobald er einmal verfügbar wird: Er ist homogen, genügend präzise, überdeckt die ganze Schweiz und wird regelmässig nachgeführt. Solange er aber noch nicht, oder noch nicht überall verfügbar ist, wird man sich mit anderen Lösungen behelfen müssen.

Eine mögliche Lösung ist die Modellierung der Gebäude aus Gebäudeumrissen der amtlichen Vermessung ergänzt um eine Höheninformation. Diese Höheninformation lässt sich z.B. ableiten aus Laser-Höhenmessungen oder aus der Anzahl Stockwerke pro Gebäude. Resultat ist ein Box-Modell der Gebäude. Für das NIS-Monitoring Zentralschweiz und für Qualifex und den NIS-Kataster Basel wurden und werden solche Gebäudedaten verwendet. Grundlage für die Höhendaten sind das Digitale Oberflächenmodell der amtlichen Vermessung (DOM-AV) bzw. die Gebäudezählung des BfS (Anzahl Stockwerke), da wo das DOM-AV nicht verfügbar ist. Für den Kanton Basel-Stadt konnte das sehr detaillierte 3D-Stadtmodell der Stadt Basel verwendet werden.

Je nach Art der Produktion sind die „Gebäude“ in den Modellen verschiedener Art. Bei photogrammetrischer Erfassung (Luftbilder) werden primär die Dächer erfasst. Die Wände werden dann senkrecht nach unten auf den Boden projiziert. Solche Gebäude sind also meist etwas zu gross (um den Dachvorsprung), was die Wände betrifft. Im Gegenzug erfasst die amtliche Vermessung nicht die Dächer, sondern die Grundrisse der Gebäude. In daraus modellierten Gebäuden sind also die Wände (meist¹) an der richtigen Position, aber vorstehende Dächer werden nicht berücksichtigt. Für ein NIS-Monitoring sind diese Unterschiede aber, zumindest in den ersten Phasen, kaum relevant².

Ein weiterer, wichtigerer Unterschied, der auch aus der Art der Erfassung entsteht, ist was als einzelnes „Gebäude“ betrachtet wird. In einer GIS-Datenbank ist ein „Gebäude“ als geometrisches Objekt abgespeichert, meist als Fläche oder als Punkt, seltener als 3D-Objekt. Die Fig. 5-3 zeigt dafür mehrere Möglichkeiten. Im Fall A sind die Gebäude 1 – 5 zu einem einzigen geometrischen Objekt mit einem gemeinsamen Umriss zusammengefasst. Im Fall B ist jedem der fünf Gebäude ein eigenes geometrisches Objekt zugeordnet. In C sind sie zwar mit dem gemeinsamen Umriss zusammengefasst, aber jedem einzelnen Gebäude ist zusätzlich ein Datenpunkt (möglicherweise mit Attributen zum Gebäude, und möglicherweise aus einer anderen Datenquelle) zugeordnet.

Diese Unterschiede sind nicht einfach datenbanktechnische Spitzfindigkeiten, sondern werden sehr relevant, wenn es z.B. darum geht, für ein Gebäude eine mittlere Immission zu berechnen und diesem zuzuordnen (siehe dazu auch das Beispiel aus SonBase in Abb. 26 von [9]).

Typische Beispiele für Fall A sind die Gebäude in Vector25, für Fall B die Gebäude in der amtlichen Vermessung, und für die Punkte in Fall C die Einträge im Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) des BfS. Das GWR ist eine Datenbank des BfS, in der sämtliche Gebäude der Schweiz enthalten sind, mit Attributen wie Koordinaten (als Punkt, wie in Fig. 5-3/C), Baujahr, Anzahl Stockwerke, Anzahl Wohnungen und anderem. Die Daten des GWR werden vierteljährlich aktualisiert.

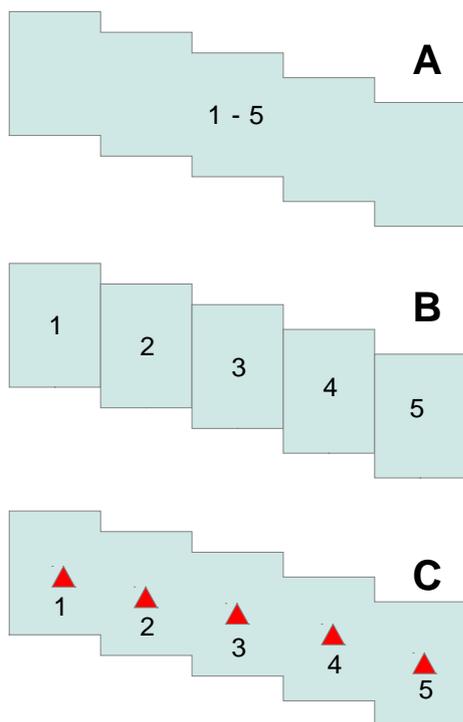


Fig. 5-3: Was gehört zum gleichen „Gebäude“. A: Der geometrische Umriss von Gebäude 1 – 5 ist als eine „Einheit“ eingezeichnet. B: Die Gebäude 1 – 5 sind einzeln eingezeichnet. C: Der geometrische Umriss von 1 – 5 ist als Fläche erfasst (wie in A). Zusätzlich ist jedem Gebäude ein Datenpunkt (rotes Dreieck) zugeordnet.

¹ Ausnahmen sind z.B. Gebäude mit unterschiedlich hohen Teilen innerhalb desselben Grundrisses.

² Ausnahmen sind auch hier einzelne Gebäude wie etwa das KKL in Luzern mit seinem weit ausragenden Dach, welches für das NIS-Monitoring Zentralschweiz separat erfasst wurde.

5.6.5 Volkszählungsdaten

Volkszählungsdaten sind notwendig um bevölkerungsgewichtete Mittelwerte der Immissionen zu bestimmen.

Bis 2000 wurde die Volkszählung vom BfS alle 10 Jahre durchgeführt. Seit 2010 wird sie nun jährlich aufgrund von Registerdaten aktualisiert. Die Volkszählungsdaten enthalten unter anderem die Anzahl der Bewohner pro Gebäude (aus dem Gebäudedatensatz des GWR).

Zwei Typen von Datensätzen sind verfügbar:

- Volkszählungsdaten pro Gebäude. Die Daten sind als Attribute den Punktkoordinaten im GWR zugeordnet. Aus Datenschutzgründen sind diese Daten nicht für jedermann zugänglich, für ein Monitoring des BAFU sind sie jedoch verfügbar, sie werden z.B. von SonBase verwendet. Aktualisierung ab 2010 jährlich.
- Volkszählungsdaten auf einem Hektarraster, als Teil von BfS-Geostat. Diese Daten sind problemlos zugänglich. Aktualisierungszyklus bisher 10 Jahre.

5.7 Instrumentarium

5.7.1 Ausbreitungsmodelle

Für die Ausbreitungsrechnung im HF-Bereich sind im Prinzip mehrere Ansätze möglich:

- Wellenausbreitungsmodelle, und
- strahlenoptische Modelle

Mit Wellenausbreitungsmodellen löst man die Maxwellgleichungen im dreidimensionalen Raum unter Berücksichtigung aller Quellen und Randbedingungen. Solche Modelle sind aber so aufwändig, dass sie sich für grossräumige Berechnungen nicht eignen. Strahlenoptische Modelle berücksichtigen die Ausbreitung entlang von geradlinigen Strahlen und die Interaktion der Strahlen mit allfälligen Hindernissen. Auch für strahlenoptische Modelle gibt es noch Modelle mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad, z.B.

- „Ray-Tracing“-Modelle und
- semiempirische Modelle

Ray-Tracing-Modelle verfolgen die Strahlenausbreitung von der Quelle zum Beobachter unter Berücksichtigung aller Reflexionen, Brechungen und Beugungen an Hindernissen. Mit Ray-Tracing Modellen können die Beiträge von verschiedenen Ausbreitungspfaden im Prinzip phasengerecht überlagert werden. Ray-Tracing Modelle werden z.T. in der Netzplanung für Mobilfunkanlagen verwendet. Sie sind aber ebenfalls sehr rechenintensiv und für grossräumige Simulationen mit vielen Sendern schlecht geeignet.

Semiempirische Modelle, z.B. von COST oder ITU arbeiten mit einfachen Abstandsgesetzen, welche aus Messungen abgeleitet und mit einfachen physikalischen Ansätzen kombiniert worden sind. Sie sind gut für grossräumige Simulationen geeignet und können sogar auch Effekte wie die Beugung an Geländekanten oder anderen Hindernissen näherungsweise berücksichtigen.

Für niederfrequente Felder ist die Ausbreitungsrechnung sehr einfach für Magnetfelder, die Lösungen der Feldgleichung können analytisch dargestellt werden. Sehr kompliziert ist hingegen die Lösung der Maxwellgleichungen für elektrische Felder. Sie bedingt die Lösung einer partiellen Differentialgleichung im dreidimensionalen Raum mit komplizierten Randbedingungen. Im allgemeinen Fall sind diese nur numerisch lösbar und entsprechend aufwändig.

5.7.2 Spezifische Anforderungen für die NIS-Modellierung

Immissionsmodellierungen für hochfrequente NIS haben viele Ähnlichkeiten mit anderen Immissionsmodellierungen, z.B. für Lärm. Daneben haben sie aber auch einige Besonderheiten, auf die in diesem Abschnitt eingegangen werden soll, mit Schwerpunkt auf Mobilfunk-Basisstationen.

Mobilfunk-Basisstationen sind Punktquellen, ihre Abstrahlung ist vor allem in der Vertikalen stark gerichtet. Die Antennen befinden sich meist in erhöhter Lage, z.B. auf Dächern, oft nahe an Dachkanten, oder auf Masten. Die Immissionen haben starke vertikale Gradienten. Immissionen sind sehr stark lokal geprägt durch die Lage relativ zum Hauptstrahl der nächstgelegenen Antenne(n) und Abschattung durch Gebäude und die Topografie. Die Immissionskarten zeigen ein räumlich sehr stark gegliedertes Fleckenmuster.

Im Unterschied dazu sind beim Lärm die Hauptquellen (Strassen- und Eisenbahnlärm) Linienquellen. Die Quellen befinden sich meist¹ in Bodennähe, die Abstrahlung erfolgt relativ ungerichtet und vertikale Gradienten sind viel kleiner als für NIS.

Dem entsprechend sind die Anforderungen für NIS-Modellierungen bezüglich Genauigkeit der Koordinaten von Quellen und Empfängerpunkten höher als für Lärmberechnungen. Für Auswertungen der Exposition in Gebäuden ist es notwendig, die NIS-Berechnung für mehrere Höhen durchzuführen und abzuspeichern. Beim Lärm (Beispiel SonBase) werden die Resultate nur schwach nach Quellen differenziert (typischerweise nach Strassen-, Bahn- und Fluglärm). Eine weitere Differenzierung ist die nach Tag/Nacht, eine Differenzierung nach Stockwerken in Gebäuden ist zwar vorgesehen, aber noch nicht durchgeführt worden.

Für das NIS-Monitoring wird vom BAFU eine Differenzierung nach Frequenzbändern bzw. Funkdiensten verlangt. Bei einem Dutzend oder mehr relevanten Funkdiensten erhöht dies zwar nicht den Aufwand für die Berechnung, wohl aber die abzuspeichernde und auszuwertende Datenmenge. Sinnvoll ist auch bei NIS eine Differenzierung nach Tag/Nacht, und unerlässlich ist auch eine vertikale Differenzierung innerhalb von Gebäuden.

5.7.3 Anpassung für neue Quellen

Die Entwicklung des Mobilfunks ist äusserst dynamisch, neue Technologien werden in rascher Folge eingeführt. Das Simulationsmodell muss solche neuen Technologien ebenfalls berücksichtigen oder gegebenenfalls dafür angepasst werden können.

Dies ist einfach, solange sich die Abstrahlungscharakteristik der neuen Quellen durch ein Antennendiagramm beschreiben lassen. Allenfalls müsste man dann nur noch die semiempirischen Algorithmen für ein neues Frequenzband ergänzen oder anpassen.

Komplizierter wird es, wenn bei „Smart-Antennas“ die Abstrahlungscharakteristik zeitlich veränderlich ist. Für solche Antennen müsste man zuerst abklären, ob und wie sich die Verteilung der abgestrahlten Leistung im Raum als empirischer Mittelwert darstellen lässt. Dafür müssten Messungen gemacht und Daten von den Betreibern zur Verfügung gestellt werden.

5.8 Resultate und Auswertungen

5.8.1 Metrik

Zu modellieren sind grundsätzlich der Effektivwert der elektrischen Feldstärke oder magnetischen Flussdichte (Vorgabe BAFU). Mögliche Resultate sind deshalb

- Magnetische Flussdichte für NF-Felder (z.B. Hochspannungsleitungen)
- Elektrische Feldstärke für NF-Felder
- Elektrische Feldstärke für HF-Felder (im Fernfeld stehen elektrische Feldstärke und magnetische Flussdichte in einem festen Verhältnis zueinander)

Signifikante elektrische Feldstärken (relativ zum Immissionsgrenzwert) treten nur bei 380 kV-Freileitungen auf und sind auf sehr schmale Bereiche unterhalb der Leitungen beschränkt. Ihre Berechnung ist sehr aufwändig und kaum sinnvoll. Sinnvoll ist hingegen die Berechnung der magnetischen Flussdichte für NF-Felder und der elektrischen Feldstärke für HF-Felder.

Resultate der Simulation sind grundsätzlich Langzeit-Mittelwerte, z.B. Jahresmittelwerte. Diese können allenfalls noch nach Tag/Nacht differenziert werden. Für HF-Immissionen sind die Resultate zusätzlich lokale räumliche Mittelwerte, gemittelt über mehrere Wellenlängen eines allfällig vorhandenen lokalen Interferenzmusters.

Die Immissionen lassen sich weiter nach Quellengruppen bzw. Technologien differenzieren:

Für NF:

- 16.7 Hz bzw. 50 Hz

¹ Ausnahmen sind z.B. Strassen und Bahnen auf Brücken oder Dämmen.

Für HF:

- Nach Frequenzbändern und Funkdiensten, z.B. UKW, DAB, DVB, Tetra, Tetrapol, und GSM, UMTS, LTE downlink (jeweils für die Frequenzbänder 800, 900, 1800, 2100, 2600, etc.) und gegebenenfalls weitere, je nach Entwicklung der Technologien.

Die Berechnungen erfolgen sinnvollerweise für 1 m über Grund (NF) bzw. 1.5 m über Grund (HF) für Punkte im Freien. Im Innern von Gebäuden muss für mehrere Höhen berechnet werden, z.B. ein Punkt alle 2.5 m oder ein Punkt pro „Stockwerk“ (also ca. alle 2.8 m, wobei die Höhe der einzelnen Stockwerke im Einzelfall nicht bekannt ist, sondern wieder nur Durchschnittswerte verwendet werden können).

Wie schon im letzten Abschnitt erwähnt, erhöht die Differenzierung nach Quellen zwar nicht den Rechenaufwand, wohl aber das erzeugte Datenvolumen. Anders für die vertikale Differenzierung in Gebäuden: Hier steigen sowohl der Rechenaufwand wie auch das produzierte Datenvolumen proportional zur vertikalen Auflösung.

Im Weiteren sind zwei Arten von Resultaten möglich:

- Flächendeckende Berechnungen auf einem fixen Raster.
- Berechnung von Werten pro Gebäude bzw. pro Stockwerk oder Höhe in Gebäuden (z.B. räumliche Mittelwerte oder Maxima).

Für Rasterkarten muss lediglich noch die gewünschte Auflösung vorgegeben werden (z.B. 5 m wie im NIS-Monitoring Zentralschweiz oder 10 m wie in SonBase).

Für die Berechnung in Gebäuden muss definiert werden, für welche Punkte gerechnet werden soll und wie man daraus ein Resultat aggregiert. Für SonBase wird z.B. ein Punkt pro Fassade berechnet (ev. mehrere Punkte für lange Fassaden), pro Gebäude wird davon der höchste Wert ausgewählt. Für Qualifex wurden räumliche Mittelwerte rund um einen Koordinatenpunkt (entsprechend einem der Dreiecke in Fig. 5-3 c) berechnet (für einen Raster mit 1 m Auflösung beschränkt auf das Gebäudeinnere und einen Kreis mit 5 m Radius um den Punkt). Weitere Möglichkeiten wären z.B. die Mittelung auf einem Raster für ein einzelnes Gebäude.

Vorteil einer Berechnung für Punkte auf der Fassade ist, dass sie unabhängig von allfälligen (schlecht bekannten) Gebäudedämpfungen berechnet werden können. Sie scheint auch gut geeignet für die Bestimmung eines Maximalwerts. Umgekehrt sind über die Fläche gemittelte Werte eher repräsentativ für die mittlere Belastung in einem Gebäude.

Die Methodik der Aggregation über Punkte im Innern von Gebäuden muss zu Beginn der Realisierung eines NIS-Monitorings erst noch definiert werden. Dabei muss auch berücksichtigt werden, wie die „Gebäude“ geometrisch definiert sind (Fig. 5-3), wie viel Rechenaufwand betrieben werden soll und wie viel Aufwand man gegebenenfalls noch in ein „Preprocessing“ der Gebäudedaten zu stecken bereit ist. Die Art der Differenzierung muss im Berechnungsmodell implementiert werden. Möglicherweise wäre es sinnvoll, die verschiedenen Optionen in einer Pilotphase des Monitorings zu evaluieren.

5.8.2 Aktualisierung

Relevant für die Definition des Aktualisierungsintervalls sind die Zeiträume, über die sich die relevanten Technologien, Infrastrukturen und deren Benutzung ändern. Sinnvoll scheint ein Aktualisierungszeitraum von ca. einem Jahr (wie z.B. im NIS-Monitoring Zentralschweiz).

Für Qualifex wurden für verschiedene Erhebungen Aktualisierungen mit Intervallen von einigen Monaten durchgeführt. Möglicherweise wäre es sinnvoll, die Grundlagedaten (BAKOM-Senderdaten) in kürzeren Intervallen zu archivieren, so dass gegebenenfalls ein Zustand zu einem ganz bestimmten Zeitpunkt simuliert werden kann, wenn dazu ein Bedarf entstehen sollte.

Der Aufwand für die Aktualisierung ist nicht indirekt proportional zur Länge des Aktualisierungsintervalls, jedenfalls nicht, wenn wie für das NIS-Monitoring Zentralschweiz oder das Pilotprojekt für Hochspannungsleitungen der Aufwand für die Datenerfassung den für die Berechnung dominiert. Bei einem längeren Intervall sind dann nämlich auch entsprechend mehr neue und geänderte Anlagen zu erfassen und gegebenenfalls zu verifizieren.

Ebenfalls vorzusehen ist ein Aktualisierungszyklus für die Gebäudedaten. Dieser ist im Prinzip vorgegeben durch den Aktualisierungszyklus für das topographische Modell von Swisstopo (6 Jahre).

5.8.3 Auswertungen

Die Resultate der Simulation (vgl. 5.8.1) sind punktbezogene Feldstärken für bestimmte Frequenzen/Frequenzbänder und Technologien. Diese lassen sich in vielerlei Hinsicht auswerten und mit anderen Daten kombinieren, z.B. als

- flächenbezogene Durchschnittswerte und Verteilungsfunktionen,
- bevölkerungsgewichtete Exposition, durch Kombination mit Volkszählungsdaten; Verteilungsfunktion dieser Exposition,
- relative Anteile der verschiedenen Quellengruppen an diesen flächenbezogenen oder bevölkerungsgewichteten Expositionen,
- zeitliche Trends der Immissionen, bezüglich der Gesamtheit und einzelner Quellengruppen,
- Vergleich der simulierten Immissionen mit Resultaten von Validierungs- und Exposimetermessungen,
- räumliche Unterschiede der Immissionen bezüglich verschiedener/verschiedenartiger Gebiete

Da (fast) alle Resultate raumbezogen sind, erfolgt die Datenhaltung und Auswertung sinnvollerweise in einem Geografischen Informationssystem (GIS). Dabei wäre es natürlich von Vorteil, wenn in diesem GIS nicht nur die Daten und Resultate der Simulation, sondern auch der anderen Module des NIS-Monitoring abgelegt wären, z.B. die Resultate der Exposimetermessung.

5.8.4 Homogenität von Zeitreihen

Mit einer systematisch durchgeführten und aktualisierten Simulation ist es möglich, die zeitlichen Veränderungen der NIS-Immissionen relativ präzise zu dokumentieren. Zeitliche Änderungen in den HF-Immissionen ergeben sich hauptsächlich durch den Bau neuer Antennen und durch Änderung der Sendeleistungen, allenfalls der Senderichtungen und der Auslastungsfaktoren. Wenn diese Daten präzise genug erfasst werden, ist es möglich, auch zeitliche Veränderungen aufzuzeigen, die kleiner sind als die Genauigkeit der Simulation. Bedingung dafür ist, dass die beiden Berechnungen in konsistenter Weise durchgeführt werden und keine systematischen Veränderungen durch das Simulationsmodell selbst eingeführt werden.

Dies wird aber nicht immer in allen Fällen möglich sein. Die Simulation für ein NIS-Monitoring hat Pioniercharakter. Es gibt keine Referenzmodelle oder fixe Regeln, und die Erfahrung für die Simulation muss mit dem NIS-Monitoring erst erarbeitet werden. Es ist also damit zu rechnen, dass im Lauf der Zeit die Rechenregeln verbessert, Modellparameter angepasst und falsche oder fehlende Daten korrigiert oder ergänzt werden. Damit erhält man dann aber Modellresultate, die nicht mehr direkt mit den vorherigen vergleichbar sind. Es wird deshalb in vielen Fällen notwendig sein, die älteren Resultate mit dem verbesserten Modell nochmals zu berechnen, oder zumindest die Zeitreihen anzupassen, um Brüche zu vermeiden.

Ähnliche Inhomogenitäten werden auch erzeugt durch andere Daten, welche nur in längeren Intervallen (als die Simulation) aktualisiert werden. Beispiele dafür wären die Volkszählungsdaten von Geostat, welche nur alle 10 Jahre aktualisiert werden, oder die Gebäudedaten, wenn diese nach dem Zyklus von Swisstopo für SwissBuildings3D und das DOM/AV (6 Jahre) aktualisiert werden.

Es wäre nützlich, für die Simulation des NIS-Monitorings genügend Ressourcen einzuplanen, damit solche Neuberechnungen und Datenhomogenisierungen möglich sind.

5.8.5 Daten-Archivierung

Da (fast) alle Resultate raumbezogen sind, erfolgt die Datenhaltung und Archivierung am sinnvollsten in einem Geografischen Informationssystem (GIS), am besten natürlich dem gleichen, das auch für die Auswertungen verwendet wird. Um die anfallende grosse Datenmenge, die im Lauf der Zeit stetig wachsen wird, verwalten zu können, muss dieses GIS über eine leistungsfähige Geodatenbank verfügen.

Das Simulationsmodell und die Geodatenbank müssen so aneinander angepasst sein, dass die Resultate der Simulation in die Geodatenbank importiert werden können. Dafür sind zumindest zu Beginn keine ausgeklügelten Software-Integrationen notwendig, es genügt, wenn standardisierte Datenformate verwendet werden, mit denen der Datenaustausch durchgeführt werden kann.

Wie schon in Abschnitt 5.8.3 erwähnt, wäre es natürlich sinnvoll, für die Archivierung der Simulation und beispielsweise der Exposimetermessungen dieselbe Geodatenbank zu verwenden.

5.8.6 Zusammenarbeit mit SonBase

Das Projekt SonBase [9], [10] ist bereits in Abschnitt 5.2 kurz beschrieben worden. Die Infrastruktur von SonBase besteht im Prinzip aus drei Teilen

1. Dem Lärmberechnungsmodul, mit einem Rechnerpool von 16 PCs
2. Einer Oracle (Geo-)Datenbank
3. Einem GIS, welches das Lärmberechnungsmodul steuert, die Daten verwaltet und für Auswertungen verwendet wird.

Diese Infrastruktur befindet sich beim BIT und wird von diesem betreut.

Von Seiten der Abteilung Lärmschutz am BAFU, welche SonBase betreibt, existiert ein Interesse an einer Zusammenarbeit mit einem allfälligen NIS-Monitoring, da sich dadurch Ressourcen gemeinsam nutzen liessen. Dies betrifft die Punkte 2 und 3 in der obigen Liste. Diese decken sich praktisch 1:1 mit dem, was auch für das NIS-Monitoring benötigt wird. Insbesondere liessen sich auch die umfangreichen Geodaten und Statistikdaten gemeinsam nutzen (Terrainmodelle, Gebäude, Volkszählung) welche von beiden Projekten benötigt werden.

In der obigen Liste müsste lediglich das Lärmberechnungsmodul ersetzt werden durch ein NIS-Berechnungsmodul, evtl. liesse sich sogar derselbe Rechnerpool nützen (Rechnerhardware ist in einem solchen Monitoring-Projekt allerdings kein treibender Kostenfaktor).

5.9 Qualitätskontrolle und Modellvalidierung

Eine NIS-Simulation beruht auf zahlreichen vereinfachenden Modellannahmen und benötigt Modellparameter. Ob diese Annahmen zutreffend und die Parameterwerte richtig gewählt sind, lässt sich im Prinzip erst im Nachhinein feststellen. Dafür muss das Modell an Messungen validiert und kalibriert werden.

5.9.1 Kalibrierungsdaten und –messungen

Einer der Eingabeparameter für die Simulation von HF-Immissionen ist das Verhältnis der mittleren zeitlichen Sendeleistung zur an der Antenne eingestellten Betriebsleistung (ERP). Diese Auslastungsfaktoren (siehe auch 5.6.1) können Werte zwischen null und eins annehmen. Auslastungsfaktoren sind a priori nicht bekannt. Sie sind im Prinzip für jede Funkzelle verschieden und verändern sich mit der Zeit. Für die Simulation werden deshalb Durchschnittswerte benötigt.

Dafür braucht man Daten der Netzbetreiber mit Tagesprofilen der ERP für verschiedene Funkzellen und verschiedene Technologien. Daraus lassen sich dann Auslastungsfaktoren bestimmen, unter Umständen auch noch klassiert nach Standorttypen oder ähnlichem.

Ein anderer schlecht bekannter Parameter der Simulation ist die Gebäudedämpfung. Auch dies ist ein Parameter, der in der Simulation nur als statistischer Mittelwert verwendet werden kann, allenfalls differenziert nach Gebäudeklassen und Baujahr. Solche Faktoren wurden in Qualifex bestimmt, durch Vergleich der gemessenen Feldstärken in Innenräumen mit den Feldstärken vor dem geöffneten Fenster. Eine Vergrößerung der Datenbasis für diese Dämpfungsfaktoren wäre aber sicher sehr nützlich.

Modelle für NF-Immissionen durch Magnetfelder sind weniger auf solche empirischen Parameter angewiesen: Einerseits benötigt man für das Modell keine Auslastungsfaktoren, wenn man direkt die aufgezeichneten Lastflüsse zur Verfügung hat, und andererseits werden Magnetfelder durch Gebäude und andere Hindernisse kaum gedämpft.

5.9.2 Validierungsmessungen

Validierungsmessungen sind notwendig, um die Qualität der Simulation zu bestimmen. Ohne Validierung kann die Simulation keine relevanten Aussagen machen. Alle bisher durchgeführten NIS-Simulationen (Zentralschweiz, Qualifex, NIS-Kataster BS) wurden mit Messungen validiert. Die Resultate sind ziemlich konsistent (auch von Jahr zu Jahr im NIS-Monitoring Zentralschweiz). Als Mass für die Unsicherheit der Simulation

kann man die quadratisch gemittelte (relative) Abweichung von Modell und Messung in dB verwenden¹. Für die zehn bisher durchgeführten Validierungskampagnen in der Region Basel und in der Zentralschweiz lag diese mittlere quadratische Abweichung für die Summenfeldstärke bei etwa 3 bis 4 dB, entsprechend einer Unsicherheit im Bereich von -40 % bis +60 % bezüglich der Feldstärke. Für einzelne Funkdienste ist die Unsicherheit höher als für das Summenfeld, mit deutlicheren Unterschieden zwischen den Validierungskampagnen und zwischen Funkdiensten. Diese Aussagen, wie alle Aussagen über die Genauigkeit der Simulation, sind Aussagen bezüglich des statistischen Mittels. An Einzelpunkten können im Prinzip beliebig grosse Abweichungen auftreten (etwa wenn an einem Punkt neben einer Anlage, die im Modell fehlt, gemessen wird).

Bei all diesen Validierungsmessungen wurde ein berechneter zeitlicher Mittelwert (für Tagesstunden) verglichen mit Momentanmessungen eines zeitlich variablen Signals. Man muss deshalb von vornherein mit einer erheblichen Streuung der Differenzen Modell minus Messung rechnen. Dies lässt sich aber kompensieren, wenn man für die Validierung eine genügend hohe Anzahl von Messpunkten verwendet. In den oben erwähnten Validierungen wurden jeweils je ca. 100 bis 200 Messpunkte verwendet (z.T. sogar noch mehr).

Die Auswahl der Punkte erfolgte relativ zufällig, aber so, dass möglichst Messungen unter unterschiedlichen Bedingungen zustande kamen. Meist wurde in der Nähe eines Orts eine ganze Gruppe von etwas verteilten Punkten gemessen.

Die frequenzselektive Messung erfolgte mit einem NARDA-SRM3000 Messgerät im RMS-Modus. Aufgezeichnet wurden die über die ausgewählten Frequenzbänder integrierten elektrischen Feldstärken. Weil in den relativ breiten gemessenen Frequenzbändern das Rauschen des Empfängers bei schwachen Signalen schon einen nicht-vernachlässigbaren Beitrag liefern kann, wurde auch das Rauschen des Messgeräts vorgängig bestimmt. Dieses Rauschen wurde dann für den Vergleich mit der Simulation von den Messwerten abgezogen.

Eine wichtige Information zu den Validierungsmessungen sind die Koordinaten des Messpunkts. Diese lassen sich entweder mit GPS bestimmen oder durch exaktes Protokollieren der Messpunkte auf einem kleinmassstäblichen Situationsplan und Georeferenzierung in einem GIS. Mit GPS lassen sich die Koordinaten unter guten Bedingungen (freies Sichtfeld nach oben in alle Richtungen) auf einige Meter genau bestimmen. Diese Genauigkeit ist in den meisten Fällen genügend. Nicht genügend genau ist GPS hingegen in Strassenschluchten, wo meist nicht genügend viele GPS-Satelliten sichtbar sind. Dort sollte eine bessere Methode zur Bestimmung der Koordinaten verwendet werden. Die Anforderung an die Genauigkeit der Koordinaten bestimmt sich aus dem Abstand des Messpunkts zur nächsten Anlage bzw. zu einer allfälligen (Funk)-Schattengrenze. Je kleiner dieser Abstand, umso genauer sollten auch die Koordinaten bestimmt werden.

An diesem Punkt soll noch erwähnt werden, dass bei einer Validierungsmessung auf Strassenniveau die nächstgelegene Anlage durchaus auch eine Picozellenantenne auf einer Telefonkabine oder an einer Fassade sein kann. Auch wenn solche Picozellen nur wenig zur Gesamtexposition beitragen, könnten sie zu Problemen bei der Validierung führen, wenn sie in der Simulation nicht berücksichtigt sind.

Für Qualifex wurde eine Messmethode zur Bestimmung von räumlich gemittelten Messwerten entwickelt, die sogenannte Sieben-Punkt-Methode. Diese Methode dient zur robusten Bestimmung von Messwerten auch bei Vorhandensein von räumlichen Interferenzmustern in Innenräumen. Die Sieben-Punkt-Methode zur Messung in einem Innenraum funktioniert wie folgt: Die ersten drei Messungen erfolgen im Mittelpunkt des Raums, je für 1.1, 1.5 und 1.7 m über Boden. Anschliessend misst man an vier Punkten auf 1.5 m Höhe, je 1 m entfernt vom Mittelpunkt in Richtung der Ecken des Raums. Als Messwert wird der arithmetische Mittelwert aus den 7 Messungen verwendet. Dieselbe Methode lässt sich auch im Freien verwenden. Anstelle der Richtungen zu den Ecken verwendet man dann die vier Himmelsrichtungen.

5.9.3 Vergleich mit Exposimetermessungen

Ein Vergleich der Simulation mit Resultaten der Exposimeter ist möglich für Frequenzbänder, die sowohl in der Simulation berechnet wie auch vom Exposimeter gemessen werden, und zwar überall da, wo den Exposimetermessungen eine Koordinate zugeordnet werden kann, also z.B. für Messungen am Wohn- oder Arbeitsort oder auf einem örtlich bestimmten Parcours.

Dadurch erhält man sehr viele zusätzliche Messpunkte für die Validierung, vor allem auch solche in Innenräumen. Ein Vorteil der Exposimeter gegenüber Messungen mit einem Spektrometer ist der geringere Aufwand für die Messung (die Exposimetermessungen werden ja sowieso gemacht), ein Nachteil ist die relativ hohe Nachweisgrenze des Exposimeters im Vergleich zum Spektrometer.

¹ D.h. die Wurzel aus dem Mittelwert der Quadrate von $20 [\log E(\text{Modell}) - \log E(\text{Messung})]$. Die Mittelung erfolgt über alle Messpunkte. E bezeichnet die elektrische Feldstärke, $20 \log E$ den Pegel der elektrischen Feldstärke (in dBV/m wenn E in V/m angegeben wird).

Vorbedingung für solche Vergleiche ist, dass die Exposimetermessungen im Modellgebiet der Simulation liegen.

5.10 Aufwandschätzung

Der Aufwand für die Simulation lässt sich anhand der in Abschnitt 5.2 beschriebenen Beispiele grob abschätzen.

Der Erfassungs-Aufwand für die Simulation der HF-Strahlung steigt proportional zur der Anzahl berücksichtigter Antennen und Gebäude. Der Aufwand für die Berechnung steigt ebenfalls proportional zur Anzahl berücksichtigter Antennen, stärker als proportional zur Anzahl berücksichtigter Gebäude und proportional zur Anzahl Berechnungspunkte (Pixel oder Punkte in Gebäuden).

Die Simulation für das NIS-Monitoring Zentralschweiz überdeckt ca. einen Zehntel der Schweiz (bez. Fläche und Bevölkerung). Der Aufwand für die jährliche Aktualisierung der Simulation beträgt ca. drei Arbeitswochen, und etwa gleichviel wird für die Auswertung benötigt. Die Rechenzeit für die jährliche Aktualisierung beträgt ebenfalls ca. 3 Wochen auf einem Dual-Core Prozessor.

Je nach der Grösse des Modellgebiets für das NIS-Monitoring Schweiz, bzw. der Anzahl Bewohner in diesem Gebiet, lässt sich daraus der Aufwand für die Simulation abschätzen. Für die Ersterfassung des Modells ist mit einem mehrfachen des Aufwands für die jährliche Aktualisierung zu rechnen.

Der Aufwand für die Simulation von NF-Feldern von Hochspannungsleitungen wurde in [6] abgeschätzt. Er ist in erster Näherung proportional zur Stranglänge der Leitungen im Modellgebiet. Der Aufwand für die Simulation wird dominiert durch den Aufwand für die Ersterfassung der Leitungsdaten. Für eine Leitung von 31 km Länge mit zwei Strängen wurde der Aufwand für die Ersterfassung im Nachhinein auf ca. 5 bis 6 Stunden geschätzt.

5.11 Literatur

- [1] Wuschek, M., Bürgi, A., Woveries K. und Joos N. (2009). Projekt NIS-Monitoring Zentralschweiz: Erfassung der Exposition der Bürger gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Forschungsgemeinschaft Funk, *FgF Newsletter*, **4/2009**, 17-23.
- [2] Bürgi, A. (2005). Pilotprojekt Immissionskataster Hochfrequenzstrahlung. Bericht für das Lufthygieneamt beider Basel und das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- [3] Bürgi, A. (2011). NIS-Monitoring Zentralschweiz. Auswertungen 2010/2011. Bericht für das Projekt NIS-Monitoring Zentralschweiz. 45 pp.
- [4] Bürgi, A., Theis, G., Siegenthaler, A., und Rösli, M. (2008). Exposure modelling of high frequency electromagnetic fields. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol*, **18**(2), 183-191.
- [5] Bürgi, A., Frei, P., Theis, G., Mohler, E., Braun-Fahrländer, C., Fröhlich, J., Neubauer, G., Egger, M. und Rösli M. (2010). A model for radiofrequency electromagnetic field predictions at outdoor and indoor locations in the context of epidemiological research, *Bioelectromagnetics*, **31**(3), 226-36.
- [6] Bürgi, A: Immissionskataster für niederfrequente Magnetfelder von Hochspannungsleitungen – Machbarkeits- und Pilotstudie. Bericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU. 84 pp., 2011. Internet: <http://www.bafu.admin.ch/elektrosmog/01079/01080/index.html>
- [7] Neitzke, H.-P., Osterhoff, J., Peklo, K. und Voigt, H. (2007). Determination of exposure due to mobile phone base stations in an epidemiological study. *Radiat Prot Dosimetry*, **124**(1), 35-39.
- [8] Breckenkamp, J., Neitzke H.P., Bornkessel, C. und Berg-Beckhoff, G. (2008). Applicability of an exposure model for the determination of emissions from mobile phone base stations. *Radiat Prot Dosimetry*, **131**(4), 474-481.
- [9] BAFU (2009). SonBase – die GIS-Lärmdatenbank der Schweiz. Grundlagen. Umwelt-Wissen Nr. 0908. Bundesamt für Umwelt, Bern. 61 pp.

- [10] BAFU (2009). Lärmbelastung in der Schweiz. Ergebnisse des nationalen Lärmmonitorings SonBase. Umwelt-Zustand Nr. 0907. Bundesamt für Umwelt, Bern, 62 pp.
- [11] Huss, A., Spoerri, A., Egger, M. und Rösli, M. (2009). Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: Longitudinal study of the Swiss population. *American Journal of Epidemiology*, **169**(2), 167-175.

6. Exposimetrie

6.1 Ziele

Ziel dieses Moduls ist zu evaluieren, ob und allenfalls wie personenbezogene Messungen mit tragbaren Messgeräten (Exposimetern) im Rahmen eines Monitorings eingesetzt werden können. Es werden verschiedene Variantenvorschläge für die Durchführung von Exposimetermessungen im Rahmen eines Monitorings vorgestellt und ihre Vor- und Nachteile erörtert. Dabei werden folgende offenen methodischen Fragen bearbeitet:

- Messtechnische Anforderungen und Qualitätskontrollen inkl. Kalibrierung
- Evaluation verschiedener Dosimeterkonzepte (bestehende Exposimeter, smartphonebasierte Exposimeter, etc.)
- inhärente Messunsicherheit: Umgang mit körpernahen Quellen, Abschirmung der Felder durch den eigenen Körper
- Stichprobenkonzept und die Frage der Repräsentativität
- praktische Durchführung der Erhebung inkl. Probandenrekrutierung, Instruierung und Datenaufarbeitung
- Abklären, welche zusätzlichen Daten von Probanden erhoben werden sollen
- Identifizierung und Umgang mit möglicher Non-Compliance bei Probanden

6.2 Einführung

6.2.1 EMF-Messungen mit Exposimetern: Vorteile

Der Vorteil von Messungen mit tragbaren Exposimetern ist, dass man die Strahlenbelastung im Alltag messen kann, also dort, wo sich Leute normalerweise aufhalten. Solche Messungen können also das Verhalten der Leute miteinbeziehen und es wird dadurch eine realistische Exposition gemessen. Insbesondere im Hochfrequenzbereich sind solche Messungen relevant, weil die Belastung sich kleinräumig ändern kann. Exposimeter ermöglichen es auch, nicht fix installierte Quellen wie W-LAN, Schnurlostelefone oder die Emissionen von Mobiltelefonen anderer Leute zu messen. Ein grosser Vorteil ist, dass man innerhalb von kurzer Zeit eine Vielzahl von Messungen an verschiedenen Orten erheben kann (Messintervall im Sekundenbereich). Aufgrund dieser grossen Datenmenge haben Ungenauigkeiten in einzelnen Messungen wenig Einfluss auf das Gesamtergebnis (solange Messwerte nicht systematisch unter- oder überschätzt werden). Ausserdem ist nicht bekannt, welcher Parameter der Exposition relevant für Gesundheitseffekte ist (wenn überhaupt). Es könnte die mittlere Exposition, aber auch die Exposition über einem gewissen Schwellenwert oder die Schwankungen in der Stärke der Exposition (Variabilität) sein. All diese Parameter können anhand der Messungen mit Exposimetern evaluiert werden.

6.2.2 EMF-Messungen mit Exposimetern: Nachteile

Ein Nachteil von EMF-Messungen mit Exposimetern ist, dass sie die Exposition durch körpernahe Quellen sowohl im Hoch- wie auch Niederfrequenzbereich nicht verlässlich messen können. Bei körpernah benutzten Quellen hängt der gemessene Wert stark von der Distanz zwischen Messgerät und Quelle ab. Expositions- und dosisrelevant sind die Position der Quelle am Körper und ihre Distanz zum Körper. Aus diesem Grund kann von einem gemessenen Expositionswert nicht direkt auf die Dosis geschlossen werden. Bei Expositionen durch Fernfeldquellen, wo die Feldverteilung relativ homogen ist, stellt sich dieses Problem nicht. Jedoch ist die Körperabschirmung zu beachten, wenn das Messgerät am Körper getragen wird. Insbesondere Hochfrequenzstrahlung oder das niederfrequente elektrische Feld werden vom Körper absorbiert, so dass auf der quellenabgewandten Seite eine geringere Belastung gemessen wird (mehr dazu in Kapitel 6.3.2).

Besondere Beachtung ist auch der Messgenauigkeit von Exposimetern zu schenken. Um die Geräte klein und robust zu machen, sind Kompromisse in Bezug auf die Messgenauigkeit fast unvermeidlich. Im Hochfrequenzbereich ist das Übersprechen benachbarter Bänder kritisch, da viele Bänder sehr nahe beieinander liegen. Zum Beispiel grenzt das GSM Basisstationsfrequenzband (1805 - 1880 MHz) direkt an das DECT-Schnurlostelefonband (1880 - 1900 MHz).

Die Sensitivität von Exposimetern ist im Allgemeinen nicht sehr hoch, so dass tiefe Expositionswerte nicht gemessen werden können. Diesbezüglich ist aber eine Verbesserung in Zukunft zu erwarten und Erfahrungen haben gezeigt, dass mit geeigneten statistischen Methoden die Mittelwerte zuverlässig abgeschätzt werden können.

Ein inhärentes Problem von Magnetfeldmessungen im tiefen Frequenzbereich (z.B. 16 $\frac{2}{3}$ Hz Bahnstrom) ist, dass die Messung gestört wird, wenn das Messgerät schnell im Erdmagnetfeld bewegt wird.

Im Umgang mit Probanden ist zu beachten, dass die Datenqualität beeinträchtigt sein kann durch eine schlechte „Compliance“ oder durch gezielte Manipulierung der Messung, indem das Gerät gezielt quellennah oder -fern platziert wird (siehe Kapitel 6.5.1).

6.3 Bestehende Erfahrungen

Im Rahmen verschiedener Projekte konnte die Arbeitsgruppe von Prof. Martin Röösl am Schweizerischen Tropen- und Public Health Institut bereits viele Erfahrungen in Bezug auf Messungen der elektromagnetischen Strahlenbelastung mittels Exposimetern sammeln. Die meisten Projekte beziehen sich auf die Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) (Kapitel 6.3.1 – 6.3.3), es wurden aber auch bereits Erfahrungen mit der Messung von niederfrequenten magnetischen Feldern (NF-MF) gesammelt (Kapitel 6.3.4 - 6.3.5).

6.3.1 QUALIFEX

Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms 57 (Nichtionisierende Strahlung, Umwelt und Gesundheit) wurde zwischen 2007 und 2010 die epidemiologische Studie QUALIFEX (Gesundheitsbezogene Lebensqualität und Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern: Eine prospektive Kohortenstudie) durchgeführt. Im QUALIFEX Projekt wurde der Frage nachgegangen, wie stark die Bevölkerung im Alltag gegenüber HF-EMF ausgesetzt ist und ob es einen Zusammenhang zwischen der Exposition und unspezifischen Beschwerden, wie z.B. Kopfschmerzen oder Schlafstörungen gibt [2 - 5, 12, 13, 17]. Das QUALIFEX Projekt war weltweit eines der ersten Projekte überhaupt, in dem tragbare Messgeräte für die Messung des Hochfrequenzbereichs eingesetzt wurden. Da im Allgemeinen noch wenig Erfahrung mit dem damals neuartigen SATIMO EME SPY 120 gesammelt worden war, wurde in QUALIFEX viel Energie in die Überprüfung der Geräte gesteckt (siehe auch Kapitel 6.3.2).

Die persönliche Strahlenbelastung wurde bei 166 Studienteilnehmern über den Zeitraum einer Woche gemessen. Die Teilnehmer füllten dabei ein Aktivitätstagebuch aus, das in die Bereiche „zu Hause“, „Arbeitsplatz“, „Unterwegs“, und „Sonstiges“ eingeteilt war (zu jedem dieser Bereiche gab es auch noch feinere Kategorien). Ausserdem sollten die Studienteilnehmer notieren, wann sie ein Mobil- oder Schnurlostelefon benutzten. Um möglichst die ganze Bandbreite von möglichen Expositionssituationen abzudecken, wurde ein Teil der Studienteilnehmer, die entweder in der Nähe einer Mobilfunkbasisstation oder eines Rundfunksenders wohnten, telefonisch angefragt, ob sie an der Studie teilnehmen möchten. Die restlichen 131 Studienteilnehmer waren mehr eine Art nicht-spezial ausgewähltes „Convenient Sample“, vorwiegend Personen, die sich über unsere Homepage für die Teilnahme anmeldeten. Durch die Rekrutierung motivierter Studienteilnehmenden sollte sichergestellt werden, dass eine hohe Datenqualität erzielt werden konnte, da die Teilnahme für die Probanden ziemlich aufwändig war. Im Durchschnitt lag die mittlere wöchentliche Exposition weit unter den in der Schweiz geltenden Grenzwerten (Fig. 6-1). Mobiltelefone (anderer Personen), Mobilfunkantennen und Schnurlostelefone (ohne eigene Nutzung) stellten im Mittel die wichtigsten Expositionsquellen im Alltag dar.

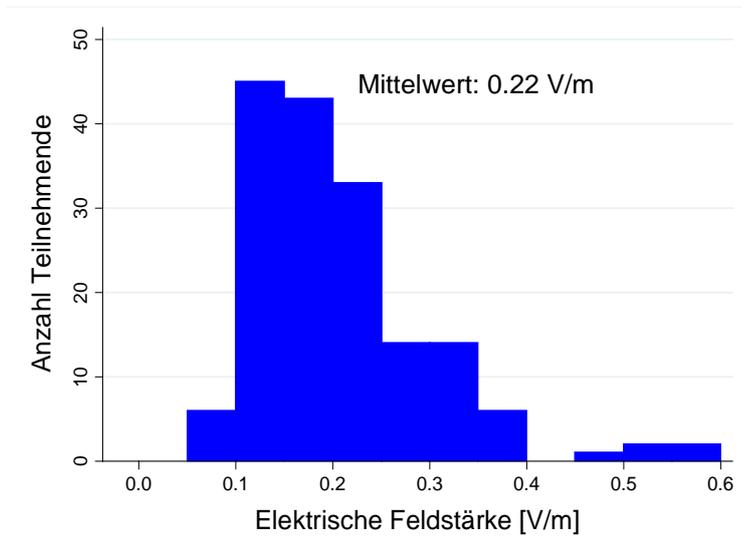


Fig. 6-1: Verteilung der mittleren wöchentlichen Exposition gegenüber HF-EMF im QUALIFEX-Studienkollektiv (166 Studienteilnehmende; aus [12])

Mithilfe der Messungen und der Angaben in einem zusätzlichen Expositionsfragebogen wurden daraufhin expositionsrelevante Faktoren und Verhaltensweisen identifiziert und daraus ein Prädiktionsmodell entwickelt [3]. Dieses Modell wurde in einem weiteren Schritt für die Expositionsbestimmung von rund 1500 zufällig ausgewählten Personen aus dem Raum Basel eingesetzt, die per Fragebogen zu expositions- und gesundheitsrelevanten Faktoren befragt wurden.

6.3.2 Evaluierung der Messgenauigkeit der Messgeräte

Im Rahmen des QUALIFEX Projekts wurde das eingesetzte Exposimeter SATIMO EME SPY 120 während des Einsatzes regelmässig beim Bundesamt für Metrologie kalibriert, um zu untersuchen ob eine Veränderung der Messgenauigkeit über die Zeit hinweg stattfindet. Ausserdem wurde in einer separaten Studie die Isotropie, das Übersprechen in benachbarte Frequenzbänder und die Messgenauigkeit des Gerätes für alle Frequenzbänder anhand eines RMS (root mean square) Detektors evaluiert [8]. Es wurde festgestellt, dass es starke Unterschiede in der Messgenauigkeit der verschiedenen gemessenen Bänder gibt. Ausserdem scheint das Gerät multiple Signale nicht korrekt zu messen und es trat ein Übersprechen nahegelegener Bänder auf (z.B. DECT und GSM 1800). Ebenfalls scheint die Messgenauigkeit von pulsierten Signalen stark von der Anzahl belegter Slots abzuhängen. Die neuere Version des Gerätes, der SATIMO EME SPY 140 wurde ebenfalls getestet [7]. Insgesamt hat das neue Gerät die ähnlichen Nachteile wie die ältere Version, aber es scheint multiple Signale akkurater detektieren zu können.

Im Rahmen von QUALIFEX wurde auch untersucht, wie sehr die Exposimetermessungen durch das Tragen am Körper beeinflusst werden [14]. Je nach Ausrichtung des Körpers zur Sendequelle kann es wegen der Abschirmung des Körpers zu einer Unterschätzung der Messwerte kommen. Diese Unterschätzung ist abhängig von der Frequenz und vom BMI der Person, die das Gerät trägt. In einer Simulationsstudie fanden Neubauer und Kollegen (2010) eine Unterschätzung von 36 % für W-LAN, 24% für GSM, 13 % für UMTS und keine Unterschätzung für FM.

6.3.3 Langzeit-Monitoring Basel und Vergleich mit Holland/Belgien

In Basel wird seit Mai 2010 ein Langzeitmonitoring der Strahlenbelastung durch HF-EMF durchgeführt. Dabei möchte man die zeitliche und örtliche Variabilität und Trends der HF-EMF Strahlung in verschiedenen Gebieten (Wohngemeinden, Innenstadt, etc.) von Basel und Umgebung untersuchen. Monatlich wird nach einem standardisierten Protokoll die gleiche Strecke mit einem EME Spy 120 oder 140 (neuere Version) abgelaufen. So können Trends in der Strahlenbelastung ausgemacht werden (Fig. 6-2). Ähnliche Messungen werden ebenfalls in Holland und Belgien durchgeführt, was einen Vergleich der Expositionssituation in urbanen Regionen der drei Länder ermöglicht. (Fig. 6-3).

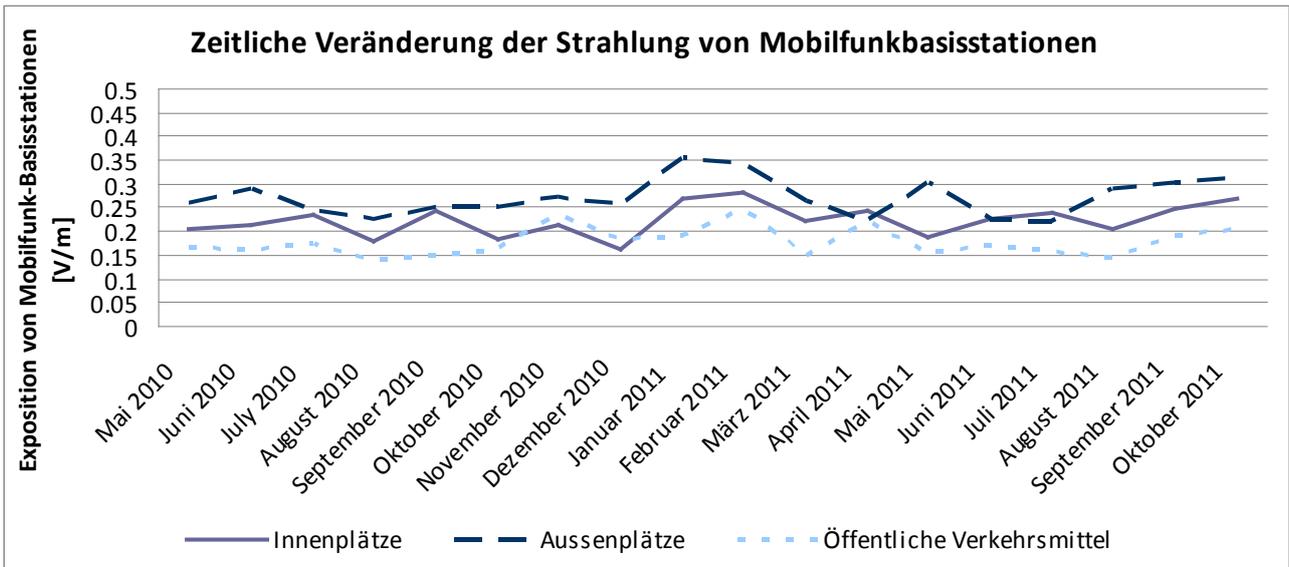


Fig. 6-2: Mittlere Exposition durch Mobilfunkbasisstationen (Summe vom GSM 900, GSM 1800 und UMTS) in Basel zwischen Mai 2010 und Oktober 2011 (Innenplätze beinhaltet Shoppingcenters, Bahnstationen und den Flughafen. Aussenplatzmessungen wurden in verschiedenen Quartieren in Basel gemacht und öffentliche Verkehrsmittel beinhaltet Tram-, Bus- und Zugsmessungen.)

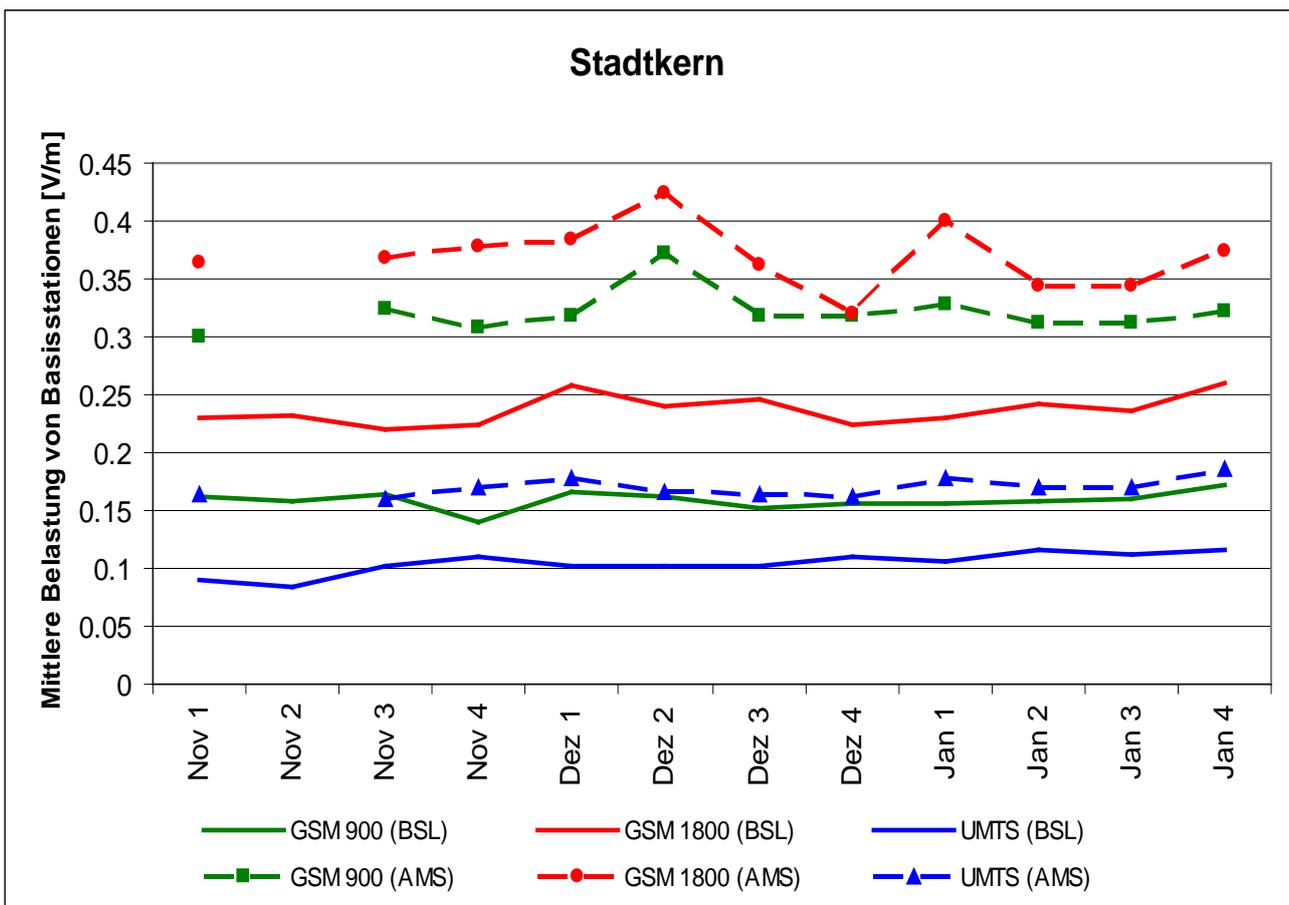


Fig. 6-3: Mittlere Exposition durch Mobilfunkbasisstationen in Basel (BSL) und Amsterdam (AMS) zwischen November 2010 und Januar 2011

Ein interessantes Resultat der Messkampagne war beispielsweise, dass über die Messperiode eine Zunahme der Belastung durch Mobiltelefone von Dritten in öffentlichen Verkehrsmitteln gefunden wurde (Fig. 6-4). Dies könnte mit der vermehrten Nutzung von Smartphones zusammenhängen, die möglicherweise mit ihren Push Funktionen mehr Kontakt zu den Basisstationen aufnehmen und dadurch die Belastung erhöhen. Möglicherweise hat sich mit den Smartphones aber auch das Nutzungsverhalten verändert und die Telefone werden beispielsweise vermehrt für die Internetnutzung verwendet. Dies zeigt exemplarisch das Potenzial von Messungen mit Expositometern, Veränderungen in der alltäglichen Strahlenbelastung nachweisen zu können.

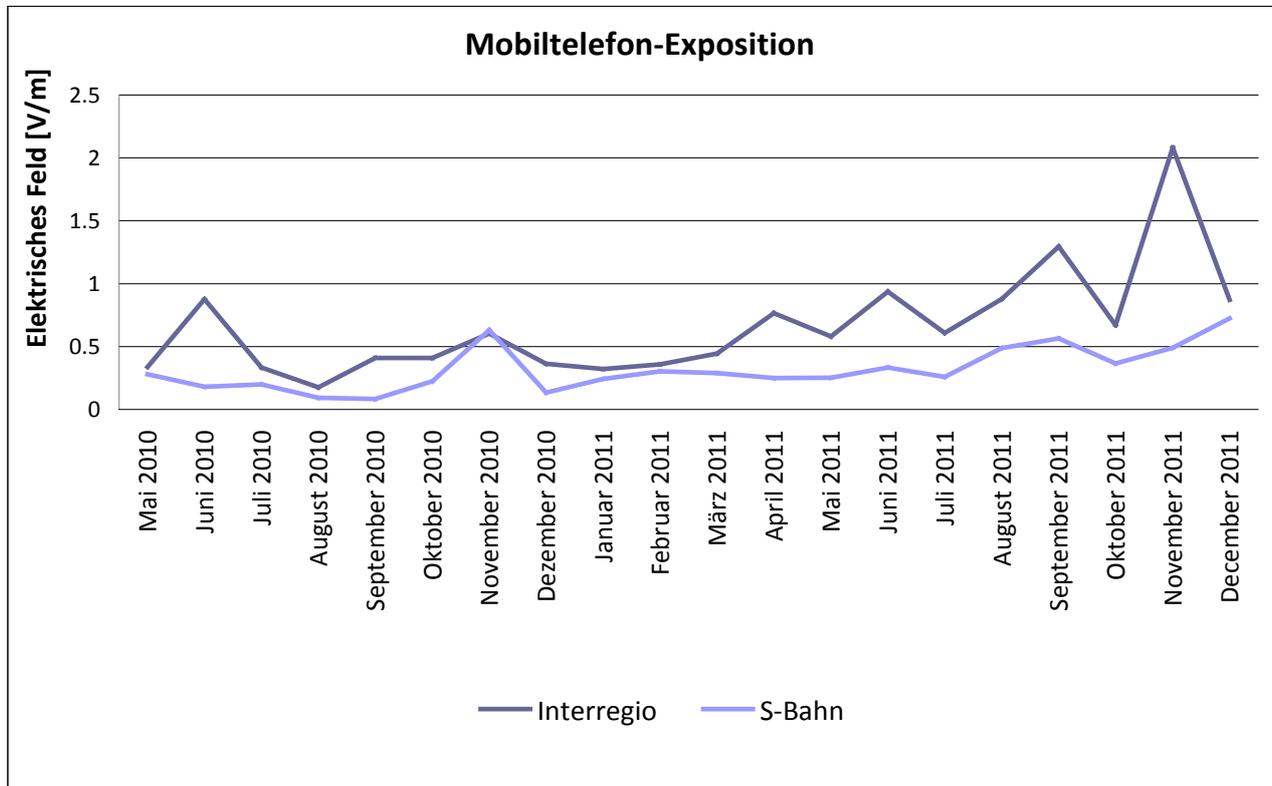


Fig. 6-4: Exposition durch Mobiltelefone (GSM 900, GSM 1800 und UMTS) in Interregio- und S-Bahn-Zügen über den Zeitraum Mai 2010-Dezember 2011

6.3.4 PSI Studie

In den 90er Jahren führte das PSI im Auftrag des BAFU (damals BUWAL) eine Messkampagne zur personenbezogenen niederfrequenten Magnetfeldexposition durch (Stratmann et al. 1995). Das Ziel war es, die typische Belastung der Schweizer Bevölkerung durch 50 Hz Magnetfelder zu bestimmen. Die Messungen wurden mit EMDEX II Geräten durchgeführt. In die Messkampagne eingeschlossen wurden Mitarbeitende von ausgewählten Firmen. Insgesamt trugen 552 Personen ein Gerät während 24 h mit sich mit und füllten ein Protokoll aus, in dem sie ihren Aufenthaltsort (eingeteilt in Arbeitsplatz, Arbeitsweg, zu Hause (ausser Nachtphase), Schlafzimmer (Nachtphase) und Sonstiges) eintrugen. Aus den Messungen wurden Verteilungsfunktionen berechnet und dargestellt.

Die Messwerte waren annähernd log-normal verteilt und die täglichen Mittelwerte lagen für 75 % der Teilnehmer unterhalb von $0.2 \mu\text{T}$, wobei die höchsten Werte am Arbeitsplatz gemessen wurden (Fig. 6-5). Der Einfluss verschiedener Quellen auf die niederfrequente Magnetfeldexposition wurde evaluiert. Beispielsweise konnte festgestellt werden, dass in der Nachtphase die Distanz zwischen dem Messgerät, das unter dem Kopfkissen deponiert werden sollte, und netzbetriebenen Geräten (z.B. Radiowecker) eine wichtige Rolle spielte. Insbesondere bei Abwesenheit von nahen netzbetriebenen Geräten konnte ein Einfluss von nahe gelegenen Freileitungen auf die Expositionshöhe festgestellt werden.

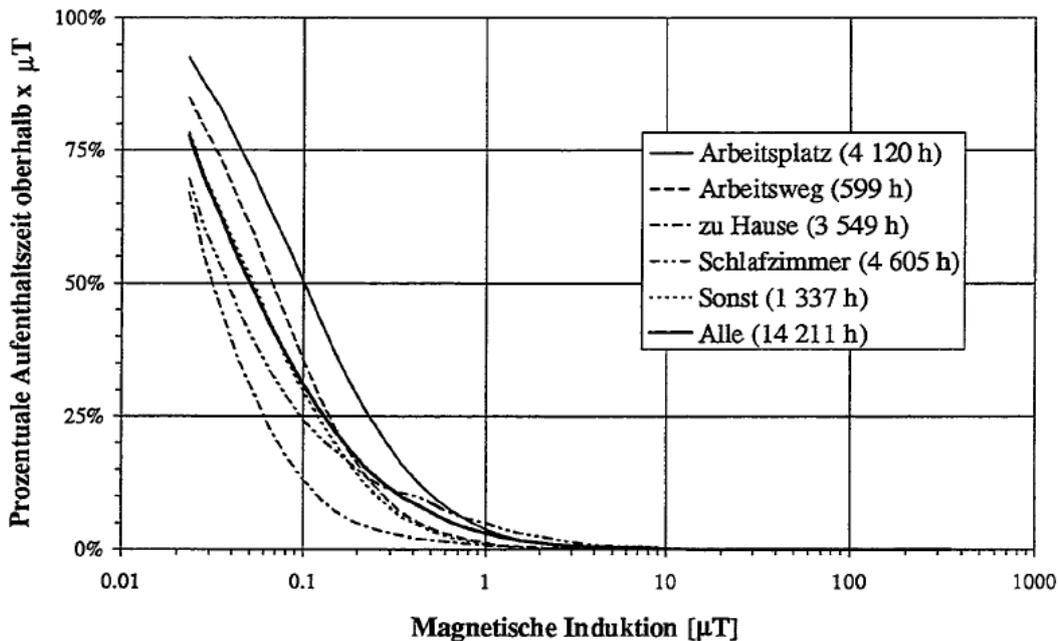


Fig. 6-5: Prozentuale Aufenthaltszeit oberhalb $\times \mu\text{T}$ in den verschiedenen Kategorien. Die Graphik beinhaltet die Messwerte aller 552 Personen (aus [19])

6.3.5 TransExpo

Im Rahmen des internationalen TransExpo Projekt wurde in der Schweiz die Durchführbarkeit einer Studie zu Kinderleukämie in Zusammenhang mit der Exposition durch niederfrequente magnetische Felder von Transformatoren in Gebäuden untersucht. In Zürich wurde in Zusammenarbeit mit dem Zürcher Elektrizitätswerk EWZ in 18 Wohnhäusern mit eingebauten Transformatoren die Exposition durch NF-MF in verschiedenen Wohnungen des Gebäudes untersucht (z.B. Wohnungen direkt neben/über Transformatoren). Als Messgeräte dienten 10 EMDEX II Geräte, wobei jeweils bei einer Messung 5 - 6 Geräte in einer Wohnung während ungefähr 10 Minuten gleichzeitig massen. Deutlich höhere Messwerte wurden in Wohnungen gefunden, die direkt neben einem Transformatorraum lagen, im Vergleich zu Wohnungen, die nur über Ecken mit dem Transformatorraum verbunden waren oder nicht direkt mit ihm verbunden waren [16].

6.3.6 ARIMMORA

Zurzeit werden die EMDEX II Geräte im Rahmen der EU Studie ARIMMORA (Advanced Research on Interaction Mechanisms of electromagnetic exposures with Organisms for Risk Assessment, <http://arimmora-fp7.eu/>) eingesetzt. Dabei wird die personenbezogene Magnetfeldexposition von Kindern (6 -12 Jahre) während 48 Stunden in der Schweiz und in Italien gemessen. Ziel der Studie ist, die Kenntnisse über die Magnetfeldexposition von Kindern zu verbessern. In jedem Land werden jeweils drei Gruppen à 25 Kinder untersucht. Die erste Gruppe umfasst Kinder, die näher als 200 m von einer Hochspannungsleitung wohnen oder zur Schule gehen. Zur zweiten Gruppe gehören Kinder, die in einem Haus mit einem Transformator wohnen oder in einem entsprechenden Schulhaus zur Schule gehen. Die dritte Gruppe ist eine Vergleichsgruppe, bei denen keines der obigen Charakteristika zutrifft.

6.4 Instrumentarium

6.4.1 NF-MF-Messgeräte

Bereits seit vielen Jahren werden tragbare Geräte für die Messung von NF-MF eingesetzt. Deutlich am populärsten sind die EMDEX II Geräte für den Frequenzbereich von 40 - 800 Hz sowie die EMDEX LITE Geräte (Herstellerangabe siehe <http://www.enertech.net/html/recordmeters.html>) für den Frequenzbereich 10 bis 1000 Hz [1, 11, 19]. Ein weiteres häufig in wissenschaftlichen Studien eingesetztes Messgerät ist das Positron Dosimeter, das jedoch nicht genaue Messwerte sondern nur die Exposition für bestimmte Intensitätsintervalle bestimmen kann ($<0.012 \mu\text{T}$, $0.012 - 0.024 \mu\text{T}$, etc.) [9, 18]. Andere vereinzelt eingesetzte Messgeräte sind der "Field watcher FW2A" (Physical Systems Labs), Mlog 3D [21] (Merkel, Maintal, Deutschland). Die Messgeräte, die von Merkel Messtechnik angeboten werden, sind im Produktkatalog unter <http://www.merkel-messtechnik.de/produkte.htm> ersichtlich. Eine umfassende Bewertung der NF-MF-Messgeräte ist in der wissenschaftlichen Literatur bisher nicht vorhanden. Einzig haben McDevitt und Kollegen eine Evaluation der Geräte EMDEX Lite und MultiWave System III (MW III) (bisher nicht in epidemiologischen Studien eingesetzt) vorgenommen [10]. Dabei waren die gemittelten Messwerte der beiden Geräte sehr ähnlich, das EMDEX Lite-Gerät unterschätzte jedoch Maximalexpositionen im Vergleich zum MW III.

6.4.2 Messgeräte für Mittelfrequenzen

Messungen mit einem tragbaren Messgerät für den Mittelfrequenzbereich wurden in einer Studie aus Österreich durchgeführt [21]. Das verwendete Gerät ME 3851A (Messbereich 5 Hz - 100 kHz) wird von Gigahertz solutions (<http://www.gigahertz-solutions.com/en/Online-Shop/Main-catalogue.html>) angeboten. Diese Firma bietet weitere Geräte an. Eine Evaluation von Geräten im Mittelfrequenzbereich ist bisher noch nicht durchgeführt worden.

6.4.3 HF-EMF-Messgeräte

Tragbare Messgeräte für den hochfrequenten Bereich werden erst seit wenigen Jahren kommerziell hergestellt. Am häufigsten verwendet ist der EME SPY von SATIMO [5, 6, 22]. Es kann mehrere Frequenzbänder separat messen (Tabelle 6-1), hat eine isotrope Antenne und ist bereits in mehreren Versionen erhältlich.

Daneben gibt es einen Messgerätetyp, der von Maschek entwickelt und vertrieben wird. Dieses Gerät ist klein und handlich und kann bequem am Oberarm getragen werden. Das Gerät ist so konstruiert, dass Isotropie angestrebt wird, wenn das Gerät am Arm getragen wird und nicht, wenn es frei herumsteht, was ein Problem für Messungen während der Nacht darstellt. Das Gerät kann keine Rundfunkbänder messen und hat eine schlechte Differenzierung zwischen Up- und Downlinkbändern im Mobilfunkbereich.

Lauer und Kollegen haben ein neuartiges Messsystem entwickelt, bestehend aus einem externen Expositermetermodul und einem Smartphone basierend auf dem Betriebssystem Android (im folgenden ETH-Exposimeter genannt). Das Konzept mit einem externen Messmodul und einem Smartphone bietet die Möglichkeit zur Abschätzung der Exposition durch das eigene Mobiltelefon und liefert zusätzlich die geographische Koordinate zum Aufenthalt der Person. Das Expositermetermodul kommuniziert über Bluetooth mit dem Smartphone. Ausserdem kann auf dem Smartphone eine Tätigkeitstagebuch-Applikation ('Diary App') installiert werden, die den Bedürfnissen der jeweiligen Studie angepasst werden kann. Durch ein paralleles Root-mean-square Messverfahren kann beim ETH-Exposimeter das Übersprechen von Bändern, die nahe beieinander liegen, minimiert werden, was ein gängiges Problem bei tragbaren Expositionsmessgeräten ist. Beim neuen Exposimeter wird zusätzlich zu allen gemessenen Quellen auch noch über das gesamte Spektrum von 100 MHz bis 6 GHz gemessen, womit die „Restexposition“ bestimmt werden kann, die nicht spezifisch einem Dienst zugeordnet werden kann.

<i>Band</i>	<i>Frequenz [MHz]</i>	<i>ESM-140</i>	<i>EME SPY 121</i>	<i>EME SPY 140</i>	<i>ETH- Ex- posimeter</i>
FM	88 - 108	nein	ja	ja	ja
TV3	174 - 223	nein	ja	ja	ja
Tetrapol	380 - 400	nein	ja	ja	nein
TV4/5	470 - 830	nein	ja	ja	ja
LTE 800 DL ²	791 - 821	nein	nein	nein	ja
LTE 800 UL ³	832 - 862	nein	nein	nein	ja
GSM900 UL ³	880 - 915	ja ¹	ja	ja	ja
GSM900 DL ²	925 - 960	ja ¹	ja	ja	ja
GSM1800 UL ³	1710 - 1785	ja ¹	ja	ja	ja
GSM1800 DL ²	1805 - 1880	ja ¹	ja	ja	ja
DECT	1880 - 1900	ja ¹	ja	ja	ja
UMTS UL ³	1920 - 1980	ja ¹	ja	ja	ja
UMTS DL ²	2110 - 2170	ja ¹	ja	ja	ja
W-LAN	2400 - 2500	ja	ja	ja	ja
WIMAX	3400 - 3800	nein	nein	ja	ja
LTE	2500 - 2690	nein	nein	nein	ja
WI-FI	5150 - 5850	nein	nein	ja	ja
Gesamtes Spek- trum	100 - 6000	nein	nein	nein	ja
<i>Andere Eigenschaften</i>					
Messrange (V/m)		0.01-70	0.05 - 10	0.005 - 5	0.005 - 30
Messzyklus		0.5 - 10s	4 - 255s	4 - 255s	1.6s - ∞ ⁴
Speicherkapazität ⁵		260,000	12,540	80,0002	78,810,000 ⁴
Grösse (L × B × H in mm)		115 x 45 x 29	193 × 96 × 70	169 × 79 × 46	83.6 x 36 x 20
Gewicht (in g)		87	450	400	250
Marker ⁶		ja	ja	ja	ja ⁷
GPS tracker		nein	nein	nein	ja ⁷

¹Kombiniert die Bänder zwischen 880 und 960 MHz und zwischen 1700 und 2200 MHz

²DL= downlink (Kommunikation von Mobilfunkbasisstation zum Mobiltelefon)

³UL = uplink (Kommunikation vom Mobiltelefon zur Mobilfunkbasisstation)

⁴Daten können auch direkt aufs Smartphone und weiter auf einen Rechner übertragen werden, wodurch die Speicherkapazität praktisch unendlich ist

⁵Anzahl Messungen

⁶Um Ereignisse zu markieren

⁷Smartphone

Tabelle 6-1: Eigenschaften verschiedener tragbarer Exposimeter. Angepasst aus [17]

6.4.4 Empfehlungen

Ein zentraler Punkt für die Auswahl von geeigneten Exposimetern ist die Messgenauigkeit. Erfahrungen im QUALIFEX Projekt und anderen Projekten haben gezeigt, dass es sich lohnt, in die Überprüfung der Messgenauigkeit von Exposimetern zu investieren. Unter Umständen kann es schwierig sein, relevante Informationen zur Gerätebeurteilung vom Hersteller zu erhalten. Deshalb ist es von Vorteil, wenn das technische Know-how vor Ort vorhanden ist. Dies ist auch hilfreich für Reparaturen und Unterhalt, die gerade bei Messungen mit Freiwilligen öfters anfallen können, wenn die Geräte nicht sorgfältig behandelt werden.

Für die Messungen mit Freiwilligen ist die Handlichkeit des Gerätes ein wichtiger Punkt. Im Hochfrequenzbereich ist es insbesondere aufgrund der raschen technischen Entwicklung von Vorteil, ein Gerät einzusetzen, das potenzielle neue Expositionsquellen erfassen kann. Auch das spricht für technisches Know-How vor Ort. Im niederfrequenten Bereich sind keine grossen messtechnisch relevanten Änderungen zu erwarten. Das verfügbare EMDEX II Gerät ist mittlerweile relativ alt und nicht mehr auf dem aktuellen Stand der Technik. Deshalb ist die Entwicklung eines neuen Gerätes für den Niederfrequenzbereich zu empfehlen. Dies trifft auch für den Mittelfrequenzbereich zu.

6.5 Konzept für Repräsentativität

Bei der Durchführung von EMF-Messungen mit Exposimetern im Rahmen eines Monitorings zur Untersuchung von zeitlichen Trends und räumlichen Unterschieden in der EMF-Exposition sind grundsätzlich zwei verschiedene methodische Vorgehensweisen denkbar. Diese sind im Folgenden kurz dargestellt.

6.5.1 Erhebungen mit Probanden

6.5.1.1 Wiederholte Querschnittserhebung

Bei der wiederholten Querschnittsuntersuchung wird in regelmässigen Abständen die EMF-Exposition bei einer Bevölkerungsstichprobe erhoben. Die Stichprobe wird jedes Mal wieder neu herausgesucht. Je nach Ziel der Untersuchung kann die Auswahl zufällig erfolgen oder es wird Repräsentativität für die Schweizer Bevölkerung angestrebt (z.B. in Bezug auf Alters-, Geschlechts- und Bildungsverteilung). Möglich ist auch das oversampeln bestimmter Bevölkerungsgruppen, um für diese statistisch robuste Daten zu erhalten (z.B. italienischsprachige Schweiz).

Der Vorteil der wiederholten Querschnittsstudie ist, dass sich die Messresultate direkt auf die Gesamtbevölkerung übertragen lassen, wenn die Stichprobe genügend gross und repräsentativ ausgewählt wird. Der Aufwand ist für den einzelnen Studienteilnehmenden deutlich geringer als bei einer Panelstudie (siehe unten). Dennoch ist zu beachten, dass nicht alle ausgewählten Personen bereit sein werden, an einer solchen Erhebung teilzunehmen. Wenn die Teilnahmebereitschaft mit der Höhe der Exposition assoziiert ist, kann das zu einer Verzerrung führen. (Beispielsweise könnten besorgte Personen, die ihre persönliche EMF-Belastung minimieren, eher bereit sein, an einer solchen Erhebung mitzumachen.) Bei den teilnehmenden Probanden kann es zu Problemen bei der Erfüllung der Messvorgaben kommen, wenn beispielsweise die Geräte nicht immer mitgetragen werden oder relevante Zusatzangaben nicht wie gefordert gemacht werden (z.B. im Aktivitätstagebuch). Wie gut die Vorgaben erfüllt werden und damit die Qualität der Daten ist, lässt sich nur unvollständig prüfen. Bei QUALIFEX wurde ein sogenanntes „Convenient Sample“ rekrutiert mit dem Ziel möglichst motivierte Probanden zu haben. Dennoch gab es immer wieder Probleme mit der Befolgung des Messprotokolls. Z.B. interessierte sich eine Frau mehrheitlich an ihrer Exposition zu Hause und nahm das Gerät deshalb praktisch nicht mit, wenn sie das Haus verliess. Neben dem Convenient Sample wurde bei QUALIFEX eine Stichprobe von Hochbelasteten rekrutiert (Nähe Mobilfunkbasisstation oder TV/Radiosender). Bei dieser Gruppe erklärten sich etwa 50 % bereit mitzumachen. Möglicherweise wäre bei einer reinen Zufallsstichprobe die Bereitschaft noch geringer, weil weniger Interesse an der eigenen Exposition bestehen könnte.

Logistisch herausfordernd ist die Verteilung der Messgeräte und die Instruktion der Probanden, da die Stichprobe relativ gross sein muss, um statistisch aussagekräftige Resultate zu erhalten, insbesondere wenn es um Gruppenvergleiche geht (z.B. altersbedingte Expositionsunterschiede).

6.5.1.2 Panelerhebung

Die Panelerhebung funktioniert grundsätzlich gleich wie die wiederholte Querschnittserhebung, ausser dass immer die gleiche Bevölkerungsgruppe an der Erhebung teilnimmt. Dies hat den Vorteil, dass zeitliche Trends genauer erfasst werden können, da die Expositionsveränderungen innerhalb der gleichen Individuen evaluiert werden können. Die erwartete Streuung der Daten ist damit geringer und es lassen sich feinere Trends erfassen. Ein weiterer Vorteil des Panels ist, dass der Instruktionsaufwand geringer ist, da die Probanden das Prozedere mit der Zeit kennen. Der Nachteil der Panelerhebung liegt aber darin, dass sich das Problem des Selektionsbias noch stärker als bei einer einmaligen Erhebung stellt, da die Teilnahme an einem Panel noch mehr Engagement erfordert. Zudem sind Drop-outs mit der Zeit nicht zu vermeiden. Die Validität der Erhebung ist reduziert, wenn die Wahrscheinlichkeit aus dem Panel auszusteigen mit der Expositionssituation assoziiert ist. Ein weiterer möglicher Nachteil der Panelerhebung ist auch, dass Probanden mit der Zeit die Messvorgaben weniger akkurat befolgen könnten.

Grundsätzlich sind auch Mischformen zwischen der Panel- und der wiederholten Querschnittserhebung denkbar. Beispielsweise könnte bei jeder Erhebungswelle ein Drittel des Panels ersetzt werden, so dass jede Person nur drei Mal zur Teilnahme angefragt werden muss, oder aus einer grösseren Querschnittserhebung ein kleineres Panel ausgewählt werden.

Das Problem des Selektionsbias könnte bei der Querschnitt- und der Panelerhebung minimiert werden, indem bei einer eingesetzten Stichprobe expositionsrelevante Faktoren identifiziert werden (analog zu QUALIFEX). Es wären weniger Probanden nötig und die Auswahl der Probanden müsste nicht unbedingt zufällig

erfolgen, sondern die Repräsentativität der Exposition könnte erreicht werden, indem verhaltensrelevante Faktoren in einer repräsentativen Stichprobe erhoben würden. Idealerweise könnten solche Informationen auch aus bereits bestehenden repräsentativen Befragungen der Schweizer Bevölkerung gezogen werden. Beispielsweise kann man Informationen zu Pendlerverhalten oder Arbeits- oder Wohnsituation aus der Strukturhebung der eidgenössischen Volkszählung, dem Schweizer Haushaltspanel oder der Schweizerischen Gesundheitsbefragung (SGB) entnehmen (Im Schweizer Haushaltspanel wird ebenfalls der Besitz verschiedener elektrischer Geräte gefragt, e.g. Mobiltelefon, Fernseher, Computer, Waschmaschine, Mikrowelle). Expositionsrelevante Faktoren müssten separat für NF und HF Quellen identifiziert werden. Es wäre auch denkbar, die Exposition für gewisse Quellen, z.B. Mobilfunkbasisstationsbänder zu modellieren. Dabei ist aber nicht nur die Motivation zur Teilnahme relevant, sondern die Teilnehmer sollten ebenfalls verschiedene Expositionssituationen repräsentieren (z.B. Personen mit und ohne W-LAN zu Hause).

6.5.2 Ortsbezogene Erhebung

Die ortsbezogene Erhebung erfolgt nach einem grundsätzlich anderen Ansatz als die beiden bisher erwähnten Ansätze. Die Beobachtungseinheit ist dabei ein Ort bzw. ein Mikrokompartiment („microenvironment“) wie beispielsweise ein Bahnhof, die Innenstadt, ein Einkaufscenter oder ein Dorfplatz. Statt Probanden werden also Orte ausgewählt, die beispielsweise repräsentativ für die untersuchte Gegend sein können. Die Messung wird dann von einer speziell geschulten Person durchgeführt. Eine solche Erhebung wurde im trinationalen Ländervergleich CH-NL-BE durchgeführt („The impact of precautionary exposure limits on the personal radiofrequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure: an international comparison“ (Beispiele siehe auch Kapitel 6.3.3).

Der Vorteil dieser Erhebungsmethode liegt darin, dass Messprotokolle genauer umgesetzt und kontrolliert werden können. Die Messungen können beispielsweise zur gleichen Tageszeit und am gleichen Wochentag wiederholt werden. Es kann auch verlangt werden, dass die Person, die die Messungen ausführt, das eigene Mobiltelefon ausschaltet, so dass die Messung davon ungestört ist und sichergestellt werden kann, dass die Messungen ausschliesslich von Fernfeldquellen stammen, was bei Probandenerhebungen ein aufwändigeres Unterfangen wäre. Im Vergleich zur reinen Propagationsmodellierung (Modul 3) kann bei der ortsbezogenen Erhebung mit tragbaren Messgeräten auch die Exposition von nicht fix installierten Sendern berücksichtigt werden (z.B. W-LAN Hotspots oder Mobiltelefone anderer Leute). Solche Quellen sind möglicherweise expositionsrelevant (siehe beispielsweise Fig. 6-4). Im Vergleich zu Probandenerhebungen sind die gewonnenen Daten nicht direkt expositionsrelevant, da das Verhalten der Bevölkerung nicht berücksichtigt wird. Die Durchführung der Messung ist aber deutlich einfacher und die erwartete Datenqualität ist hoch. Damit lassen sich für verschiedene Orte zeitliche Trends einfach verfolgen.

6.5.3 Überlegungen zur Stichprobengrösse

6.5.3.1 Probandenerhebung

Bei den Erhebungsmethoden mit Probanden sind drei Aspekte zentral: die Bestimmung der Anzahl Probanden (Stichprobengrösse), die Messdauer und wie oft die Messungen wiederholt werden sollten.

Die Bestimmung der idealen Anzahl Probanden oder idealen Messdauer ist nicht trivial und hängt von der genauen Fragestellung der Erhebung ab. z.B. wie genau eine mittlere Exposition (z.B. über eine Woche) geschätzt werden soll, wie hoch die minimal nachweisbare Expositionsänderung für welche Quellen sein soll, oder ob nur Globalbetrachtungen gemacht werden sollen oder auch spezifische Kompartimente evaluiert werden (draussen, drinnen, städtisch, ländlich, Sprachregionen, etc.). Grundsätzlich hängt die Anzahl der Probanden oder die Messdauer auch von der örtlichen und zeitlichen Variabilität der Exposition ab. Je grösser die Unterschiede sind, desto mehr Messungen müssen gesammelt werden, um repräsentative Daten zu erhalten. Bei der Messdauer gilt auch, dass eine längere Messung die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass die Orte, an denen Messungen gemacht wurden, auch tatsächlich längerfristig die Aufenthaltsorte eines Probanden repräsentieren. Würde man beispielsweise von einem Probanden während 24 Stunden jede Sekunde eine Messung machen, wäre diese aus rein statistischer Sicht relativ präzise. Dennoch wäre in Bezug auf die typische Exposition des Probanden eine gewisse Ungenauigkeit zu erwarten, da der entsprechende Messtag nur bedingt repräsentativ für das gesamte Verhalten des Probanden sein kann. Die Exposition am Wochenende könnte anders sein als an einem Werktag und das Messergebnis während der Nacht hängt stark von der genauen Position des Gerätes ab.

Im Folgenden ist für verschiedene HF-Feldquellen die Variabilität (ausgedrückt als Standardabweichung, StA) der zeitlichen Mittelwerte auf verschiedenen Ebenen dargestellt (in mW/m^2 , da die V/m-Skala nicht additiv ist) (Tabelle 6-2). Datengrundlage für die Tabelle sind die Expositionsdaten der 131 nicht-gezielt ausgewähl-

ten QUALIFEX-Teilnehmenden (siehe Kapitel 6.3.1). Es wurden zwei Datensätze gebildet: Ein Wochen- und ein Tagesmitteldatensatz. Dabei wurde beim Wochenmitteldatensatz für die Mittelwertberechnung immer nur jede 7. Einzelmessung berücksichtigt. Dadurch besteht sowohl der Wochen- als auch der Tagesmitteldatensatz pro Woche bzw. Tag und Person aus ca. 1000 Messungen wodurch die Variabilitäten vergleichbar werden. Ausserdem haben 28 Probanden ein Exposimeter während einer zweiten Woche im Abstand von 3 - 41 Wochen mit sich herumgetragen. Dadurch konnte die Variabilität der Wochenmittelwerte innerhalb einer Person berechnet werden, die Aussagen dieser Berechnung sind aber aufgrund der geringen Anzahl an Teilnehmern limitiert.

Quelle	Wochenmittelwert (n=131) (mW/m ²)	Variabilität (StA) der Wochenmittelwerte		Variabilität (StA) der Tagesmittelwerte	
		zwischen Personen (n=131)	Woche-zu-Woche (innerh. einer Person) (n=28)	Tag-zu-Tag (innerhalb einer Person) (n=131)	Gesamtvariabilität Tageswerte (n=131)
FM	0.0064	0.0406	0.0028	0.0438	0.0593
TV3	0.0006	0.0012	0.0002	0.0012	0.0017
Tetrapol	0.0007	0.0035	0.0020	0.0014	0.0039
TV4/5	0.0044	0.0169	0.0047	0.0205	0.0275
GSM 900 uplink ¹	0.0220	0.0406	0.0277	0.0552	0.0639
GSM 900 downlink ²	0.0072	0.0106	0.0063	0.0099	0.0141
GSM 1800 uplink ¹	0.0096	0.0224	0.0174	0.0371	0.0415
GSM 1800 downlink ²	0.0160	0.0311	0.0184	0.0241	0.0398
DECT	0.0284	0.0667	0.0142	0.0914	0.1096
UMTS uplink ¹	0.0004	0.0007	0.0004	0.0007	0.0011
UMTS downlink ²	0.0019	0.0046	0.0023	0.0035	0.0058
W-LAN	0.0044	0.0153	0.0056	0.0408	0.0445
Total	0.1030	0.1144	0.0429	0.1422	0.1786

¹Uplink: Kommunikation vom Mobiltelefon zur Mobilfunkbasisstation

²Downlink: Kommunikation von Mobilfunkbasisstation zum Mobiltelefon

Tabelle 6-2: Quellen-spezifische Wochen- und Tagesmittelwerte und Standardabweichungen für verschiedene Betrachtungsebenen (in mW/m²) (Erklärungen siehe Text)

Es zeigt sich, dass die Variabilität der Tagesmittelwerte innerhalb einer Person (Spalte 5 bei Tabelle 6-2) für die meisten Frequenzbänder grösser ist als die Variabilität der Wochenmittelwerte zwischen den Probanden (3. Spalte). Die Gesamtvariabilität der Wochenmittelwerte zwischen Personen war 0.1144 mW/m² und diejenige der Tagesmittelwerte 0.1422 mW/m². Die Tagesmittelwerte scheinen also für eine einzelne Person relativ variabel zu sein. Dies gilt vor allem für die Exposition durch Mobiltelefone von Drittpersonen (Uplink). Es ist jedoch auffällig, dass die Variabilität der Wochenmittelwerte innerhalb einer Person relativ gering ist (4. Spalte) und deutlich geringer als zwischen den Studienteilnehmern. Das bedeutet, dass Wochenmessungen einer Person aussagekräftig sind für ihre längerfristige Exposition. Zusätzlich haben wir die Variabilität der Wochenmittelwerte auch noch mit allen Messungen, also ca. 7000 Messungen pro Person, berechnet. Dadurch nahm die Variabilität leicht aber unwesentlich ab (Variabilität der Wochenmittelwerte zwischen Personen für Total-Exposition: 0.1079 mW/m²). Auch bei dieser Berechnung ist die grösste Abnahme der Variabilität in den Mobiltelefon-Bändern zu verzeichnen, was wegen der starken örtlichen und zeitlichen Variabilität der Exposition durch Mobiltelefone (anderer Personen) nicht besonders überraschend ist.

In einem nächsten Schritt ist in Tabelle 6-3 die erwartete quellen-spezifische statistische Präzision (95%-Vertrauensintervalle für den Mittelwert) für 100 bzw. 1000 Probanden dargestellt. Das 95 %-Vertrauensintervall beschreibt den Bereich, in dem der wahre Populationsmittelwert zu einer 95 %-igen Wahrscheinlichkeit liegt. Die Abschätzungen wurden sowohl für Wochenmessungen als auch für Tagesmessungen durchgeführt, und auch hier beruhen für die Vergleichbarkeit alle Wochenmessungen auf jeder 7. Messung. Zur Veranschaulichung ist die verwendete Einheit in dieser Tabelle V/m. Wegen der Umrechnung sind die 95 %-Vertrauensintervalle nicht mehr symmetrisch, was sich auch in den unterschiedlichen prozentualen Abweichungen des unteren und oberen Vertrauensintervalls vom Mittelwert zeigt. Wie erwartet ist die statistische Unsicherheit bei 1000 Teilnehmenden deutlich geringer als bei 100. Es ist auch ersichtlich, dass die Präzision für Wochenmessungen bei gleicher Stichprobengrösse deutlich grösser ist als für Tagesmessungen. Am geringsten ist

die Unsicherheit bei der Bestimmung der Gesamtexposition. Für einzelne Frequenzbänder ist sie teilweise erheblich grösser. Hierbei muss betrachtet werden, dass diese Unsicherheit auch von der Einheit abhängt und in der Watt-pro-Quadratmeter-Skala grösser wäre als auf der Volt pro Meter-Skala.

Insgesamt lässt sich schliessen, dass Wochenmittelwerte relativ robust die persönliche Exposition einer Person repräsentieren. Führt man nur eine 24-Stunden-Messung durch, ist die Unsicherheit deutlich grösser. Das heisst, dass individuelle Betrachtungen eingeschränkt sind. Für Populationsbetrachtungen, also die Frage, wie sich die mittlere Exposition im Kollektiv verändert, muss die Stichprobengrösse bei 24-Stunden-Messungen entsprechend zwei bis drei Mal höher sein als bei Wochenmittelwerten, um die gleiche Aussagepräzision zu erhalten.

Im Hinblick auf die Variabilität niederfrequenter Felder wurden die Daten der PSI Studie verwendet, wo bei 552 Probanden die Exposition durch 40 - 800 Hz-Felder während 24 h gemessen wurde (siehe auch Kapitel 6.3.4) (Stratmann et al. 1995). Für 100 Studienteilnehmer liegt das 95%-Vertrauensintervall des Mittelwerts von $0.201 \mu\text{T}$ innerhalb von 0.117 und $0.285 \mu\text{T}$ ($\pm 41.9\%$), und für 1000 Teilnehmer liegt er zwischen 0.174 und $0.228 \mu\text{T}$ ($\pm 13.3\%$). Zur längerfristigen Variabilität (z.B. über eine Woche) gibt es bisher noch wenig Erfahrung.

Quelle	Wochen- mittel- wert (V/m)	Variabilität Wochenmessungen				Variabilität Tagesmessungen			
		n=100		n=1000		n=100		n=1000	
		95%-Vertrauensintervall	95%-Vertrauensintervall in Prozent (%)	95%-Vertrauensintervall	95%-Vertrauensintervall in Prozent (%)	95%-Vertrauensintervall	95%-Vertrauensintervall in Prozent (%)	95%-Vertrauensintervall	95%-Vertrauensintervall in Prozent (%)
FM	0.049	(NA;0.074)	NA; +49.8	(0.038;0.058)	-22.1; +18	(NA ¹ ;0.0831)	NA ¹ ; +65.2	(0.034;0.063)	-32.7; +24.4
TV3	0.015	(0.012;0.018)	-22; +18	(0.014;0.016)	-6.4; +6	(0.011;0.019)	-30.3; +23	(0.014;0.017)	-8.5; +7.8
Tetrapol	0.016	(NA;0.023)	NA; +42.0	(0.013;0.018)	-17.6; +14.9	(NA ¹ ;0.0236)	NA ¹ ; +43.6	(0.013;0.019)	-18.5; +15.6
TV4/5	0.041	(0.02;0.054)	-50; +32.3	(0.036;0.045)	-12.7; +11.2	(NA ¹ ;0.0620)	NA ¹ ; +45.6	(0.034;0.05)	-19.6; +16.4
GSM 900 UL ²	0.091	(0.073;0.106)	-20.1; +16.7	(0.086;0.096)	-5.9; +5.6	(0.076;0.123)	-25.9; +20.5	(0.095;0.109)	-7.4; +6.9
GSM 900 DL ³	0.052	(0.044;0.059)	-15.6; +13.5	(0.05;0.054)	-4.7; +4.5	(0.04;0.06)	-22.5; +18.3	(0.048;0.054)	-6.5; +6.1
GSM 1800 UL ²	0.060	(0.044;0.072)	-26.5; +20.8	(0.055;0.064)	-7.5; +7	(0.044;0.09)	-37.9; +27.1	(0.063;0.077)	-10.2; +9.3
GSM 1800 DL ³	0.078	(0.061;0.091)	-21.3; +17.5	(0.073;0.082)	-6.2; +5.8	(0.056;0.095)	-27.9; +21.7	(0.072;0.084)	-7.9; +7.3
DECT	0.103	(0.076;0.125)	-26.5; +20.8	(0.096;0.111)	-7.6; +7	(0.049;0.136)	-52.1; +33.1	(0.089;0.114)	-13; +11.5
UMTS UL ²	0.012	(0.009;0.014)	-21.9; +17.9	(0.011;0.012)	-6.4; +6	(0.009;0.015)	-29.3; +22.5	(0.011;0.013)	-8.2; +7.6
UMTS downlink	0.027	(0.019;0.033)	-27.7; +21.5	(0.025;0.029)	-7.8; +7.3	(0.019;0.035)	-32.2; +24.1	(0.026;0.03)	-8.9; +8.2
W-LAN	0.041	(0.023;0.053)	-43.2; +29.5	(0.036;0.045)	-11.4; +10.2	(NA ¹ ;0.0746)	NA ¹ ; +56.4	(0.035;0.058)	-26.3; +20.7
Total	0.197	(0.174;0.217)	-11.6; +10.4	(0.19;0.204)	-3.5; +3.4	(0.173;0.237)	-16.7; +14.3	(0.197;0.217)	-5; +4.7

¹NA: konnte nicht berechnet werden, da der Wert auf der mW/m²-Skala negativ war

²UL=Uplink: Kommunikation vom Mobiltelefon zur Mobilfunkbasisstation

³DL=Downlink: Kommunikation von Mobilfunkbasisstation zum Mobiltelefon

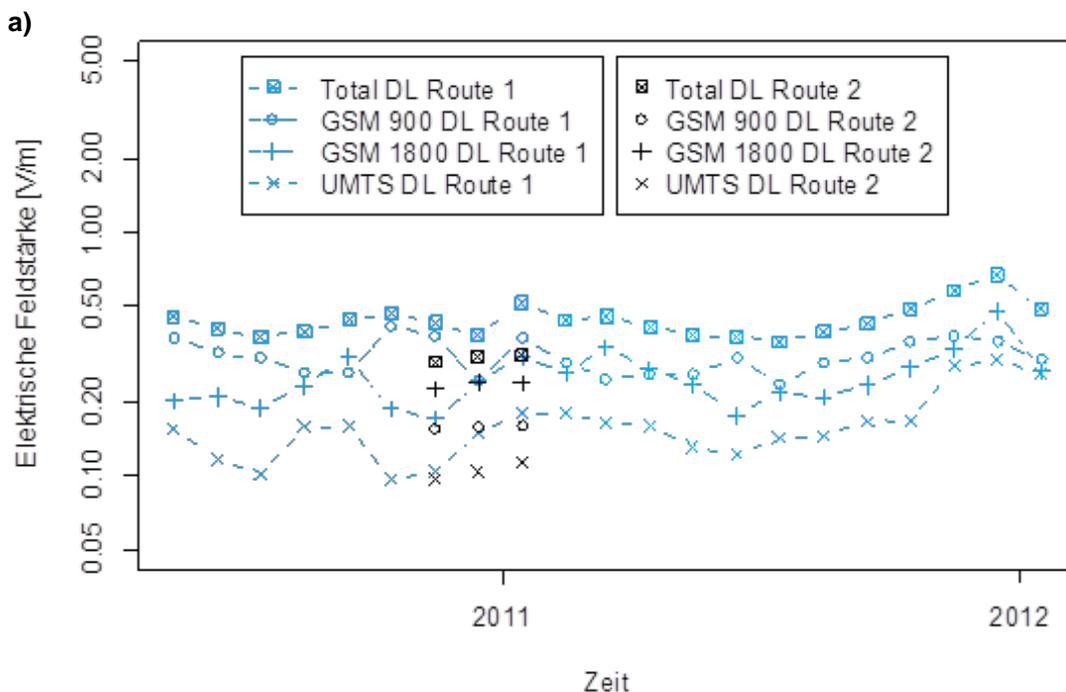
Tabelle 6-3: Quellen-spezifische Wochenmittelwerte und 95 %-Vertrauensintervalle (absolut und relativ) für Wochen- und Tagesmessungen und für 100 bzw. 1000 Probanden.

6.5.3.2 Ortsbezogene Erhebung

Bei der ortsbezogenen Erhebung stellt sich die Frage, wie regelmässig gemessen werden muss, damit zeitliche Trends mit einer gewissen Genauigkeit bestimmt werden können. Erfahrungen haben gezeigt, dass wenn monatlich die gleichen Routen abgelaufen werden, Tagesmittelwerte, die auf einigen Hundert bis Tausend Messungen beruhen, relativ konstant sind (siehe Fig. 6-2). Werden einzelne Orte oder sogar Quellen separat betrachtet, können die Variabilitäten beträchtlich grösser sein. Die blauen Linien in Fig. 6-6 a-c) zeigen die monatlichen Messmittelwerte der einzelnen Frequenzbänder im Stadtkern Basel von Mai 2010-Januar 2012 (Route 1), die im Rahmen des Langzeit-Monitorings Basel gesammelt wurden (siehe Kapitel 6.3.3). Während die Exposition durch Mobilfunk-Downlinkbänder relativ konstant ist (Fig. 6-6 a), zeigen die Radio- und Fernsehsender in Fig. 6-6 c) stärkere Schwankungen. Dies widerspricht auf den ersten Blick der Erwartung, da diese Quellen eine relativ homogene räumliche Verteilung aufweisen. Eine Erklärung für die scheinbar hohe Variabilität ist der grosse Anteil an Messungen unter der Nachweisgrenze von 0.05 V/m. Wegen des generell hohen Anteils an Messungen unterhalb der Nachweisgrenze werden die Tagesmittelwerte für die verschiedenen Frequenzbänder anhand einer speziellen Methode berechnet, bei der die Verteilung der Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze anhand der Verteilung der Daten oberhalb der Nachweisgrenze modelliert wird. Liegen für ein Frequenzband alle an einem bestimmten Tag und Ort gemessenen Werte unterhalb der Nachweisgrenze (bzw. maximal 2 Messpunkte über der Nachweisgrenze), wird der Mittelwert auf 0.01 V/m geschätzt (meistens der Fall in Fig. 6-6 c). Bei den Mittelwerten >0.01 V/m liegen ein paar (wenige) Werte über der Nachweisgrenze, welche einen relativ starken Einfluss auf die geschätzte Datenverteilungsfunktion haben können. Um dieses Problem zu minimieren, empfiehlt sich also für das Monitoring der Immissionen von Radio- und Fernsehsender ein Exposimeter mit einer hohen Sensitivität (<0.05 V/m) einzusetzen. Je höher der Anteil an Messwerten über der Nachweisgrenze ist, desto genauer lassen sich die Mittelwerte berechnen.

Auf der anderen Seite stellt sich die Frage wie stark die Messwerte von der Auswahl der Routen abhängen. In Fig. 6-6 a-c) sind zusätzlich jeweils 3 zusätzliche Messwerte eingefügt, die ebenfalls im Stadtkern von Basel während 3 Monaten gemessen wurden, jedoch mit einer anderen Route (Route 1 und Route 2 sind in Fig. 6-7 eingezeichnet). Es gab einen kleinen methodologischen Unterschied bei der Messung: bei Basel 1 wurde das Exposimeter am Körper getragen, während es bei Basel 2 in einem Abstand von 1m vom Körper gehalten wurde. Die gemessenen Werte befinden sich grundsätzlich in einer ähnlichen Grössenordnung, trotzdem gibt es einige systematische Abweichungen. Z.B. beträgt im Schnitt die mittlere Belastung durch Mobilfunkbasisstationen (downlink (DL)) in Route 1 (Nov 10 - Jan 11) 0.44 V/m und in Route 2 0.30 V/m. Die Mobiltelefon-Exposition (Uplink (UL)) ist hingegen sehr ähnlich (0.08 V/m vs. 0.09 V/m).

Insgesamt scheinen die Resultate abhängig von der Wahl der Route zu sein. Je länger jedoch die Route gewählt wird, desto mehr Messungen können gesammelt werden und desto weniger stark wird die Routenwahl einen Einfluss auf die Resultate haben.



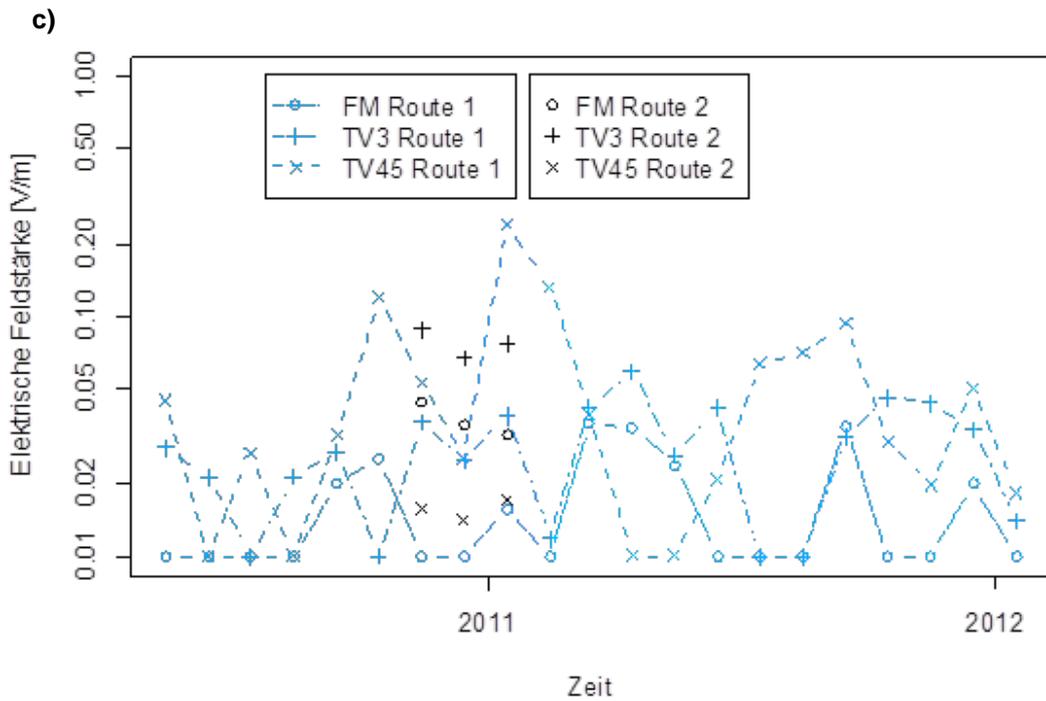
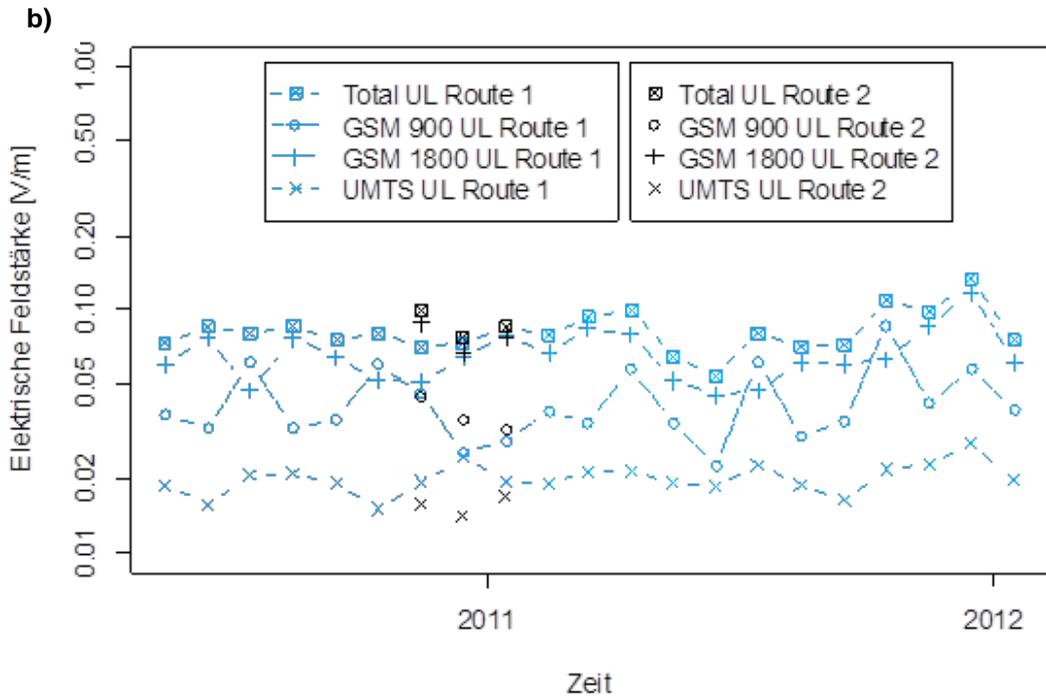


Fig. 6-6 a-c: Mittelwerte für verschiedene monatlich während eines Tages gemessenen Quellen über den Zeitraum Mai 2010 bis Januar 2012. In blau sind die Messwerte für Route 1 eingezeichnet in schwarz die Messwerte für Route 2

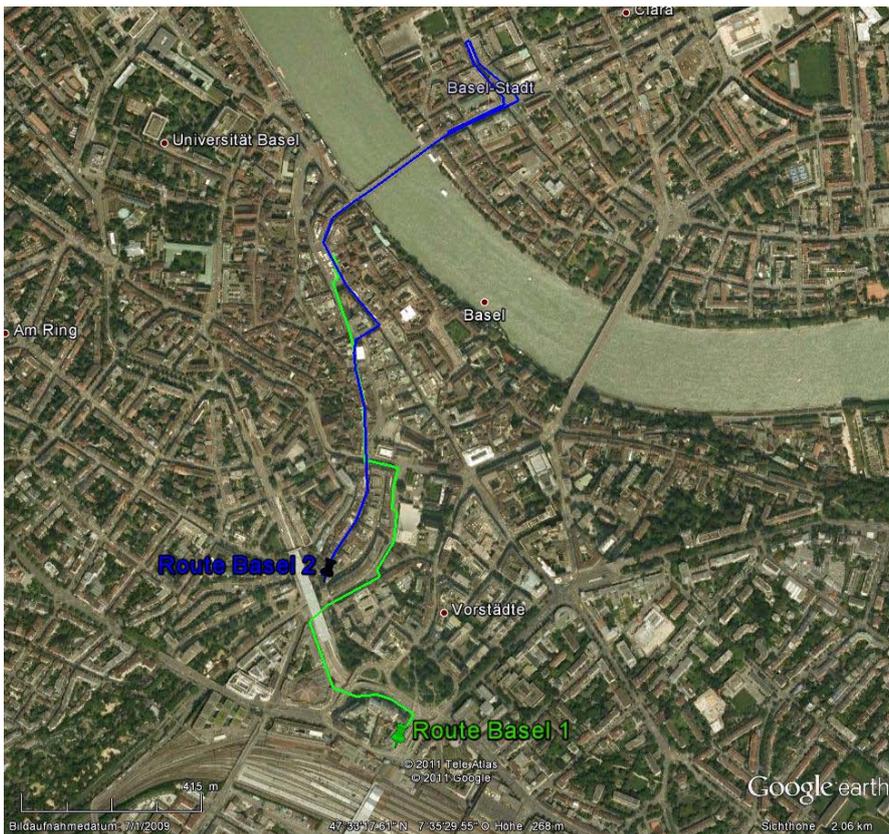


Fig. 6-7: Messroute 1 (Route 1, grün) und Messroute 2 (Route Basel 2, blau)

6.6 Inputdaten

Der grosse Vorteil der Exposimetererhebung besteht darin, dass praktisch keine Inputdaten nötig sind. Je nach gewählter Methode sind ergänzende Informationen zu expositionsrelevantem Verhalten von anderen Erhebungen zu berücksichtigen.

6.7 Qualitätskontrolle/Validierung

In Bezug auf die Qualitätskontrolle von Exposimetermessungen ist die Messgenauigkeit der Exposimeter sicherzustellen. Im QUALIFEX Projekt wurden die EME Spy Geräte regelmässig im Abstand weniger Monate kalibriert. So konnte z.B. festgestellt werden, dass eines der Geräte nicht mehr verlässliche Messungen machte und es konnte umgehend repariert werden (bestimmte Funktionsstörungen sind nicht an den Messdaten selber erkennbar). Werden die Messgeräte bei Probanden eingesetzt, ist diesem Punkt besonders grosse Bedeutung beizumessen, da nicht kontrolliert werden kann, was mit den Geräten genau geschieht.

Die Exposimetermessungen können auch zu einem gewissen Grad zur Validierung des Simulationsmodells aus Modul 3 benutzt werden (und umgekehrt). Wenn die Exposimetermessungen mit GPS Gerät gemacht werden, wäre eine Überprüfung ohne grossen Aufwand durchzuführen.

Werden die Messungen mit Probanden gemacht, müsste eine Qualitätskontrolle der Messdaten anhand der Tagebuchdaten erfolgen. Dies wurde z.B. auch im QUALIFEX Projekt gemacht (Beispiel siehe Fig. 6-8). Normalerweise kann man relativ einfach erkennen, ob die Tagebuchdaten einigermaßen mit dem Muster in den Messdaten übereinstimmen. So kann z.B. grob überprüft werden, ob das Gerät gewissenhaft mitgetragen wurde oder nicht und dadurch können unzuverlässige Daten zumindest teilweise eliminiert werden. Die Benutzung des Mobiltelefons könnte evtl. durch Überprüfung der gespeicherten Daten im Mobiltelefon des Probanden erhoben werden, was jedoch nicht bei jedem Telefontyp möglich ist. Es ist zu beachten, dass die visuelle Inspektion zur Qualitätssicherung recht aufwändig ist. Hilfreich für die Qualitätssicherung ist, wenn das Messgerät auch gleichzeitig mittels GPS Koordinaten aufzeichnet. Dies wird empfohlen.

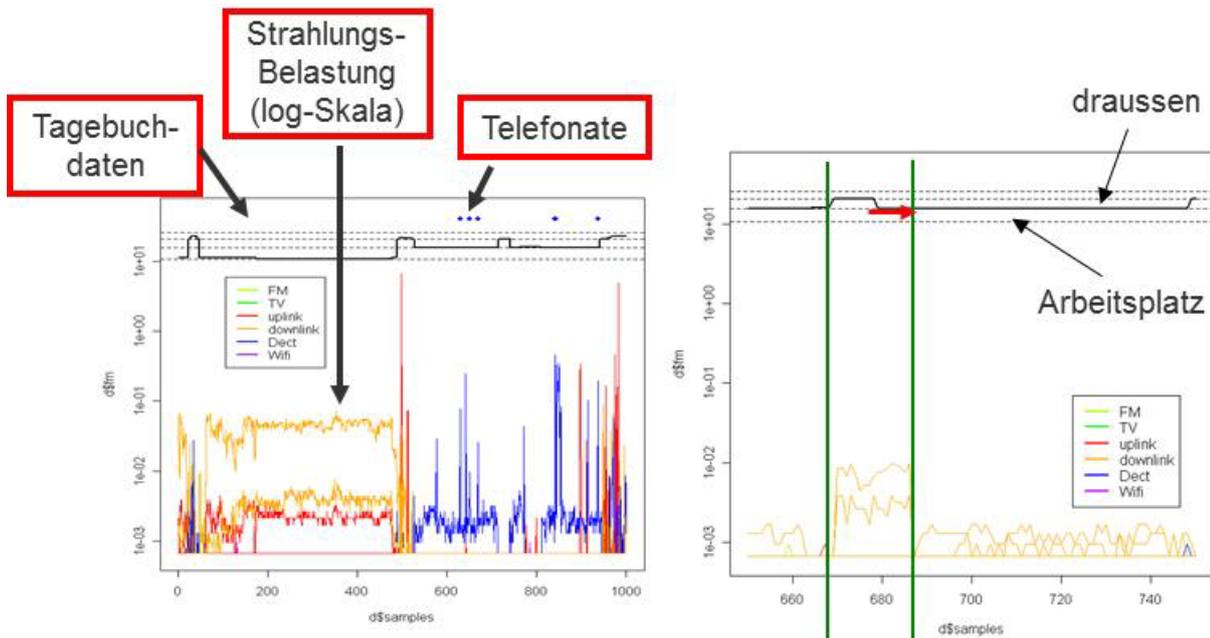


Fig. 6-8: Graphische Darstellung, mit der man die Messwerte anhand der Tagebuchdaten überprüfen kann. Die schwarze Linie oben in den 2 Bildern zeigt den Aufenthaltsort an, bei jedem Sprung dieser Linie wurde gemäss Tagebuch der Aufenthaltsort gewechselt. Meistens war der Wechsel des Aufenthaltsortes auch im Expositionsmuster erkennbar. So konnten in QUALIFEX Tagebuchangaben validiert und wenn nötig angepasst werden (Pfeil auf Bild rechts)

6.8 Unterhalt

Die Exosimetermessungen, ob probanden- oder ortsbezogen, müssten regelmässig wiederholt werden, um den zeitlichen Trend der Expositionssituation zu untersuchen. Auch müsste die Messgenauigkeit der Exosimeter regelmässig untersucht werden (Kapitel 6.4).

6.9 Anpassung für neue Quellen

Die Exosimeter sind limitiert auf die Frequenzbänder für die sie gebaut wurden (siehe Tabelle 6-1). Tendenziell können neuere Geräte im Vergleich zu älteren mehr Frequenzbänder messen. Wenn noch zusätzliche Quellen gemessen werden sollen, muss ein neues Gerätemodell entwickelt werden. Dies scheint im Hochfrequenzbereich wichtig, um die Expositionssituation der Bevölkerung auch in Zukunft vollständig erfassen zu können.

Im Bereich der nichtstationären Sendeanlagen ist zu erwarten, dass die technische Entwicklung kontinuierlich weiter fortschreitet und neue Frequenzbänder für neue Applikationen genutzt werden. Im Bereich der Mobilfunkkommunikation steht die Einführung von LTE bevor. Charakteristisch für diese Technik ist die flexible Verwendung verschiedener Frequenzbänder. Es scheint, dass das Messkonzept der SATIMO-Geräte für die Erfassung dieser Quellen wenig geeignet ist, da die Frequenzseparierung aus einer Mischung von physikalischer und numerischer Filterung beruht. Bei der numerischen Filterung wird aufgrund der Signalforn auf das Frequenzband geschlossen. Dieses Prinzip funktioniert nicht mehr, wenn verschiedene Techniken auf der gleichen Frequenz verwendet werden.

Grundsätzlich lohnt es sich ein Exosimeter einzusetzen, das auch eine Breitbandmessung über das gesamte Spektrum durchführt wie das beispielsweise beim ETH-Exosimeter der Fall ist (100 - 6000 MHz) an. Damit kann in jedem Fall überprüft werden, wann zusätzliche Quellen, die nicht separat gemessen werden, einen wichtigen Beitrag an die Gesamtexposition ausmachen.

Um zu gewährleisten, dass die Exosimeter kontinuierlich dem neuesten technischen Stand angepasst werden, wird eine langfristige Zusammenarbeit mit einem Partner empfohlen. Die entsprechenden Mittel sind bei der Planung zu berücksichtigen.

6.10 Zeitliche Konsistenz

Im niederfrequenten Bereich haben sich die tragbaren Geräte (EMDEX) etabliert und es ist zu erwarten, dass diese Geräte bis auf weiteres eingesetzt werden können. Für die zeitliche Konsistenz ist also in erster Linie ein rigoroser Unterhalt und regelmässige Kalibrierung wichtig.

Im Hochfrequenzbereich gibt es noch relativ wenig Erfahrungen in der Exposimetrie mit tragbaren Geräten und die technische Entwicklung ist rasant. Aus diesem Grund ist der zeitlichen Konsistenz grosse Beachtung zu schenken.

Konsistente Messreihen können erreicht werden, indem neue Geräte oder Erhebungsmethoden immer nur parallel mit den alten Messungen durchgeführt werden. Das erlaubt die Methoden zu vergleichen und allenfalls alte Messungen auf den neuen Stand zu korrigieren.

6.11 Metrik

Die Exposimeter messen die Leistungsflussdichte (mW/m^2) und Feldstärke (V/m). Daraus können, wie z.B. im QUALIFEX Projekt, zeitliche Mittelwerte der Exposition (total und separat für einzelne Frequenzbänder) gerechnet werden. Generell wäre aber auch denkbar, andere Metriken zu berechnen, wie der Zeitanteil der Exposition über einem bestimmten Schwellenwert (z.B. $1 \text{ V}/\text{m}$) oder die Schwankungen der Expositionswerte.

Mittlerweile wurden in der Literatur auch Methoden vorgeschlagen um die gemessenen Werte in spezifische Absorptionsraten (SAR) umzurechnen. Dies ist sinnvoll, wenn die Messwerte mit den modellierten Expositionen aus Modul 5 (Kapitel 7) kombiniert werden sollen. Dabei wird für jede Quelle eine typische Feldverteilung angenommen und die SAR-Werte simuliert. Je homogener die Feldverteilung ist, desto genauer ist die Umrechnung. Für körpernahe Sender (z.B. Mobiltelefon), kann die Umrechnung ohne Exposimetermessung durchgeführt werden, wenn die Position am Körper und die Sendeleistung bekannt ist. Die Umrechnung kann sowohl für den ganzen Körper als auch organspezifisch erfolgen.

6.12 Aufwandabschätzung

Die Durchführung von Probandenerhebungen ist relativ aufwändig. Probandenrekrutierung, Verteilung der Geräte inklusive Instruktion, Datenmanagement und Datenanalyse erfordern einen erheblichen Arbeitsaufwand. Die Kosten einer Exposimetererhebung hängen wesentlich von der Anzahl von Probanden ab. Ortsbezogene Erhebungen sind tendenziell etwas weniger aufwändig. Die Kosten hängen natürlich von der erhobenen Datenmenge ab, da alle Messzeiten entschädigt werden müssen. Zu beachten bei der Aufwandabschätzung ist, dass die Messgeräte kontinuierlich Support brauchen und im Hinblick auf die rapide technische Entwicklung im Hochfrequenzbereich auch Mittel für eine entsprechende Weiterentwicklung der Messtechnik vorhanden sein sollten.

Es wird geschätzt, dass der Arbeitsaufwand für die Durchführung einer einzelnen Probandenmessung mindestens eine Arbeitswoche beträgt. Dies beinhaltet die Rekrutierung der Probanden, Messgeräteüber- und Rückgabe inklusive Instruktion des Probanden, Datendownload, visuelle Inspektion der Aktivitätstagebuchdaten, Aufbereiten der Messdaten inklusive Tätigkeitsprotokoll und allenfalls GPS Messungen, Qualitätskontrolle der Daten, Berechnung der Expositionsgrössen, und Abfassen eines Kurzberichtes zuhanden des Probanden, Funktionskontrolle der Messgeräte.

Bei der ortsbezogenen Erhebung können typischerweise an einem Tag Messungen in 10 Orten erhoben werden. Ein weiterer Tag ist für die Aufbereitung der Messungen zu veranschlagen.

Neben diesen variablen Kosten sind Fixkosten, unabhängig von der Anzahl Probanden bzw. Orten, für die Beschaffung der Messgeräte, deren Wartung, die Datenauswertung und Berichterstattung zu planen. Auch für die kontinuierliche Weiterentwicklung der Messtechnik empfiehlt sich eine kontinuierliche Investition.

Repräsentative Befragungen als Ergänzungen zu den Messungen sind relativ kostengünstig, wenn bestehende Datenerhebungen genutzt werden können. Will man jedoch gezielte Erhebungen vornehmen sind die Kosten deutlich höher. Insbesondere, wenn Telefonbefragungen durchgeführt werden, die im Allgemeinen den Vorteil eines grösseren Rücklaufes besitzen.

6.13 Schlussfolgerung und Empfehlung

Messungen mit tragbaren Exposimetern können hilfreiche ergänzende Informationen für ein Monitoring liefern, insbesondere zur Belastung von nicht-stationären und Innenraumquellen. Als Messinstrument wird das ETH Exposimeter für hochfrequente Felder und das EMDEX II-Gerät für niederfrequente Felder empfohlen.

Die direkte Erfassung der Expositionsverteilung in der Bevölkerung anhand einer Zufallsstichprobe wird als problematisch erachtet. Da die Durchführung von solchen Messungen relativ aufwendig ist und die Teilnahme für Probanden eine Herausforderung darstellt (Einhaltung des Messprotokolls bzw. der Messvorgaben), ist die Teilnahmebereitschaft möglicherweise von der Expositionssituation abhängig. Die Repräsentativität der Messungen könnte also einerseits durch eine expositionsabhängige selektive Teilnahmebereitschaft verzerrt werden oder eine entsprechende ungenügende Einhaltung des Messprotokolls.

6.13.1 Ortsbezogene Erhebung

Ist man hauptsächlich an der Expositionsverteilung im Aussenraum oder in öffentlichen Gebäuden interessiert, empfiehlt sich die Durchführung von ortsbezogenen Erhebungen. Solche Erhebungen können vor allem für hochfrequente EMF nützliche zusätzliche Expositionsdaten zu mobilen Quellen liefern. Für niederfrequente EMF scheinen ortsbezogene Erhebungen weniger dringlich. Bei ortsbezogenen Erhebungen kann die Datenqualität besser kontrolliert werden als bei Probandenerhebungen und Trends sind aufgrund der kontrollierten Bedingungen leichter auszumachen. Ausserdem ist diese Methode mit weniger Aufwand und Kosten verbunden. Monatliche Messintervalle haben sich in bisherigen Studien bewährt. Es empfiehlt sich mindestens 1000 Messungen pro Ort und Messtag zu sammeln, damit die Messungen robust sind. Es ist darauf zu achten, dass die Messorte (z.B. Messroute) innerhalb eines Orts den Ort möglichst umfassend beschreiben (z.B., dass beim Ort „Innenstadt“ möglichst viele Schweizer Innenstädte einbezogen werden und jeweils die ganze oder grosse Teile der Innenstadt abgelaufen wird). Dabei ist auch zu beachten, dass möglichst mehrere Orte vom gleichen Typ zu verschiedenen Zeiten zu vermessen sind, damit aussagekräftige Resultate gesammelt werden und die Messungen nicht zu stark von Einzelereignissen (z.B. Neubau einer Mobilfunkantenne in einem Wohnquartier) beeinflusst werden. Bei den Messungen der hochfrequenten Strahlung wird empfohlen, das Gerät zumindest im Aussenbereich so zu platzieren, dass Körperabschirmung vermieden werden kann.

6.13.2 Probandenerhebung

Probandenerhebungen sollten nicht mit dem Ziel durchgeführt werden, direkt die Bevölkerungsexposition zu erheben sondern um Zusammenhänge zwischen expositionsrelevanten Charakteristiken und Verhalten besser zu verstehen und die Entwicklung über die Zeit zu verfolgen (analog zur QUALIFEX-Studie). Es empfiehlt sich daher die Durchführung von Messungen mit motivierten Probanden, die möglicherweise auch geringfügig entschädigt werden (in Abhängigkeit von der abgelieferten Datenqualität.). Alles in allem ist aufgrund der Variabilität für personenbezogene Messungen eine Messdauer von einer Woche vorzuziehen, was aber ein relativ grosses Engagement der Probanden erfordert. 24-h-Messungen sind aus statistischer Sicht auch möglich, erfordern aber ein rund zwei bis drei Mal grösseres Kollektiv, um die gleichen Aussagen machen zu können. Bei der Planung einer Probandenerhebung ist darauf zu achten, dass die Repräsentativität in einem 2. Schritt hergestellt werden kann, in dem expositionsrelevante Verhaltensweisen aus repräsentativen Befragungen erhoben werden. Mit Hilfe von multivariablen Regressionsmodellen können dann diese Faktoren mit den gemessenen Werten in Relation gesetzt werden. Eine solche repräsentative Befragung könnte auch mit einer allfälligen Befragung zum Gebrauch von Nahfeldquellen in Modul 5 (Kapitel 7) kombiniert werden.

6.13.3 Allgemeines

In jedem Fall ist beim Einsatz der Exposimetrie im Rahmen eines Monitorings zu beachten, dass im hochfrequenten Bereich die Expositionssituation und Quellen sich laufend verändern werden. Entsprechend ist es wichtig, auch die Messtechnik laufend anzupassen, damit alle relevanten Emissionsquellen erfasst werden.

6.14 Literatur

- [1] Contessa, G.M., Falsaperla, R., Brugaletta, V. & Rossi, P. (2010). Exposure to magnetic fields of railway engine drivers: a case study in Italy. *Radiat Prot Dosimetry*, **142**, 160-7.
- [2] Frei, P., Mohler, E., Braun-Fahrländer, C., Fröhlich, J., Neubauer, G. & Rösli, M. (2011). Cohort study on the effects of everyday life radio frequency electromagnetic field exposure on non-specific symptoms and tinnitus. *Environ Int*, **38**, 29-36.
- [3] Frei, P., Mohler, E., Bürgi, A., Fröhlich, J., Neubauer, G., Braun-Fahrländer, C. & Rösli, M. (2009a). A prediction model for personal radio frequency electromagnetic field exposure. *Sci Total Environ*, **408**, 102-108.
- [4] Frei, P., Mohler, E., Bürgi, A., Fröhlich, J., Neubauer, G., Braun-Fahrländer, C. & Rösli, M. (2010). Classification of personal exposure to radio frequency electromagnetic fields (RF-EMF) for epidemiological research: Evaluation of different exposure assessment methods. *Environ Int*, **36**, 714-20.
- [5] Frei, P., Mohler, E., Neubauer, G., Theis, G., Bürgi, A., Fröhlich, J., Braun-Fahrländer, C., Bolte, J., Egger, M. & Rösli, M. (2009b). Temporal and spatial variability of personal exposure to radio frequency electromagnetic fields. *Environ Res*, **109**, 779-85.
- [6] Joseph, W., Frei, P., Rösli, M., Thuróczy, G., Gajsek, P., Trcek, T., Bolte, J., Vermeeren, G., Mohler, E., Juhász, P., Finta, V. & Martens, L. (2010). Comparison of personal radio frequency electromagnetic field exposure in different urban areas across Europe. *Environ Res*, **110**, 658-63.
- [7] Lauer, O. (2011). Advanced monitoring solutions for wireless healthcare and exposure assessment. In *DISS. ETH No. 19975*. ETH, DISS. ETH No. 19975: Zürich.
- [8] Lauer, O., Neubauer, G., Rösli, M., Riederer, M., Frei, P., Mohler, E. & Fröhlich, J. (2011). Measurement setup and protocol for characterizing and testing radio frequency personal exposure meters. *Bioelectromagnetics*.
- [9] McBride, M.L., Gallagher, R.P., Theriault, G., Armstrong, B.G., Tamaro, S., Spinelli, J.J., Deadman, J.E., Fincham, S., Robson, D. & Choi, W. (1999). Power-frequency electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia in Canada. *Am J Epidemiol*, **149**, 831-42.
- [10] McDevitt, J. J., P. N. Breyse, et al. (2002). Comparison of extremely low frequency (ELF) magnetic field personal exposure monitors. *J Expo Anal Environ Epidemiol*, **12**(1), 1-8.
- [11] Mee, T., Whatmough, P., Broad, L., Dunn, C., Maslanyj, M., Allen, S., Muir, K., McKinney, P.A. & van Tongeren, M. (2009). Occupational exposure of UK adults to extremely low frequency magnetic fields. *Occup Environ Med*, **66**, 619-27.
- [12] Mohler, E., Frei, P., Aydin, D., Bürgi, A. & Rösli, M. (2009). Persönliche Exposition durch hochfrequente elektromagnetische Felder in der Region Basel (Schweiz): Ein Überblick über die QUALIFEX-Studie. *Umweltmedizin in Forschung und Praxis*, **14**, 329-338.
- [13] Mohler, E., Frei, P., Braun-Fahrländer, C., Fröhlich, J., Neubauer, G. & Rösli, M. (2010). Effects of everyday radiofrequency electromagnetic-field exposure on sleep quality: a cross-sectional study. *Radiat Res*, **174**, 347-56.
- [14] Neubauer, G., Cecil, S., Giczi, W., Petric, B., Preiner, P., Fröhlich, J. & Rösli, M. (2008). Final Report on the Project C2006-07, Evaluation of the correlation between RF dosimeter reading and real human exposure. *ARC-Report ARC-IT-0218*, April 2008.
- [15] Neubauer, G., Cecil, S., Giczi, W., Petric, B., Preiner, P., Fröhlich, J. & Rösli, M. (2010). The association between exposure determined by radiofrequency personal exposimeters and human exposure: a simulation study. *Bioelectromagnetics*, **31**, 535-45.
- [16] Rösli, M., Jenni, D., Kheifets, L. & Mezei, G. (2011). Extremely low frequency magnetic field measurements in buildings with transformer stations in Switzerland. *Sci Total Environ*, **409**, 3364-9.
- [17] Rösli, M., Mohler, E. & Frei, P. (2010). Sense and sensibility in the context of radiofrequency electromagnetic field exposure. *Comptes-Rendus Physique de l'Académie des Sciences*, **11**, 576-584.
- [18] Skotte, J.H. (1994). Exposure to power-frequency electromagnetic fields in Denmark. *Scand J Work Environ Health*, **20**, 132-8.

- [19] Stratmann, M., Wernli, U., Kreuter, U. & Joss, S. (1995). Messung der Belastung der Schweizer Bevölkerung durch 50 Hz Magnetfelder. In *PSI Bericht Nr. 95-09*. Paul Scherrer Institut, Abt. Strahlenhygiene.
- [20] Stratmann, M. & Wernli, C. (1994). Exposure of the Swiss Population to 50 Hz Magnetic Fields: PSI Annual Report 1994 / Annex II, available at:
http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/26/066/26066549.pdf.
- [21] Tomitsch, J., Dechant, E. & Frank, W. (2010). Survey of electromagnetic field exposure in bedrooms of residences in lower Austria. *Bioelectromagnetics*, **31**, 200-8.
- [22] Viel, J.F., Cardis, E., Moissonnier, M., de Seze, R. & Hours, M. (2009). Radiofrequency exposure in the French general population: band, time, location and activity variability. *Environ Int*, **35**, 1150-4.

7. Exposition durch körpernahe Quellen

7.1 Ziel und Methoden

Das Ziel des Moduls 5 ist die Entwicklung von Methoden zur Abschätzung der Belastung der Schweizer Bevölkerung durch körpernahe Quellen (<20 cm Abstand zum Körper) elektromagnetischer Felder (EMF).

Im Allgemeinen ist die direkte Erfassung der individuellen Dosis elektromagnetischer Felder im Körper durch körpernahe Quellen eine sehr anspruchsvolle Aufgabe. Dieser Tatsache ist es wahrscheinlich auch geschuldet, dass bislang weltweit kein Monitoringprogramm zur durchschnittlichen Belastung durch EMF von körpernahen Quellen existiert, obwohl die maximale und auch oft die durchschnittliche lokale Belastung durch solche Quellen dominiert wird. Es existieren lediglich in einigen Ländern Massnahmen, um die maximale Belastung im Rahmen der Typzulassungsprüfung zu überwachen beziehungsweise auch durch die Regulierungsbehörden zu überprüfen.

Bei körpernahen Quellen ist der Einfluss der genauen Lage und Entfernung der Quelle zum Körper auf die Dosis der Felder im Körper viel stärker ausgeprägt als bei körperfernen Quellen. Bei einem Monitoring körpernaher Quellen ist daher davon auszugehen, dass in den meisten Fällen die Vielfalt der Nutzungsbedingungen im Alltag zu grösseren Schwankungen der Dosis führt als die unterschiedlichen Eigenschaften der einzelnen Quellen. Diese stark ortsabhängigen Unterschiede bei der Exposition durch körpernahe Quellen haben ebenfalls zur Folge, dass ihre flächendeckende experimentelle Erfassung durch Exposimeter praktisch unmöglich ist oder nur unter sehr hohem experimentellem Aufwand durchgeführt werden kann. Zusätzlich ist es bei körpernahen Quellen meist notwendig, die Wechselwirkung des menschlichen Körpers mit der Quelle zu beachten. Es ist deshalb bei körpernahen Quellen üblich, die durch den Körper absorbierte Dosis an EMF zu bestimmen. Dies muss mit Hilfe eines geeigneten Körpers oder eines Körperphantoms geschehen. Die Messung der Immissionen oder Exposition ohne einen solchen Körper, d.h. in Luft, wie es für körperferne Felder üblich ist, kann bei der Erfassung der Exposition durch körpernahe Quellen zu erheblichen Fehlern führen.

Zu den im Allgemeinen anspruchsvollen Erfassungsmethoden körpernaher Quellen tritt der Umstand, dass körpernahe Quellen oft stärker zur Gesamtdosis körperinterner EMF beitragen als körperferne Quellen [18]. Es ist deshalb wichtig, diese Quellen im Rahmen des Monitorings nicht zu vernachlässigen. Anderweitig stünde die Relevanz des Monitorings zur Beurteilung der Gesamtdosis in Frage.

Fig. 7-1 fasst das vorgeschlagene Erfassungskonzept für körpernahe Quellen schematisch zusammen. Das Gesamtkonzept leitet sich aus den oben erwähnten spezifischen Eigenschaften körpernaher Quellen her. Es sieht vor, die Nutzung und die Marktdurchdringung verschiedener körpernaher Quellen regelmässig mittels eines Panels zu erheben. Die berücksichtigten Technologien und die relevanten nutzungsspezifischen Fragen der Panelerhebung werden im Voraus durch eine Expertengruppe bestimmt. Diese benennt ausserdem Kriterien zur Auswahl bestimmter Technologien zur weiteren Erfassung innerhalb des Monitorings. Wurden eine Technologie oder ein Quellentyp zur Erfassung innerhalb des Monitorings ausgewählt, wird ihr Beitrag zur Dosis körperinterner EMF bei Exposition charakterisiert. Je nach Quellentyp kann das Vorgehen im Detail verschieden sein. Ziel ist es jedoch, die im Körper induzierten elektromagnetischen Felder in Bezug auf die jeweiligen Quellen zu quantifizieren. Darauf wird aus der Charakterisierung der Quellen und der Bewertung des Nutzungsverhaltens und der Marktdurchdringung ein Nahfelddosismodell entwickelt. Im Rahmen der Quellencharakterisierung soll jedoch auch eine charakteristische Grösse gewonnen werden, die es erlaubt, das Nahfelddosismodell im Rahmen von Exposimetermessungen zu validieren beziehungsweise zu plausibilisieren.

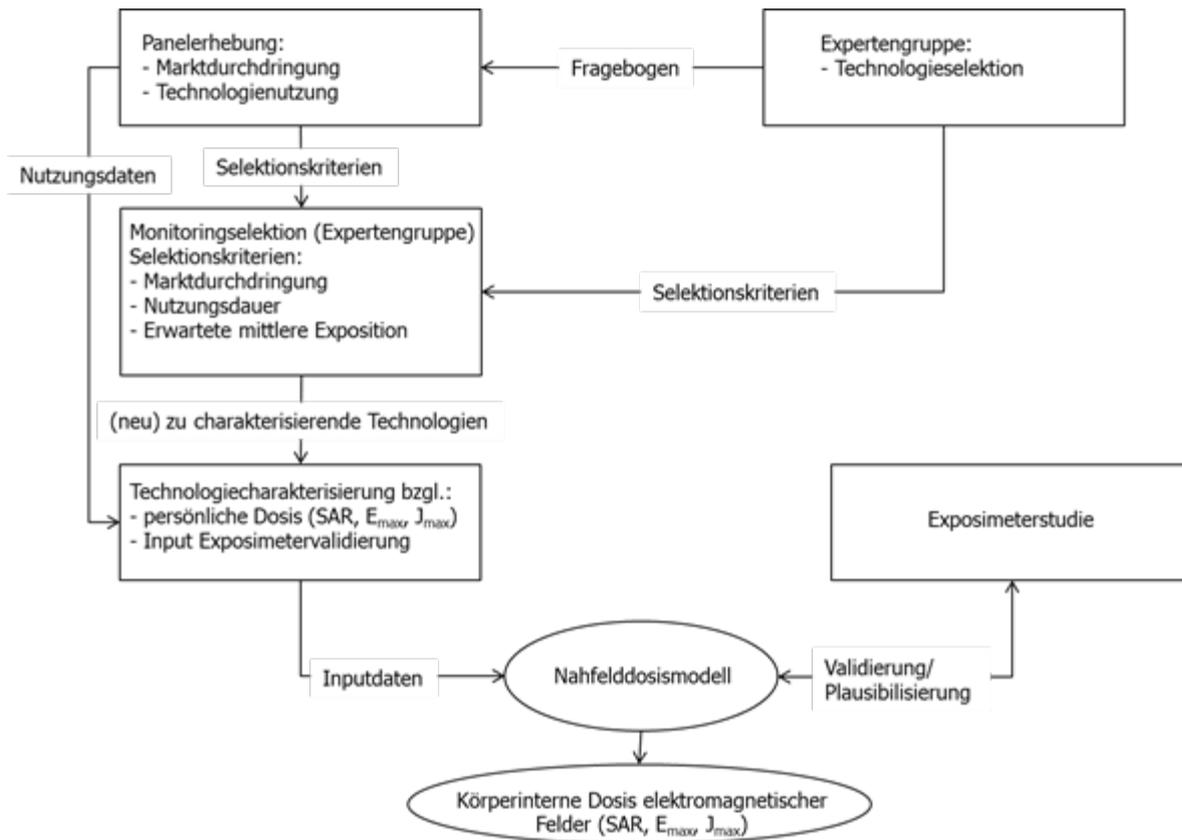


Fig. 7-1: Konzept zur Erfassung der Dosis körperinterner EMF durch körpernahe Quellen

In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Komponenten des Konzepts zum Monitoring der Dosis körperinterner EMF bei Exposition durch körpernahe Quellen vorgestellt und detailliert erläutert. Die Erklärungen werden am Beispiel des Mobiltelefons, also einer hochfrequenten Quelle von EMF, dargestellt.

Generell ist festzuhalten, dass das grundlegende Konzept auf alle Arten körpernaher Quellen von EMF anwendbar ist. Aufgrund fehlender Erfahrungen mit dem Monitoring der EMF körpernaher Quellen muss das genaue Vorgehen zur Quellencharakterisierung für jede relevante Quellenkategorie oder Technologie separat erarbeitet werden.

7.2 Expertengruppe

Die Methode der Vorselektion durch eine Expertengruppe wurde gewählt, um einen effizienten Ansatz zum frühzeitigen Erkennen neuer relevanter Technologien und Nutzungstrends zu finden.

Die Aufgaben der Expertengruppe sind:

1. Ermittlung neuer expositionsrelevanter Technologien oder geänderter Nutzungsgewohnheiten bestehender Technologien.
2. Definition und Erweiterung des Fragebogens zukünftiger Panelerhebungen zu:
 - a. Technologien
 - b. Art der Technologienutzung
3. Abschätzung der zu erwartenden Dosis körperinterner EMF durch neue Technologien.
4. Definition von Auswahlkriterien zur eingehenden Charakterisierung von Technologien auf Grund von:
 - a. zu erwartender Dosis körperinterner EMF durch die jeweilige Technologie
 - b. Expositionsdauer durch die Technologie
 - c. Bevölkerungsdurchdringung der Technologie

5. Auswahl neuer bzw. weitergehend zu charakterisierender Technologien auf Grund vorangegangener Panelerhebungen und Auswahlkriterien
6. Definition eines Pflichtenhefts zur Technologiecharakterisierung für die Bestimmung der Dosis körperinterner EMF

Es wird empfohlen, dass sich die Expertengruppe ein- bis zweimal jährlich zusammenfindet, um über die oben genannten Punkte zu beraten. Zusammenfassend gesehen ist es die Aufgabe der Expertengruppe, im jährlichen Rhythmus neue Variablen des Panels zu definieren bzw. alte zu streichen sowie Technologien zur eingehenden Charakterisierung auszuwählen.

Es wird empfohlen, die Expertengruppe aus Wissenschaftlern und Experten mit folgendem fachlichem Hintergrund zusammenzusetzen:

- wissenschaftlicher Vertreter Kommunikationstechnologien
- wissenschaftlicher Vertreter Energietechnik
- wissenschaftlicher Vertreter Bio-Elektromagnetik
- Vertreter der Regulierungsbehörden (Bundesamt für Kommunikation, Bundesamt für Gesundheit, Bundesamt für Umwelt, Bundesamt für Energie, Staatssekretariat für Wirtschaft)
- Industrievertreter der obengenannten Bereiche
- wissenschaftlicher Vertreter des Panels

Am Beispiel des Mobiltelefons könnte die Expertengruppe folgende Variablen für die Panelerhebung definieren:

- Mobiltelefon: ja, nein, mehrere?
- Kaufdatum des hauptsächlich genutzten Mobiltelefons:
 - Information, welche Technologie benutzt wird (Mobilfunk der zweiten, dritten, vierten oder fünften Generation), und damit Aufschluss über die zur Leistungsregelung genutzte Technik
- Netzbetreiber: Orange, Sunrise, Swisscom
 - Aufschluss über das Netz und über die Netzabdeckung (im Zusammenhang mit den Aufenthaltsorten des Befragten)
- Gesprächsdauer pro Monat:
 - Aufschluss über die Nutzungsdauer im Gesprächsmodus
- Anteil der Gespräche mit Headset:
 - Aufschluss über die Gesprächsdauer mit Headset (Ein Headset führt zu einer deutlich niedrigeren Belastung des Kopfes.)
- Datennutzungsdauer pro Monat:
 - Aufschluss über die Nutzungsdauer im Datenmodus, also über die Nutzung ausserhalb der Kopfbereichs

Die Gründe, aus denen die oben genannten Variablen im Falle des Mobiltelefons als besonders relevant erachtet werden, werden im Kapitel Technologiecharakterisierung näher erläutert.

7.3 Panel

Ziel des Panels ist es, jährlich neue Informationen zur Technologienutzung und zur Durchdringung der Bevölkerung durch bestimmte Technologien zu gewinnen. Durch das Schweizer Haushalt-Panel (SHP) [24] steht eine jährlich durchgeführte Querschnitterhebung zur Verfügung, die unter anderem schon bestimmte technologische und nutzungsspezifische Aspekte abdeckt, z.B. die Nutzungshäufigkeit eines Fernsehgerätes. Da die Struktur des SHP schon seit über einem Jahrzehnt existiert, wird empfohlen, ein Panel zur Technologienutzung an diese anzuhängen.

Am Beispiel des Mobiltelefons könnte eine Serie von jährlichen Panelerhebungen folgende hypothetische Daten ermitteln:

		2011	2010	2009	2008	2007
Besitz eines Mobiltelefons		98%	98%	98%	98%	98%
Derzeitiges Haupttelefon (2012) gekauft in Erhebungsjahr		35%	25%	20%	15%	4%
Netzbetreiber	Orange	16%	17%	17%	18%	19%
	Sunrise	22%	21%	21%	20%	19%
	Swisscomm	62%	62%	62%	62%	62%
Gesprächsdauer in Minuten pro Monat	Q.75	180	180	180	180	180
	median	70	70	70	70	70
	Q.25	60	60	60	60	60
Anteil Gespräche mit Headset		18%	18%	15%	10%	2%
Datennutzungsdauer in Minuten pro Monat	Q.75	1500	1000	750	500	100
	median	300	200	150	100	20
	Q.25	150	100	75	50	10

Diese hypothetische Panelerhebung gibt also Aufschluss darüber, dass

1. fast alle Befragten ein Mobiltelefon nutzen
2. fast alle Telefone weniger als 5 Jahre und 60 % weniger als 2 Jahre alt sind
3. die Verteilung der Netzbetreiber in den letzten 5 Jahren nahezu konstant war
4. es sich die typische Gesprächsdauer über die letzten 5 Jahre nicht veränderte
5. Headsets seit 2008 jedoch vermehrt genutzt werden (Einführung des iPhones)
6. sich das Datennutzungsverhalten seit 2008 sprunghaft erhöht hat

Die Expertengruppe könnte auf Grund der Erhebungsdaten und ihres Technologieverständnisses folgende Schlüsse und Punkte zur Charakterisierung des Mobiltelefons ins Pflichtenheft aufnehmen:

1. Das Mobiltelefon ist eine expositionsrelevante Technologie, da es eine hohe Spitzenbelastung des Kopfes verursacht (SAR bis zu 2 W/kg) und vom Grossteil der Bevölkerung häufig genutzt wird.
2. Das Leistungsregelungsverhalten der Mobiltelefone in den Netzen der verschiedenen Betreiber sollte in urbanen und ländlichen Gebieten untersucht werden. Wegen der geringen Änderungen der Nutzung der sich am Mobilfunkmarkt befindenden Technologien müssen bis zur Einführung der vierten Mobilfunkgeneration keine zeitlichen Schwankungen der erhobenen Daten berücksichtigt werden.
3. Neben der Belastung im Kopf soll auch die Belastung während der Datenübertragung (Mobiltelefon in der Hand) untersucht werden.
4. Ausserdem soll der Einfluss der Headsetnutzung auf die Dosis im Kopf sowie durch die Benutzung des Telefons am Körper untersucht werden.

7.4 Technologiecharakterisierung bezüglich Dosis körperlinterer EMF

7.4.1 Metrik und Dosismasse

Wie eingangs erwähnt, sind als Dosismasse für körpernahe Quellen nur im Körper induzierte elektromagnetische Felder sinnvoll. Zur Erfassung der induzierten Felder kommen in der Regel numerische oder experimentelle Modelle des menschlichen Körpers zur Anwendung. Im Falle der messtechnischen Erfassung sind diese Modelle sogenannten Phantome, die mit einem Medium gefüllt sind, das die dielektrischen Eigenschaften biologischen Gewebes simuliert. Solche Messphantome kommen zum Beispiel bei der Typenprüfung körpernaher Quellen von EMF zum Einsatz. Bei der Typenprüfung wird die Dosis in Bezug auf die im Körper induzierten Felder bzw. in Bezug auf die damit direkt korrelierten Basisgrenzwerte [1] (Spezifische Absorptionsrate (SAR) und Stromdichte (J) bzw. E-Felder, neu nach [2]) bestimmt. Die unterschiedlichen Basisgrenzwerte (SAR und J bzw. E) sind auf unterschiedliche zugrundeliegende frequenzabhängige biologische Effekte zurückzuführen. Diese Effekte sind beispielsweise im Niederfrequenzbereich die Stimulierung peripherer Nervenbahnen durch induzierten Stromfluss (Stromdichte J bzw. E-feld) oder im Hochfrequenzbereich die lokale Erwärmung des Körpergewebes durch Absorption elektromagnetischer Felder bzw. Strahlung im Gewebe (SAR).

Die einschlägigen Regelwerke definieren folgende Dosisgrößen für die Grenzwerte:

- maximales induziertes E-Feld gemittelt über ein Volumen von $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$ (E_{\max})
- maximale über eine Fläche von 1 cm^2 gemittelte Stromdichte (J_{\max})
- maximale in einem über ein Gewebevolumen von 10 g gemittelte SAR ($\text{psaSAR}_{10\text{g}}$)
- über den gesamten Körper gemittelte (whole-body average) SAR (wbaSAR)

Da es sich hierbei um geläufige Dosismasse handelt, wie sie auch in der Fachliteratur verwendet werden, und nur solche internen Dosismasse für körpernahe Quellen sinnvoll sind, wird empfohlen, diese Dosismasse im Monitoring anzuwenden. Ebenso wird empfohlen, für körperferne Quellen ermittelte Immissionen in die oben genannten Dosisgrößen umzuwandeln, um körpernahe und körperferne Quellen miteinander zu vergleichen. Für körperferne Quellen existieren vereinfachte Methoden zur Umrechnung der einfallenden Felder in körperinterne Dosisgrößen [3, 9, 18].

Die Festsetzung der im Monitoring verwendeten Dosismasse muss jedoch letztendlich durch die Bundesämter geschehen.

7.4.2 Gewebe und Körperregionenspezifische Belastung durch EMF

Die Angabe der Dosisgrößen E_{\max} , J_{\max} , $\text{psaSAR}_{10\text{g}}$ und wbaSAR lässt keine Aufschlüsse über den Ort der höchsten Dosis im Körper zu. Auf der einen Seite erlauben diese Dosisgrößen zwar Aufschlüsse über die Gerätesicherheit, die für die zu untersuchenden Quellen zwar ohnehin in jedem Fall gewährleistet sein muss, deren Aussagekraft bezüglich der Dosis körperinterner EMF einzelner Gewebe- oder Körperregionen jedoch sehr beschränkt ist. Auf der anderen Seite herrscht noch Informationsbedarf, was die Verteilung der Dosisgrößen im Körper betrifft. Zum Beispiel lässt sich an Hand des für ein Mobiltelefon ermittelten SAR-Wertes keine Aussage machen, welche Regionen des Gehirns durch dieses spezielle Gerät am stärksten belastet werden.

Neben der Charakterisierung der Quellen in Bezug auf E_{\max} , J_{\max} , $\text{psaSAR}_{10\text{g}}$ und wbaSAR wird deshalb empfohlen, auch Methoden zu entwickeln, mit denen (1) körperexterne Felder, (2) die in homogenen gewebesimulierenden Medien ermittelte SAR und (3) die Stromdichte in entsprechende körperinterne Felder in anatomisch korrekten Menschmodellen umgerechnet werden können. Mit solchen Methoden kann dann die gewebe- und körperregionenspezifische Vergleichbarkeit der Belastung durch verschiedene Quellen gewährleistet werden. Zur Entwicklung entsprechender Transformationsmodelle werden numerische Simulationen genutzt. Hierzu werden generische EMF-Quellen und anatomische Modelle des menschlichen Körpers verwendet [3, 9, 10]. Anwendbare Transformationsmodelle existieren bereits für: 1) Fernfeldquellen [9] (Fig. 7-2), 2) am Kopf benutzte Mobiltelefone [10] (Fig. 7-3), Headsets [25] und 3) Energiesparlampen [3]. Für jeden einzelnen Quellentyp müssen jedoch angepasste Transformationsmodelle mittels numerischer Simulation gewonnen werden.

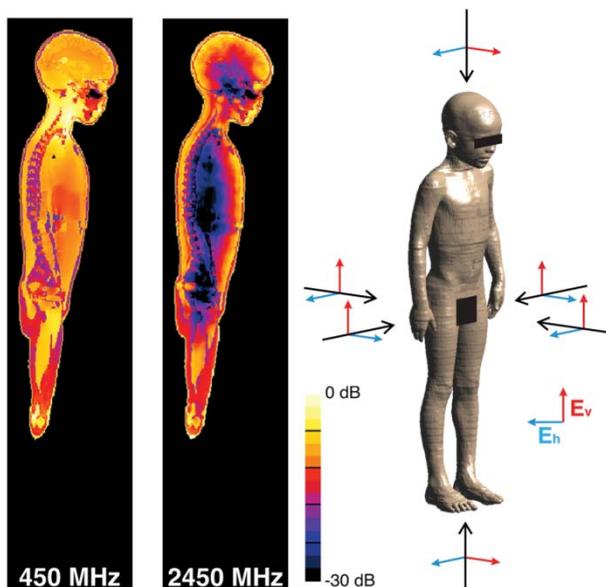


Fig. 7-2: Feldverteilung im körperinnern bei Exposition durch Fernfeldquellen. Solch eine Berechnung der Verteilung kann genutzt werden, um die gewebespezifische SAR zu ermitteln.

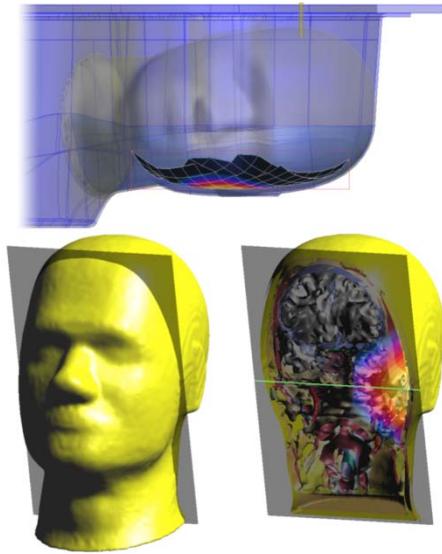


Fig. 7-3: Gemessene SAR-Verteilung in homogenem Medium (oben) und ihre Transformation in das anatomische Kopfmodell zur Bestimmung der SAR im Gehirn (unten)

7.5 Methoden zur Charakterisierung der Dosis körperinterner EMF körpernaher Quellen im Hochfrequenzbereich (10 MHz - 10 GHz)

Körpernahe Quellen im Hochfrequenzbereich zeichnen sich, wie schon erwähnt, durch starke räumliche Feldgradienten aus. Dies führt dazu, dass die Exposition durch hochfrequente körpernahe Quellen lokal begrenzt ist und stark vom Abstand der Quelle zum Körper abhängt. Deshalb ist es notwendig, die Nutzungsposition des verwendeten Endgerätes am menschlichen Körper zu ermitteln. Zusätzlich ist die starke Wechselwirkung zwischen der Quelle und dem menschlichen Körper zu beachten: Durch die Belastung durch den Körper können sich die Hochfrequenzeigenschaften der Quelle verändern. Zur Charakterisierung hochfrequenter körpernaher Quellen kommen deshalb nur Methoden in Frage, die den Einfluss des menschlichen Körpers entsprechend berücksichtigen. Zu beachten ist ausserdem, dass es, obwohl die Basisgrenzwerte in Form von $w_{ba}SAR$ und $psaSAR_{10g}$ im betrachteten Frequenzbereich konstant sind, trotzdem notwendig ist, Quellen mit mehreren Sendefrequenzen auf allen Bändern zu charakterisieren, da sich die Hochfrequenzcharakteristik der Quellen und die dielektrischen Eigenschaften des Gewebes mit der Frequenz verändern.

Zusätzlich weisen Kommunikationsendgeräte im Hochfrequenzbereich systembedingt oft eine hohe Dynamik (>1 Million) der Ausgangsleistung auf (z.B. durch adaptive Leistungsregelung). So ist der zeitliche Mittelwert der Ausgangsleistung eines Mobiltelefons der zweiten Generation (GSM) um einen Faktor 100 höher als die eines Mobiltelefons der dritten Generation (UMTS), da letzteres eine effizientere Leistungsregelung nutzt. Somit ist auch die zeitlich gemittelte Dosis körperinterner EMF bei einem Telefon der dritten Generation um einen Faktor 100 in Bezug auf die körperinterne SAR geringer als bei einem Telefon der zweiten Generation, vorausgesetzt dass beide Telefone den gleichen SAR-Spitzenwert bei Maximalleistung aufweisen. Unabhängig von der Generation der verwendeten Technik verursachen Mobiltelefone aber etwa die gleiche Maximalbelastung. Prinzipiell hängt die Dynamik der Dosis körperinterner EMF vom Nutzerverhalten, dem Kommunikationssystem und dem geographischen Ort der Nutzung ab.

7.5.1 Bestehende Erfahrungen und Methoden

Eine Marktüberwachung der maximalen SAR-Werte mobiler Endgeräte wird in verschiedenen Ländern durchgeführt (z.B. Deutschland, USA und Canada [11, 12, 13]). Dies erfolgt entweder bei der Prüfung der entsprechenden SAR-Messberichte [11, 12, 13] oder durch stichprobenhaftes Nachmessen von Endgeräten [11, 12] unter Laborbedingungen. Des Weiteren wurden verschiedene hochfrequente Nahfeldquellen in Rahmen wissenschaftlicher Untersuchungen charakterisiert [14, 15]. Die vollständige Charakterisierung zahlreicher hochfrequenter Nahfeldquellen fehlt bislang. Zu beachten ist jedoch, dass alle existierenden Monitorings sich auf die Spitzenwerte der Belastung beschränken. Ein Monitoring der Durchschnittswerte und der zeitlichen,

örtlichen und nutzerbedingten Dynamik der Dosis körperinterner EMF, wie es in dem hier beschriebenen Konzept angestrebt wird, existiert weltweit nicht.

Generell empfiehlt es sich jedoch, die Feldverteilung der hochfrequenten Quellen mittels SAR-Messungen unter Nutzung entsprechender Systeme und Körperphantome [6] bei maximaler Ausgangsleistung zu charakterisieren (Fig. 7-4). Entsprechende Messprozeduren sind standardisiert und werden regelmäßig zur Typenprüfung angewandt [7,8]. Aus diesen Messungen werden die im Körper zu erwartenden maximalen SAR-Werte gewonnen (typisch für Mobiltelefone: 0.1 – 2 W/kg). Diese Werte stellen damit den oberen Wert der Belastung durch ein Gerät dar. Unter Einbeziehen der Nutzer- und Systemdynamik können durch Skalieren der Messwerte aber auch die durchschnittlich zu erwartenden Belastungen (zeitliches Mittel) und die Dynamik der Dosis körperinterner EMF im Alltag ermittelt werden. Die statistische Untersuchung der Datenbank der SAR-Werte von Mobiltelefonen des US FCC [12] in [18] ergab zudem, dass die Unterschiede der maximalen SAR-Werte zwischen verschiedenen Kommunikationssystemen, Telefonausführungen usw. wesentlich geringer ist als die zu erwartende system- und nutzungsbedingte Dynamik. Das heisst, dass es genügt, eine relativ kleine repräsentative Untermenge aller Mobiltelefone zu vermessen, um auf die gesamte Technologiegruppe zu schliessen, wenn die psaSAR_{10g} als Dosismass zu Grunde gelegt wird. Ein ähnliches Verhalten ist auch bei anderen Kommunikationstechnologien unter Berücksichtigung der hohen nutzer- und systembedingten Unterschiede zu erwarten. Mit [25] besteht ebenfalls schon eine Untersuchung, die den Einfluss des Nutzungsverhaltens, in diesem Fall die Benutzung des Mobiltelefons mit Headsets, auf die Dosis körperinterner EMF im Kopf und des am Körper getragenen Telefons untersucht und bewertet. Aus dieser Untersuchung lässt sich für Mobiltelefone die Aussage gewinnen, dass die Benutzung eines Headsets die maximale psaSAR_{10g} um mindestens einen Faktor 2 bis zu einem Faktor von mehr als 100 reduziert (Fig. 7-5).

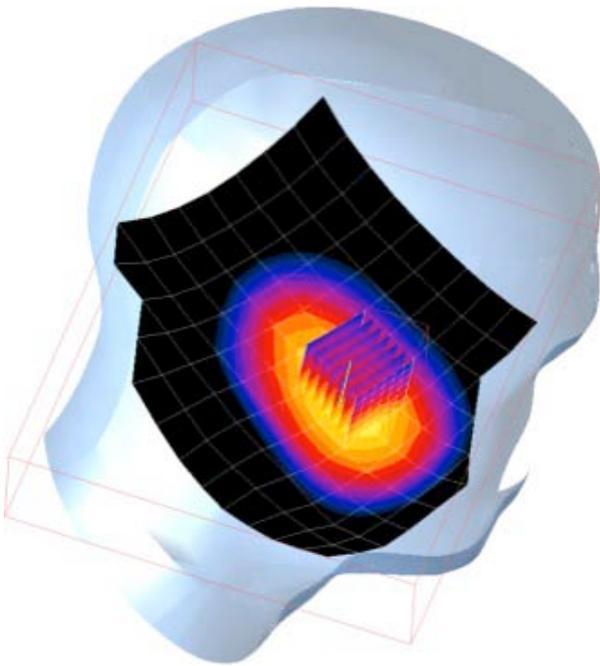


Fig. 7-4: Verteilung der SAR und Lage der peak-spatial average SAR_{10g} eines Mobiltelefons im Kopfphantom

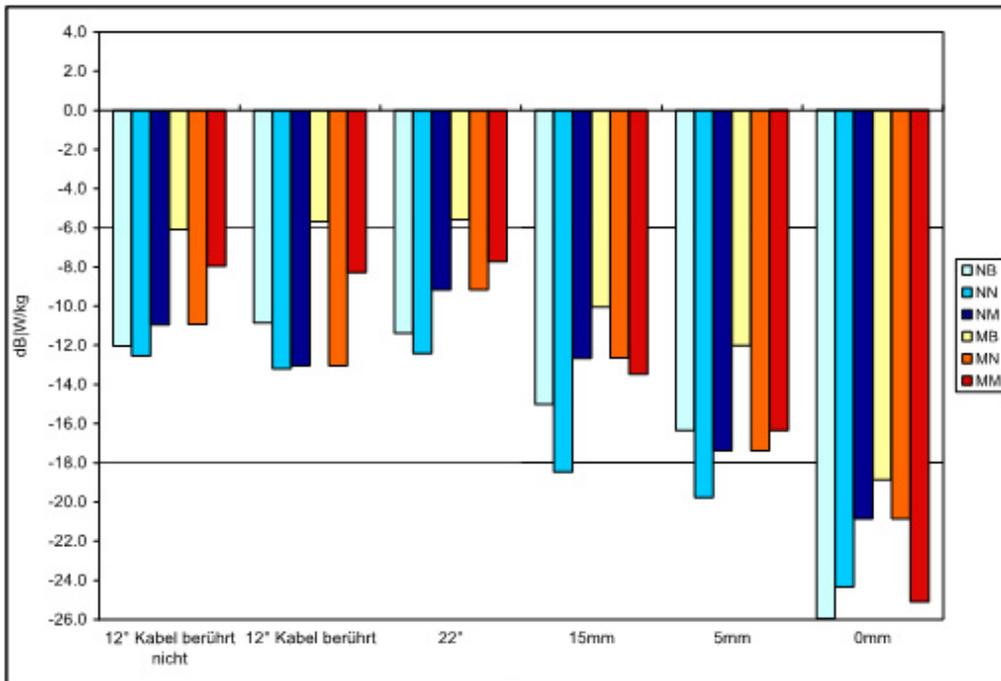


Fig. 7-5: Verringerung der psSAR_{10g} im Kopf bei Verwendung 3 verschiedener Headsets an 2 verschiedenen Telefonen (xB = Headset mit langem Mikrofonausleger, xN = Headset ohne Mikrofonausleger, xM = Headset mit kurzem Mikrofonausleger, Nx = Quaderförmiges Telefon, Mx = Klapptelefon) in verschiedenen Tragekonfigurationen (GSM900)

Zur Charakterisierung der systembedingten Dynamik stehen folgende Methoden zur Verfügung:

- software- bzw. hardwaremodifizierte Endgeräte
- Monitoring der Eigenschaften des Kommunikationssystems (basisstations- / betreiberseitig)
- Feldmessreihen zur Erfassung der Eigenschaften der Systemdynamik

Zur Charakterisierung der nutzerbedingten Dynamik stehen folgende Methoden zu Verfügung:

- software- bzw. hardwaremodifizierte Endgeräte (inkl. Information zur Lage und Nutzungsposition)
- Monitoring der Eigenschaften des Kommunikationssystems (basisstations- / betreiberseitig)
- Exposimetermessungen (beschränkt auf die Erfassung der Aktivität des Uplinks)
- Nutzerbefragungen (Panel)

Die systembedingte Dynamik von Mobiltelefonen, d.h. Charakteristik ihrer Ausgangsleistung und der Netznutzung, wurde in der Vergangenheit meist durch Feldstudien ermittelt. Zu den dabei angewandten Methoden gehören software- bzw. hardwaremodifizierte Endgeräte [17, 19] sowie spezielle Messsysteme [16, 17, 18]. Des Weiteren wurden die Systeminformationen der Basisstationen genutzt, um die Ausgangsleistung von UMTS Telefonen zu erfassen [20]. Ein Monitoringsystem für Basisstationen wird zum Beispiel von WAVE GUARD Technologies [26] angeboten. In [18] wurde die systembedingte Dynamik von GSM- und UMTS-Endgeräten in allen Schweizer Mobilfunknetzen in städtischen und ländlichen Regionen untersucht. Diese Daten stehen direkt für den Einsatz im Nahfeldmonitoring zur Verfügung. Die Untersuchung [18] zeigte zudem die gute zeitliche Reproduzierbarkeit der Ergebnisse über einen Zeitraum von zwei Jahren (2007, 2008). Eine entsprechende Voruntersuchung im Jahr 2006 lieferte jedoch deutlich unterschiedliche Ergebnisse, was auf die flächendeckende Einführung von UMTS als bevorzugtes Kommunikationssystem im Jahr 2007 zurückzuführen ist. Beim Übergang zum Mobilfunk der vierten Generation (LTE) ist deshalb die Neubestimmung der systembedingten Dynamik erforderlich. Die Systemdynamik nicht zum Mobilfunk gehörender Kommunikationsdienste wurde bisher nicht erfasst.

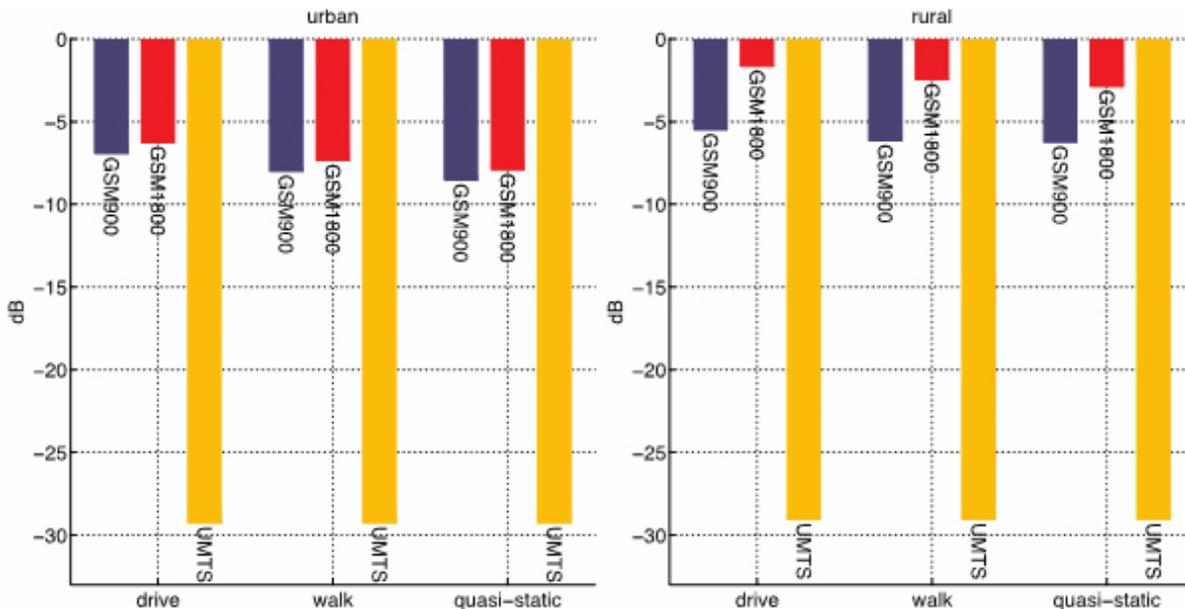


Fig. 7-6: Unterschiede der Leistungsregelung von GSM- und UMTS-Mobiltelefonen in städtischen und ländlichen Regionen in der Schweiz. Die mittlere Ausgangsleistung von UMTS-Telefonen liegt -30 dB unterhalb ihrer Maximalleistung, beträgt also ein Tausendstel der Maximalleistung, wobei GSM Telefone im Durchschnitt nur auf die Hälfte (-3 dB) bis ein Fünftel (-7 dB) ihrer Maximalleistung herunterregeln.

Die Anwendbarkeit der verschiedenen Lösungsansätze zur Messung der Systemdynamik beim Monitoring wird im Folgenden untersucht. Die Entwicklung spezifischer Messsysteme für Feldstudien ist oft mit grossem Aufwand verbunden. Auf Grund ihrer Grösse ist der Einsatzbereich dieser Systeme beschränkt. Sie bieten jedoch den Vorteil einer gut kontrollierbaren Messung mit geringer Messunsicherheit und der Möglichkeit, die Messorte mittels GPS genau zu erfassen. Die Messung der Ausgangsleistung der Endgeräte durch Überwachung der Systemparameter der Basisstationen ist nur den Dienstleistungsanbietern möglich und wurde deshalb in der Vergangenheit nur selten durchgeführt. Eine Kooperation der Dienstleistungsanbieter ist unter Umständen nur auf gesetzlicher Ebene zu erreichen. Software- bzw. hardwaremodifizierte Endgeräte hatten in der Vergangenheit häufig Probleme mit der Anzahl der verfügbaren Messpunkte bzw. der Messgeschwindigkeit und der Messunsicherheit. Diese Probleme sollten jedoch mit der zukünftigen Verfügbarkeit Smartphone-basierter Systemen gelöst werden. Zusätzlich bieten moderne modifizierte Endgeräte die Möglichkeit, neben der eigenen Ausgangsleistung im Mobilfunkbetrieb auch andere Systeme, z.B. WLAN, und Fern- und Quasifernfeldquellen zu erfassen sowie den Ort der Exposition mittels GPS zu bestimmen. In jedem Fall ist die Überwachung der Systemparameter auf lizenzierte Kommunikationssysteme (z.B. GSM, UMTS) beschränkt und daher nicht auf von zentralen Dienstleistern unabhängige Systeme (z. B. WLAN) anwendbar. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass:

- die betreiberseitige Messung bei entsprechenden gesetzlichen Voraussetzungen eine gute Möglichkeit ist, die System- und Nutzungsdynamik lizenzierter Kommunikationssysteme zu erfassen. Problematisch ist jedoch die zunehmende Nutzung unlizenzierter Kommunikationssysteme.
- sich spezielle Messsysteme für Feldstudien gut zur Erfassung der Systemdynamik eignen. Nutzer- und Nutzungsdynamik müssten anderweitig, z.B. mit einer Nutzerbefragung, erfasst werden. Nutzerbefragungen ergaben in der Vergangenheit auf Grund der unzureichenden Genauigkeit der Erinnerungen der Probanden eher unbefriedigende Ergebnisse [23]; historische Daten lassen sich somit nicht ermitteln. Nutzungsstatistiken können aber an Hand der Aufzeichnungen der Betreiber präzise ermittelt werden.
- die Messung mittels software- bzw. hardwaremodifizierter Endgeräte die umfassendste Lösung ist, da man gleichzeitig Systemdynamik, Nutzerdynamik, Nutzungslage und evtl. auch nichtlizenzierte und sekundäre Quellen (mittels einer hardwareseitigen Erweiterung durch ein Expositometer) erfassen kann. Eine Querschnittserhebung zur Expositionserfassung mit dieser Methode ist jedoch sehr kostspielig.

Am Beispiel des Mobiltelefons ginge man zur Charakterisierung der Dosis körperinterner EMF wie folgt vor:

1. Charakterisierung einer repräsentativen Auswahl von Mobiltelefonen (z.B. 20) durch ein SAR-Messsystem bei maximaler Ausgangsleistung in Bezug auf:
 - psaSAR_{10g} (typisch: 0.1 – 2 W/kg) und SAR-Verteilung im Kopfphantom (Letztere kann später genutzt werden, um die gewebespezifische SAR zu ermitteln, und stellt keinen Mehraufwand bei der Messung dar.)
 - psaSAR_{10g} (typisch: 0.1 – 2 W/kg) und SAR-Verteilung im Körperphantom (Erfassung der am Körper getragenen und der in der Hand gehaltenen Nutzungslage)
 - psaSAR_{10g} und SAR-Verteilung im Kopfphantom bei Benutzung eines Headsets (typisch: <10 % der SAR des Telefons bei Verwendung direkt am Kopf)
2. Erfassung der systembedingten Dynamik mittels Feldstudie oder Betreiberdaten (Fig. 7-6)
3. Erfassung der Nutzungsdauer (z.B. Durchschnitt und statistische Verteilung) mittels Betreiberdaten (falls nicht durch Panel verfügbar)
4. Ermittlung der zu erwartenden Feldstärke am Ort des Exposimeters (z.B. Gürtel) mittels Simulationen als Inputdaten zur späteren Überprüfung.

Die oben erfassten Informationen dienen später als Inputdaten des Nahfelddosismodells.

7.6 Methoden zur Charakterisierung der Dosis körperinterner EMF von köpernahen Quellen im Niederfrequenzbereich (DC-10 MHz)

Auch körpernahe Quellen im Niederfrequenzbereich zeichnen sich wie Quellen im Hochfrequenzbereich in den meisten Fällen durch eine Feldverteilung mit starken Gradienten aus. Deswegen ist die Lage der Quelle im Verhältnis zum Benutzer zur Bestimmung der Dosis ebenfalls von Bedeutung. Im Gegensatz zu körpernahen Quellen im Hochfrequenzbereich ist die systembedingte Dynamik der Dosis körperinterner EMF im Niederfrequenzbereich oft gering oder gut reproduzierbar. Quellen im Niederfrequenzbereich kann man zumeist in Quellen mit dominantem elektrischem Feld oder dominantem magnetischem Feld einteilen. Quellen mit dominantem elektrischem Feld werden wie Hochfrequenzquellen stark durch den menschlichen Körper beeinflusst. Bei Quellen mit dominantem Magnetfeld ist dieser Effekt vernachlässigbar, und es brauchen für diese Quellen prinzipiell lediglich die Magnetfelder ausserhalb des Körpers zur Charakterisierung der Exposition bestimmt zu werden, aus denen die Dosis körperinterner EMF kann abgeleitet werden kann. Bei der Charakterisierung niederfrequenter Quellen ist zu beachten, dass die Basisgrenzwerte J_{\max} , E_{\max} frequenzabhängig sind. Diese Abhängigkeit muss beachtet werden, damit sich Quellen verschiedener Frequenzen im Hinblick auf die Grenzwerte vergleichen lassen.

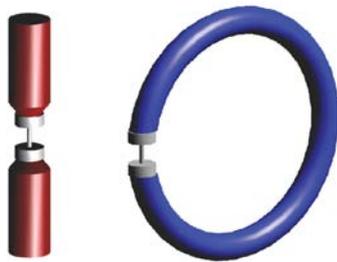
7.6.1 Bestehende Erfahrung und erprobte Methoden

Niederfrequente körpernahe Quellen wurden in der Vergangenheit insbesondere zur Überprüfung ihrer Sicherheit (Einhaltung der Basisgrenzwerte) messtechnisch untersucht. Meist beziehen sich diese Messungen auf die magnetischen und elektrischen Felder ausserhalb des Körpers. Entsprechende Messtechnik ist kommerziell verfügbar (Fig. 7-7). Einige kommerziell verfügbare Messsonden (sowie alle Exposimeter) erlauben keine frequenzselektiven Messungen, was ihre Verwendbarkeit für dosimetrische Messungen stark einschränkt.



Fig. 7-7: Elektrische und magnetische Feldmessgeräte (Quelle: Narda-STS)

Im Rahmen von [3, 4] wurden erstmals Messsonden zur direkten Erfassung induzierter Stromstärken entwickelt (Fig. 7-8). Diese Messsonden ermöglichen es, die im homogenen Medium (Sondenphantom) gemessenen induzierten maximalen Stromdichten in die maximalen induzierten Stromdichten im anatomischen Menschmodell zu transformieren (Fig. 7-9).



or H field

Fig. 7-8: Messsondenphantome zur direkten Erfassung der induzierten Stromdichten. Die Messsondenphantome bestehen aus dielektrischen, mit gewebesimulierenden Material gefüllten Behältern. Für niederfrequente elektrische Feldquellen steht ein linearer Dipolsensor, für Magnetfeldquellen ein ringförmiger Sensor zur Verfügung. In der Mitte der Sensoren kann die Stromdichte mittels einer breitbandigen Stromklemme gemessen werden.

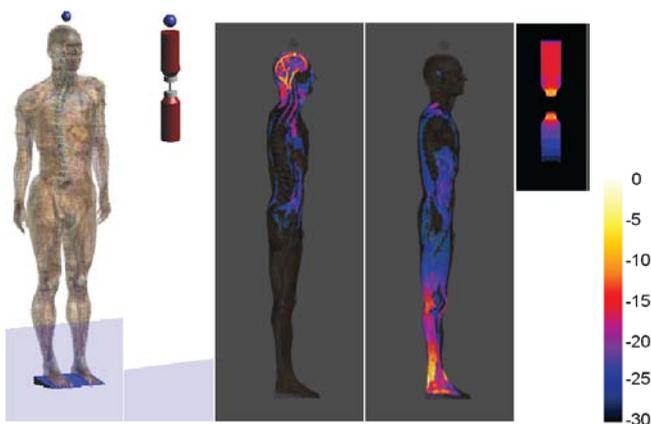


Fig. 7-9: Numerische Simulation zur Bestimmung der Transformationsfaktoren zwischen der maximalen Stromdichte (J_{\max}) im menschlichen Körper und in der Messsonde für punktförmige elektrische Feldquellen

Die Häufigkeit und Lage der Nutzung niederfrequenter körpernaher Quellen wird durch Befragung erhoben. Auf Grund der fehlenden Frequenzselektivität der am Markt erhältlichen Exposimeter sowie der hohen Feldgradienten im Nahfeld sind solche Geräte für den Einsatz in einer Untersuchung zur Charakterisierung von Niederfrequenzquellen nicht geeignet. Bei vorheriger Kenntnis der Nutzung entsprechender niederfrequenter Quellen können Exposimetermessreihen jedoch dazu dienen, ein anderweitig entwickeltes Nahfelddosismodell zu validieren.

Ein Monitoringprogramm niederfrequenter körpernaher Quellen ist den Verfassern dieses Berichts nicht bekannt.

7.7 Empfehlungen zur Charakterisierung der Dosis körperinterner EMF von körpernahen Quellen

Die hier aufgeführten Empfehlungen zum Vorgehen zur Quellencharakterisierung sind mit Bedacht sehr allgemein gehalten, um die generelle Anwendbarkeit auf verschiedene Quellen zu gewährleisten. Für Quellen wie zum Beispiel Mobiltelefone sind die meisten Charakterisierungsaufgaben schon abgeschlossen, für andere Quellen steht die Charakterisierung oft noch aus oder ist nicht umfassend genug. In jedem Fall sollte am Anfang jeder spezifischen Charakterisierungsaufgabe die bestehende Literatur gesichtet werden. Die genaue Tragweite des Charakterisierungsauftrags muss dann technologiespezifisch im Rahmen des Pflichtenhefts durch die Expertengruppe erfolgen.

Generell soll die Charakterisierung von körpernahen Quellen folgende Punkte berücksichtigen:

1. Charakterisierung der körperinternen Dosis elektromagnetischer Felder einer Anzahl körpernaher Quellen einer Quellengruppe in allen relevanten Nutzungslagen und gegebenenfalls unter Verwendung von Zubehörgeräten bezüglich
 - a. (für hochfrequente Quellen) ihrer SAR-Verteilung sowie ihrer über den ganzen Körper gemittelten SAR und ihres lokal gemittelten SAR-Spitzenwertes bei maximaler Ausgangsleistung.
 - b. (für niederfrequente Quellen) ihrer Feldverteilung innerhalb oder ausserhalb (nur bei Magnetfeldquellen) des Körpers unter Berücksichtigung verschiedener Nutzungslagen und Quantifizierung der Dosis und der Schwankungen von J_{\max} oder E_{\max} .
2. Für hochfrequente Quellen: Erfassung der Systemdynamik mittels Betreiberdaten (nur für lizenzierte Kommunikationssysteme) oder einer Feldstudie (für lizenzierte und unlizenzierte Systeme) in verschiedenen geographischen Umgebungen.
3. Ermittlung der zu erwartenden Feldstärke am Ort eines Exposimeters (z.B. Gürtel) mittels Simulationen als Inputdaten zur späteren Überprüfung.
4. Charakterisierung der SAR bzw. der Stromdichten in den verschiedenen Geweben und Regionen des Körpers (optional).

7.8 Nahfelddosismodell

Das Nahfelddosismodell (Fig. 7-10) vereinigt die Nutzungsdaten aus dem Panel oder auch aus anderen Untersuchungen (z.B. Betreiberdaten) mit der Technologiecharakterisierung. Die Outputdaten des Nahfelddosismodells sind die körperinternen Dosismasse und die Validierungsgrößen zur Plausibilisierung des Modells innerhalb einer Exposimetermessreihe. Das Nahfelddosismodell erlaubt es somit, die Dosis nutzerspezifisch aufzulösen und die durchschnittliche Belastung in Bezug auf Zeit, Ort und Nutzungsverhalten (persönliche Dosis) sowie ihre Schwankungen darzustellen. Werden die Immissionen bzw. Expositionen körperferner Quellen in dieselben Dosismasse transformiert, erlaubt das Modell auch den direkten Vergleich der Dosis der körperinternen EMF körperferner und körpernaher Quellen.

Am einfachsten ist es, das Modell als kombinatorischen Baum (Fig. 7-11) für ein gewähltes Dosismass (z.B. $\text{psaSAR}_{10\text{g}}$ im Kopf) darzustellen. Für jedes Dosismass muss ein eigener Baum erstellt werden, wobei trotz unterschiedlicher Bäume oft dieselben Inputdaten und Berechnungsmethoden genutzt werden können. In den Blättern am Ende des Baums steht die nutzungsspezifische persönliche Dosis in Bezug auf das gewählte Dosismass. Die persönliche Dosis berechnet sich aus dem individuellen Nutzungsverhalten und der Technologie der verwendeten Geräte.

Auf den höheren Ebenen des Baumes ergibt sich die statistische Zusammenfassung (Durchschnittswerte und Schwankungsbreiten) bestimmter Gruppen von Nutzungsszenarien oder Technologien. Zu oberst steht die zu erwartende Gesamtdosis und ihre Schwankungsbreite. Die Gesamtdosis versteht sich dabei nicht als einzelner Wert, sondern als die im Baum ermittelten Einzelbeiträge verschiedener Technologien, Nutzungslagen, Zusatzgeräte et cetera. Eine Summierung dieser Einzelbeiträge wird nur möglich wenn die Verteilung der Dosis im Körper bekannt ist; zum Beispiel basierend auf entsprechenden Simulationsmodellen.

In Fig. 7-12 wurde der kombinatorische Baum des Nahfelddosismodells am Beispiel des Mobiltelefons erstellt. Es ist zu beachten, dass es sich um ein stark vereinfachtes Beispiel handelt. Das Nahfelddosismodell wurde bzgl. der Schwankungsbreiten der psaSAR_{10g} im gesamten Körper erstellt. Im Beispiel wird nur der lokale Maximalwert der Dosis betrachtet, das heisst für die Nutzungslage am Kopf die psaSAR im Kopf, für die Nutzungslage in der Hand die psaSAR in der Hand et cetera. Sekundäre Belastungen, zum Beispiel die psaSAR_{10g} im Kopf bei Nutzungslage Hand, werden im Beispiel nicht betrachtet, da in den meisten Fällen von geringen sekundären Dosen ausgegangen werden kann. Prinzipiell wäre jedoch auch die Bestimmung sekundärer Belastungen mit dem Nahfelddosismodell möglich. Für das Zusatzgerät Headset wird jedoch die vom, am Körper oder in der Hand getragenen, Telefon über das Headset eingekoppelte psaSAR_{10g} im Kopf ins Modell einbezogen.

Das Modell würde am Beispiel des Mobiltelefons folgende Ergebnisse liefern:

- Ebene Technologie: psaSAR_{10g} bei maximaler Ausgangsleistung (verschiedene Mobiltelefon-Modelle)
 - GSM900: 0.1 – 2 W/kg
 - GSM1800: 0.1 – 2 W/kg
 - UMTS1950: 0.1 – 2 W/kg
- Ebene Nutzungslage: psaSAR_{10g} bei maximaler Ausgangsleistung (Erläuterung der Beispieldaten: keine technologischen Unterschiede, keine Unterschiede bzgl. der Nutzungslage)
 - GSM900:
 - Hand/Körper: 0.1 – 2 W/kg
 - Kopf: 0.1 – 2 W/kg
 - GSM1800:
 - Hand/Körper: 0.1-2W/kg
 - Kopf: 0.1-2W/kg
 - UMTS1950:
 - Hand/Körper: 0.1 – 2 W/kg
 - Kopf: 0.1 – 2 W/kg
- Ebene Zusatzgerät: psaSAR_{10g} bei maximaler Ausgangsleistung (Erläuterung der Beispieldaten: 1) SAR im Kopf bei Nutzung eines Headsets mit Telefon in der Hand / am Körper: technologieunabhängige Reduktion der psaSAR_{10g} um einen Faktor 2 bis 100; 2) Headsetkabel am Telefon hat keinen Einfluss auf die lokale psaSAR_{10g} des in der Hand / am Körper getragenen Telefons)
 - GSM900:
 - Hand/Körper:
 - Ohne: 0.1 – 2 W/kg
 - Headset: 0.1 – 2 W/kg
 - Kopf:
 - Ohne: 0.1 – 2 W/kg
 - Headset: 0.001 – 1 W/kg
 - GSM1800:
 - Hand/Körper:
 - Ohne: 0.1 – 2 W/kg
 - Headset: 0.1 – 2 W/kg
 - Kopf:
 - Ohne: 0.1 – 2 W/kg
 - Headset: 0.001 – 1 W/kg
 - UMTS1950:
 - Hand/Körper:
 - Ohne: 0.1 – 2 W/kg
 - Headset: 0.1 – 2 W/kg
 - Kopf:
 - Ohne: 0.1 – 2 W/kg
 - Headset: 0.001 – 1 W/kg
- Ebene Nutzungsort: psaSAR_{10g} in Abhängigkeit von der orts- und technologieabhängigen Ausgangsleistung (Erläuterung der Beispieldaten: Technologische Unterschiede zwischen GSM und UMTS; keine Unterschiede zwischen Stadt und Land. Zu beachten ist aber, dass städtische und ländliche

Gebiete nur bzgl. ihre Schwankungsbreiten ähnlich sind, nicht jedoch bzgl. der zeitlichen Mittelwerte der Dosis bei GSM, vgl. Fig 7-6.):

- GSM900:
 - Hand/Körper:
 - ohne Headset:
 - städtisch: $10^{-4} - 2$ W/kg, zeitliches Mittel: 0.02 - 0.4 W/kg
 - ländlich: $10^{-4} - 2$ W/kg, zeitliches Mittel: 0.03 - 0.6 W/kg
 - mit Headset
 - städtisch: $10^{-4} - 2$ W/kg, zeitliches Mittel: 0.02 - 0.4 W/kg
 - ländlich: $10^{-4} - 2$ W/kg, zeitliches Mittel: 0.03 - 0.6 W/kg
 - Kopf:
 - ohne Headset:
 - städtisch: $10^{-4} - 2$ W/kg, zeitliches Mittel: 0.02 - 0.4 W/kg
 - ländlich: $10^{-4} - 2$ W/kg, zeitliches Mittel: 0.03 - 0.6 W/kg
 - mit Headset:
 - städtisch: $10^{-6} - 1$ W/kg, zeitliches Mittel: $1 \cdot 10^{-4} - 0.2$ W/kg
 - ländlich: $10^{-6} - 1$ W/kg, zeitliches Mittel: $1.5 \cdot 10^{-4} - 0.3$ W/kg
- GSM1800:
 - Hand/Körper:
 - ohne Headset:
 - städtisch: $10^{-4} - 2$ W/kg, zeitliches Mittel: 0.02 - 0.45 W/kg
 - ländlich: $10^{-4} - 2$ W/kg, zeitliches Mittel: 0.06 - 1.1 W/kg
 - mit Headset:
 - städtisch: $10^{-4} - 2$ W/kg, zeitliches Mittel: 0.02 - 0.45 W/kg
 - ländlich: $10^{-4} - 2$ W/kg, zeitliches Mittel: 0.06 - 1.1 W/kg
 - Kopf:
 - ohne Headset:
 - städtisch: $10^{-4} - 2$ W/kg, zeitliches Mittel: 0.02 - 0.45 W/kg
 - ländlich: $10^{-4} - 2$ W/kg, zeitliches Mittel: 0.06 - 1.1 W/kg
 - mit Headset:
 - städtisch: $10^{-6} - 1$ W/kg, zeitliches Mittel: $1 \cdot 10^{-4} - 0.25$ W/kg
 - ländlich: $10^{-6} - 1$ W/kg, zeitliches Mittel: $3 \cdot 10^{-4} - 0.55$ W/kg
- UMTS1950:
 - Hand/Körper:
 - ohne Headset:
 - städtisch: $10^{-7} - 2$ W/kg, zeitliches Mittel: $10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3}$ W/kg
 - ländlich: $10^{-7} - 2$ W/kg, zeitliches Mittel: $10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3}$ W/kg
 - mit Headset:
 - städtisch: $10^{-7} - 2$ W/kg, zeitliches Mittel: $10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3}$ W/kg
 - ländlich: $10^{-7} - 2$ W/kg, zeitliches Mittel: $10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3}$ W/kg
 - Kopf:
 - ohne Headset:
 - städtisch: $10^{-7} - 2$ W/kg, zeitliches Mittel: $10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3}$ W/kg
 - ländlich: $10^{-7} - 2$ W/kg, zeitliches Mittel: $10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3}$ W/kg
 - mit Headset:
 - städtisch: $10^{-9} - 1$ W/kg, zeitliches Mittel: $10^{-6} - 10^{-3}$ W/kg
 - ländlich: $10^{-9} - 1$ W/kg, zeitliches Mittel: $10^{-6} - 10^{-3}$ W/kg

Es ist anzumerken, dass die Rangfolge der Ebenen des kombinatorischen Baumes beliebig veränderbar ist. Aus dem oberen Beispiel wird schnell der Vorteil des modularen Aufbaus des Nahfelddosismodells ersichtlich. Weiterhin kann mit Hilfe der Verteilungsfunktionen der SAR-Werte sowie der Nutzungscharakteristik (aus der Panelbefragung) z. B. die durchschnittliche Belastung einer Bevölkerungsgruppe oder auch der gesamten Bevölkerung statistisch zusammengefasst werden. Zum Beispiel kann mit Hilfe der Netznutzungscharakteristik (35 % UMTS im ländlichen Gebiet und 95 % UMTS im städtischen Gebiet) und der im Panel erhobenen Nutzungsdaten (18 % der Mobilfunkteilnehmer nutzen ein Headset, telefonieren im Mittel 70 Minuten pro Monat und nutzen im Mittel 300 Minuten lang Datendienste) die durchschnittliche (zeitlich gemittelte) Dosis (z.B. in Bezug auf die SAR_{10g} im Kopf, Hand oder im restlichen Körper) für eine Person mit Wohnsitz in der Stadt oder auf dem Land ermittelt werden.

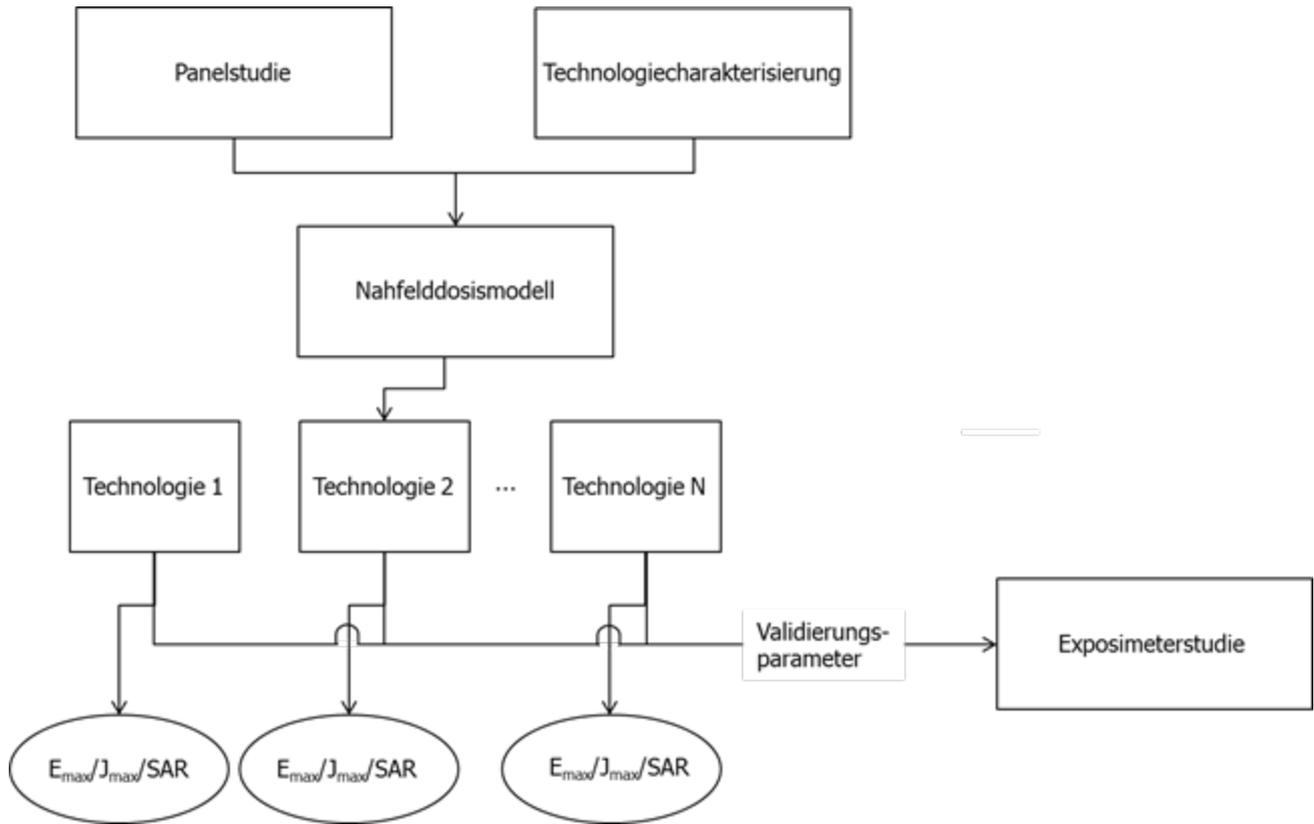


Fig. 7-10: Schematische Darstellung der einzelnen Komponenten des Nahfelddosismodells

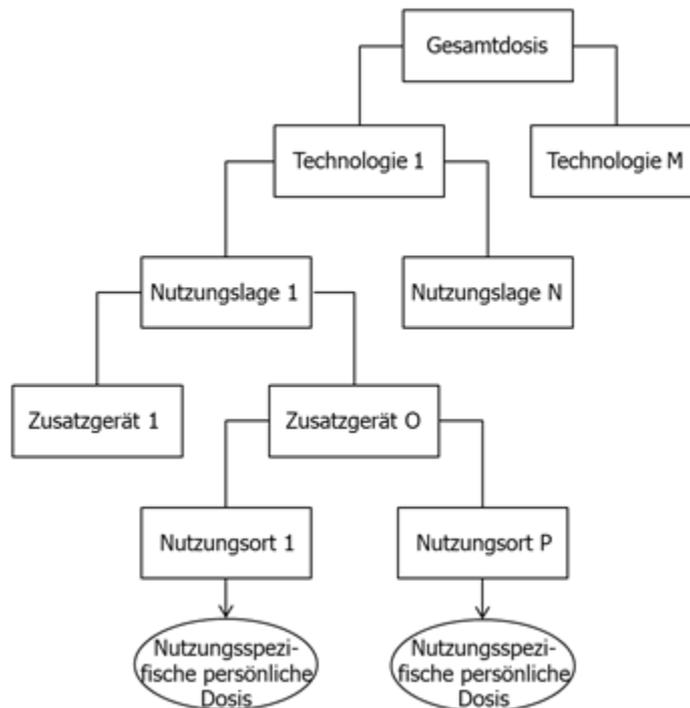
Gewichtungsmerkmale für Mittelwertbildung und Dynamik

Marktdurchdringung, Nutzungsdauer von Technologie X

Nutzungsdauer in Lage X

Nutzungsdauer mit Zusatzgerät X

Nutzungshäufigkeit an Ort X



Output gewichteter Mittelwerte

Durchschnittliche Belastung durch Technologie X und deren Schwankungsbreite

Durchschnittliche Belastung durch Technologie X in Lage Y und deren Schwankungsbreite

Durchschnittliche Belastung durch Technologie X in Lage Y mit Zusatzgeräte Z und deren Schwankungsbreite

Durchschnittliche Belastung durch Technologie X in Lage Y mit Zusatzgeräte Z an Ort W und deren Schwankungsbreite

Fig. 7-11: Schematische Darstellung der Modellierung im Nahfeldexpositionsmodell

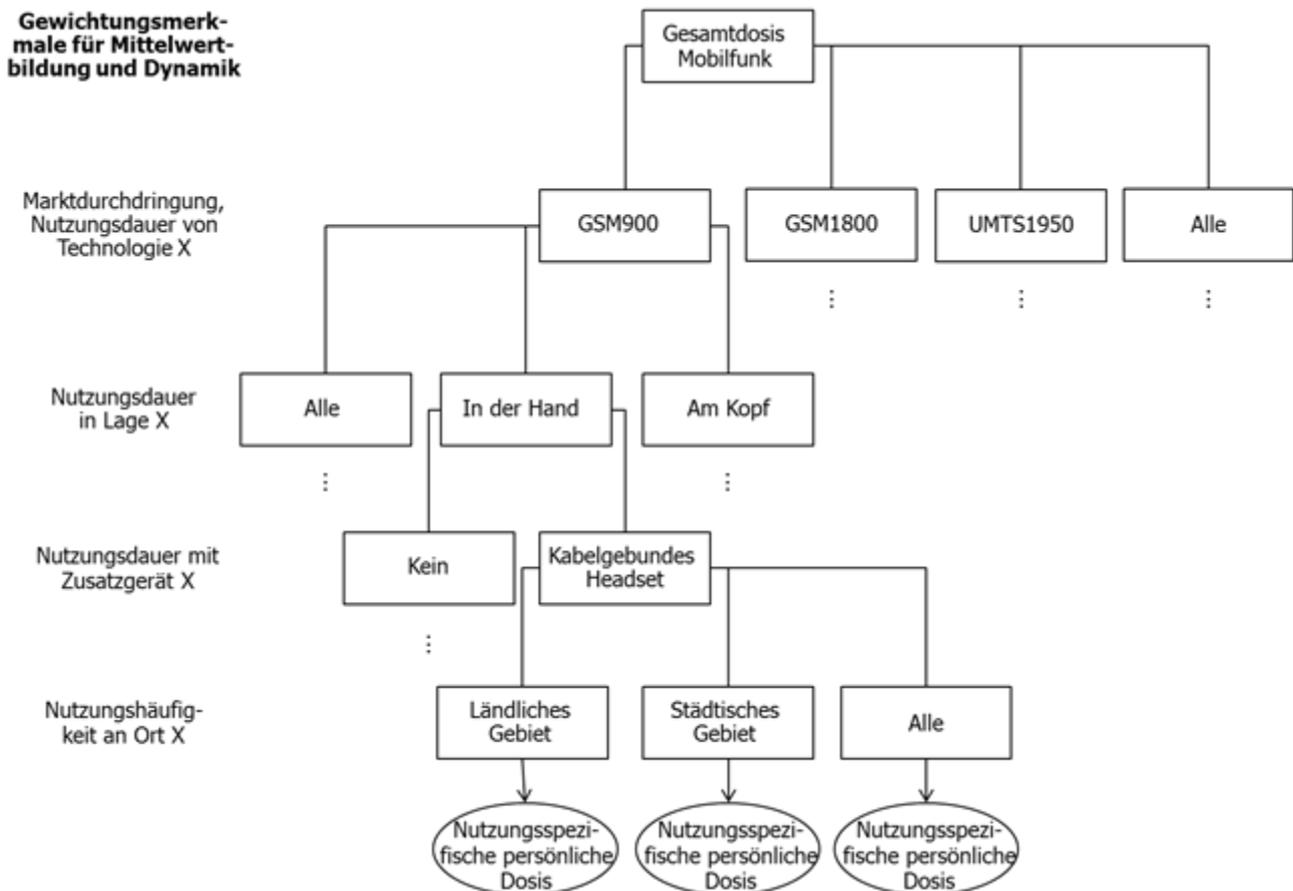


Fig. 7-12: Schematische Darstellung der Modellierung im Nahfeldexpositionsmodell für Mobiltelefone

7.9 Modellierte Quellen / Anpassung an neue Quellen

Mit der vorangehend empfohlenen Methodik wird es möglich, die Dosis körpermiter EMF jedweder körpernaher Quelle im Nieder- und Hochfrequenzbereich zu erfassen. Das modulare Prinzip der Quellencharakterisierung unter Laborbedingungen, der Dynamikcharakterisierung unter realistischen Betriebsbedingungen und der Ermittlung der Nutzungscharakteristik durch Befragung erlaubt es, das Modell schnell um neue Quellen zu erweitern und Synergien mit bestehenden Untersuchungen zu nutzen.

Für die Charakterisierung niederfrequenter körpernaher Quellen werden die heute verfügbaren Messinstrumente auch in Zukunft ausreichend sein. Auf Grund der Notwendigkeit für Zulassungstests wird das notwendige Instrumentarium für Labormessungen hochfrequenter Nahfeldquellen in geeignet ausgestatteten Laboratorien auch zukünftig zur Verfügung stehen. Sobald sich eine Kommunikationstechnologie ändert oder hinzukommt, werden jedoch Anpassungen im Instrumentarium für die Erfassung der systembedingten Dynamik notwendig.

7.10 Konzept für Repräsentativität und zeitliche Konsistenz

Die Repräsentativität und die zeitliche Konsistenz des Konzepts zur Erfassung der Dosis körpermiter EMF von körpernahen Quellen basiert auf Verwendung von Erhebungsdaten der jährlichen Befragung des Panels. An Hand der Befragungen wird es möglich, repräsentative Informationen zum Nutzungsverhalten der jeweiligen Technologien zu gewinnen und diese in die Technologiecharakterisierung sowie in das Nahfelddosismodell einfließen zu lassen. Befragungen im jährlichen Rhythmus sind ausreichend, um den technologischen und nutzungsspezifischen Wandel zeitlich abzubilden. Dazu muss die Expertengruppe den Fragebogen rechtzeitig an veränderte Technologien und neue Nutzungsschemata anpassen.

7.11 Inputdaten / Outputdaten

Das Konzept benötigt als Inputdaten die Informationen der Expertengruppe, die zur Definition des Fragebogens des Panels führen. Mit Hilfe des Panels werden die repräsentativen Informationen zum Nutzungsverhalten der jeweiligen Technologien gewonnen. Die Informationen aus dem Nutzungsverhalten fliessen dann in die Technologiecharakterisierung sowie in das Nahfelddosismodell ein. Das Design der Technologiecharakterisierung ist so ausgelegt, dass bestehende Daten verschiedener Technologien (z.B. zum Mobiltelefon) direkt mit einbezogen werden können. Dadurch kann der Charakterisierungsaufwand für gut erforschte Technologien stark reduziert werden.

Als Outputdaten liefert das Nahfelddosismodell die internen Dosismasse E_{\max} , J_{\max} , $psaSAR_{10g}$, und $wbaSAR$ als personenbezogene, nutzungsspezifische Dosisdaten. Zusätzlich kann das Modell dazu genutzt werden, die internen Dosismasse für bestimmte Gewebe- und Körperregionen darzustellen, sofern diese im Rahmen der Technologiecharakterisierung bestimmt wurden. Die internen Dosismasse können in jedem Fall als Outputdaten zeitlich, geographisch (bei entsprechendem Aufbau des Panels) und technologie- und nutzerspezifisch dargestellt werden. Ebenfalls erlaubt das Modell die statistische Zusammenfassung der erhobenen Daten und ermöglicht es dadurch, Aussagen zur durchschnittlichen Dosis körperlinterer EMF in Bezug auf Zeit, Ort und Nutzungsverhalten sowie ihre Schwankungen zu machen.

7.12 Validierung

Das Konzept sieht die Validierung des Nahfelddosismodells im Rahmen von Exposimetermessreihen vor. Durch die Mittelwerte und die erwarteten Schwankungen der Exposition, die das Nahfelddosismodell liefert, kann das Modell mit den gesammelten Daten der Exposimetermessreihen validiert werden. Es wird dabei in den meisten Fällen nicht möglich sein einzelne Elemente des Nahfelddosismodells zu validieren. Die Möglichkeiten der Validierung mittels Exposimetermessreihen, zum Beispiel im Rahmen einer Mikrokompartmentuntersuchung, liegen in der Validierung einer erwarteten evtl. technologiespezifischen Gesamtdosis welche innerhalb der vorher im Nahfelddosismodell berechneten Schwankungsbreiten zu liegen kommen muss.

Die Qualität der während der Technologiecharakterisierung ermittelten Mess- und Simulationsdaten wird durch entsprechende Kalibration der Messgeräte und Validierung der Simulationen sichergestellt.

Die Qualität der Daten des Panels kann für schwer zu erhebende Punkte, z.B. die Nutzungsdauer eines Telefons, zusätzlich noch durch Drittdaten, z.B. netzbetreiberseitige Nutzungsdauerdaten, überprüft werden.

7.13 Aufwandsabschätzung

Die Kosten eines jährlich durchgeführten separaten Panels zum Thema mit 1000 Teilnehmern werden pro Befragungswelle auf 50 - 100 kCHF geschätzt (einschliesslich der Kosten für die Zusammenkünfte der Expertengruppe). Kann das Panel an ein bereits existierendes angehängt werden (z.B. SHP), lassen sich die Kosten eventuell reduzieren.

Die Kosten zur Erstellung eines ersten Nahfelddosismodells, das auf bereits bestehenden Technologiecharakterisierungsdaten (z.B. für Mobiltelefone, WiFi Systeme, und Energiesparlampen) aufbaut, belaufen sich auf circa 60 - 120 kCHF.

Zur Charakterisierung einer neuen Technologie oder Quellenkategorie im Nahfeld wird mit Kosten von 40 bis 80 kCHF gerechnet. Für die Neubewertung (z.B. zusätzlicher Prüflinge, oder geänderter Nutzungslage) der Dosis körperlinterer EMF von bereits nahfeldcharakterisierten Quellenkategorien werden Kosten von 10 kCHF erwartet.

7.14 Literatur

- [1] ICNIRP (1998). Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). *Health Physics*, **74**(4), 494-522.

- [2] ICNIRP (2010). Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz). *Health Physics*, **99**(6), 818-836.
- [3] Nadakuduti, J., Douglas, M., Capstick, M., Kühn, S., Kuster, N. (2012). Application of an Induced Field Sensor for Assessment of Electromagnetic Exposure from Compact Fluorescent Lamps Bioelectromagnetics, *Bioelectromagnetics*, **33**, 166-175.
- [4] WEMS (2001). Development of Procedures and Instrumentation for Demonstration of Worker's EM Safety (WEMS), Eureka Project Number: 5841. <http://www.workeremsafety.org/>
- [5] Standard EMDEX Lite Meter, <http://www.enertech.net/html/EMDEXLite.html>
- [6] Schmid, T., Egger, O., Kuster, N. (1996). Automated E-field scanning system for dosimetric assessments. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, **44**(1), 105-113.
- [7] IEC (2005). Standard IEC 62209-1, Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices - human models, instrumentation, and procedures
- [8] IEC (2010). Standard IEC 62209-2, Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices - human models, instrumentation, and procedures - Part 2: Procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for wireless communication devices used in close proximity to the human body (frequency range of 30 MHz to 6 GHz)
- [9] Gosselin, M.C., Djafarzadeh, R., Kuehn S., Kuster, N. (2011). Organ and CNS Tissue Region Specific Evaluation of the Time-Averaged Far-Field Exposure in Various Human Body Models. *Bioelectromagnetics*, in review.
- [10] Gosselin, M.C., Kühn, S., Crespo-Valero, P., Cherubini, E., Zefferer, M., Christ, A., Kuster, N. (2011). Estimation of Head Tissue-Specific Exposure from Mobile Phones Based on Measurements in the Homogeneous SAM Head. *Bioelectromagnetics*, **32**(6), 493-505.
- [11] BFS (2011). Persönliche Kommunikation, Bundesamt für Strahlenschutz (Peter Hofmann)
- [12] IC (2011). Persönliche Kommunikation, Industry Canada (Josette Gallant, Stephane Proulx)
- [13] Federal Communications Commission, Office of Engineering and Technology (OET) (2001). ID Search. <http://transition.fcc.gov/oet/ea/fccid/>
- [14] Kuehn, S., Lott, U., Kramer, A., Kuster, N. 2007. Assessment methods for demonstrating compliance with safety limits of wireless devices used in home and office environments. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, **49**(3), 519-525.
- [15] FP7 SEAWIND (2011). Sound exposure and risk assessment of wireless network devices (SEAWIND). GA Number: 244149. <http://seawind-fp7.eu>
- [16] Wiart, J., Dale, C., Bosisio, A.V., Le Cornec, A. (2000). Analysis of the influence of the power control and discontinuous transmission on RF exposure with GSM mobile phones. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, **42**(4), 376-385.
- [17] Kelsh, M.A., Shum, M., Sheppard, A.R., Mcneely, M., Kuster, N., Lau, E., Weidling, R., Fordyce, R., Kühn, S., Sulser, Ch. (2010). Measured radiofrequency exposure during various mobile-phone use scenarios. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, **21**, 343-354.
- [18] Kühn, S. (2009). "EMF Risk Assessment: Exposure Assessment and Compliance Testing in Complex Environments," PhD Thesis, Swiss Federal Institute of Technology, Thesis No. 18637, ETH Zurich.
- [19] Vrijheid, M., Cardis, E., Armstrong, B.K., Auvinen, A., Berg, G., Blaasaas, KG, Brown, J., Carroll, M., Chetrit, A., Christensen, H.C. and others (2006). Validation of short term recall of mobile phone use for the Interphone study. *Occupational and environmental medicine*, **63**(4), 237-243.
- [20] Gati, A., Hadjem, A., Wong, M.F., Wiart, J. (2009). Exposure induced by WCDMA mobiles phones in operating networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, **8**(12), 5723-5727.
- [21] Christ, A., Kainz, W., Hahn, E.G., Honegger, K., Zefferer, M., Neufeld, E., Rascher, W., Janka, R., Bautz, W., Chen, J. and others (2010). The Virtual Family—development of surface-based anatomical models of two adults and two children for dosimetric simulations. *Physics in medicine and biology*, **55**(2), N23-N38.

- [22] Lönn, S., Forssén, U., Vecchia, P., Ahlbom, A., Feychting, M. (2004). Output power levels from mobile phones in different geographical areas; implications for exposure assessment. *Occup Environ Med*, **61**, 769-772.
- [23] Parslow, R.C., Hepworth, S.J., McKinney, P.A. (2003). Recall of past use of mobile phone handsets. *Radiation protection dosimetry*, **106**(3), 233-240.
- [24] Swiss Foundation for Research in Social Sciences (2011). Schweizer Haushalt Panel (SHP), <http://www.swisspanel.ch>
- [25] Kuehn, S., Cabot, E., Christ, A., Capstic, M., Kuster, N. (2009). Assessment of the radio-frequency electromagnetic fields induced in the human body from mobile phones used with hands-free kits, *Physics in Medicine and Biology*, **54**(18), 5493–5508.
- [26] WAVE GUARD Technologies, Guardian RF Exposure Assessment – Online Data analysis and GEO mapping and Data Analysis, <http://waveguardtechnologies.com/?CategoryID=211&ArticleID=147>, 2012.

8. Datenarchivierung, Datenintegration

8.1 Wichtige Messdatensätze in der Schweiz

Im Rahmen der Konzeptentwicklung für ein NIS Monitoring in der Schweiz wurden in persönlichen Gesprächen mit Experten von kantonalen Fachstellen die technischen Informationen zur Datenzugänglichkeit abgeklärt. Die Ergebnisse dieser Gespräche werden im Folgenden zusammengefasst.

8.1.1 Zentralschweiz

Die Zentralschweiz betreibt fünf Messstationen, die zwischen 3 - 7 Monaten fest an einem Ort installiert werden. Die gesammelten Messwerte werden in Form eines txt-Files abgespeichert und täglich auf einen Server des Kantons via GPRS übertragen, der regelmässig gebackupt wird. Für die Datenverarbeitung wird ein Computerskript eingesetzt, das die Daten aufbereitet. Hierbei kommen je nach Messeinstellung der Messstation (z.B. abhängig von der gewählten Mittelungsdauer) verschiedene Computerskripte zum Einsatz. Die Daten werden 14-tägig als Grafik aufbereitet und in einem zweiten Schritt noch von einem Mitarbeiter geprüft, der manuelle Änderungen bei inkonsistenten Messwerten durchführt.

8.1.2 Zürich

Der Kanton Zürich betreibt keine fixen Messstationen und führt stattdessen mobile Punktmessungen mit einem Narda-Messgerät auf den Schulhöfen in den 171 Gemeinden durch. Die Messungen finden jeweils mittwochnachmittags statt, wo sich im Schnitt weniger Schüler auf den Schulhöfen aufhalten. Für die Immissionsmessung wird nach dem Ort mit den höchsten Feldstärken gesucht und dann dort eine Punktmessung mit Hilfe eines Tripod durchgeführt. Im Durchschnitt werden an einem Mittwochnachmittag drei bis vier Schulhöfe vermessen. Die gemessenen Daten werden automatisch auf dem Messgerät gespeichert und abends auf den Kantonsserver als csv und txt-File überspielt, der automatisch gebackupt wird. Für die Datenauswertung gibt es ein Skript, welches die Daten automatisch aufbereitet. Die Ergebnisse werden dann in Form eines Messberichts im Internet zur Verfügung gestellt.

8.1.3 Tessin

Der Kanton Tessin betreibt drei Messstationen, die jeweils für einen Monat fest an einem Ort installiert werden. Der genaue Messort wird von den einzelnen Gemeinden selbst festgelegt. Die gesammelten Messwerte werden in Form eines txt-Files abgespeichert und minütlich auf einen Server des Kantons, der regelmässig gebackupt wird, via GPRS übertragen. Die Datenauswertung ist voll automatisiert und wird von der Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana (SUPSI) betreut. Dafür hat SUPSI einen direkten Zugriff auf die Datenbank. Die Messergebnisse werden im laufenden Messbetrieb von einem Computerprogramm analysiert und bei unerwarteten Ereignissen, z.B. keine Messwerte oder sehr hohe Peakwerte, wird automatisch eine Alarm E-Mail an die verantwortlichen Mitarbeiter abgeschickt. Im Durchschnitt traten in den letzten Jahren 1 - 2 Alarme / Jahr auf. Am Ende eines Monats werden die Messdaten in Form eines Messberichts automatisch von der SUPSI aufbereitet und dem Kanton zur Kontrolle vorgelegt. Nach einer positiven Prüfung werden die Messdaten im Internet auf der Osservatorio Ambientale della Svizzera Italiana (OASI) veröffentlicht. Die gesamte OASI Plattform sowie das Dateimanagement laufen völlig automatisch ab und das System benötigt nur wenige Mitarbeiter für die Plattformpflege. Die große Flexibilität der Plattform zeigt sich auch darin, dass die Messsysteme vom Kanton Basel ohne technische Einschränkungen vollständig in die OASI Plattform eingebettet worden sind.

8.1.4 Basel

Der Kanton Basel betreibt vier fest installierte Messsysteme für Langzeitmessungen, um Expositionstrends erkennen zu können. Die gesammelten Messwerte werden in Form eines txt-Files abgespeichert und auf einen Server des Kantons Tessin via GPRS übertragen, der regelmässig gebackupt wird. Die Datenaufbereitung und Datenauswertung wird komplett vom Kanton Tessin übernommen und die Messwerte werden mit einem zeitlichen Versatz über die OASI Plattform veröffentlicht.

8.2 Harmonisierte Datenhaltung

Weil alle oben erwähnten Monitorings NARDA-Messinfrastruktur benutzen (PMM8057: Zentralschweiz, Tessin; PMM 8055: Basel; AMS 8060: Basel; EP-4B-01: Tessin; SRM 3006: Zürich), fallen die Rohdaten in kompatiblen Datenformaten an. Eine gemeinsame Datenhaltung ist möglich. Eine Option dazu ist, die OASI Plattform, welche bereits vom Tessin und von Basel genutzt wird und sich bewährt hat, entsprechend auszubauen. Der Aufwand dazu dürfte sich in Grenzen halten und müsste mit den involvierten Akteuren genauer spezifiziert werden.

8.3 GIS-Daten

8.3.1 NIS Immissionsberechnungen

Grossflächige Immissionsberechnungen für NIS (vgl. Kapitel 5) oder Lärm basieren auf spezialisierten Berechnungsmodulen. Diese benötigen unter anderem auch GIS-Daten als Input. Wenn grosse GIS-Datenmengen (z.B. ganze Schweiz) zum Einsatz kommen, sind die „üblichen“ Berechnungsmodule häufig zu wenig leistungsfähig. Sollen beispielsweise bevölkerungsgewichtete, geolokalisierte Daten berechnet werden, so hätte eine Integration von NIS-Immissionsberechnungen in eine GIS-Plattform grosse Vorteile. Vor diesem Hintergrund bietet sich SonBase als eine attraktive Option an.

8.3.2 SonBase

Die Lärmdatenbank Schweiz (SonBase) wurde 2004 - 2007 am BAFU aufgebaut (Referenzen [9], [10] in Kapitel 5.11). Grundlage ist ein GIS auf der Basis von ESRI ArcGIS und einer Oracle Datenbank, gekoppelt an ein Lärmberechnungsmodul (CADNA). 2008 wurde eine erste flächendeckende Lärmberechnung (Strassen, Eisenbahnen, Flugverkehr) abgeschlossen. Auflösung der Berechnung ist 10 m. Die Daten sollen u.a. dazu dienen, die Lärmentwicklung in der Schweiz räumlich und zeitlich zu beobachten sowie Effekte von Lärmschutzmassnahmen und wirtschaftliche Kosten (Wertminderungen von Gebäuden, Investitionsbedarf, Gesundheitskosten, etc.) abzuschätzen. SonBase mit seiner ganzen Funktionalität hat nur wenige ausgewählte Benutzer, vornehmlich auf Bundes- und kantonaler Ebene.

Die Berechnung erfolgt einerseits auf einem fixen Raster, andererseits werden auch Punkte auf allen Fassaden der Gebäude berechnet. Daraus wird dann jedem Gebäude eine Lärmbelastung für Tag bzw. Nacht zugeordnet und in der Datenbank abgespeichert. Die Lärmkarten von SonBase sind im Internet zugänglich (<http://www.bafu.admin.ch/laerm/10312/10340/index.html>, Stichwort *Online-Beispiele*). Vorgesehener Zyklus für die Aktualisierung ist ca. alle 4 Jahre.

Die Geodaten in SonBase beruhen gegenwärtig auf Vector25 (die digitalisierte Landeskarte 1:25000). Es ist vorgesehen, diese Geodaten in Zukunft durch präzisere Daten (z.B. Gebäudedaten der amtlichen Vermessung) zu verfeinern. SonBase enthält auch die Daten der Volkszählung und der Betriebszählung, z.B. als Anzahl Bewohner oder Arbeitsplätze pro Gebäude (als Punktdaten abgespeichert). Damit sind vielfältige statistische Auswertungen möglich.

Die Rechner des SonBase werden vom BIT betrieben (GIS- und Datenbankserver, ein Cluster von 16 Rechnern für die Lärmberechnung). Für die gesamtschweizerische Lärmberechnung (Strassen und Eisenbahnen) wurden ca. 3 Wochen Rechenzeit auf diesem Cluster benötigt.

Das Projekt SonBase wurde im Auftrag des BAFU durch die Anbietergemeinschaft der Firmen ELCA (Projektmanagement), Planteam GHS AG (Lärmspezialist) und LCC Consulting AG (technische Realisierung) realisiert. Die Lärmdatenbank wird weiterhin von LCC im Rahmen eines Wartungsvertrags betreut.

SonBase ist weltweit die grösste flächendeckende Lärmmodellierung.

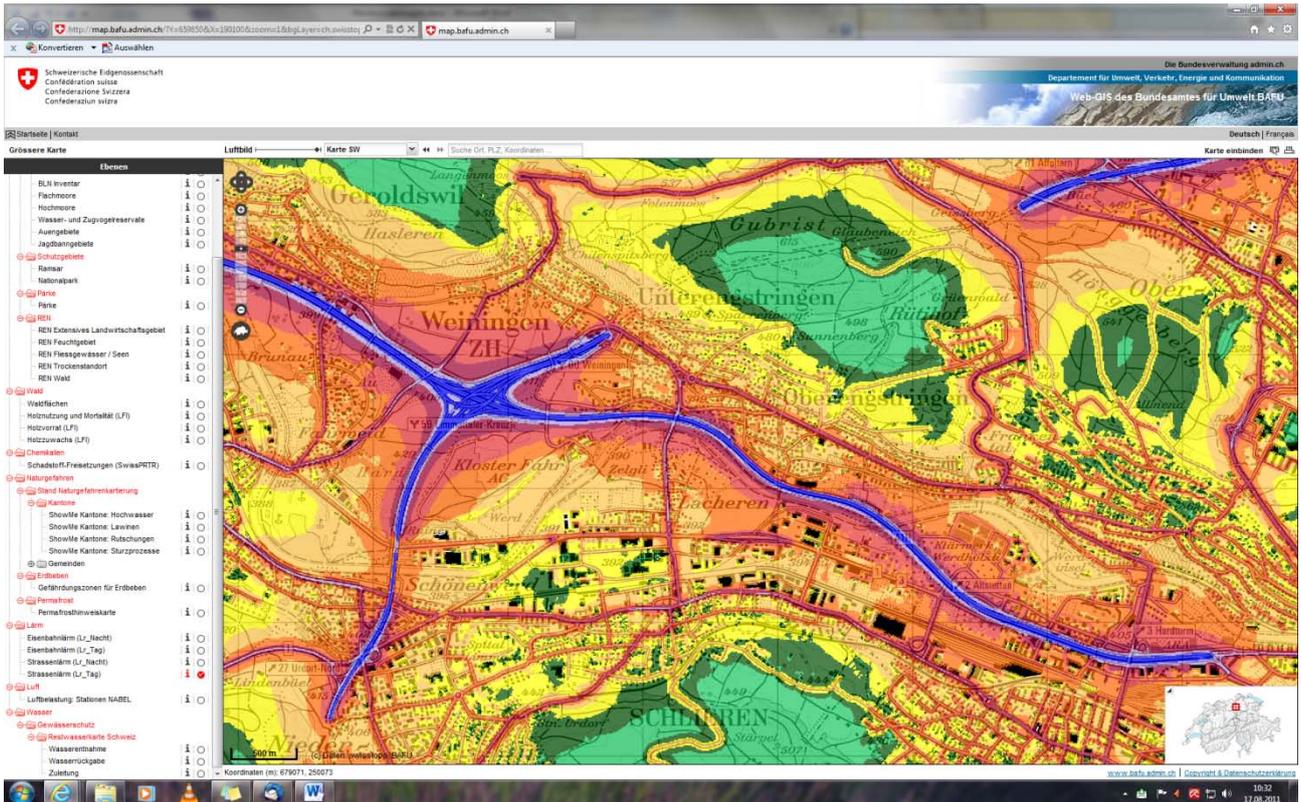


Fig. 8-1: Resultatdarstellung Strassenlärm (tagsüber)

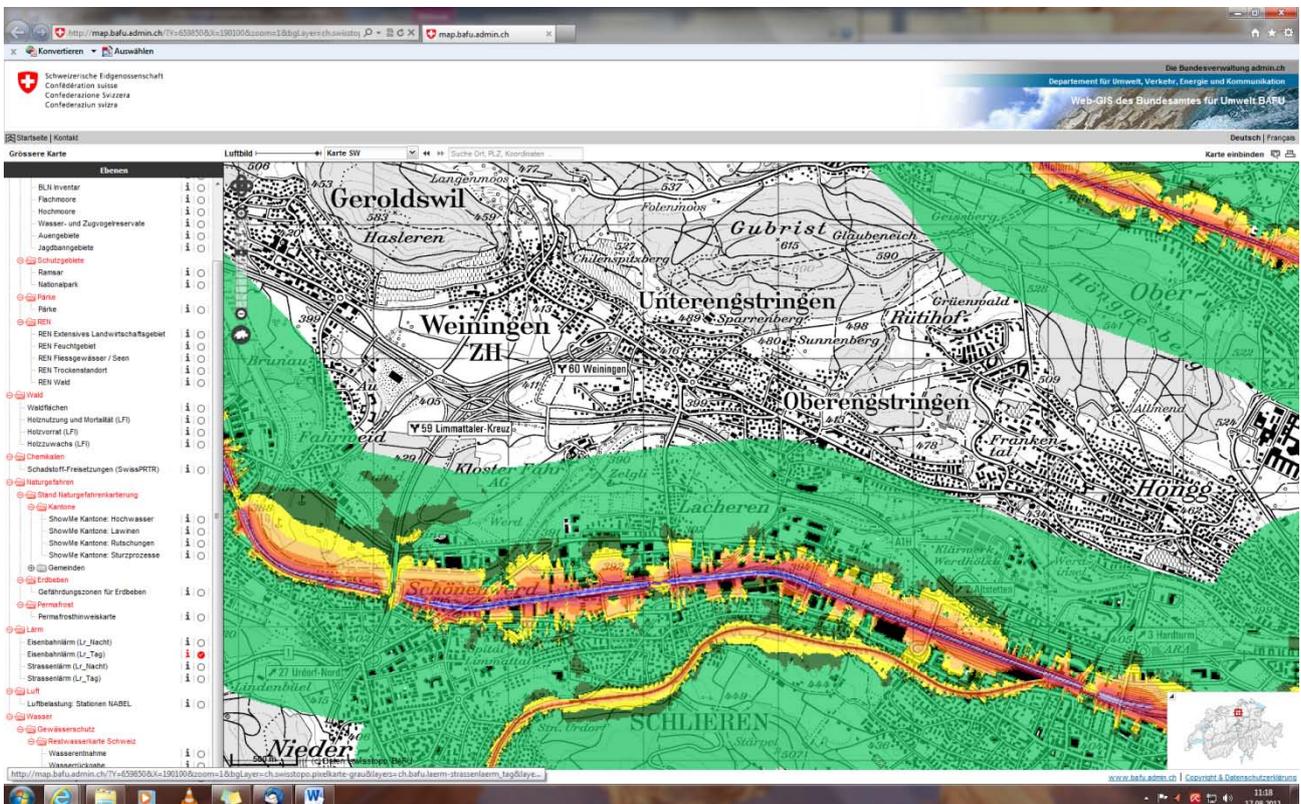


Fig. 8-2: Resultatdarstellung Eisenbahnlärm (tagsüber)

Ein NIS-Monitoring könnte in mindestens viererlei Hinsichten von einer Zusammenarbeit mit SonBase profitieren:

- Zum einen in der Beschaffung und Haltung von Geodaten.
- Zum zweiten in der Datendarstellung. Über eine Schnittstelle könnten die NIS-Daten in SonBase eingelesen und dargestellt werden. Damit wären diese Daten auf einer Bundesplattform verfügbar. Die bestehenden NIS-Monitorings beider Basel und der Zentralschweizer Kantone könnten so zusammengeführt werden.
- Zum Dritten in der Datenauswertung. Hier würden sich die Vorteile besonders zeigen, denn SonBase ist eine mächtige GIS-Plattform.
- Zudem könnten nicht nur Ressourcen bei der Geo-Daten-Beschaffung und –Haltung gespart werden, sondern die Lizenzen der Software würden kosteneffizienter genutzt.

Die Kostenseite kann hier erst quantifiziert werden, wenn bekannt ist, ob und in welchem Umfang grossräumige Immissionsmodellierungen im Rahmen eines NIS-Monitorings durchgeführt werden sollen.

Abkürzungsverzeichnis

avg.	Average (Durchschnitt)	kV	Kilovolt
BAFU	Bundesamt für Umwelt	KW	Kurzwellen
BAG	Bundesamt für Gesundheit	LTE	Long Term Evolution (Mobilfunkstandard)
BAKOM	Bundesamt für Kommunikation	LW	Langwellen
BCCH	Broadcast Control Channel (technischer Kanal bei GSM)	MHz	Megahertz (Million Schwingungen pro Sekunde)
BfS	Bundesamt für Statistik	MW	Mittelwellen
BIT	Bundesamt für Informatik und Telekommunikation	μ T	Mikrotesla (Mass für magnetische Flussdichte)
BOS	Behörden/Sicherheitsfunk	NF	Niederfrequenz
COST	Cooperation in Science and Technology (Fördergefäß der EU für Forschungsaustausch in Europa)	NFP	Nationales Forschungsprogramm
CPICH	Common Pilot Indicator Channel (technischer Kanal bei UMTS)	NIS	Nichtionisierende Strahlung
DAB	Digital Audio Broadcast (digitales Radio)	psa	peak spatial averaged (über die am stärksten belastete Region gemittelt)
dB	Dezibel (logarithmisches Vergleichsmass)	PSI	Paul Scherrer Institut
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications (Standard für Schnurlostelefone)	RegTP	Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (Deutschland)
DL	Downlink (Verbindung Basisstation-Handy)	rms	Root Mean Square; gemittelte quadratische Abweichungen (Mass für durchschnittliche Leistungsflussdichte)
DVB	Digital Video Broadcast (digitales terrestrisches Fernsehen; auch DVB-T)	SAR	Spezifische Absorptionsrate (Mass für Leistungsaufnahme des Gewebes)
E	Elektrisches Feld	SUPSI	Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana
EMF	Elektromagnetische Felder	SW	Software
ERP	Effective Radiated Power (Standard zum Vergleich von abgestrahlten Leistungen)	UKW	Ultrakurzwellen
ETH	Eidg. Technische Hochschule	UL	Uplink (Verbindung Handy-Basisstation)
FM	engl. Begriff für UKW	UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (Mobilfunkstandard)
GHz	Gigahertz (Milliarde Schwingungen pro Sekunde)	V/m	Volt pro Meter (Mass für elektrische Feldstärke)
GIS	Geographisches Informationssystem	W/kg	Watt pro Kilogramm (Mass für die Leistungsaufnahme des Gewebes; physikalische Dimension der SAR)
GPRS	General Packet Radio Service (schneller GSM-Standard)	W/m ²	Watt pro Quadratmeter (Mass für Leistungsflussdichte); auch in mW (Milliwatt = tausendstel Watt)
GPS	Global Positioning System	wba	whole-body averaged (über ganzen Körper gemittelt)
GSM	Global System for Mobile Communications (Mobilfunkstandard)	WiFi	Kunstbegriff zur Bezeichnung eines spezifischen Funkschnittstellen-Standards
GSM-R	GSM-System für Eisenbahnen (Sicherheit)	WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access (Mobilfunkstandard)
HF	Hochfrequenz	W-LAN	Wireless Local Area Network
HW	Hardware		
Hz	Hertz (Frequenzbezeichnung: pro Sekunde)		
IF	Intermediate Frequencies (Mittelfrequenzen)		
ITU	International Telecommunications Union		
J	Joule (Mass der Stromdichte)		
kCHF	1000 Franken		
KHz	Kilohertz (1000 Schwingungen pro Sekunde)		

Abbildungsverzeichnis

Fig. 1-1: Organigramm	12
Fig. 4-1: GIS der berechneten Immissionen (hier: Massstab 1:10000)	29
Fig. 4-2: Darstellung der online Messungen	29
Fig. 4-3: Datenblatt einer Messstation mit Messresultaten.....	31
Fig. 4-4: Karte mit Daten zur Messstation	33
Fig. 4-5: Karte mit Daten zu Mobilfunkbasisstation	34
Fig.4-6: Messdaten des Monitorings	35
Fig. 4-7: Karte mit Daten zur Messstation	36
Fig. 4-8: Messdaten des Monitorings	37
Fig. 4-9: NIS Immissionskataster-Karte	38
Fig. 4-10: Darstellung der Monitoringdaten für HF	39
Fig. 4-11: Details zum Messort	40
Fig. 4-12: Darstellung der Monitoringdaten für NF	40
Fig. 4-13: GIS der EMF-Datenbank	41
Fig. 4-14: Informationen zu den Messresultaten.....	42
Fig. 4-15: Informationen zu den ortsfesten Funkanlagen	42
Fig. 4-16: Resultatdarstellung im Bericht des Bayerischen Landesamts für Umwelt.....	43
Fig. 4-17: Kommunikation der Ergebnisse (hier: Vergleich der Messwerte der zwei Kampagnen).....	44
Fig. 4-18: Beispiele von Belastungskarten für Gesamtimmissionen (Grenzwertausschöpfung in Bezug auf Körperströme und thermische Wirkung) und dienstspezifisch, hier: UKW (Grenzwertausschöpfung in Bezug auf Immissionsgrenzwert für UKW)	45
Fig. 4-19: Datendarstellungen bei Wave Guard (Bilder von Wave Guard geliefert)	46
Fig. 4-20: Fragebogen NIR-Survey	48
Fig. 4-21: NIS-Monitoring Aktivitäten in Europa – Kurzbeschreibung (ad hoc: auf Nachfrage hin)	49
Fig. 4-22: NIS-Monitoring Aktivitäten in Europa – Übersicht	49
Fig. 4-23: NIS-Monitoring Messungen niederfrequenter Felder in Europa	50
Fig. 4-24: NIS-Monitoring Messungen TV/Radio Anlagen in Europa	50
Fig. 4-25: NIS-Monitoring Messungen Mobilfunk-Basisstationen in Europa	51
Fig. 4-26: NIS-Monitoring Berechnungen ELF in Europa.....	51
Fig. 4-27: NIS-Monitoring Berechnungen Radio/TV in Europa.....	52

Fig. 4-28: NIS-Monitoring Berechnungen Mobilfunk-Basisstationen in Europa.....	52
Fig. 5-1: Resultat aus dem NIS-Monitoring Zentralschweiz. Ausschnitt von 3 x 3 km ² in der Stadt Luzern. Dargestellt sind die HF-NIS-Immissionen von stationären Sendern für Mobilfunk, Rundfunk und Funkruf. Kartenhintergrund PK50 © Swisstopo.....	54
Fig. 5-2: Ausschnitt aus der Immissionskarte für eine Hochspannungsleitung. Kartenhintergrund PK25 © Swisstopo.....	55
Fig. 5-3: Was gehört zum gleichen „Gebäude“. A: Der geometrische Umriss von Gebäude 1 – 5 ist als eine „Einheit“ eingezeichnet. B: Die Gebäude 1 – 5 sind einzeln eingezeichnet. C: Der geometrische Umriss von 1 – 5 ist als Fläche erfasst (wie in A). Zusätzlich ist jedem Gebäude ein Datenpunkt (rotes Dreieck) zugeordnet.	60
Fig. 6-1: Verteilung der mittleren wöchentlichen Exposition gegenüber HF-EMF im QUALIFEX-Studienkollektiv (166 Studienteilnehmende; aus [12])	71
Fig. 6-2: Mittlere Exposition durch Mobilfunkbasisstationen (Summe vom GSM 900, GSM 1800 und UMTS) in Basel zwischen Mai 2010 und Oktober 2011 (Innenplätze beinhaltet Shoppingcenters, Bahnstationen und den Flughafen. Aussenplatzmessungen wurden in verschiedenen Quartieren in Basel gemacht und öffentliche Verkehrsmittel beinhaltet Tram-, Bus- und Zugmessungen.)	72
Fig. 6-3: Mittlere Exposition durch Mobilfunkbasisstationen in Basel (BSL) und Amsterdam (AMS) zwischen November 2010 und Januar 2011	72
Fig. 6-4: Exposition durch Mobiltelefone (GSM 900, GSM 1800 und UMTS) in Interregio- und S-Bahn-Zügen über den Zeitraum Mai 2010-Dezember 2011.....	73
Fig. 6-5: Prozentuale Aufenthaltszeit oberhalb x μ T in den verschiedenen Kategorien. Die Graphik beinhaltet die Messwerte aller 552 Personen (aus [19])	74
Fig. 6-6 a-c: Mittelwerte für verschiedene monatlich während eines Tages gemessenen Quellen über den Zeitraum Mai 2010 bis Januar 2012. In blau sind die Messwerte für Route 1 eingezeichnet in schwarz die Messwerte für Route 2	83
Fig. 6-7: Messroute 1 (Route 1, grün) und Messroute 2 (Route Basel 2, blau)	84
Fig. 6-8: Graphische Darstellung, mit der man die Messwerte anhand der Tagebuchdaten überprüfen kann. Die schwarze Linie oben in den 2 Bildern zeigt den Aufenthaltsort an, bei einer horizontalen Verschiebung der Linie wurde gemäss Tagebuch der Aufenthaltsort gewechselt. Meistens war der Wechsel des Aufenthaltsortes auch im Expositionsmuster erkennbar. So konnten in QUALIFEX Tagebuchwerte angepasst werden (Pfeil auf Bild rechts)	85
Fig. 7-1: Konzept zur Erfassung der Dosis körperinterner EMF durch körpernahe Quellen	91
Fig. 7-2: Feldverteilung im körperinnern bei Exposition durch Fernfeldquellen. Solch eine Berechnung der Verteilung kann genutzt werden, um die gewebespezifische SAR zu ermitteln.....	94
Fig. 7-3: Gemessene SAR-Verteilung in homogenem Medium (oben) und ihre Transformation in das anatomische Kopfmodell zur Bestimmung der SAR im Gehirn (unten).....	95
Fig. 7-4: SAR Verteilung der SAR und Lage der peak-spatial average SAR _{10g} eines Mobiltelefons im Kopfphantom	96
Fig. 7-5: Verringerung der psSAR _{10g} im Kopf bei Verwendung verschiedener Headsets (xB, xN, xM) in verschiedenen Tragekonfigurationen (GSM900)	97
Fig. 7-6: Unterschiede der Leistungsregelung von GSM- und UMTS-Mobiltelefonen in städtischen und ländlichen Regionen in der Schweiz. Die mittlere Ausgangsleistung von UMTS-Telefonen liegt -30 dB	

unterhalb ihrer Maximalleistung, beträgt also ein Tausendstel der Maximalleistung, wobei GSM Telefone im Durchschnitt nur auf die Hälfte (-3 dB) bis ein Fünftel (-7 dB) ihrer Maximalleistung herunterregeln.....	98
Fig. 7-7: Elektrische und magnetische Feldmessgeräte (Quelle: Narda-STG)	100
Fig. 7-8: Messsondenphantome zur direkten Erfassung der induzierten Stromdichten. Die Messsondenphantome bestehen aus dielektrischen, mit gewebesimulierenden Material gefüllten Behältern. Für niederfrequente elektrische Feldquellen steht ein linearer Dipolsensor, für Magnetfeldquellen ein ringförmiger Sensor zur Verfügung. In der Mitte der Sensoren kann die Stromdichte mittels einer breitbandigen Stromklemme gemessen werden.	100
Fig. 7-9: Numerische Simulation zur Bestimmung der Transformationsfaktoren zwischen der maximalen Stromdichte (J_{\max}) im menschlichen Körper und in der Messsonde für punktförmige elektrische Feldquellen ...	100
Fig. 7-10: Schematische Darstellung der einzelnen Komponenten des Nahfelddosismodells	104
Fig. 7-11: Schematische Darstellung der Modellierung im Nahfeldexpositionsmodell	104
Fig. 7-12: Schematische Darstellung der Modellierung im Nahfeldexpositionsmodell für Mobiltelefone	105
Fig. 8-1: Resultatdarstellung Strassenlärm (tagsüber).....	111
Fig. 8-2: Resultatdarstellung Eisenbahnlärm (tagsüber)	111

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Aufteilung des Frequenzspektrums für Monitoringzwecke (MHz, wenn nichts angegeben)	14
Tabelle 4-1: Übersicht Datenerfassung NIS-Monitorings in der Schweiz	24
Tabelle 4-2: Übersicht Datenerfassung NIS-Monitorings im Ausland (Beispiele)	25
Tabelle 4-3: Übersicht Datenkommunikation NIS-Monitorings in der Schweiz	26
Tabelle 4-4: Übersicht Datenkommunikation NIS-Monitorings im Ausland (Beispiele).....	27
Tabelle 6-1: Eigenschaften verschiedener tragbarer Exposimeter. Angepasst aus [17].....	76
Tabelle 6-2: Quellen-spezifische Wochen- und Tagesmittelwerte und Standardabweichungen für verschiedene Betrachtungsebenen (in mW/m^2) (Erklärungen siehe Text).....	79
Tabelle 6-3: Quellen-spezifische Wochenmittelwerte, 95%-Vertrauensintervalle und prozentuale Abweichung der oberen und unteren 95 %-Vertrauensintervalllimite für Wochen- und Tagesmessungen und für 100 bzw. 1000 Probanden.....	81