

Machbarkeitsstudie: Monitoring von möglichen Gesundheitsauswirkungen von nichtionisierender Strahlung

Stefan Dongus und Martin Rööfli (Swiss TPH)

mit Unterstützung der Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz (AefU)*

*Projektgruppe AefU: Edith Steiner, Bernhard Aufderreggen, Hansjörg Bhend, Yvonne Gilli,
Peter Kälin, Cornelia Semadeni

Juni 2019

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Impressum

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

Auftragnehmer: Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut (Swiss TPH)

Autor/Autorin: Stefan Dongus und Martin Rösli (Swiss TPH)

mit Unterstützung der Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz (AefU)*

*Projektgruppe AefU: Edith Steiner, Bernhard Aufderreggen, Hansjörg Bhend, Yvonne Gilli, Peter Kälin, Cornelia Semadeni

Begleitung BAFU: Alexander Reichenbach

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

Interviewpartner

- Wally Achtermann (BAG, Direktionsbereich Öffentliche Gesundheit)
- Andreas Birrer (BAG, Direktionsbereich Öffentliche Gesundheit, Sektion Meldesysteme)
- Gregor Dürrenberger (Forschungsstiftung Strom und Mobilkommunikation)
- Anita Feller (National Institute for Cancer Epidemiology and Registration, NICER)
- Johanna Fite (ANSES, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, France)
- Gerhard Gmel (Sucht Schweiz)
- Hugo Lehmann (Swisscom (Schweiz) AG, Kompetenzzentrum Nichtionisierende Strahlung)
- Nicole Probst-Hensch (Nationale Citizen-Kohorte & Swiss TPH, Department of Public Health and Epidemiology)
- Milo Puhan (Universität Zürich, Institut für Epidemiologie, Biostatistik und Prävention)
- Carlos Quinto (Verbindung der Schweizer Ärztinnen und Ärzte FMH)
- Nicole Ruch (Bundesamt für Statistik, Schweizerisches Gesundheitsobservatorium)
- Martin Wilks & Rex FitzGerald (Universität Basel, Swiss Centre for Applied Human Toxicology)
- Elisabeth Zemp-Stutz (Swiss TPH, Department of Public Health and Epidemiology)
- Gunde Ziegelberger, Bundesamt für Strahlenschutz, Deutschland

Anmerkung: Die Schlussfolgerungen und Empfehlungen des Berichts geben nicht notwendigerweise die Meinung der befragten Interviewpartnerinnen und Interviewpartner wieder.

Finanzierung

Die vorliegende Machbarkeitsstudie wurde vom Bundesamt für Umwelt BAFU (Abteilung Lärm und NIS) in Auftrag gegeben und finanziert.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Glossar	8
1 Einleitung	10
2 Ziel und Vorgehen	12
3 Grundlagen	13
3.1 Gesundheitsmonitoring im Kontext von NIS	13
3.2 Exposition durch NIS	14
4 Beispiele von Monitoring-Systemen in der Schweiz	17
4.1 Gesundheit	18
4.2 Forschung als Gesundheitsmonitoring	21
4.2.1 Forschungsprogramme und Studien aus der Schweiz	22
4.2.2 Beispiele auf internationaler Ebene	23
5 Mögliche Gesundheitsauswirkungen von NIS und mögliche Ansätze für ein Gesundheitsmonitoring	26
5.1 HF-NIS und Tumoren	26
5.2 HF-NIS und Auftreten von Symptomen / Elektromagnetische Hypersensibilität	28
5.3 HF-NIS, Hirnphysiologie und Kognition	31
5.4 HF-NIS und Fortpflanzung	32
5.5 HF-NIS, Physiologie und Biomarker	33
5.6 HF-NIS und neurodegenerative Erkrankungen	34
5.7 NF-NIS, Kinderleukämie und neurodegenerative Erkrankungen	34
5.8 NIS als Teilaspekt der Digitalisierung	35
5.9 Fazit	36
6 Detaillierte Beschreibung von drei machbaren Monitoringkonzepten	38
6.1 Monitoring von Tumoren	38
6.2 Monitoring von EHS	42
6.3 Forschung zu spezifischen Fragestellungen	46
7 Schlussfolgerungen	48
8 Referenzen	49

Zusammenfassung

Nichtionisierende Strahlung (NIS) gehört zu unserem Alltag. Bei der Nutzung von Strom entsteht niederfrequente (NF) NIS und drahtlose Kommunikation beruht auf hochfrequenter (HF) NIS. Ein erheblicher Teil der Bevölkerung äussert sich besorgt über mögliche gesundheitliche Risiken von NIS, und es gibt wissenschaftliche Unsicherheiten, ob NIS unterhalb der Grenzwerte langfristig gesundheitsschädlich ist. Es stellt sich daher die Frage, ob ein Gesundheitsmonitoring geeignet ist, allfällige negative gesundheitliche Auswirkungen von NIS frühzeitig zu identifizieren.

Ziel dieser Machbarkeitsstudie ist zu klären, ob ein NIS-Gesundheitsmonitoring grundsätzlich machbar ist und welche gesundheitlichen Indikatoren sich dazu eignen. Dabei werden die in Frage kommenden Erhebungsinstrumente aufgezeigt und mögliche Synergien mit bereits etablierten oder geplanten Erhebungen im Bereich des öffentlichen Gesundheitswesens oder der epidemiologischen Forschung identifiziert.

Ein Monitoring der Gesundheit der Bevölkerung erfasst fortlaufend den Gesundheitszustand, das Gesundheitsverhalten und relevante Einflussfaktoren. Es dient in erster Linie dazu, Veränderungen der Volksgesundheit frühzeitig zu erkennen und entsprechend zu handeln. Charakteristisch für ein Monitoring ist, dass die Daten anonym erhoben werden und in aggregierter Form ausgewertet werden, z.B. die Anzahl von Neuerkrankungen in einem Jahr. Individuelle Daten zur Exposition oder zu anderen Risikofaktoren werden typischerweise nicht erfasst. In der Schweiz gibt es bereits mehrere etablierte Monitoring-Systeme wie zum Beispiel das Nationale Krebsregister (NICER), das kontinuierliche Monitoring der Sterblichkeit beim Bundesamt für Statistik, das Monitoring-System für Sucht und nichtübertragbare Krankheiten (MonAM) oder das Sentinella-Meldesystem.

Die meisten nicht-übertragbaren Krankheiten haben eine Vielzahl von möglichen Ursachen. Verändert sich also die Erkrankungshäufigkeit oder die Sterblichkeit, kann das eine Vielzahl von möglichen Gründen haben, wie z.B. veränderte Umweltbedingungen, Veränderungen im Lebensstil der Bevölkerung oder Veränderungen im Gesundheitssystem (z.B. Diagnostik, Behandlung). Nur in den allerseltensten Fällen, wenn der Einflussfaktor sehr gross ist, die verursachte Krankheit sehr spezifisch und/oder die Auswirkungen sehr akut sind, kann daher aus den Gesundheitsdaten alleine auf den Verursacher geschlossen werden. Solch seltene Beispiele sind das Auftreten von Brustfelltumoren aufgrund beruflicher Asbestexposition, die langfristige Veränderung der Lungenkrebsinzidenz in Abhängigkeit vom Rauchverhalten der Bevölkerung oder der akute Anstieg der Sterblichkeit bei einer Grippe- oder Hitzewelle. Jedoch wäre selbst in diesen Fällen die Kausalverknüpfung ohne zusätzliche Evidenz von epidemiologischen und biologisch-medizinischen Studien nicht mit Sicherheit möglich.

Aus den bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnissen zu gesundheitlichen Auswirkungen von NIS, wie sie im Alltag, vorkommt kann geschlossen werden, dass ein allfälliges Gesundheitsrisiko von NIS, bezogen auf die gesamte Population, klein ist. Weiter kann davon ausgegangen werden, dass NIS keine eigenständige NIS-spezifischen Krankheitsbilder verursacht, wie zu Beispiel die von Asbest verursachten Mesotheliome, sondern, wenn überhaupt, bekannte, etablierte Krankheiten beeinflusst.

Unter diesen Voraussetzungen wurden von allen evaluierten Möglichkeiten drei Monitoringkonzepte als informativ und machbar eingestuft.

1. Monitoring von Tumoren

Die Mobiltelefonnutzung hat in den letzten Jahren sehr stark zugenommen und praktisch die ganze Bevölkerung benutzt regelmässig ein Mobiltelefon. Es kann daher erwartet werden, dass sich ein allfälliges Tumorrisiko mit einer gewissen Latenzzeit in einer Zunahme von Neuerkrankungen niederschlagen müsste. Es wird daher vorgeschlagen, ein Monitoring von Hirntumoren (z.B. Gliome, Meningeome, Tumoren der Hypophyse) zu etablieren. Der Kopf ist durch NIS stark exponiert, und Hirntumoren haben wenig andere Risikofaktoren, welche einen Einfluss auf die Zeittrends haben könnten. Kritisch zu berücksichtigen sind aber zeitliche Änderungen in der Diagnose- und Kodierungspraxis. Als Datenquelle für ein Tumormonitoring können die Daten von NICER/NKRS genutzt werden. Ab 2020 ist die Krebsregistrierung obligatorisch. Retrospektive Analysen sind nur begrenzt möglich, da beispielsweise in der Deutschschweiz erst seit 2011 mehr als die Hälfte der Bevölkerung in NICER/NKRS repräsentiert ist. Neben den Fallzahlen sind detaillierte Expositionsdaten für ein NIS-Tumormonitoring nötig. Statistische Kennzahlen zum durchschnittlichen Mobil- und allenfalls Schnurlostelefongebrauch in der Bevölkerung, idealerweise ergänzt mit Kenndaten zur durchschnittlichen Sendeleistung und zu Umweltexpositionen, sollten systematisch für verschiedene Altersgruppen und beide Geschlechter separat erfasst werden. Bei der Auswertung können geeignete statistische Methoden (Bayessche Statistik) genutzt werden, um den Einfluss von äusseren Faktoren auf die zeitliche Veränderung der Tumorzinzidenz möglichst zu minimieren. Grundsätzlich können auch separate Analysen für morphologische Subtypen und für verschiedene Lokalisationen gemacht werden, da vor allem die Kopfseite NIS exponiert ist. Die Fallzahlen sind dann jedoch klein und die statistische Unschärfe entsprechend hoch. Da für seltene Fälle keine statistisch robusten Aussagen gemacht werden können, ist zu prüfen, dass vor dem Hintergrund des neuen Krebsregistergesetzes auch die Möglichkeit genutzt wird, Patienten mit Krebsneudiagnosen auch zu ihrer Mobiltelefonnutzung und Adressvergangenheit sowie anderen NIS relevanten Faktoren direkt zu befragen. Dies würde den Aufwand zwar deutlich erhöhen, wäre aber im Hinblick auf eine Früherkennung von potentiellen Risiken sehr informativ.

In einem Monitoring der Inzidenz könnten prinzipiell auch andere Tumoren als Hirntumoren mitberücksichtigt werden. Dabei muss für jeden Tumortyp geprüft werden, ob und wie Änderungen in der Diagnose- und Kodierungspraxis und der Einfluss von anderen Faktoren auf die Zeitreihe von Erkrankungen adäquat kontrolliert werden können.

2. Monitoring von Beschwerden und elektromagnetisch hypersensible Patienten

Teile der Bevölkerung vermuten NIS als Ursache für ihre Symptome wie Kopfschmerzen, Schlaf- oder Konzentrationsstörungen, was als elektromagnetische Hypersensibilität (EHS) oder idiopathische Intoleranz gegenüber NIS bezeichnet wird. EHS ist eine Selbstzuschreibung ohne objektiv messbare diagnostische Kriterien. In Provokationen und wissenschaftlichen Studien konnte bisher keine Kausalität nachgewiesen werden. Seitens der Ärzteschaft wird eine Plausibilität teilweise bejaht. Die geschilderten Symptome sind sehr unterschiedlich, und als Ursache werden sehr unterschiedliche NIS Quellen im NF- und HF-Bereich vermutet. Auch das Reaktionsmuster ist vielfältig. Gewisse Personen geben an, unmittelbar zu reagieren, bei anderen hängt die Reaktion von vielen weiteren Faktoren ab. Daraus lässt sich schliessen, dass mit der Erhebung von Symptomen alleine nichts über die Wirkung von NIS ausgesagt werden kann. Zu vielfältig ist das Symptommuster und zu

mannigfaltig sind anderweitige Einflüsse auf das Befinden. Dennoch zeichnen sich für ein Monitoring in diesem Bereich mehrere machbare Möglichkeiten ab.

Ein Monitoring der Häufigkeit von selbstberichteter EHS könnte relativ einfach im Rahmen von bestehenden Erhebungen gemacht werden (z.B. Schweizerische Gesundheitsbefragung). Eine solche Erhebung ist zwar nicht zielführend für die Beurteilung der Kausalität, kann aber ein Indikator für das Ausmass des wahrgenommenen Problems in der Bevölkerung sein.

Im Rahmen einer interdisziplinären NIS-Fachstelle für Mensch und Tier könnten EHS-Einzelfälle vertieft abgeklärt und systematisch dokumentiert werden. Damit liessen sich allenfalls Phänomene entdecken und beschreiben, die in Bevölkerungsstudien im statistischen Rauschen untergehen und neue Hypothesen für zukünftige Forschung liefern könnten. Solche Hinweise könnten gerade bei Einführung von neuen Technologien analog zu Nebenwirkungsmeldungen von Medikamenten eine wichtige Funktion erfüllen. In erster Linie wäre eine solche Beratungsstelle jedoch auch ein Hilfsangebot für Betroffene.

In praxisbezogenen Studien könnten Fragestellungen zum Einfluss von NIS auf das Befinden der Bevölkerung mit detaillierter Expositionserhebung angegangen werden. In laufenden grossen Studien können grosse Bevölkerungsgruppen detailliert untersucht und andere Einflussfaktoren bestmöglich mitberücksichtigt werden. Solche beobachtenden Studien eignen sich für generelle Fragestellungen zum Einfluss von NIS auf die Gesundheit, jedoch nicht für das Phänomen EHS. Bei EHS-Personen würde man erwarten, dass Betroffene eine Vermeidung der NIS-Exposition in ihrem Alltag anstreben. Damit beeinflusst der Gesundheitszustand die Exposition und nicht umgekehrt und so könnte man bei einer beobachteten Studie keine Kausalität zwischen Exposition und Gesundheit nachweisen.

3. Forschung zu spezifischen Fragestellungen

Viele mögliche Auswirkungen von NIS sind wissenschaftlich zu wenig gut etabliert, oder die Effekte sind nur aufwendig messbar wie zum Beispiel Einflüsse auf die Hirnströme oder die Bildung von freien Radikalen. Zudem sind solche Auswirkungen nicht spezifisch und von einer Vielzahl von anderen Faktoren beeinflusst. Solche Fragestellungen werden besser in spezifischen Studien untersucht als mit einem Monitoring. Der Vorteil von Studien im Vergleich zu einem Monitoring liegt darin, dass flexibel auf neue Erkenntnisse reagiert werden kann. Damit könnten zum Beispiel auch neue kontroverse Studienergebnisse geprüft und vertieft werden. Solche Forschung kann im Rahmen eines Forschungsprogrammes koordiniert werden, wie dies in der Schweiz schon gemacht wurde (NFP 57) und zurzeit in Deutschland und Frankreich noch läuft.

Statt eines Forschungsprogrammes könnte auch eine nationale Gesundheitsstudie als Teil eines umfassenden Gesundheitsmonitorings verstanden werden, wie dies in Deutschland der Fall ist. Allerdings ist die NIS-Belastung nur einer von vielen, zum Teil viel wichtigeren Gesundheitsfaktoren, die es aus Sicht der Volksgesundheit zu berücksichtigen gilt. Deshalb macht es keinen Sinn, eine Langzeit-Forschungsstudie allein für NIS aufzubauen. Vielmehr müsste eine gross angelegte und prospektive Studie eine Vielzahl von möglichen Gesundheitsauswirkungen langfristig untersuchen. Die longitudinale Erfassung von Biomarkern erlaubt ein besseres Verständnis des Krankheitsgeschehens. Je mehr Daten erfasst werden, desto besser können andere Einflussfaktoren in der Analyse mitberücksichtigt und Assoziationen im Hinblick auf Kausalität interpretiert werden.

Fazit

Damit kann geschlossen werden, dass es im Bereich NIS verschiedene machbare Möglichkeiten für ein Gesundheitsmonitoring gibt. Ein klassisches Fallzahlenmonitoring ist aber nur bedingt aussagekräftig für die gesundheitliche Wirkung von NIS. Ein Monitoringkonzept sollte daher breiter verstanden und konzipiert werden. Am geringsten ist der Aufwand für ein Tumormonitoring basierend auf den routinemässig erhobenen Daten der Krebsregister. Dieser Aktivität sollte vor dem Hintergrund des Schweregrades der Erkrankungen und der Machbarkeit Priorität eingeräumt werden. Etwas aufwendiger ist eine strukturierte und vertiefte Fallabklärung von EHS-Fällen im Rahmen eines interdisziplinären Netzwerkes. Am aufwändigsten ist es, Forschung als Monitoring aufzugleisen. Bei Langzeitforschung ist es essentiell, dass NIS mit anderen Fragestellungen integriert wird, damit die ganze Komplexität des Krankheitsgeschehens erfasst wird.

Für ein NIS-Gesundheitsmonitoring ist eine gute Kenntnis der NIS-Expositionssituation der Bevölkerung unabdingbar. Nur so können Gesundheitsdaten im Hinblick auf NIS interpretiert werden. Zurzeit ist die Kenntnis über die NIS-Exposition gering. Grosse Unsicherheiten gibt es in Bezug auf die neuen Technologien (Mobilfunkstandards 4G und 5G) sowie hinsichtlich der Exposition von Geräten, welche nahe am Körper senden. Ein NIS-Expositionsmonitoring ist also die Voraussetzung für ein NIS-Gesundheitsmonitoring.

Glossar

3G	3. Generation der Mobilfunktechnologie, <i>Universal Mobile Telecommunications System</i> (UMTS)
4G	4. Generation der Mobilfunktechnologie, <i>Long Term Evolution</i> (LTE)
5G	5. Generation der Mobilfunktechnologie, <i>New Radio</i>
AefU	Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz
ANSES	<i>Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail</i> , Frankreich
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BERENIS	Beratende Expertengruppe nichtionisierende Strahlung
BFS	Bundesamt für Statistik (Schweiz)
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz (Deutschland)
EEG	Elektroenzephalogramm
EHS	Elektromagnetische Hypersensibilität
EMF	Elektromagnetisches Feld, elektromagnetische Felder, <i>electromagnetic field(s)</i>
FSM	Forschungstiftung Strom und Mobilkommunikation
GIS	Geographische Informationssysteme
GSM	<i>Global System for Mobile Communication</i> , 2. Generation der Mobilfunktechnologie
HF	Hochfrequent, Hochfrequenz
HF-NIS	Hochfrequente nichtionisierende Strahlung
IARC	<i>International Agency for Research on Cancer</i> , Internationale Agentur für Krebsforschung
ICD-O	Internationale Klassifikation der Krankheiten für die Onkologie
LTE	<i>Long Term Evolution</i> , 4. Generation der Mobilfunktechnologie
MonAM	Monitoring-System Sucht und nichtübertragbare Krankheiten
NABEL	Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe
NF	Niederfrequent, Niederfrequenz
NF-MF	Niederfrequentes Magnetfeld
NF-NIS	Niederfrequente nichtionisierende Strahlung
NFP	Nationales Forschungsprogramm
NICER/NKRS	<i>National Institute for Cancer Epidemiology and Registration</i> , Nationales Institut für Krebsepidemiologie und -registrierung/Nationale Krebsregisterstelle
NIS	Nichtionisierende Strahlung

OBSAN	Schweizerisches Gesundheitsobservatorium
SAR	Spezifische Absorptionsrate
Swiss TPH	Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut
UMBN	Umweltmedizinisches Beratungsnetzwerk unter der Trägerschaft des Vereins Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz (AefU)
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i> , 3. Generation der Mobilfunktechnologie
WHO	<i>World Health Organization</i> , Weltgesundheitsorganisation der Vereinten Nationen

1 Einleitung

Nichtionisierende Strahlung (NIS) gehört zu unserem Alltag. Bei der Nutzung von Strom entstehen niederfrequente Felder (NF-NIS) und drahtlose Kommunikation beruht auf hochfrequenten Feldern (HF-NIS). Ob NIS unterhalb der Grenzwerte langfristig gesundheitsschädlich ist, ist unklar. In einer Vielzahl von Studien sind biologische Wirkungen unterhalb oder im Bereich der Grenzwerte beobachtet worden. Bisher konnten aber noch keine schädlichen Gesundheitsauswirkungen nachgewiesen werden. Angesichts der zunehmenden Nutzung und dem fortlaufenden Ausbau von Infrastrukturen im Bereich NIS ist ein erheblicher Teil der Bevölkerung besorgt über die damit verbundenen gesundheitlichen Risiken. Bei den wiederkehrenden repräsentativen Befragungen im Rahmen des „Mobilfunkmonitors“ halten rund 50-60 Prozent der Befragten negative gesundheitliche Auswirkungen von Mobilfunk für möglich oder geben an, solche bereits erlebt zu haben.¹ Dieser Anteil hat sich seit 2003 kaum verändert.

Ein Monitoring im Bereich NIS wird von breiten Kreisen als geeignet erachtet, um allfällige negative Auswirkungen durch NIS auf die Bevölkerung frühzeitig zu erkennen. Ein umfassendes und kontinuierliches Monitoring im Bereich NIS beinhaltet dabei folgende Aspekte:

1. Die Erfassung und Bewertung der weltweiten Forschungsergebnisse hinsichtlich ihrer Relevanz für den Menschen (**Forschungsmonitoring**)
2. Die Erfassung der Immissionsbelastung der Bevölkerung anhand von Messdaten und Modellierungen (**Immissionsmonitoring**), und
3. Die Erfassung der Auswirkungen der im Alltag vorliegenden Immissionen auf die Gesundheit und Befindlichkeit der Schweizer Bevölkerung, insbesondere für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen (**Gesundheitsmonitoring**).

Das **Forschungsmonitoring** wird bereits seit mehreren Jahren im Auftrag des BAFU durch die beratende Expertengruppe BERENIS wahrgenommen². Die Expertengruppe evaluiert laufend neue Publikationen zu den gesundheitlichen Auswirkungen von NIS mit der Funktion eines „Frühwarnsystems“ hinsichtlich gesundheitsrelevanter neuer Forschungsergebnisse. Die Ergebnisse werden vierteljährlich in einem Newsletter publiziert. Für ein **Immissionsmonitoring** gibt es ein Konzept des Bundesrates³, dessen Umsetzung infolge mangelnder Finanzierung jedoch bisher zurückgestellt werden musste. In den vergangenen Debatten zu den Anpassungen der Grenzwerte kam jedoch zum Ausdruck, dass ein NIS-Monitoring noch breiter verstanden wird. Es wird erwartet, dass ein umfassendes Monitoring für die Schweiz nicht nur über die Immissionsbelastung und die Ergebnisse der Forschung Auskunft gibt, sondern auch ein **Gesundheitsmonitoring** einschliesst. Ein solches Gesundheitsmonitoring soll möglichst früh Auswirkungen der alltäglichen NIS-Immissionen auf die Gesundheit und Befindlichkeit der Bevölkerung entdecken, falls solche Auswirkungen auftreten würden. Das könnte beispielsweise wegen der Einführung einer neuen Technologie

¹ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/elektrosmog/zustand/indikatoren.html>

² <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/elektrosmog/newsletter/beratende-experten-gruppe-nis-berenis.html>

³ https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/elektrosmog/fachinfo-daten/konzept_fuer_einnationalesmonitoringelektromagnetischerfelder.pdf_download.pdf/konzept_fuer_einnationalesmonitoringelektromagnetischerfelder.pdf

der Fall sein. Bei einem solchen Gesundheitsmonitoring sollen auch besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen erfasst werden. In einem ersten Schritt sollen nun mit einer Machbarkeitsstudie Entscheidungsgrundlagen geliefert werden, ob und wie das NIS-Monitoring um ein drittes Modul „Gesundheitsmonitoring“ erweitert werden könnte.

2 Ziel und Vorgehen

Im Fokus dieser Machbarkeitsstudie stehen folgende Punkte:

- Grundsätzliche Machbarkeit und Grenzen eines Gesundheitsmonitorings zu Beeinträchtigungen der Gesundheit oder der Befindlichkeit durch alltägliche NIS werden diskutiert.
- Dazu in Frage kommende Erhebungsinstrumente werden aufgezeigt.
- Mögliche Synergien mit bereits etablierten oder geplanten Erhebungen im Bereich des öffentlichen Gesundheitswesens oder der epidemiologischen Forschung werden identifiziert.
- Modalitäten und Schnittstellen zur Integration eines NIS-Gesundheitsmonitorings in derartige Programme werden definiert.
- Der Aufwand für ein NIS-Gesundheitsmonitoring mit den identifizierten Erhebungsinstrumenten oder Programmen wird grob abgeschätzt.
- Empfehlungen für das weitere Vorgehen werden gemacht.

In einem ersten Schritt werden die Grundlagen für ein NIS-Gesundheitsmonitoring dargestellt (Kapitel 3) und danach bereits etablierte Monitoringssysteme im Bereich Gesundheit und Umwelt zusammengetragen (Kapitel 4). In einem weiteren Schritt wird auf der Grundlage der wissenschaftlichen Literatur zu NIS evaluiert, welche möglichen Gesundheitseffekte sich potentiell für ein Monitoring eignen. Auf dieser Basis werden mögliche Erhebungsinstrumente und Ansätze für die jeweiligen Gesundheitsindikatoren beschrieben sowie ihre Vor- und Nachteile kurz dargestellt (Kapitel 5). Für jeden dieser Ansätze wird die generelle Machbarkeit abgeschätzt. Schlussendlich werden drei Monitoringkonzepte mit der grösstmöglichen Machbarkeit ausgewählt und detaillierter beschrieben (Kapitel 6).

Der Bericht und die Empfehlungen wurden zusammen mit einer Vertreterin der Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz erarbeitet. Für Detailabklärungen wurden eine Reihe von Interviews mit entsprechenden Expertinnen und Experten aus dem Bereich Public Health und Epidemiologie geführt. Die dabei geäusserten Erfahrungen und Bewertungen sind in den Bericht eingeflossen.

3 Grundlagen

3.1 Gesundheitsmonitoring im Kontext von NIS

Ein Monitoring der Gesundheit der Bevölkerung erfasst fortlaufend den Gesundheitszustand, das Gesundheitsverhalten und relevante Einflussfaktoren. Es dient in erster Linie dazu, Veränderungen der Volksgesundheit und deren Ursachen frühzeitig zu erkennen und entsprechend zu handeln. Dies erfolgt typischerweise kontinuierlich anhand von Schlüsselindikatoren zur Gesundheit, wie Art und Anzahl Erkrankungen oder die Sterblichkeit. Zusätzlich werden diverse Einflussfaktoren erfasst wie zum Beispiel das Bewegungs- oder das Rauchverhalten. Während es für übertragbare Krankheiten meistens nur einen unmittelbaren Verursacher (Krankheitserreger) gibt, ist die Situation für nicht-übertragbare Krankheiten komplexer. Die meisten dieser Krankheiten haben eine Vielzahl von möglichen Ursachen. Verändert sich also die Erkrankungshäufigkeit oder die Sterblichkeit, kann das eine Vielzahl von möglichen Gründen haben, wie z.B. veränderte Umweltbedingungen, Veränderungen im Lebensstil der Bevölkerung oder Veränderungen im Gesundheitssystem (z.B. Diagnostik, Behandlung). Nur in den allerseltensten Fällen, wenn der Einflussfaktor sehr gross ist, die verursachte Krankheit sehr spezifisch und/oder die Auswirkungen sehr akut sind, kann daher aus den Gesundheitsdaten alleine auf den Verursacher geschlossen werden. Solch seltene Beispiele sind das Auftreten von Brustfelltumoren aufgrund beruflicher Asbestexposition oder die langfristige Veränderung der Lungenkrebsinzidenz in Abhängigkeit vom Rauchverhalten der Bevölkerung. So zeigt Abbildung 1 wie Lungen-, Bronchien- und Luftröhrenkrebs bei Frauen in den letzten 20 Jahren zugenommen und bei den Männern abgenommen haben. Bei diesem Beispiel ist klar erkennbar, wie sich mit einer gewissen Latenzzeit eine Veränderung der Exposition (v.a. das Rauchverhalten in den letzten 40 Jahren) direkt auf die Erkrankungshäufigkeit auswirkt. Jedoch wäre selbst in diesen Fällen die Kausalverknüpfung ohne zusätzliche Evidenz von epidemiologischen und biologisch-medizinischen Studien nicht mit Sicherheit möglich.

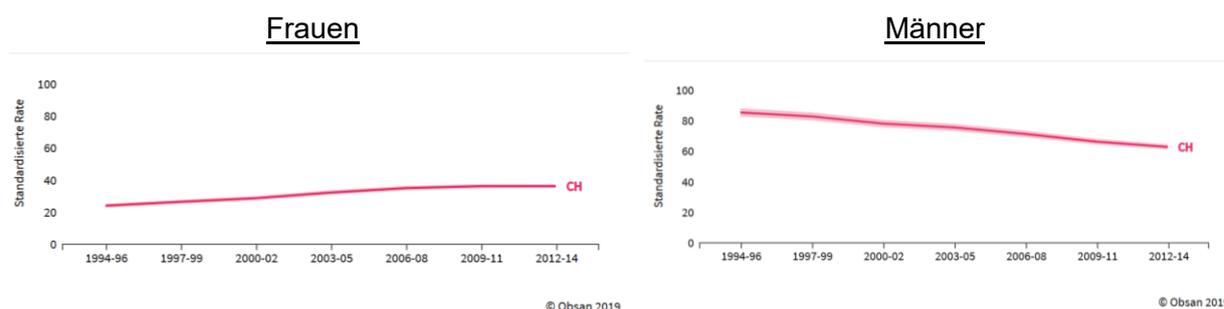


Abbildung 1: Veränderung der altersstandardisierten Rate für Lungen-, Bronchien- und Luftröhrenkrebs von 1994-2014 vom Schweizer Monitoring-System Sucht und nichtübertragbare Krankheiten (MonAM).

Abbildung 2 zeigt ein Beispiel für ein Monitoring der aktuellen Sterblichkeit aus dem Jahr 2015. Dargestellt ist die Anzahl der wöchentlichen Todesfälle im Vergleich mit der erwarteten Sterblichkeit. Im Jahr 2015 sind im Februar/März und im Juli mehr Todesfälle aufgetreten als statistisch zu erwarten gewesen wären, was auf eine Grippewelle im Winter und eine Hitzewelle im Sommer zurückzuführen war. Auch hier kann Kausalität im engeren Sinn nicht bewiesen werden. Theoretisch könnten auch andere Gründe als die Grippe- und Hitzewellen für die akuten Zunahmen der Sterblichkeit verantwortlich gewesen sein. Jedoch gibt es dafür

keine plausiblen alternativen Erklärungen und der Zusammenhang mit der Grippebeziehungsweise Hitzewelle konnte mit den Sentinella-Meldesystem bzw. mit vertieften Analysen plausibilisiert werden [1, 2].

Erfassung der Todesfälle im Jahr 2015

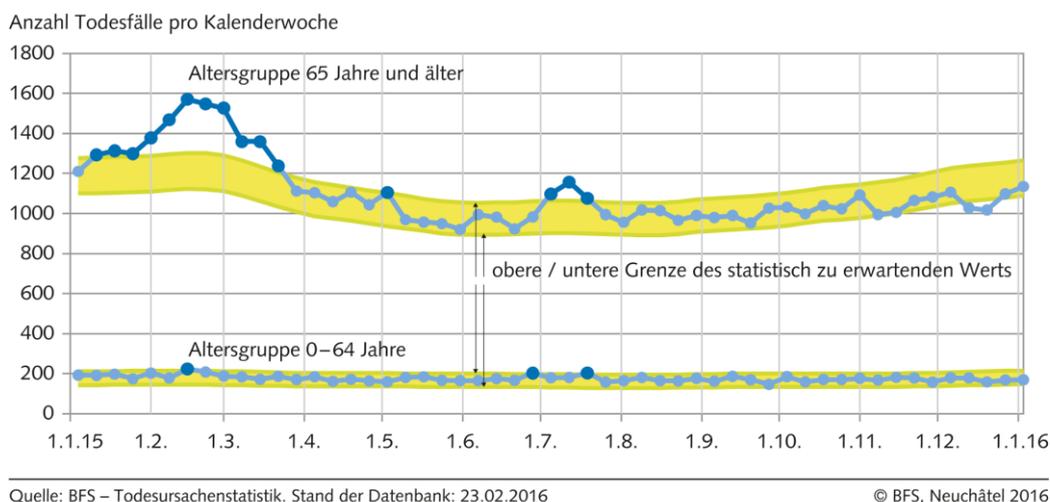


Abbildung 2: Wöchentliche Todesfälle 2015 in der Schweiz. Quelle: BFS⁴

Damit stellt sich die Frage, welche Indikatoren für ein Gesundheitsmonitoring NIS geeignet sind. Aus den bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnissen zu gesundheitlichen Wirkungen von NIS, wie sie im Alltag vorkommt, kann geschlossen werden, dass ein allfälliges Gesundheitsrisiko von NIS bezogen auf die gesamte Population klein ist oder erst nach langer Latenzzeit manifest wird. Aufgrund der vorliegenden Datenlage kann ausserdem davon ausgegangen werden, dass NIS keine eigenständigen NIS-spezifischen Krankheitsbilder wie zum Beispiel die von Asbest verursachten Mesotheliome verursacht, sondern - wenn überhaupt - bekannte bzw. etablierte Krankheiten beeinflusst oder die Ausbildung von unspezifischen und funktionellen (medizinisch nicht begründbaren) Symptomen begünstigt.

Ein Gesundheitsmonitoring, das schlussendlich im Hinblick auf NIS neue Erkenntnisse liefern oder als Warnsystem funktionieren soll, müsste also folgende Anforderungen erfüllen:

- Allfällige individuell kleine Erkrankungsrisiken in der Gesamtbevölkerung in Bezug auf die NIS-Exposition können identifiziert werden (unter Berücksichtigung von anderen Einflussfaktoren auf die Gesundheit)
- Eine allfällige kleine Minderheit von NIS-empfindlichen Personen mit individuell grossen Erkrankungsrisiken wegen NIS-Exposition im Alltag können identifiziert werden.

3.2 Exposition durch NIS

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder entstehen, wo Strom fliesst. Hauptemittenten sind Eisenbahnleitungen, Hochspannungsleitungen, Elektroinstallationen

⁴ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/gesundheit/gesundheitszustand/sterblichkeit-todesursachen.assetdetail.317264.html>

und Elektrogeräte [3]. Spitzenbelastungen von *niederfrequenten* Magnetfeldern (NF-MF) treten in der Nähe von elektrischen Apparaten mit hohen Leistungen wie Staubsauger, Bohrer oder Föhn auf [3]. Die Belastung nimmt aber bei elektrischen Apparaten sehr rasch mit der Distanz ab und die Expositionszeit ist üblicherweise kurz, so dass der Beitrag zur mittleren NF-MF-Belastung von diesen Quellen im Allgemeinen gering ist. Hochspannungsleitungen, Transformatoren und elektrische Leitungen in der Nähe vom Schlaf- oder Arbeitsplatz tragen daher entscheidend zur Durchschnittsbelastung einer Person bei [3, 4]. Hohe NF-MF-Belastungen treten auch in Zügen auf [5].

Hochfrequente NIS (HF-NIS) entsteht vorrangig bei der drahtlosen Kommunikation. Hauptemittenten sind Sendeanlagen für Radio, Fernsehen, Mobiltelefonie, Richtfunk, Radar und lokale drahtlose Netzwerke (WLAN). Man unterscheidet häufig zwischen körpernah betriebenen Geräten wie Mobil- und Schnurlostelefonen und körperfernen Strahlungsquellen wie Mobilfunkbasisstationen oder Radio- und Fernsehantennen. Für Erstere ist die spezifische Absorptionsrate (SAR-Wert) die massgebende Expositionsgrösse, für Umweltexpositionen die elektrische Feldstärke in Volt pro Meter. Körpernah betriebene Geräte wie Handys führen unter alltäglichen Bedingungen zu deutlich stärkeren lokalen Belastungen am Körper als ortsfeste Sendeanlagen. Der maximal auftretende momentane Energieeintrag durch ein Mobiltelefon am Kopf ist etwa 1'000 bis 100'000 Mal stärker als derjenige durch die üblichen Fernfeldquellen [6]. Dies liegt daran, dass die Distanz zwischen Gerät und Körper sehr klein ist. Seit der Einführung von Smartphones werden Mobiltelefone vermehrt auch an anderen Orten als direkt am Ohr verwendet werden. Häufig geschieht dies nahe am Rumpf, zum Beispiel bei der Nutzung von Freisprecheinrichtungen und Headsets, beim Lesen von Nachrichten und vor allem zum Streamen von Videos. Mobiltelefone können je nach Konfiguration und Anzahl installierter Applikationen auch im Stand-by-Modus häufig strahlen, insbesondere wenn man unterwegs ist [7]. Mobiltelefone besitzen eine sogenannte Leistungsregelung, und es ist zu beachten, dass sich die Expositionssituation mit der Weiterentwicklung der Technologie laufend ändert. So war zum Beispiel die Leistungsregelung beim Mobilfunkstandard UMTS (3G) deutlich effizienter als bei LTE (4G). Im Allgemeinen gilt, je besser die Verbindung desto weniger stark emittiert das Telefon, wobei es grosse Unterschiede bei den verschiedenen Technologien gibt (GSM, UMTS, LTE). Der Unterschied zwischen maximaler und minimaler Strahlungsleistung kann ein Faktor 100'000 sein. Im Gegensatz zu körpernah betriebenen Geräten erfolgt die Exposition gegenüber körperfernen Quellen wie Mobilfunkbasisstationen oder Mobiltelefonen von anderen Personen unfreiwillig und im Prinzip permanent. Ihr Beitrag an der gesamten kumulativ absorbierten HF-NIS-Exposition ist im Allgemeinen deutlich kleiner als derjenige von den Nahfeldquellen [6, 8].

Um Krankheitsdaten und umweltbezogene Expositionsdaten miteinander in Verbindung bringen zu können, muss die räumliche und zeitliche Verteilung der NIS-Exposition bekannt sein, ebenso wie die Expositionsverteilung in der Bevölkerung. Ein zentraler Aspekt eines Gesundheitsmonitorings wird also die adäquate Erfassung der NIS-Exposition in der Bevölkerung sein. Die Tatsache, dass sich in der Vergangenheit mit der Einführung von drahtlosen Kommunikationstechniken die Exposition gegenüber HF-NIS rasch verändert hat und sich im Zuge der Digitalisierung und der Energiewende wahrscheinlich weiter verändern wird, ist grundsätzlich eine gute Voraussetzung für ein NIS-Gesundheitsmonitoring, wenn man davon ausgeht, dass sich eine Veränderung der Exposition relativ rasch in einer Veränderung der Erkrankungshäufigkeit äussert. Je länger die Latenzzeit für

Gesundheitseffekte und je grösser die Diffusion von verschiedenen Arten von NIS, desto schwieriger wird es jedoch sein, mit einem Monitoring Hinweise auf Gesundheitseffekte von NIS zu erhalten.

4 Beispiele von Monitoring-Systemen in der Schweiz

In der Schweiz gibt es mehrere bereits etablierte Monitoring-Systeme für Umweltfaktoren und für gesundheitliche Indikatoren. Das Monitoring-System für Sucht und nichtübertragbare Krankheiten (MonAM, siehe unten) ist hierbei das einzige Beispiel, bei dem explizit Gesundheitsauswirkungen in Beziehung zu Einflussfaktoren (z.B. Tabak- und Alkoholkonsum) evaluiert werden. Im Folgenden sind einige Beispiele von Monitorings in der Schweiz dargestellt.

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) hat den Auftrag Daten und Informationen zu Umwelteinflüssen bereitzustellen, die als Grundlage für umweltpolitische Debatten und Entscheide dienen können⁵. Zu diesem Zweck erarbeitet das BAFU Beobachtungsprogramme und betreibt verschiedene Messnetze. Für nationale Umweltbeobachtungsprogramme arbeitet das BAFU mit Partnern zusammen. Nur im Bereich der Hydrologie erhebt das Amt die Daten selbst. Zurzeit gibt es die folgenden nationalen Beobachtungsnetze: Boden (NABO), Luftfremdstoffe (NABEL), Wasser (NADUF und NAQUA), Landschaft (LABES), Biodiversität (BDM) und Lärm (SonBase). Weitere Daten werden im Auftrag des BAFU von Forschungsinstituten oder privaten Büros gesammelt.

Im Folgenden sind zwei der vom BAFU betriebenen Messnetze sowie ihre Nutzung für gesundheitliche Fragestellungen dargestellt.

Das **Nationale Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL)**⁶ umfasst ein Monitoring der Luftbelastung an 16 über die ganze Schweiz verteilten Standorten. Die Daten geben Auskunft über die Luftbelastung an verschiedenen Standorttypen und die Veränderung der Luftbelastung über die Zeit. Es lässt sich damit beispielsweise untersuchen, ob die Einführung neuer Luftreinhaltemassnahmen einen messbaren Einfluss auf die Luftbelastungssituation in der Schweiz hat. Die Daten können zudem für flächendeckende Schadstoffmodellierungen verwendet werden. Solche Modellierungen bilden die Grundlagen, um abzuschätzen, wie gross die gesundheitlichen Auswirkungen der Luftbelastung in der Bevölkerung der Schweiz sind [9]. Die NABEL-Daten werden ausserdem direkt in epidemiologischen Studien zu den gesundheitlichen Auswirkungen der Luftbelastung verwendet.

Lärm-Monitoring zum Ausmass der aktuellen Lärmbelastung in der Schweiz⁷: Das BAFU hat auf der Basis eines geographischen Informationssystems (GIS) flächendeckend die Lärmbelastung aus den drei Hauptverkehrsquellen Strassen, Bahn und Flugverkehr berechnet und die Lärmsituation in der Schweiz analysiert. Die systematische Bestandsaufnahme und die Überwachung des Lärms sind Teil der Lärmdatenbank „SonBase“. Wie beim NABEL-Netzwerk sind solche Daten nützlich für die Evaluation von Massnahmen, für die Risikoabschätzung und für die Untersuchung von gesundheitlichen Auswirkungen⁸.

⁵ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/zustand/daten/umweltdaten.html>

⁶ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/zustand/daten/nationales-beobachtungsnetz-fuer-luftfremdstoffe--nabel-.html>

⁷ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/laerm/zustand/gis-laermdatenbank-sonbase.html>

⁸ <http://www.sirene-studie.ch/>

Im Bereich **NIS** sammelt und veröffentlicht das BAFU Daten zu einer Reihe von Indikatoren wie befürchtete Gesundheitsrisiken durch Mobilfunk, Datenmenge Mobilfunk, übertragene Strommenge oder subjektive Belastung durch Mobilfunkantennen und Hochspannungsleitungen.⁹ Rund 10% der Bevölkerung fühlen sich zuhause durch Mobilfunkbasisstationen oder Hochspannungsleitungen eher oder stark gestört.¹⁰ Rund 60% der Bevölkerung halten gesundheitliche Auswirkungen von Mobilfunk für möglich oder geben an, solche bereits erlebt zu haben.¹¹ Das Indikatorenverzeichnis beinhaltet auch eine Karte aller Mobilfunk- und Rundfunksendeanlagen in der Schweiz.¹²

Wie sich NIS räumlich und zeitlich verändert und wie die Bevölkerung gegenüber NF- und HF-NIS exponiert ist, wird bisher nicht systematisch erhoben. Wie eingangs erwähnt gibt es für ein solches Immissionsmonitoring ein Konzept des Bundesrates,¹³ dessen Umsetzung infolge mangelnder Finanzierung jedoch bisher zurückgestellt werden musste.¹⁴

Der Schlussbericht für dieses **NIS-Expositionsmonitoring Schweiz** wurde im Februar 2012 in Erfüllung des Postulats Gilli 09.3488 als Machbarkeits- und Konzeptstudie publiziert [10]. Zusätzliche Abklärungen zur Durchführung eines NIS-Expositionsmonitorings sind in verschiedenen Fachberichten beim BAFU publiziert worden.¹⁵ Wie oben erwähnt ist ein solches NIS-Expositionsmonitoring die Basis für ein Gesundheitsmonitoring, um allfällige langfristige gesundheitliche Veränderungen bei den Gesundheitsindikatoren im Hinblick auf die NIS-Exposition interpretieren zu können. Mit einem NIS-Expositionsmonitoring wird idealerweise die NIS-Expositionssituation der Bevölkerung repräsentativ erfasst und selektiv nach Quellen und Technologie getrennt. Hierbei werden sowohl körpernahe und körperferne Quellen im Aussen- und Innenbereich berücksichtigt, um damit langfristige Trends über mehrere Jahre sichtbar machen zu können.

Dabei zeigte sich vor allem die Erfassung der Exposition durch körpernahe Quellen als Herausforderung. Diese sind aber relevant, weil körpernahe Quellen sowohl die maximale als auch die kumulative NIS-Exposition in der Bevölkerung dominieren. Um dem raschen technologischen Wandel Rechnung zu tragen, müssen fortlaufend neue expositionsrelevante Technologien, deren Marktdurchdringung sowie geänderte Nutzungsgewohnheiten erkannt und entsprechend erfasst werden. Dies erfordert eine kontinuierliche Anpassung der Erhebungsinstrumente.

4.1 Gesundheit

Das **Bundesamt für Statistik (BFS)** erhebt und veröffentlicht eine Reihe von Gesundheitsstatistiken¹⁶ wie zum Beispiel die **Medizinische Statistik der Krankenhäuser**¹⁷, die **Gesundheitsbefragung**¹⁸ und die **Todesursachenstatistik**¹⁹.

⁹ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/elektrosmog/zustand/indikatoren.html>

¹⁰ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/elektrosmog/zustand/indikatoren.html>

¹¹ <https://www.gfsbern.ch/de-ch/Detail/mobilfunkmonitor-2014>

¹² <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/elektrosmog/zustand/elektrosmog--karten.html>

¹³ https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/elektrosmog/fachinfo-daten/konzept_fuer_einnationalesmonitoringelektromagnetischerfelder.pdf.download.pdf/konzept_fuer_einnationalesmonitoringelektromagnetischerfelder.pdf

¹⁴ https://edoc.unibas.ch/49130/1/20130625144033_51c98fc1c6938.pdf

¹⁵ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/elektrosmog/publikationen-studien/studien.html>

¹⁶ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/gesundheit.html>

¹⁷ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/gesundheit/erhebungen/ms.html>

¹⁸ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/gesundheit/erhebungen/sqb.html>

Bei der **Todesursachenstatistik** ist die Datenerhebung obligatorisch und basiert auf den Angaben der Zivilstandsämter und der Ärzte, welche die Todesfälle melden. Die Erhebung der Todesursachen erfolgt nach der Internationalen Klassifikation der Krankheiten (ICD) der Weltgesundheitsorganisation. Die Daten werden jährlich publiziert und im Hinblick auf die Ursachen interpretiert. Die Todesursachenstatistik, welche im Jahr 1876 erstmals erhoben wurde, lässt Veränderungen der Sterblichkeit über Jahrzehnte erkennen, zum Beispiel Rückgang/Zunahme der Lungenkrebsmortalität als Folge des verminderten/erhöhten Tabakkonsums bei Männern bzw. Frauen (Abbildung 1). Als Folge des Hitzesommers 2003 wurde die Empfehlung gemacht, im Rahmen der Todesfallerhebung auch laufend die aufgetretenen Todesfälle mit der erwarteten Sterblichkeit zu vergleichen. Dabei wird anhand der beobachteten Todesfälle der vorhergehenden fünf Jahre abgeschätzt, wie viele Todesfälle im 6. Jahr in jeder Woche zu erwarten sind. Die Daten werden laufend auf der Webseite des BFS publiziert (Abbildung 2).

Die **Schweizerische Gesundheitsbefragung** wird seit 1992 alle 5 Jahre im Auftrag des Bundesrats vom Bundesamt für Statistik durchgeführt.²⁰ Zur Grundgesamtheit gehören alle Personen ab 15 Jahren, die in privaten Haushalten leben, dabei umfasst die Netto-Stichprobe für die Schweizerische Bevölkerung rund 10'000 Personen. Einige Kantone tragen zu einer Aufstockung der Stichprobe bei, so dass typischerweise pro Befragung Daten von 20'000 bis 25'000 Personen vorliegen. Die Befragung umfasst ein telefonisches Interview und nachfolgend einen schriftlichen Fragebogen. Erhoben werden der Gesundheitszustand und gesundheitsrelevante Verhaltensweisen. Dies umfasst unter anderem auch Depression, Seh- und Hörbehinderungen, Ein- und Durchschlafstörungen, Kopfschmerzen, Symptome psychischer Befindlichkeit, Schlafschwierigkeiten, Konzentrationsschwierigkeiten und Niedergeschlagenheit. Es werden auch Fragen zu gesundheitlichen Kompetenzen und Ressourcen, zur Inanspruchnahme der Gesundheitsdienste, zur Krankenversicherungssituation und zu Lebensbedingungen und Lebensstilmerkmalen erhoben, die sich auf die Gesundheit auswirken können. Bei den Lebensbedingungen werden zum Beispiel die subjektiv wahrgenommenen Umweltbelastungen im Wohnumfeld erfragt (Lärm, Abgase und andere Belästigungen). Auch einige Gewohnheiten bezüglich Medien- und Handy-Gebrauch werden erfragt, wenn auch wenig detailliert. Die periodische Befragung ermöglicht es, den Gesundheitszustand der Bevölkerung zu beobachten, negative Entwicklungen frühzeitig zu erkennen und die Wirksamkeit von Massnahmen zur Prävention und Gesundheitsförderung zu kontrollieren. Der Fragenpool wird für jede neue Erhebung adaptiert, und grundsätzlich ist es möglich, der verantwortlichen Arbeitsgruppe neue Fragen für die Erhebung vorzuschlagen.

Das **Nationale Institut für Krebsepidemiologie und -registrierung (NICER/NKRS)** führt die kantonal erhobenen Krebsdaten zusammen, sichert ihre Qualität und analysiert sie auf Bundesebene²¹. Zurzeit führt NICER die Daten von 23 Kantonen zusammen und erfasst damit 94% der Schweizer Bevölkerung. Nach dem in Kraft treten des Krebsregistrierungsgesetzes (KRG) im Jahr 2020 werden alle Kantone erfasst sein und

¹⁹ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/gesundheit/gesundheitszustand/sterblichkeit-todesursachen.html>

²⁰ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/gesundheit/erhebungen/sgb.assetdetail.250614.html>

²¹ <http://www.nicer.org/>

damit flächendeckende Daten zur Verfügung stehen. Die im Netzwerk gesammelten Daten werden derzeit für die Erstellung landesweiter Statistiken über Inzidenz, Mortalität und Überlebensrate von Krebserkrankungen genutzt. Die Stiftung NICER wurde unter anderem gegründet, um die bevölkerungsbezogene epidemiologische Krebsforschung in der Schweiz zu fördern und zu unterstützen. Im Rahmen eines Ausschreibungsverfahrens hat das Eidgenössische Departement des Innern (EDI) das Nationale Institut für Krebsepidemiologie und -registrierung NICER mit den Aufgaben der Nationalen Krebsregisterstelle (NKRS) beauftragt. Die NKRS sorgt für die nötige Harmonisierung, Standardisierung und Analyse der Daten, und erstellt zusammen mit den zuständigen Fachstellen Gesundheitsberichterstattungen und Krebsstatistiken. NICER/NKRS beteiligt sich an epidemiologischen Forschungsprojekten mit externen Partnern. Studien im Bereich Umwelt und Gesundheit waren bisher gemäss Auskunft von Anita Feller (NICER) jedoch dabei noch nicht vertreten.

Das **Schweizerische Gesundheitsobservatorium (OBSAN)**²² konzentriert sich auf die Verarbeitung und Bereitstellung bereits vorhandener Daten und führt selber keine Erhebungen durch. Die Themen von OBSAN sind in sechs Klassen aufgeteilt: Gesundheit der Bevölkerung, psychische Gesundheit, Gesundheitssystem, Alter und Langzeitpflege, Gesundheitsfachkräfte sowie Kosten und Finanzierung. Der Bereich Gesundheit der Bevölkerung umfasst auch Indikatoren zu den Einflussfaktoren auf die Gesundheit wie beispielsweise Ernährung, Sucht, Bewegung und Sexualverhalten. Umweltbezogene Indikatoren werden im OBSAN kaum erfasst.^{23,24}

Die vorhandenen Daten und Informationen im OBSAN werden aufbereitet und evaluiert. Die Gesundheitsdaten und -informationen werden verknüpft, analysiert und präsentiert, um gesundheitspolitische Planung und Entscheidungen zu unterstützen, um Massnahmen, Gesundheitsdienste und Versorgungsstrukturen evaluieren zu können und um Gesundheitsprobleme der Bevölkerung aufzuzeigen. Das OBSAN publiziert regelmässig Publikationen zu den entsprechenden Themen und vergibt auch Mandate an Externe für die Bearbeitung und das Verfassen von Berichten zu bestimmten Fragestellungen.

Das **Monitoring-System für Sucht und nichtübertragbare Krankheiten (MonAM)**²⁵ wurde im Oktober 2018 gestartet und befindet sich zurzeit in einer Testphase. Derzeit sind 27 Indikatoren aufgeschaltet, weitere folgen laufend. Die Daten werden aus verschiedenen, bereits bestehenden Quellen erhoben und gebündelt dargestellt (z.B. vom OBSAN, NICER und BFS). Das Monitoring-System erlaubt es, Suchtverhalten und nichtübertragbare Krankheiten in der Bevölkerung zu beobachten und passende Massnahmen zu entwickeln. Im MonAM werden zwei bisher parallel laufende Monitoring-Systeme zusammengefasst: Das 2017 lancierte Monitoring-System zur Nationalen Strategie zur Prävention nichtübertragbarer Krankheiten (kurz „Monitoring-System NCD“)²⁶ sowie das ebenfalls 2017 initiierte Suchtmonitoring. Da Süchte wichtige Risikofaktoren bzw. Einflussfaktoren für NCD

²² <https://www.obsan.admin.ch/de>

²³ https://www.obsan.admin.ch/sites/default/files/publications/2015/obsan_64_bericht_gr_0.pdf (Störungen im Wohnbereich, Seite 91 ff)

²⁴ <https://www.obsan.admin.ch/de/indicators/topic/einflussfaktoren-auf-die-gesundheit>

²⁵ www.monam.ch

²⁶ <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/das-bag/ressortforschung-evaluation/forschung-im-bag/forschung-nichtuebertragbare-krankheiten/monitoring-systemncd.html>

darstellen, wurde entschieden, diese beiden neu lancierten Monitoringsysteme zusammenzufassen und ihre Indikatoren auf einer gemeinsamen Website zu präsentieren. Das Monitoring-System ermöglicht eine evidenzbasierte Kontrolle der Zielerreichung und die strategische Planung der NCD-Strategie.

MonAM ist das einzige Gesundheitsmonitoring bei dem Ursachen (in diesem Fall Tabak, Alkohol und andere) und gesundheitliche Folgen auf der gleichen Plattform dargestellt werden. Die einzelnen Indikatoren werden aber separat dargestellt, und eine ursächliche Verknüpfung zwischen einzelnen Indikatoren wird im Allgemeinen nicht gemacht. Es gibt jedoch unter dem Thema „Gesellschaftliche Aspekte“ eine Reihe von kausalen Verknüpfungen wie z.B. alkohol- oder tabakbedingte Sterblichkeit. Dabei handelt es sich aber um Abschätzungen, und nicht um eine direkt beobachtbare Anzahl von Sterbefällen. Bei solchen Abschätzungen werden der Alkoholkonsum und das Rauchverhalten der Bevölkerung mit der beobachteten ursachenspezifischen Sterblichkeit verglichen und anhand der Kenntnisse der entsprechenden Gesundheitsrisiken darauf geschlossen, welcher Anteil der Todesfälle statistisch auf Alkoholkonsum oder Rauchen zurückzuführen ist. Das Beispiel MonAM zeigt, dass eine kausale Verknüpfung von Exposition und Krankheitshäufigkeiten einen zusätzlichen Schritt bedeutet. Nur anhand der zeitlichen Veränderungen von Indikatoren ist es für chronische Erkrankungen mit einer Vielzahl von protektiven und Risikofaktoren nicht möglich, Kausalität abzuleiten.

Das **Sentinella-Meldesystem** ist ein gemeinsames Projekt von engagierten Hausärztinnen/ärzten und dem Bundesamt für Gesundheit (BAG).²⁷ Es wurde 1986 gestartet und ermöglicht neben der Überwachung infektiöser Erkrankungen auch Forschung in der Hausarztmedizin. Am Sentinella-Meldesystem nehmen 150 bis 250 Allgemeinpraktiker, Internisten und Pädiater mit allgemeinmedizinisch orientierter Praxis teil. Die Meldungen werden wöchentlich vom BAG analysiert, so dass aktuelle Entwicklungen bei den Konsultationen zeitnah registriert werden können. Die Ergebnisse werden in den wöchentlichen Bulletins im Internet publiziert.²⁸ Ein bekanntes Produkt des Sentinella-Meldesystems sind zum Beispiel die Grippemeldungen, auf deren Grundlage das BAG unter anderem festhält, ob der epidemische Schwellenwert überschritten wird.²⁹ Das Sentinella-System ist ein unverzichtbares Überwachungsinstrument für nicht meldepflichtige Krankheiten geworden, deren Erfassung mittels einer obligatorischen Vollerhebung nicht bewältigt werden könnte. Das Sentinella-Meldesystem ist damit eine Ergänzung zu den Meldesystemen von meldepflichtigen, übertragbaren Krankheiten mit epidemischem Verlauf. Es ist geplant die Meldetätigkeit laufend zu vereinfachen und zu modernisieren. Die Programmkommission des Sentinella-Meldesystems will auch in Zukunft in Zusammenarbeit mit dem Ärztekollektiv und den auswärtigen Experten und Labors das Meldesystem den Erfordernissen anpassen und aktuelle, hausärztlich relevante Themen miteinbeziehen.

4.2 Forschung als Gesundheitsmonitoring

Ein Gesundheitsmonitoring kann wie oben erläutert nur in den seltensten Fällen - wenn der Einflussfaktor sehr gross ist oder die durch ihn verursachte Krankheit sehr spezifisch ist -

²⁷ <https://www.sentinella.ch/de/info>

²⁸ <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/krankheiten/infektionskrankheiten-bekaempfen/meldesysteme-infektionskrankheiten/sentinella-meldesystem.html>

²⁹ <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/krankheiten/ausbrueche-epidemien-pandemien/aktuelle-ausbrueche-epidemien/saisonale-grippe---lagebericht-schweiz.html>

direkt über die Gründe von Veränderungen in den Krankheitshäufigkeiten Auskunft geben. Dabei ist eine gute Kenntnis der betreffenden Exposition in der Bevölkerung unabdingbar. Eine Kausalverknüpfung kann aber auch dann letztlich nur aufgrund von Evidenz von biologischen, epidemiologischen und medizinischen Studien vorgenommen werden. Damit stellt sich die berechtigte Frage, ob Gesundheitsmonitoringsysteme überhaupt geeignet sind, um möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von NIS auf die Spur zu kommen. Als Alternative können Forschungsprojekte, die für eine bestimmte Fragestellung optimiert sind, aufschlussreicher sein. Im Gegensatz zu einem Monitoring können dabei individuelle Expositionsdaten mit Gesundheitsdaten verknüpft werden, was in anonymisierten Statistiken von einem Gesundheitsmonitoring nicht möglich ist. Man weiss also bei einem Monitoring nicht, ob die erkrankten Personen tatsächlich höher exponiert waren. Alternativ können bei Forschungsprojekten mit experimentellen Methoden bestimmte Zusammenhänge gezielt untersucht werden.

Aus diesem Grund wurden in der Vergangenheit auch Forschungsprogramme lanciert, um offene Fragestellungen klären zu können. Sind solche Forschungsprogramme zeitlich nicht limitiert, kann man sie auch als eine Art Gesundheitsmonitoring für NIS betrachten. Grundsätzlich können dabei die Forschungsthemen frei wählbar durch die Forschenden sein (bottom up), oder man kann mit gezielten Ausschreibungen auf neue Entwicklungen und Erkenntnisse reagieren (top down) und die Forschung entsprechend steuern.

4.2.1 Forschungsprogramme und Studien aus der Schweiz

Das Nationale Forschungsprogramm „Nichtionisierende Strahlung - Umwelt und Gesundheit“ (NFP 57) untersuchte von 2007-2011 wissenschaftliche Schlüsselfragen zu den möglicherweise gesundheitsschädigenden Auswirkungen der von den damaligen und späteren Technologien erzeugten NIS.

Die Forschungstiftung Strom und Mobilkommunikation (FSM)³⁰ ist eine gemeinnützige Stiftung mit dem Zweck, die wissenschaftliche Forschung über Chancen und Risiken von NIS-bezogenen Technologien zu fördern. Die Finanzierung erfolgt durch Sponsoren und Gönner. Um die Unabhängigkeit zu gewährleisten, entscheidet ein wissenschaftlicher Ausschuss bestehend aus Hochschulvertretern über die Vergabe der Forschungsmittel. Die Forschungsthemen werden vorgegeben, und alle interessierten Forscher können sich auf die jährliche Ausschreibung bewerben. Dies ermöglicht somit die Durchführung von Forschungsprojekten zu gezielten Fragestellungen, die mit einem normalen Monitoring nicht möglich wären. Allerdings ist das Forschungsbudget sehr klein gehalten, so dass jährlich nur ein neues Projekt initiiert werden kann.

Schweizerische Gesundheitsstudie: Das Bundesamt für Gesundheit (BAG) plant in Zusammenarbeit mit verantwortlichen akademischen Partnern (Swiss TPH, Institut für Sozial- und Präventivmedizin Lausanne (IUMSP), Swiss Biobanking Platform) unter der wissenschaftlichen Leitung des Swiss TPH (N. Probst-Hensch) eine nationale Gesundheits-Langzeitstudie aufzubauen, um Expositions- sowie Gesundheitsdaten zu sammeln. Ziel der Schweizerischen Gesundheitsstudie ist es, die chronischen Gesundheitsursachen und Alterungsprozesse besser zu verstehen. Diese Studie soll breiten Forschungszwecken dienen. Zurzeit läuft eine Pilot-Studie an den Instituten Swiss TPH und Unisanté an, um die

³⁰ <https://www.emf.ethz.ch/de/>

Machbarkeit eines solchen nationalen Projektes mit breitem Nutzen für die Forschung und Gesundheitspolitik ab Herbst 2021 zu evaluieren.³¹

Hierbei werden auch sogenannte Biomarker erfasst, also objektiv messbare charakteristische biologische Merkmale, die auf einen normalen biologischen oder krankhaften Prozess im Körper hinweisen können. Für Umweltexpositionen kann so beim Vorhandensein eines spezifischen Biomarkers im Körper abgeschätzt werden, ob und in welchem Ausmass eine bestimmte Bevölkerungsgruppe zu einem bestimmten Zeitpunkt gegenüber der untersuchten Exposition belastet ist. Für NF- oder HF-NIS wurde jedoch bisher kein solcher Biomarker entdeckt. Biomarker können auch frühe Anzeichen einer beginnenden Erkrankung sein, zum Beispiel Krebsmarker. Damit lässt sich der Zusammenhang zwischen Exposition und Erkrankung effektiv untersuchen, insbesondere wenn longitudinale Datenreihen vorliegen. Wichtig ist dabei, dass zusätzliche Angaben der Probanden zu ihrem Verhalten und ihren Umweltexpositionen vorliegen, um komplexe Wechselwirkungen untersuchen zu können.

Die **HBSC-Studie** („*Health Behaviour in School-aged Children*“) ist eine Schülerinnen- und Schülerbefragung in der Schweiz. Die Studie erfragt verschiedene Aspekte des Gesundheitsverhaltens und der Lebensstile von Schulkindern des 5. bis 9. Schuljahres, die grösstenteils 11 bis 15 Jahre alt sind. Sie wird alle vier Jahre auf der Grundlage einer repräsentativen nationalen Stichprobe durchgeführt und erlaubt es so, die aktuelle Gesundheitssituation der Schülerinnen und Schüler einzuschätzen sowie ihre Entwicklung über die Zeit zu beobachten (Trend). Die Studie bietet somit Bund und Kantone wichtige Anhaltspunkte für die Gesundheitspolitik sowie für die Gesundheitsförderung im Schul- und Freizeitbereich. Auch für die Ausarbeitung von nationalen und kantonalen Präventionsmassnahmen ist die Studie eine wichtige Grundlage. Die HBSC-Studie stellt insbesondere eine wichtige Datenquelle für das MonAM-Monitoring der Nationalen Strategie Sucht und der Nationalen Strategie zur Prävention nichtübertragbarer Krankheiten dar. Seit 1986 wurde die Schweizer HBSC-Studie alle vier Jahre von Sucht Schweiz³² durchgeführt, 2018 zum neunten Mal. Die Studie wird vom Bundesamt für Gesundheit (BAG) und den Kantonen finanziell unterstützt. Im Rahmen der nationalen HBSC-Studie hat jeder Kanton die Möglichkeit, eine kantonale Studie in Auftrag zu geben, die eine Analyse auf Kantonsebene und einen Vergleich mit den Resultaten der gesamten Schweiz ermöglicht.

4.2.2 Beispiele auf internationaler Ebene

Auf internationaler Ebene gibt es bisher kein eigentliches NIS-Gesundheitsmonitoring, welches Exposition und Gesundheitsauswirkungen verknüpft betrachtet. Verschiedene Länder haben jedoch eigene Forschungsprogramme zu NIS und Gesundheit initiiert, um mögliche negative gesundheitliche Wirkungen frühzeitig erkennen zu können:

Frankreich ist zurzeit das aktivste Land, das auch ein eigenes Forschungsprogramm zu HF-NIS durch die französische Umweltbehörde ANSES unterhält.³³ Jährlich werden Ausschreibungen gemacht, auf die sich französische Forschungsinstitutionen bewerben können, allenfalls zusammen mit Partnerinstitutionen aus dem Ausland. Hinsichtlich der

³¹ <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/gesund-leben/umwelt-und-gesundheit/chemikalien/chemikalien-im-alltag/human-biomonitoring/was-ist-human-biomonitoring.html>

³² <http://www.suchtschweiz.ch/>

³³ <https://www.anses.fr/fr>

Themen für die in Frage kommenden Forschungsprojekte werden Vorgaben gemacht. In den letzten Jahren waren dies jeweils eine breite Palette von Themen mit den Studienschwerpunkten HF-NIS-Exposition, elektromagnetische Hypersensibilität (EHS), zelluläre Wirkungsmechanismen sowie biologisch/epidemiologische Fragestellungen. Gemäss Auskunft von Johanna Fite (ANSES) wird das Forschungsprogramm über eine spezielle Steuer finanziert, welche die Mobilfunkbetreiber bezahlen müssen.³⁴ Die Vergabe der Forschungsprojekte geschieht über ANSES. Die Mobilfunkbetreiber haben kein Mitspracherecht und keine Einflussmöglichkeiten auf die Projektvergabe. Jährlich stehen etwa 1.5 Millionen Euro für HF-NIS-Forschung zur Verfügung. Zusätzlich wird ein Betrag in derselben Höhe für ein Expositionsmonitoring verwendet. Gemäss Einschätzung von Johanna Fite will die neue Regierung im Zuge der Vereinfachung des Steuersystems diese Mobilfunksteuer abschaffen. Insofern ist unklar, wie lange dieses Forschungsprogramm noch bestehen bleibt. Studien zu niederfrequenten Magnetfeldern und anderen Umweltfaktoren werden über eine separate Ausschreibung der ANSES zu Umweltforschung finanziert.

Deutschland: Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat sich zum Kompetenzzentrum für elektromagnetische Felder (EMF) entwickelt. Gemäss der Auskunft von Gunde Ziegelberger vom BfS besteht ein Interesse an einem Monitoring in Deutschland, sowohl in Bezug auf Exposition wie auch auf die Gesundheit. Im Moment ist in dieser Hinsicht jedoch noch nichts weiter konkretisiert.

Als potentiell nützlich wird dabei die NAKO Gesundheitsstudie - ehemals Nationale Kohorte - betrachtet, in welcher seit dem Jahr 2014 200'000 Menschen zwischen 20 und 69 Jahren in 18 Studienzentren für eine Laufzeit von 20 bis 30 Jahren zu ihren Lebensumständen und ihrer Krankheitsgeschichte befragt werden, inklusive zweimaliger medizinischer Untersuchung und Bioprobenentnahme. Bei 30'000 Personen sind ausserdem MRI-Untersuchungen geplant. Die Studie zielt darauf ab, die Entstehung von Krankheiten und deren Einflussfaktoren zu untersuchen, wobei sowohl Umwelteinflüsse, Gene, Lebensstil und soziale Faktoren berücksichtigt werden. Die gewonnenen Studienergebnisse sollen dazu beitragen, Prävention, Früherkennung und Behandlung von Erkrankungen zu verbessern. In dieser Kohorte müsste man eine NIS-Expositionsabschätzung implementieren, um dann auch allfällige NIS-abhängige Gesundheitseffekte untersuchen zu können.

Die NAKO ist Teil eines umfassend konzipierten Gesundheitsmonitorings in Deutschland.³⁵ Dabei fliessen Daten von drei grossen Gesundheitsstudien sowie Krebsregisterdaten und weitere Informationsquellen ein. Individuelle und aggregierte Daten zum Gesundheitszustand und mögliche Einflussfaktoren inklusive Präventionsmassnahmen werden möglichst umfassend erfasst und analysiert. Die Ergebnisse fliessen wiederum in den gesundheitspolitischen Entscheidungsprozess, liefern aber auch Grundlagen für epidemiologische Forschungsarbeiten. Einflussfaktoren aus dem Bereich Wohnung und Umwelt sind ebenfalls miteinbezogen, wie zum Beispiel Lärm, Aussen- und Innenraumluftbelastung, Passivrauchen, Schimmel und Strahlung.³⁶ Indikatoren für nieder- und hochfrequente NIS wurden bisher allerdings nicht berücksichtigt.

³⁴ <http://bofip.impots.gouv.fr/bofip/1191-PGP.html>

³⁵ https://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/gesundheitsmonitoring_node.html

³⁶

https://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Gesundheitsberichterstattung/GBEDownloadsGiD/2015/03_gesundheit_in_deutschland.pdf?blob=publicationFile

Die geplante Gesundheitsstudie Schweiz arbeitet eng mit der NaKo zusammen und strebt eine Harmonisierung mit dieser und anderen Kohorten an. Die wissenschaftliche Leiterin der Gesundheitsstudie Schweiz (N. Probst-Hensch, Swiss TPH) ist Mitglied des wissenschaftlichen Beirates der NAKO.

Neben einem Monitoring wird vom BfS für die Zukunft auch die Kommunikation als zentral eingeschätzt. Das BfS erhält viele Anfragen von Bürgern und wird als neutrale Auskunftsstelle breit akzeptiert. Die öffentliche Kommunikation müsste neben dem eigentlichen Monitoring auch genügend gewichtet werden.

Im Moment macht das BfS regelmässig öffentliche Ausschreibungen zu offenen Fragen im Bereich NIS und Gesundheit. Wichtige Themen hinsichtlich Gesundheit der Bevölkerung werden mit solchen Forschungsprojekten angegangen. Das BfS definiert bei Bedarf ein Thema und führt die öffentlichen Ausschreibungen durch.

Weitere Forschungsprogramme wurden auch in **Dänemark, Japan, Grossbritannien, Holland** und **Australien** durchgeführt oder sind immer noch am Laufen. Im Allgemeinen waren die Ausschreibungen thematisch offen. Häufig war die Lancierung der Forschungsprogramme mit der Erwartung verbunden, dass sich nach Ablauf der Programme eine kritische Masse an Forschenden entwickelt hat, die über reguläre Finanzierungsmöglichkeiten weitere Studien durchführen. Nach dem Abschluss einiger Programme wurden dann teilweise auch weiterführende Studien zu den kritischen Fragen durchgeführt.

5 Mögliche Gesundheitsauswirkungen von NIS und mögliche Ansätze für ein Gesundheitsmonitoring

Im Folgenden wird basierend auf einer umfassenden Literaturrecherche der aktuelle Forschungsstand hinsichtlich möglicher Gesundheitsauswirkungen von NIS zusammengefasst. Die dabei identifizierten potentiellen Gesundheitsauswirkungen werden auf ihre Eignung als Endpunkte in einem Monitoring diskutiert.

5.1 HF-NIS und Tumoren

Zahlreiche Studien haben untersucht, ob HF-NIS Tumoren im Kopfbereich verursachen kann. Diese Fragestellung ist in erster Linie dadurch motiviert, dass der Kopf der am stärksten exponierte Körperteil bei der Benützung eines Mobil- oder Schnurlostelefon ist, zumindest bis zum Zeitpunkt der Einführung von Smartphones im Jahr 2007. Die bedeutendste epidemiologische Studie ist die internationale Fall-Kontroll-Studie „INTERPHONE“, basierend auf Daten von 7'658 Kontrollpersonen sowie 2'409 Patienten mit Meningeomen, 2'708 Patienten mit Gliomen und 1'105 Patienten mit vestibulären Schwannomen (Akustikusneurinomen), die zwischen 2000 und 2004 erkrankt waren [11, 12]. Die Studie zeigte grösstenteils kein erhöhtes Hirntumorrisiko für Mobiltelefonnutzer. Für Personen mit sehr intensiver Mobiltelefonnutzung (>1640 Stunden) wurde ein erhöhtes Risiko für Gliome und vestibuläre Schwannome beobachtet. Methodische Einschränkungen wie Selektionsbias und die retrospektive Expositionserhebung mit Fragebogen erschweren jedoch die kausale Interpretation der Ergebnisse und erklären möglicherweise die gefundenen Zusammenhänge. Im Jahr 2011 klassierte die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) HF-NIS als möglicherweise kanzerogen [13]. In neueren experimentellen Studien an Ratten gibt es Hinweise für karzinogene Wirkungen [14-16] oder Tumorpromotion [17].

Die Mobiltelefonnutzung hat in den letzten Jahren sehr stark zugenommen, und mittlerweile benutzt praktisch die gesamte Bevölkerung regelmässig ein Mobiltelefon. Es kann daher erwartet werden, dass sich ein allfälliges Tumorrisiko in einer Zunahme von Neuerkrankungen niederschlagen wird. In aktuellen Auswertungen der Krebsregisterdaten aus Skandinavien [18], England [19], den USA [20] und Australien [21] war dies bisher nicht festzustellen. Jedoch gibt es Studien, die einen solchen Anstieg für bestimmte Diagnosen wie unspezifische Tumoren in Schweden [22, 23] oder Glioblastome in Grossbritannien [24] beobachten. Wahrscheinlich ist dies auf Änderungen in der Diagnose- und Kodierungspraxis zurückzuführen, da sich in diesen Ländern die Gesamtzahl der Hirntumoren in den Bevölkerungsgruppen mit stärkster Mobiltelefonnutzung nicht verändert hat [25, 26]. Aus den zeitlich stabilen Inzidenzzeitreihen und den durchgeführten Fall-Kontroll- und Kohortenstudien lässt sich schliessen, dass ein allfälliges Erkrankungsrisiko relativ gering ist. Dennoch kann ein erhöhtes Risiko für bestimmte histologische Tumorformen oder für lange Latenzzeiten (> 15 Jahre) nicht ausgeschlossen werden.

Eignung als Endpunkt für Monitoring

Grundsätzlich könnte auch in der Schweiz analog zu den oben erwähnten Zeitreihenstudien in einem Monitoring analysiert werden, ob bestimmte Tumoren zunehmen und ob eine solche Zunahme konsistent mit der Zunahme der Mobiltelefonnutzung ist. Wie gross die

Latenzzeit für einen solchen Anstieg wäre, ist jedoch nicht bekannt und hängt von der Art des Tumors ab. In Analogie mit der ionisierenden Strahlung wäre beispielsweise bei Hirntumoren mit einer Latenzzeit von 10 bis 25 Jahren zu rechnen [27]. Tumoren, welche die folgenden Bedingungen einhalten, eignen sich besonders gut für ein Monitoring.

Exposition: Es ist zu erwarten, dass Tumoren an den am stärksten durch HF-NIS exponierten Körperstellen auftreten würden. Bis zur Einführung der Smartphones im Jahr 2007 war praktisch nur der Kopf beim Telefonieren exponiert. Seither wird auch der Rumpf verstärkt exponiert. Beim Mobilfunkstandard „5G“ sollen in Zukunft höhere Frequenzen als bisher zum Einsatz kommen (ca. 25 GHz). Diese kurzen Wellenlängen werden in erster Linie durch die Haut und die Augen absorbiert werden [28]. Damit sind prinzipiell auch Melanome der Haut und der Augen sowie benigne Tumoren der Haut (Basalzellen- und Stachelzellenkarzinome) von Interesse.

Risikofaktoren: Je mehr und je stärkere Einflussfaktoren es für einen Tumortypen gibt, desto schwieriger wird die Interpretation von Zeitreihen im Hinblick auf die Veränderungen von allen Risikofaktoren. Für Hirntumoren (Gliome, Meningeome, Tumoren der Hypophyse) gibt es mit Ausnahme von hohen Dosen ionisierender Strahlung, wie sie auch bei medizinischen Anwendungen vorkommt (v.a. Computertomographie und medizinische Bestrahlung), keine bekannten Umweltrisikofaktoren. Auch Lebensstilfaktoren sind nach heutigem Kenntnisstand kaum relevant. Das bedeutet, dass man durch andere Risikofaktoren keine starken zeitlichen Veränderungen der Erkrankungshäufigkeiten erwarten würde. Für Kopfspeicheldrüsen sind Tabak, Alkoholkonsum und Virusinfektionen mögliche Risikofaktoren. Für vestibuläre Schwannome ist möglicherweise starke berufliche Lärmexposition ein Risikofaktor [29]. In diesem Zusammenhang ist auch die Tatsache relevant, dass vestibuläre Schwannome zum Hörverlust führen und es gewisse Hinweise gibt, dass diese Symptome von Mobiltelefonnutzern früher wahrgenommen werden, wenn der Tumor das Ohr betrifft, welches zum Telefonieren benützt wurde. Eine Zunahme von vestibulären Schwannomen könnte allenfalls also auch durch solche umgekehrte Kausalität zustande kommen. Für maligne und benigne Tumoren der Haut (inkl. Uveal-Melanome) ist UV-Strahlung der grösste Risikofaktor. Bei soliden Tumoren im Rumpfbereich gibt es im Allgemeinen eine Vielzahl von relevanten Umwelt- und Lebensstilfaktoren (Luftbelastung, Rauchen, Ernährung, Bewegung), die einen Einfluss auf die zeitliche Veränderung der Erkrankungshäufigkeit haben können.

Datenquelle: Als Datenquelle für ein Tumormonitoring bietet sich NICER/NKRS an. Bei NICER/NKRS sind die Daten von allen kantonalen Krebsregistern gesammelt. Hinsichtlich der Dokumentationspflicht gilt es zu beachten, dass die Einschlusskriterien bisher auf einer Vereinbarung zwischen NICER und den Krebsregistern basieren. Erst nach Inkrafttreten des Krebsregistrierungsgesetzes (KRG, geplant im Januar 2020) entsteht eine flächendeckende Dokumentationspflicht. Maligne Tumoren inklusive Melanome sind bei NICER/NKRS erfasst, mit Ausnahme von Basalzellkarzinomen. Stachelzellkarzinome wurden gemäss Einschätzung von Anita Feller in der Vergangenheit nicht von allen kantonalen Krebsregistern konsequent und vollzählig registriert. Es ist aber davon auszugehen, dass dies nach Inkrafttreten des Krebsregistrierungsgesetzes 2020 vollständig der Fall sein wird. Somit eignen sich Tumoren der Haut aufgrund der Registrierungspraxis prinzipiell für ein Monitoring. Es ist jedoch zu erwarten, dass bei diesen Tumoren wie bei einigen weiteren Tumoren (z.B. Melanomen, Prostata, Schilddrüse, etc.) die Interpretation von Monitoringdaten ggf. durch zunehmende Überdiagnostizierung erschwert wird [30].

Überdiagnostizierung bedeutet die Diagnose von Fällen, welche sich nicht weiter entwickelt hätten und weder zu Symptomen noch zum Tod geführt hätten. Je häufiger Screenings durchgeführt werden, desto mehr solche Fälle werden entdeckt. Bei der Interpretation ebenfalls zu beachten sind beispielsweise Änderungen im Screeningverhalten sowie verbesserte Diagnostik, was ebenfalls zu scheinbaren Veränderungen führen kann.

Fazit: Aus diesen Ausführungen lässt sich schliessen, dass sich Hirntumoren (z.B. Gliome, Meningeome, Tumoren der Hypophyse) für ein Tumor-Monitoring am besten eignen. Vestibuläre Schwannome eignen sich ebenfalls, wenn man der Problematik der umgekehrten Kausalität bei der Interpretation der Daten genügend Beachtung schenkt. Tumoren der Haut wären im Hinblick auf 5G von Interesse. Ein Monitoring im Hinblick auf Mobilfunkstrahlung wäre aber deutlich anspruchsvoller. Es wird kaum möglich sein, zwischen realen Veränderungen der Inzidenz und Veränderungen, welche sich aus Änderungen in der Diagnosepraxis ergeben, zu unterscheiden. Zudem ist UV-Strahlung ein wichtiger Risikofaktor. Veränderungen im Sonnenschutzverhalten und Solariumgebrauch hätten einen deutlichen Einfluss auf die Erkrankungsraten und es wäre schwierig, diese Einflüsse von einem allfälligen Einfluss der NIS-Exposition zu separieren.

In einem solchen Monitoring könnten prinzipiell auch andere Tumoren als Hirntumoren mitberücksichtigt werden, beispielsweise Tumoren im Rumpfbereich. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass sich deren Eignung für ein Monitoring komplexer darstellt. Durch die Smartphone Nutzung findet zwar eine Exposition dieses Körperteils statt, aber die Exposition ist bezogen auf die ganze Bevölkerung - zumindest bis heute - deutlich tiefer als beim Kopf. Zudem haben diese Tumoren ein breites Risikospektrum und sind teilweise auch durch Überdiagnose betroffen [30]. Dadurch wäre es für solche Tumoren deutlich schwieriger, allfällige NIS-bedingte Veränderungen in der Exposition auch in den Erkrankungsraten nachzuweisen.

Im Kapitel 6.1 ist ein Tumormonitoring im Detail beschrieben.

5.2 HF-NIS und Auftreten von Symptomen / Elektromagnetische Hypersensibilität

Teile der Bevölkerung sehen den Grund für ihre Symptome wie Kopfschmerzen, Schlaf- oder Konzentrationsstörungen in NIS [31]. Die Betroffenen sprechen häufig von „Elektrosmog“ als möglichem Auslöser, was als elektromagnetische Hypersensibilität (EHS) oder idiopathische Intoleranz gegenüber NIS bezeichnet wird und sowohl nieder- als auch hochfrequente Felder umfassen kann. In einer Vielzahl von experimentellen Studien wurde unter doppelblinden und randomisierten Bedingungen das akute Auftreten von Beschwerden bei Exposition untersucht. Die grosse Mehrheit dieser Studien fand keinen Hinweis für einen Effekt durch NIS [32]. Vereinzelte Assoziationen zeigten kein einheitliches Muster und sind höchstwahrscheinlich zufällig zustande gekommen. Insgesamt fanden sich auch keine Hinweise, dass es Personen gibt, die besonders sensibel auf NIS reagieren [32] oder solche Felder wahrnehmen können [33], wie das häufig von den Betroffenen geschildert wird. Es ist jedoch zu betonen, dass die meisten dieser Provokationsstudien nur wenige Expositionssituationen pro Person angewendet haben. Das bedeutet, dass solche Studien aussagen können, dass die untersuchte Stichprobe *im Durchschnitt* nicht auf NIS reagiert hat. Es kann aber daraus nicht vollkommen ausgeschlossen werden, dass es vereinzelt Personen gab, die tatsächlich reagiert haben, jedoch im statistischen Rauschen

untergegangen sind. Die wenigen Studien, bei denen Probanden-spezifische Analysen gemacht wurden, konnten jedoch bisher keine solchen sensiblen Personen identifizieren [34, 35]. Unbestritten ist, dass Provokationsstudien starke Hinweise für Nozebo-Effekte gefunden haben. Wenn die Probanden überzeugt waren oder bei offenen Provokationen wussten, dass sie exponiert waren, traten erheblich mehr und stärkere Symptome auf.

Die französische Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) hat kürzlich einen umfangreichen Bericht zur Elektrohypersensibilität (EHS) herausgegeben [36]. Als Basis für den Bericht dienten neben der wissenschaftlichen Literatur auch Briefe von EHS-Betroffenen an die ANSES und Interviews mit Ärzten, die EHS-Patienten behandeln, sowie Vereinigungen von EHS-Betroffenen. Laut dem Bericht kann von etwa 5% EHS-Prävalenz ausgegangen werden. Zwar fänden sich in einigen Studien Personen mit vergleichsweise tiefer Wahrnehmungsschwelle für niederfrequente Felder, insgesamt könne die aktuelle experimentelle Studienlage jedoch keinen soliden Zusammenhang zwischen Feldexposition und EHS-Symptomen nachweisen. Dass experimentelle Provokationstests negativ ausgefallen seien, könne heissen, dass es keinen Zusammenhang gibt, es könnte aber auch sein, dass die methodischen Defizite der Studien – vor allem bei der Rekrutierung – der Grund sind, warum ein tatsächlich vorhandener Zusammenhang verkannt werden könne. Auch wäre es möglich, dass sich die Effekte nur unter bestimmten Bedingungen oder Expositionssituationen manifestieren, welche bisher noch nicht verstanden sind. Empfohlen wird die Weiterführung von Provokationsstudien mit besserer Rekrutierung, möglichst realistischer und individualisierter Exposition und anderen Expositionsprotokollen. Auch sollten Gesundheitsmessungen mit objektiven Verfahren wie beispielsweise Polysomnographien und Biomarkern ergänzt werden. Der Nozebo-Effekt begünstige die Persistenz der Beschwerden, schliesse eine Elektromogquelle als Auslöser jedoch nicht aus. Aufgrund der Studienlage dürfe ausgesagt werden, dass EHS-Patienten ein weniger gutes Wohlbefinden haben und depressiver und ängstlicher sind als ein Vergleichskollektiv, wobei chronische und seltene Krankheiten typischerweise mit erhöhter Ängstlichkeit und Depression einhergehen.

In der Schweiz hat man seit 2001 Erfahrungen mit umfassenden medizinischen, psychologischen und umweltbezogenen Abklärungen gemacht [37]. Die Erfahrungen mit diesen interdisziplinären Beratungsprojekten zeigten, dass bei einer umfassenden Abklärung von EHS-Patienten die involvierten Experten NIS als eine plausible mögliche Ursache für einen Teil dieser Patienten erachten, auch wenn ein Beweis im Einzelfall nicht erbracht werden kann. Vorausgesetzt dass eine Plausibilität mit NIS-Belastungen bejaht werden kann, wurden seitens der involvierten Ärzteschaft einfache feldminimierende Massnahmen empfohlen. In der EMF-Leitlinie 2016 der EUROPAEM zur Prävention, Diagnostik und Therapie NIS-bedingter Beschwerden und Krankheiten [38] schreiben die Autoren (eine interdisziplinäre Expertengruppe mit Wissenschaftlern, Ingenieuren und Ärztinnen mit NIS-spezifischer klinischer Fallerfahrung und umweltmedizinischer Fachausbildung), dass es immer mehr Belege gäbe, dass elektromagnetische Felder einen Einfluss auf die oxidative und nitrosative Regulationsfähigkeit ausüben, was Stresserkrankungen fördern könne, und sich auch auf chronische Erkrankungen negativ auswirken könne. Sie empfehlen nicht nur bei EHS-Patienten sondern generell bei medizinisch nicht erklärbaren Symptomen eine umweltbezogene Abklärung durchzuführen. Prioritär empfehlen sie sowohl vorsorglich als auch bei Verdacht auf NIS-bedingte Symptome/Erkrankungen die bestmögliche Reduktion der NIS-Belastung. Die WHO ihrerseits rät von feldminimierenden Massnahmen ab, weil die

Forschung keine Evidenz für Kausalität liefert und feldreduzierende Massnahmen zu einer Festigung der Symptomatik und Attribution führen können.

Eignung als Endpunkt für Monitoring

Zwischen der wissenschaftlichen Sicht und der subjektiven Erfahrung besteht eine Kluft. In der Schweiz ergab eine repräsentative Befragung aus dem Jahr 2004, dass rund fünf Prozent der Bevölkerung – also über 400'000 Personen – eigene Beschwerden mit NIS in Zusammenhang bringen, wobei nur ein geringer Anteil medizinische Hilfe in Anspruch nahm [39]. Am häufigsten nannten diese Personen Schlafstörungen (43%) und Kopfschmerzen (34%). Da mittlerweile praktisch die gesamte Bevölkerung Mobilfunk nutzt und immer länger und häufiger mobil telefoniert und im Internet surft, wäre es naheliegend, dass parallel die am häufigsten im Zusammenhang mit NIS genannten Symptome zunehmen und dass auch immer mehr Personen medizinische Hilfe wegen NIS in Anspruch nehmen. Die ärztlich medizinische Aufarbeitung dieser Einzelfallbeobachtungen wäre eine Möglichkeit, Phänomene zu entdecken und zu beschreiben, die in Bevölkerungsstudien im statistischen Rauschen untergehen. So könnten neue Hypothesen für zukünftige Forschung abgeleitet werden.

Exposition: Studien zu EHS und Erfahrungswissen von Ärzten und Umweltspezialisten zeigen, dass kein klares Expositions-Wirkungsmuster erkennbar ist. Betroffene bringen ihre Beschwerden mit einer Vielzahl von NIS-Quellen in Verbindung, einzeln oder als Kombination mehrerer Quellen, sowohl nur NF- oder HF-NIS betreffend als auch kombiniert. Manche Betroffene geben an, auf sehr geringe Expositionen zu reagieren, andere nur in bestimmten Expositionssituationen und wiederum andere bei klar überdurchschnittlichen Belastungen, zum Beispiel in der Nähe einer Hochspannungsleitung oder im Zug. Dies ist grundsätzlich eine schwierige Voraussetzung für ein klassisches Monitoring. In den letzten 10-15 Jahren ist zudem die Veränderung der Exposition auf Bevölkerungsebene recht dynamisch und es ist unklar, ob die Exposition überhaupt zugenommen hat, besonders wenn es um Fernfeldquellen wie Mobilfunkbasisstationen geht [40]. Daher kann die Veränderung der mittleren HF-NIS-Exposition der Bevölkerung nicht auf eine einfache Art und Weise mit Daten zur Häufigkeit von Symptomen korreliert werden.

Risikofaktoren: Für die am häufigsten genannten Symptome Kopfschmerzen und Schlafstörungen gibt es eine Vielzahl von Einflussfaktoren, deren Korrelation ihrerseits zum Teil noch in Erforschung steht. Eine reine Fallzahlenerhebung wird daher im Hinblick auf eine Wirkung von NIS kaum aufschlussreich sein.

Datenquellen: Es gibt keine standardisierten Erhebungen zu den Häufigkeiten von Symptomen in der Schweiz, sondern nur punktuelle Erhebungen im Rahmen von Studien oder Befragungen (z.B. Schweizerische Gesundheitsbefragung). Hierbei kommen standardisierte Fragepakete zum Einsatz, beispielsweise zum Quantifizieren von Schlafstörungen, die Diagnosen beruhen aber in erster Linie auf subjektiven Angaben der Befragten.

Fazit: Da Expositions-Wirkungs-Muster fehlen und medizinisch nicht erklärbare Schlafstörungen und Kopfschmerzen häufig sind und ihrerseits von vielen Einflussfaktoren abhängen, kann mit der Erhebung von Symptomen alleine nichts über die Wirkung von NIS ausgesagt werden. Zu mannigfaltig sind die Einflüsse auf das Befinden. Allfällige Korrelationen können deshalb besser im Rahmen von epidemiologischen Studien identifiziert werden, da bei individuellen Daten allfällige Ko-Faktoren miterhoben werden. Solche

beobachtenden Studien eignen sich für generelle Fragestellungen zum Einfluss von NIS auf das Befinden, jedoch nicht für das Phänomen elektromagnetische Hypersensibilität. Bei EHS Personen würde man beispielsweise erwarten, dass Betroffene eine Vermeidung der NIS-Exposition in ihrem Alltag anstreben. Damit beeinflusst der Gesundheitszustand, die Exposition gegenüber NIS, was als umgekehrte Kausalität bezeichnet wird. Deswegen ist es schwierig bei einer epidemiologischen Studie nachzuweisen, dass die NIS-Exposition das Befinden von EHS Personen beeinflusst.

Dennoch ist es eine für die Bevölkerung wichtige Thematik und ein grosser Teil der Bevölkerung ist der Meinung, dass es solche Wirkungen von NIS gibt. Damit können drei mögliche Ansätze für ein zukünftiges Monitoring identifiziert werden, welche im Kapitel 6.2 vertieft erläutert werden:

- Eine Erhebung der Anzahl Personen mit Symptomen, welche auf NIS zurückgeführt werden (EHS), ist zwar nicht zielführend für die Beurteilung der Kausalität, kann aber ein Indikator für das Ausmass des wahrgenommenen Problems in der Bevölkerung sein. Ein Monitoring der Häufigkeit von selbstberichteter EHS könnte einfach im Rahmen von bestehenden Erhebungen (z.B. Schweizerische Gesundheitsbefragung) erfolgen. Kritischer dürfte die Erhebung im Rahmen von Sentinella sein, da es keine klaren diagnostischen Kriterien für EHS gibt und entsprechend die Variabilität zwischen den Ärzten sehr gross ist [31]. Damit ist das Netzwerk zu klein, um repräsentative Aussagen über die ganze Schweiz machen zu können.
- Vertiefte Abklärung von EHS-Einzelfällen durch eine interdisziplinäre NIS-Fachstelle für Mensch und Tier: Eine solche Fachstelle hätte die Möglichkeit vertieft abzuklären, welche Rolle die NIS-Exposition bei ausgewählten Einzelfällen spielt. Damit liessen sich allenfalls Zusammenhänge nachweisen, die in Bevölkerungsstudien im statistischen Rauschen untergehen. In erster Linie sollte jedoch eine solche Beratungsstelle als Hilfsangebot für Betroffene konzipiert werden.
- Durchführung von praxisbezogenen epidemiologischen Studien mit gezielter Fragestellung zum Befinden oder anderen Gesundheitseffekten und detaillierter Expositionsabschätzung: solche Studien wurden bereits in der Vergangenheit durchgeführt. Wenn die entsprechenden Fragestellungen bei laufenden grossen Studien mitberücksichtigt werden (z.B. Schweizerische Gesundheitsstudie), könnten grosse Bevölkerungsgruppen detailliert untersucht werden.

5.3 HF-NIS, Hirnphysiologie und Kognition

Relativ konsistent wurde ein Einfluss von NIS auf die Hirnströme gefunden, insbesondere auf die Alpha-Wellen im Schlaf-EEG (inkl. der sogenannten "sleep spindles" [41-47]). Diese Effekte wurden vor allem beobachtet, wenn die Exposition des Gehirns vor dem Schlafengehen sehr hoch war, vergleichbar wie bei der Benutzung eines Mobiltelefons unter ungünstigsten Bedingungen, z.B. wenn die Verbindungsqualität sehr schlecht ist. Bei tieferen Expositionen, die im Alltag vorkommen (z.B. von WLAN oder Mobilfunkbasisstationen), hat man bisher keine Effekte nachweisen können.

In zahlreichen Experimenten an Menschen wurde unter doppelblinden Bedingungen kein konsistenter Zusammenhang zwischen kognitiven Testresultaten und NIS festgestellt. In einer experimentellen Studie mit jungen männlichen Probanden in der Schweiz fiel die schlafabhängige Verbesserung der Kognition nach Nächten mit Handysignal-Exposition

schlechter aus als ohne [48]. Eine kürzlich durchgeführte Kohorten-Studien mit Jugendlichen aus der Schweiz kam zum Ergebnis, dass die kumulierte HF-NIS-Exposition über ein Jahr hinweg möglicherweise negative Auswirkungen auf kognitive Gehirnfunktionen hat, die im Zusammenhang mit beim Mobiltelefonieren exponierten Gehirnregionen stehen. Insbesondere das figürliche Gedächtnis der Jugendlichen war hierbei betroffen [49, 50].

Eignung als Endpunkt für Monitoring

Bei den Hirnströmen und kognitiven Funktionen handelt sich nicht um Gesundheitseffekte, sondern um physiologische Parameter, die nur aufwendig messbar sind. Sowohl Hirnströme als auch kognitive Funktionen werden durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Selbst bei ein und derselben Person gibt es eine grosse Variation in Abhängigkeit von der Tageszeit, Müdigkeit, etc. Das stellt hohe Ansprüche an die Datensammlung und auch an die Auswertung im Hinblick auf zeitliche Trends oder Unterschiede zwischen Bevölkerungsgruppen und insbesondere auch auf die Beurteilung der Gesundheitsrelevanz von beobachteten Veränderungen.

Alternativ könnten im Prinzip Schulleistungen, wie sie zum Beispiel in der Pisa-Studie³⁷ systematisch erfasst werden, als Indikator für die kognitive Leistung von Schülern für ein Monitoring genutzt werden. Reduzierte Schulleistungen und entsprechende Bildungsdefizite hätten direkte Konsequenzen für die Wohlfahrt in der Schweiz. Schulleistungen sind durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Die bisherigen Studien lassen es als unwahrscheinlich erachten, dass NIS-Exposition im Vergleich der vielen anderen Einflussfaktoren einen deutlich messbaren Effekt auf die Schulleistung hat. Eher relevant wäre ein Einfluss der Mediennutzung *per se*, zum Beispiel die nächtliche Nutzung und die damit einhergehende Schlafdeprivation [51].

Fazit: Damit lässt sich schliessen, dass aus wissenschaftlicher Sicht mögliche physiologische Effekte von NIS interessant sind, um ein besseres Verständnis zur Wirkung von NIS zu erhalten. Für ein Monitoring sind diese Auswirkungen aber ungeeignet, da sie aufwendig zu messen sind und sehr viele Einflussfaktoren kontrolliert werden müssten. Das bedeutet, dass eher gezielte Studien vorgeschlagen werden, bei denen individuelle Expositionsdaten und andere wichtige Einflussgrössen auf individueller Ebene erhoben werden. Deshalb wird ein Monitoring zu Hirnphysiologie und Kognition nicht mehr weiter diskutiert und auf das Kapitel 6.3, Forschung als Monitoring, verwiesen.

5.4 HF-NIS und Fortpflanzung

Die bisherige HF-NIS-Forschung zur Fortpflanzung hat sich vor allem auf die Spermienqualität konzentriert. Da HF-NIS einen thermischen Effekt hat und Spermien negativ auf Temperatur reagieren, wäre ein Zusammenhang im Prinzip denkbar, vor allem da Mobiltelefone häufig – auch beim Telefonieren mit Freisprecheinrichtung – im Hosensack getragen werden. Die bisherigen Studien zeigen für starke Mobiltelefonnutzer eine Tendenz zur reduzierten Beweglichkeit und Lebensfähigkeit der Spermien, während die Konzentration nicht reduziert ist [52]. Die Qualität der Studien ist jedoch tief. Als Expositionsmaß wurde ausschliesslich die selbstberichtete Dauer der Mobiltelefonnutzung verwendet, und nur die wenigsten Studien haben auch andere expositionsrelevante Faktoren erhoben (z.B. Handy im Hosensack). Zudem haben die Studien keine oder nur sehr wenige mögliche Störgrössen

³⁷ <https://pisa.educa.ch/de/pisa-2018>

(Confounder) in ihren Analysen mitberücksichtigt. Entsprechend ist unklar, ob in diesen Studien die Mobiltelefonnutzung einfach ein Indikator für einen spermienunverträglichen Lebensstil ist. In Bezug auf die Fortpflanzung bei Frauen inklusive Einflüsse auf Eizellen sind kaum Studienergebnisse vorhanden.

Eignung als Endpunkt für Monitoring

Daten zu Spermienqualität können im Prinzip mittels wiederholter Querschnitterhebungen in der Bevölkerung (z.B. bei der Aushebung von Rekruten) oder im Rahmen eines Biomonitorings gesammelt werden. Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes 50 (Hormonaktive Stoffe: Bedeutung für Menschen, Tiere und Ökosysteme) wurde zwischen 2005 und 2007 bereits eine solche Untersuchung bei Stellungspflichtigen durchgeführt.³⁸ Dabei zeigten sich grosse regionale Unterschiede in der Spermienqualität [53]. Die Datenerhebung wurde gemäss Auskunft von Martin Wilks und Rex FitzGerald in verschiedenen Regionen der Schweiz im Rahmen der FABER-Kohortenstudie bis 2015 fortgeführt. Insgesamt sind nun Daten von knapp 3000 jungen Männern beim Eintritt in die Armee vorhanden (Fragebogen, Sperma-, Urin- und Blutproben) [54]. Der primäre Fokus dieser Studie lag nicht auf NIS, es gab aber einige allgemeine Fragestellungen zum Mobiltelefongebrauch. Eine kürzlich veröffentlichte Publikation kam zum Schluss, dass bei nur bei 38% der Studienteilnehmenden die drei WHO Qualitätskriterien in Bezug auf Konzentration, Morphologie und Beweglichkeit erfüllt waren [55]. Die regionalen Unterschiede konnten jedoch nicht mehr bestätigt werden.

Fazit: Für ein klassisches Monitoring eignet sich die Spermienqualität nicht, da keine Routinedatenquellen zur Verfügung stehen. Ohne Kenntnis der wichtigsten Einflussfaktoren [56] sowie der HF-NIS-Exposition liessen sich kaum Rückschlüsse ziehen. Ansätze für ein Monitoring der weiblichen Fortpflanzung sind noch komplexer als ein Monitoring der Spermienqualität. Das bedeutet, dass für die Untersuchung solcher Fragestellungen in erster Linie gezielte Studien in Frage kommen (siehe dazu weitere Erläuterungen im Kapitel 6.3). Solche Untersuchungen sind jedoch angezeigt, auch wenn die wissenschaftliche Evidenz für einen Einfluss von HF-NIS auf die Fortpflanzung zurzeit als limitiert bewertet wird. Das Thema ist wichtig, da der potentielle Einfluss von NIS auf die Spermienqualität vielfältig ist und auch die Hodentumore in Schweiz zugenommen haben.

5.5 HF-NIS, Physiologie und Biomarker

Wenn eine Krankheit zu Symptomen führt bzw. bildgeberisch oder mit herkömmlichen Labormethoden Veränderungen zeigt, ist der Krankheitsprozess meist schon fortgeschritten. Biomarker sind messbare Parameter, welche biologische Veränderungen anzeigen, bevor eine Person manifest krank ist. Sie eignen sich einerseits in der Diagnostik andererseits auch als prognostische Indikatoren, indem sie das erneute Angehen eines Tumorgeschehens anzeigen können, bevor der Tumor bildgeberisch erfasst werden oder Symptome verursachen kann. Biomarker könnten sich aber auch eignen, um biologische Veränderungen mit Krankheitspotential als Folge einer Umweltbelastung anzuzeigen. Bisher wurden noch keine solchen Biomarker identifiziert. Es gibt aber eine Reihe von Zellstudien, welche eine vermehrte Bildung von reaktiven Sauerstoffverbindungen („ROS“, *reactive*

³⁸ <http://www.snf.ch/de/fokusForschung/nationale-forschungsprogramme/nfp50-hormonaktive-stoffe-bedeutung-menschen-tiere-oekosysteme/Seiten/default.aspx>

oxygen species) als Folge von hoher HF-NIS-Exposition nachweisen [57]. Dies könnte sich ungünstig auf neurodegenerative Erkrankungen und Tumoren auswirken, da bei beiden Krankheitsgeschehen oxidativer Stress eine Schlüsselrolle spielt. ROS ist aber unspezifisch und es gibt eine Vielzahl von Faktoren, die sich ebenfalls auf ROS auswirken. Zudem weist ROS bei Menschen eine hohe Variabilität innerhalb der gleichen Person auf. Einige Studien untersuchten auch Biomarker bei EHS-Personen. Trotz mehrerer Studien zu diesem Thema [z.B. 58] wurde bisher kein Parameter gefunden, mit dem sich EHS charakterisieren oder diagnostizieren lässt.

Eignung als Endpunkt für Monitoring

Biomarker eignen sich kaum für ein Gesundheitsmonitoring von HF-NIS. Bisher wurde noch kein spezifischer Kandidat für HF-NIS identifiziert. Zudem müssen viele andere Einflüsse mitberücksichtigt werden. Grundsätzlich ist es jedoch ein spannendes Thema, um die biologische Interaktion von HF-NIS besser zu verstehen. Möglich wären deshalb entsprechende Fragestellungen im Rahmen von Forschungsprojekten, der Schweizer Gesundheitsstudie oder laufenden Biomonitoringprojekten (siehe Kapitel 6.3). Kritisch ist dabei das Vorhandensein von individuellen NIS-Expositionsdaten.

5.6 HF-NIS und neurodegenerative Erkrankungen

Bisher gibt es nur wenige Studien, welche das Auftreten von neurodegenerativen Erkrankungen im Zusammenhang mit Mobiltelefonnutzung untersucht haben. Die grösste Studie wurde in Dänemark durchgeführt [59]. Diese fand keinen Hinweis, dass Personen, die zwischen 1982 und 1995 ein Mobilfunkabonnement abgeschlossen haben, bis 2003 häufiger an multipler Sklerose, Epilepsie, Demenz, Alzheimer oder Parkinson erkrankten. Für Alzheimer Erkrankungen gab es aber einen Hinweis für umgekehrte Kausalität. Personen, welche später an Alzheimer erkrankten, haben vor ihrer Krankheit weniger häufig begonnen mobil zu telefonieren. Die ersten Symptome einer Demenz haben also verhindert, dass eine neue Technologie adaptiert wurde.

Eignung als Endpunkt für Monitoring

Die Datenlage zu negativen Auswirkungen von HF-NIS auf neurodegenerative Erkrankungen ist dünn. Das macht es schwierig abzuschätzen, ob ein Monitoring per se gerechtfertigt wäre. Da es aber für die meisten neurodegenerativen Erkrankungen keine Register für die gesamte Schweiz gibt, wäre eine Monitoring ohnehin schwierig durchzuführen. Zusätzliche Studien wären auf jeden Fall hilfreich, um ein mögliches Risiko besser einschätzen zu können. Mittlerweile hat sich die Technik so durchgesetzt, dass bei neuen Studien die früher beobachtete umgekehrte Kausalität kaum mehr eine Rolle spielen dürfte. Wichtig ist aber die Durchführung von prospektiven Erhebungen. Das bedeutet de facto, dass nur gross angelegte Kohortenstudien in Frage kommen.

5.7 NF-NIS, Kinderleukämie und neurodegenerative Erkrankungen

Eine epidemiologische Studie aus den USA fand 1979 erstmals einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Kinderleukämien und der Exposition gegenüber NF-NIS am Wohnort [60]. Zahlreiche Studien weltweit stellten seither ebenfalls erhöhte Risiken fest und

kamen zu dem Schluss, dass sich das Kinderleukämierisiko ungefähr verdoppelt, wenn Kinder an ihrem Wohnort NF-NIS von mehr als 0.4 μ T ausgesetzt sind [61, 62]. In Zellstudien wurde bisher kein biologischer Mechanismus entdeckt, der die Befunde erklären könnte. In Krebsmodellen im Tier wirken NF-NIS zusammen mit krebsauslösenden Stoffen fördernd auf das Tumorwachstum. In Lebendzeitversuchen finden sich im Tierversuch unter alleiniger Exposition mit NF-NIS im Vergleich zur Kontrollgruppe weder mehr, häufiger noch grössere Tumoren [63]. Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) hat NF-NIS deshalb als möglicherweise kanzerogen klassiert [64].

Mehrere Studien fanden bei Personen, die am Arbeitsplatz stark NF-NIS exponiert sind, erhöhte Erkrankungsrisiken für amyotrophe Lateralsklerose (ALS) [65] und für Alzheimer-Demenzen [66, 67]. Die Resultate sind jedoch nicht konsistent, und es kann nicht ausgeschlossen werden, dass andere Faktoren wie beispielsweise Stromschläge diese Befunde verursacht haben [68]. Wenig untersucht wurde bisher, ob NF-NIS von Hochspannungsleitungen am Wohnort mit dem Auftreten von neurodegenerativen Erkrankungen assoziiert ist. Für Höchstspannungsleitungen (> 200kV) fanden eine dänische und eine schweizerische Kohortenstudie für Personen in unmittelbarer Nähe (< 50 m) ein tendenziell erhöhtes Risiko, an Alzheimer zu erkranken [69, 70], vor allem wenn der Wohnort mindestens 10 Jahre unverändert geblieben war.

Eignung als Endpunkt für Monitoring

Auch wenn der beobachtete Zusammenhang zwischen NF-NIS und Kinderleukämie kausal wäre, wird der Anteil attributabler Kinderleukämiefälle wegen NIS auf höchstens 1-5% geschätzt, da die Exposition selten ist [71]. Ein solcher – relativ kleiner – Anteil würde in den Zufallsschwankungen der Fallzahlen untergehen. Zudem gibt es für die NF-NIS-Exposition auf Populationsebene keinen klaren Trend (Zu- oder Abnahme). Das bedeutet, dass sich die Fallzahlen auch für den Fall, dass NF-NIS ein Risikofaktor wäre, zeitlich wenig verändern würden. Eine reine Erhebung der Fallzahlen ist daher als Monitoring wenig aussagekräftig. Ob ein kausaler Zusammenhang besteht, müsste mit neuen innovativen Studien untersucht werden. Epidemiologische Studien, wie sie bisher gemacht wurden, tragen nicht wesentlich zu neuem Wissen bei [72].

Ähnlich ist die Situation für neurodegenerative Erkrankungen. Die fehlende zeitliche Veränderung der beruflichen NF-NIS-Exposition würde auch keine Veränderungen in der Anzahl Erkrankungen wegen NF-NIS erwarten lassen. Es ist unklar, ob NF-NIS überhaupt ein Risikofaktor ist. Der attributable Anteil von NF-NIS wäre jedoch in jedem Fall klein. Die Alterung der Bevölkerung ist ein wichtiger Faktor für die Zunahme von neurodegenerativen Erkrankungen, und ein möglicher kleiner Einfluss von NF-NIS würde nur eine unterordnete Rolle spielen. Aus diesem Grund sollte die Fragestellung im Rahmen von Studien angegangen werden (Kapitel 6.3).

5.8 NIS als Teilaspekt der Digitalisierung

Prinzipiell wäre es auch denkbar, NIS hinsichtlich eines Gesundheitsmonitorings eingebettet in den allgemeinen Digitalisierungsprozess zu betrachten. Die fortschreitende Digitalisierung mit Automatisierung des Alltags und zunehmender Nutzung mobiler Endgeräte führt nicht nur zu einer Zunahme der NIS-Belastung (HF-NIS, NF-NIS und Blaulicht), sondern auch zu Veränderungen der Lebensgewohnheiten, des Verhaltens und der sozialen Netzwerke, was

sich einzeln oder zusammen negativ auf die Gesundheit auswirken kann. Mit der NIS-Technologie werden weitere potentielle gesundheitliche Folgen der fortschreitenden Digitalisierung ermöglicht. Die Auswirkungen gehen also über den Bereich NIS hinaus und umfassen weitere Aspekte, die zum Teil untereinander verknüpft sind, wie zum Beispiel:

- Vermehrtes Auftreten von Depressionen als Folge der digitalen Mediennutzung [73]
- Suchtprobleme im Zusammenhang mit der elektronischen Mediennutzung [74]
- Schlafprobleme im Zusammenhang mit der elektronischen Mediennutzung [75]
- Vermehrte und altersmässig früher auftretende Kurzsichtigkeit durch häufiges Schauen auf Monitore (Smartphones, Tablets usw.) [76]
- Entwicklungsstörungen infolge übermässigem Medienkonsum³⁹

Von diesen Problemen sind insbesondere die Jugendlichen und jungen Erwachsenen betroffen. Mögliche negative gesundheitliche Auswirkungen der Digitalisierung sind weder in der Strategie „Digitale Schweiz“ noch im entsprechenden Aktionsplan thematisiert, sollen aber gemäss Evelyn Stempfel bei der nächsten Überarbeitung der Strategie vom BAG eingebracht werden.⁴⁰ Beim gegenwärtigen wissenschaftlichen Kenntnisstand ist zu erwarten, dass die Digitalisierung unabhängig von NIS Auswirkungen auf die Gesundheit der Bevölkerung hat. Es ist deshalb zu prüfen, ob ein NIS-Monitoring breiter verstanden werden sollte und auch andere Aspekte der Digitalisierung berücksichtigen sollte. Geht es um die Untersuchung von kausalen Zusammenhängen, sind in erster Linie gezielte Studien nötig. Zusätzlich könnte aber ein Monitoring von Gesundheitsindikatoren, die im Zusammenhang mit der Digitalisierung stehen, vorangetrieben werden. So könnten theoretisch beispielsweise Aspekte der Sucht bei MonAM integriert werden. Ein Suchtverhalten hinsichtlich Mediennutzung ist gemäss Auskunft von Nicole Ruch im MonAM noch nicht erfasst. Es wird allerdings den Indikator „Problematische Internetnutzung bei Erwachsenen“ geben, welcher voraussichtlich Ende 2019/Anfang 2020 im MonAM publiziert wird.

5.9 Fazit

Aus den bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnissen zur gesundheitlichen Wirkung von im Alltag vorkommender NIS kann geschlossen werden, dass mit dem Monitoring von Gesundheitsindikatoren alleine auf Populationsebene in den meisten Fällen nicht direkt auf mögliche negative Auswirkungen von NIS geschlossen werden kann. Dies liegt darin begründet, dass gemäss heutigem Kenntnisstand weder der Einflussfaktor sehr gross ist noch die möglicherweise mit NIS assoziierten Krankheitsgeschehen NIS-spezifisch sind. Einzig bei Hirntumoren könnte ein klassisches Fallzahlenmonitoring im Zusammenhang mit dem starken Anstieg in der Mobil- und Schnurlostelefonnutzung seit den 1990er Jahren aufschlussreich sein. Bei allen anderen möglichen Auswirkungen von HF-NIS reicht es für ein NIS-Monitoring jedoch nicht aus, nur Gesundheitsdaten zu sammeln, sondern die Gesundheitsdaten müssen mit Expositionsdaten verknüpft werden. Zudem handelt es sich um multifaktorielle Erkrankungen und andere Risikofaktoren müssten ebenfalls miterhoben werden. Eine solche umfassende Datenerhebung ist bei Routinedatenerhebungen im Allgemeinen nicht praktikabel. Das bedeutet, dass gezielte Studien im Rahmen eines

³⁹ <https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/87391/Kinder-und-Jugendaerzte-raten-von-elektronischen-Medien-im-Kinderschlafzimmer-ab>

⁴⁰ <https://www.bakom.admin.ch/infosociety>

Forschungsprogrammes durchgeführt werden müssten. Ein dritter Ansatz für ein Monitoring ist eine vertiefte Abklärung von Personen, welche angeben unter NIS zu leiden. Im Folgenden sind diese drei Ansätze vertieft dargestellt.

6 Detaillierte Beschreibung von drei machbaren Monitoringkonzepten

6.1 Monitoring von Tumoren

Wie in Kapitel 5.1 erläutert ist ein Monitoring von Hirntumoren hilfreich, um mögliche Tumorrisiken durch NIS zu überwachen. Besonders aussagekräftig ist ein solches NIS-Tumormonitoring für Tumoren, welche keine oder kaum andere Risikofaktoren aufweisen und deren Diagnostik sich über die Zeit wenig ändert. Das dürfte vor allem bei Gliomen, Meningeomen und Tumoren der Hypophyse der Fall sein. Etwas kritischer sind vestibuläre Schwannome (Akustikusneurinome), Tumoren der Kopfspeicheldrüsen, solide Tumoren im Rumpfbereich sowie Melanome am Kopf und den Augen, da sich dort die Exposition gegenüber anderen Risikofaktoren über die Zeit stark verändern kann (beispielsweise Lärm im Zusammenhang mit vestibulären Schwannomen).

Als Datenquelle für ein Tumormonitoring bietet sich NICER/NKRS an. Bei NICER/NKRS sind die Daten von allen kantonalen Krebsregistern gesammelt. Zurzeit sind das Daten von 13 Krebsregistern aus 23 Kantonen. Einige dieser Krebsregister sind jedoch noch recht neu. Die Tumordaten von 2011-2015 repräsentieren durchschnittlich 79.4% der Bevölkerung, die Tumordaten von 2006-2010 durchschnittlich 63.5% der Bevölkerung. Das heisst, dass Analysen von langfristigen Trends der Inzidenz nur in gewissen Regionen der Schweiz gemacht werden können bzw. auf Hochrechnungen für die Gesamtschweiz basieren müssten. Ab 2020 ist die Krebsregistrierung jedoch in allen Kantonen verpflichtend, und die entsprechenden Daten werden dann flächendeckend verfügbar sein. Wohnsitzinformationen zu Patienten sind bisher auf Kantons-Level verfügbar, ab 2020 bei NICER/NKRS auch auf Basis der Gemeindenummer, wobei es hier gegebenenfalls Einschränkungen aufgrund von Datenschutzaspekten geben wird.⁴¹

Weiter ist zu beachten, dass nur Tumoren in ein Monitoring eingeschlossen werden können, die in NICER/NKRS auch systematisch registriert werden⁴². Maligne Tumoren (mit Ausnahme von Basalzellkarzinomen) sind von NICER/NKRS erfasst. Bei den Hirntumoren sind auch gutartige Tumoren dokumentationspflichtig. NICER/NKRS erfasst deshalb unter anderem alle Gliome, sowie Meningeome, Tumoren der Hypophyse, vestibuläre Schwannome und Tumoren der Kopfspeicheldrüsen (Auskunft von Anita Feller). Seit 2003 werden alle Fälle auch mit einem Code gemäss dem internationalen Klassifikationsschema für Onkologie versehen (hinsichtlich Topographie, Morphologie und Verhalten)⁴³. Alle Fälle wurden nach ICD-O kodiert, je nach Zeitraum in ICD-O-1, ICD-O-2 oder ICD-O-3. Alle Fälle wurden durch die Register unter Zuhilfenahme von Umkodierungsalgorithmen auf ICD-O-3 umkodiert und wurden/werden so an NICER/NKRS übermittelt. Die Umkodierung betrifft dementsprechend nur schon länger bestehende Register. Der morphologische Code gibt an, welcher Zelltyp betroffen ist. Der „Verhaltens“-Code gibt an, ob es sich um einen benignen oder malignen Tumor handelt. Diese Information ist relevant, da es denkbar ist, dass nur

⁴¹ Auskunft von Matthias Lorez, ml@nicer.org, +41 44 634 46 45 und Regina Nanieva, m@nicer.org, +41 44 634 53 78.

⁴² Hinsichtlich der Dokumentationspflicht gilt es zu beachten, dass die Einschlusskriterien bisher auf einer Vereinbarung zwischen NICER und den Krebsregistern basieren. Erst nach Inkrafttreten des Krebsregistrierungsgesetzes (KRG, geplant im Januar 2020) entsteht eine flächendeckende Dokumentationspflicht.

⁴³ <http://codes.iarc.fr/>

bestimmte Zelltypen auf NIS reagieren. Ebenso relevant im Hinblick auf ein NIS-Tumormonitoring ist der topographische Code, der angibt, wo der Tumor auftritt. Da bei der heutigen Mobiltelefonnutzung die meiste Strahlung in der Nähe des Ohrs absorbiert wird (temporal), würde man dort auch den grössten Anstieg von NIS-verursachten Tumoren erwarten. Hier gilt es jedoch zu beachten, dass sich das Nutzungsmuster möglicherweise insofern verändert, dass die Geräte künftig weniger am Ohr, sondern beispielsweise vor dem Kopf oder mit Freisprecheinrichtungen, eventuell mit dem sendenden Endgerät rumpfnah (z.B. Hosensack, Gürteltasche, Brusttasche) verwendet werden. In einem NIS-Tumormonitoring sollten also solche Zusatzinformationen mitevaluiert werden. Gemäss Auskunft von Carlos Quinto (FMH) ist die ICD-O Kategorisierung auch insofern zu beachten, dass je nach Kategorienbildung Signale verpasst werden können. Es sollte also wenn möglich die Kombination aller drei Codes (topographisch, morphologisch, „Verhalten“) berücksichtigt werden. Bei Untergruppenanalysen müssen mögliche Änderungen in der Kodierungspraxis und (internationaler) Kodierrichtlinien sorgfältig mitberücksichtigt werden. Auch ist zu beachten, dass mit zunehmender Stratifizierung die Fallzahlen und damit die statistische Aussagekraft reduziert werden. Von besonderem Interesse sind gemäss Carlos Quinto die folgende ICD-O Gruppen (morphologische Codes): 8700 Pheochromocytoma, (C74.1), 9380 Glioma, (C71._), 9440 Glioblastoma (C71._) und 9560 Neurilemoma. Dabei ist aber zu beachten, dass für viele Subgruppen die Fallzahlen klein sein werden und entsprechend nur grosse Veränderungen in den Fallzahlen statistisch signifikant sein können.

Neben den Gesundheitsdaten sind detaillierte Expositionsdaten für ein NIS-Tumormonitoring hilfreich. Wie in Kapitel 5.1 erklärt reichen dafür aggregierte Daten für die Bevölkerung, also statistische Kennzahlen zum durchschnittlichen Mobil- und allenfalls Schnurlostelefongebrauch in der Bevölkerung. Eine Erfassung der individuellen Expositionsabschätzung der Patienten ist für die Durchführung einer Studie ideal und ist auch im Rahmen eines Monitorings äusserst hilfreich. Damit kann man evaluieren, ob die Mobiltelefonnutzung bei Patienten und allfällige andere Aspekte der NIS-Exposition systematisch unterschiedlich ist als bei der Bevölkerung. Natürlich sind dabei auch andere mögliche Gründe für unterschiedliche Exposition zu berücksichtigen wie Alter, Geschlecht und Risikofaktoren für die entsprechenden Tumore. Der Aufwand, solche Interviews mit allen Patienten zu machen, wäre jedoch sehr gross.

Grundsätzlich ist die Durchführung von Interviews mit Patienten keine unabdingbare Voraussetzung für ein NIS-Tumormonitoring. Je detaillierter Expositionsdaten auf Bevölkerungsebene vorliegen, desto besser können auf aggregierter Ebene Verknüpfungen mit Daten zur Tumorzinzidenz gemacht werden. Beispielsweise gibt es Unterschiede in der Nutzung von Mobil- und Schnurlostelefonen in Abhängigkeit vom Alter und zwischen den Geschlechtern. Auch haben die verschiedenen Bevölkerungsgruppen unterschiedlich früh mit der Mobiltelefonnutzung begonnen. Entsprechend würde man erwarten, dass sich solche Muster dann auch in den Tumorzinzidenzen finden lassen würden, wenn ein kausaler Zusammenhang bestehen würde. Aus der NIS-Perspektive ist dabei nicht nur die Dauer der Mobiltelefonnutzung relevant, sondern auch wie stark die Mobiltelefone im Durchschnitt gestrahlt haben. Je nach Verbindungsqualität und Netzwerk gibt es hier grosse Unterschiede [77]. Von den Mobilfunkbetreibern liegen Daten zu Nutzungsdauer und Sendeleistungen vor. Gemäss Auskunft von Hugo Lehmann (Swisscom) könnten diese Daten grundsätzlich zur Verfügung gestellt werden. Dies wäre allerdings mit einem beträchtlichen logistischen

Aufwand verbunden. Informationen über die genaue Position des Handys bei der Nutzung (beispielsweise direkt am Ohr) sind nicht möglich. Auch die Datenschutzbestimmungen wären zu beachten. Prinzipiell müssen die Daten nach sechs Monaten gelöscht werden, und sind danach nur noch aggregiert verfügbar, d.h. in zusammengefasster Form.

Ein weiteres denkbare Instrument zur Erhebung von Mobiltelefonnutzungsdaten wären „Citizen Science“ Ansätze.⁴⁴ Hierbei beteiligen sich Bürgerinnen und Bürger durch das Sammeln und Auswerten von Daten an einem Projekt. Dies geschieht häufig mithilfe von Smartphones, Apps und anderen mobilen Geräten oder interaktiven Websites, was für diese spezielle Thematik wohl nicht zielführend wäre. Es gibt aber beispielsweise Apps, die registrieren auf welchem Netzwerk man telefoniert hat, wie das Telefon gehalten wird, ob Freisprechanlagen benutzt werden und die Art und Dauer von Datennutzungen. Damit könnten die Betreiberdaten noch ergänzt werden. Die Herausforderung bei einer solchen Datenerhebung betrifft die Frage der Repräsentativität. Das Kommunikationsverhalten von Personen, die sich bei einem Citizen Science Projekt beteiligen, sind möglicherweise nicht repräsentativ für die ganze Bevölkerung.

Ein NIS-Tumormonitoring könnte die detaillierten Zahlen zum Auftreten der Tumoren inklusive der Topographie sowie der Mobiltelefonnutzung verknüpfen. Damit liessen sich Aussagen zur Plausibilität von möglichen Mustern machen. Für solche Analysen gibt es eine Reihe von statistischen Methoden. Die Grundidee dabei ist, dass man vergleicht, wie gut die beobachteten Inzidenzen mit simulierten Inzidenzen für verschiedene Risikoszenarien (z.B. Höhe des Risikos und Latenzzeit) übereinstimmen. Es gibt dabei auch methodische Möglichkeiten, bei der Simulation die Veränderungen von anderen Risikofaktoren zumindest teilweise mit zu berücksichtigen, wie das beispielsweise von de Vocht [25] gemacht wurde.

Es ist zu betonen, dass eine solche sogenannte ökologische Analyse keinen endgültigen Beweis für oder gegen einen Zusammenhang liefern kann. Der Einfluss von Änderungen in der Diagnose- oder Kodierungspraxis sowie andere Risikofaktoren können auch mit den besten statistischen Methoden nicht vollständig ausgeschlossen werden. Der Erkenntnisgewinn ist asymmetrisch: Es ist unbestritten, dass die Tumorzinzen zunehmen muss, wenn Mobiltelefonbenutzung ein Risikofaktor ist. Das heisst, wenn die Tumorzinzen nicht ansteigt, kann bei den meisten Tumoren davon ausgegangen werden, dass NIS kein Risikofaktor ist, ausser ein NIS-bedingter Anstieg der Inzidenz wäre mit einem Rückgang aufgrund eines anderen Risikofaktors kompensiert worden. Für die meisten Tumoren gibt es aber keinen plausiblen Kandidaten für eine solche Kompensation. Auf der anderen Seite kann ein Anstieg von Tumoren nicht mit vollständiger Sicherheit auf NIS alleine zurückgeführt werden, da auch die verbesserte Diagnostik eine Rolle spielen kann. Aufgrund verbesserter Diagnostik ist unabhängig von einem wahren Anstieg der Erkrankungshäufigkeit eine Zunahme der registrierten Tumoren im Kopfbereich zu erwarten („Überdiagnostizierung“) [30]. Es ist zu erwarten, dass diese Zunahme vor allem ältere Personen betrifft.

Kritisch für die Interpretation sind auch laufende Veränderung und Verbesserung in der Diagnostik und der Kodierungspraxis. Es werden beispielsweise laufend neue molekulare Marker für die Diagnostik etabliert. Das kann dazu führen, dass diagnosebedingt eine Zunahme der erkannten Erkrankungen stattfinden kann, ohne dass sich die tatsächliche

⁴⁴ www.citizenscience.ch

Erkrankungsrate verändern müsste. Es kann auch zu Verschiebungen zwischen Diagnosegruppen kommen, ohne eine Veränderung der Gesamtzahl der Tumore. Beispielsweise nimmt die Anzahl registrierter Glioblastome in vielen Ländern zu und dafür nehmen Oligodendrogliome oder Astrocytome ab [78]. Oder es wurde in Krebsregistern beobachtet, dass aufgrund verbesserter Diagnostik bei mehr Tumoren eine Lokalisation angegeben wird, was dann zu einer scheinbaren Zunahme von Tumoren in bestimmten Kopfregionen führt, obwohl de facto die Gesamtzahl konstant bleibt, da die Tumore mit unbekannter Lokalisation abgenommen haben [79]. Gemäss Auskunft von Anita Feller ist NICER/NKRS hinsichtlich Änderungen der Kodierpraxis/Kodierrichtlinien gut informiert und kann entsprechende Interpretationen vornehmen, was auch bei retrospektiven Analysen bedacht werden müsste. Die Veränderungen in der Diagnostik hingegen sind hinsichtlich ihrer Implikationen schwieriger zu interpretieren. Diese müssten je nach Sachlage angeschaut werden, wobei Informationen beispielsweise aus Befragungen der Ärzteschaft herangezogen werden könnten.

Hinsichtlich der Auswahl der Indikatoren und basierend auf den Erfahrungen beim Aufbau des MonAM empfehlen Nicole Ruch (BFS) und Wally Achtermann (BAG), beim Aufbau eines NIS-spezifischen Monitorings besonders der Definition und Beschreibung des zu verwendenden Indikatoren-Sets grosse Aufmerksamkeit zu widmen⁴⁵. Dazu eignen sich beispielsweise Stakeholder-Runden. Die jeweiligen Datenquellen - im Idealfall eine Quelle pro Indikator - sollte erst nach dem Erstellen des Indikatorensets überlegt werden. Einzelne Indikatoren sind jedoch schwierig als solche in einen Zusammenhang zu bringen. Für die Beantwortung von übergeordneten Fragen oder die Messung von strategischen Zielen müssen diese in einen Kontext gestellt werden. Dazu sollte eine Experteninterpretation erfolgen, die auch die Möglichkeiten und Limitierungen des Indikatorensystems umfasst.

Empfehlungen

Es wird empfohlen ein Monitoring von Tumoren auf der Basis der vom Krebsregister registrierten Daten zu etablieren. Dabei schlagen wir vor, folgende Punkte zu berücksichtigen:

- NICER/NKRS wird erst ab 2020 flächendeckend Daten aus allen Kantonen erfassen, weshalb retrospektive Analysen nur eingeschränkt möglich sind und vor allem auf prospektive Analyse zu fokussieren ist.
- Prioritär sollen Hirntumoren berücksichtigt werden. Andere Tumoren sollen nur dann berücksichtigt werden, wenn die HF-NIS-Exposition des Organs relevant ist, die Diagnose- und Kodierungspraxis über die Zeit konsistent und der Einfluss von anderen Faktoren auf die Erkrankungshäufigkeit adäquat kontrolliert werden kann.
- Aufgrund der geringen Fallzahlen und Veränderungen in der Kodierungspraxis sollen primär die Hauptdiagnosen für ein Monitoring verwendet werden. Die Lokalität des Tumors sowie Subdiagnosen sollen nur berücksichtigt werden, wenn die Fallzahlen genügend gross sind und die entsprechende Kodierung konsistent ist.
- Idealerweise sollten nach der Diagnose Befragungen von Patienten gemacht werden können, um mögliche relevante Verhaltensweisen und Expositionen erfassen zu können. Dies ist sehr aufwendig und man könnte solche Befragungen auf seltene

⁴⁵ <https://www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/npp/strategie-sucht/indikatorensset-sucht-monitoring.pdf.download.pdf/Indikatorensset%20f%C3%BCr%20das%20Monitoring-System%20Sucht.pdf>

Tumortypen beschränken, bei denen eine Veränderung der Krankheitsrate im statistischen Rauschen untergehen würde und entsprechend Trendanalysen nicht informativ wäre.

- Für die Interpretation von Trends braucht es keine Interviews mit Patienten. Dazu sind aggregierte Daten zur durchschnittlichen Mobil- und allenfalls Schnurlostelefonnutzung für verschiedene Altersgruppen und für beide Geschlechter separiert hilfreich. Da die Nutzungsdauer nur bedingt etwas über die Höhe der Emissionen aussagt, sollen nach Möglichkeit auch andere Parameter wie die durchschnittliche Strahlenemissionen von Geräten und ihre zeitliche Veränderung mitberücksichtigt werden.
- Neue statistische Methoden für solche ökologischen Analysen sollen genutzt werden, um den Einfluss von äusseren Faktoren auf die Inzidenz zu minimieren.
- Eine Inzidenztrendanalyse soll in regelmässigen Abständen durchgeführt werden, z.B. alle fünf Jahre.
- Es ist unabdingbar, dass ein interdisziplinäres Team die Analyse durchführt oder begleitet. Wichtig sind dabei medizinische und statistische Expertise sowie gute Kenntnisse der neuesten NIS-Technologien im Hinblick auf die Exposition der Bevölkerung.

6.2 Monitoring von EHS

Als prinzipiell machbare Möglichkeit für ein NIS-Gesundheitsmonitoring wurde in Kapitel 5.2 das Thema Symptome, Beschwerden und EHS identifiziert. Dabei wurden drei mögliche Ansätze identifiziert: 1. ein Monitoring der Häufigkeit von selbstberichteter EHS im Rahmen von bestehenden Erhebungen; 2. vertiefte Abklärung von EHS-Einzelfällen durch eine interdisziplinäre NIS-Fachstelle und 3. die Durchführung von praxisbezogenen Studien zum Einfluss von NIS auf die Bevölkerung im Rahmen von einem NIS-Forschungsprogramm. Die ersten beiden Ansätze werden im Folgenden vertieft erläutert. Der dritte Ansatz wird in Kapitel 6.3 ausführlich besprochen.

Monitoring der Häufigkeit von EHS

Ein solches Monitoring könnte im Rahmen von bestehenden Erhebungen durchgeführt werden. Eine Möglichkeit ist die **Schweizerische Gesundheitsbefragung**, welche seit 1992 alle fünf Jahre durchgeführt wird (zuletzt 2017).⁴⁶ Die nächste Schweizerische Gesundheitsbefragung ist für 2022 geplant, und die Fragen dafür werden 2020 festgelegt. Daten werden mit einem telefonischen Interview und einem schriftlichen Fragebogen auf Deutsch, Französisch und Italienisch erhoben (schriftlicher Fragebogen bei etwa 60-70% der mündlich Befragten).

Eine methodische Schwierigkeit ist, dass die Teilnehmerate abhängig davon ist, ob jemand ein Festnetztelefon hat oder nur noch mobil telefoniert. Das könnte für eine solche Erhebung einen Bias ergeben. Eine andere Schwierigkeit ist, dass EHS sehr unterschiedlich verstanden werden kann, beziehungsweise das Phänomen unbekannt sein könnte und entsprechend unklar ist, wie auf eine solche Frage geantwortet wird. Stattdessen könnte man daher auch die bereits erhobenen Angaben zum subjektiven Befinden (z.B. Schlafprobleme, Kopfschmerzen) im Rahmen eines NIS-Gesundheitsmonitorings nutzen.

⁴⁶ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/gesundheit/erhebungen/sgb.html>

Nach Auskunft von Elisabeth Zemp-Stutz (Swiss TPH) könnte es prinzipiell möglich sein, in die nächste Gesundheitsbefragung 2022 eine EHS-Frage einzubauen. Dies müsste entsprechend mit den verantwortlichen Personen am BFS abgeklärt werden. Im Prinzip wäre es auch nützlich nach Quellen, hilfreichen Massnahmen und anderen Aspekten zu differenzieren. Auch im Hinblick auf negative gesundheitliche Auswirkungen der Digitalisierung könnte die Schweizerische Gesundheitserhebung, wo routinemässig Symptome erhoben werden, ein ideales Frühwarnsystem sein, da auch individuelle Daten zur Mediennutzung erhoben werden können. Allerdings kann eine solche Befragung nicht zu lang werden, damit sie von der Allgemeinheit noch akzeptiert wird und hohe Antwortraten erzielt werden. Für Jugendliche bietet sich auch eine Befragung im Rahmen der **HBSC-Studie** an.

Alternativ könnte man eine Fallzahlenerhebung im Rahmen des **Sentinella-Meldesystems** durchführen. Gemäss Auskunft von Andreas Birrer (BAG) ist Sentinella in erster Linie ein Surveillance (Monitoring)-Instrument, das für die Überwachung häufiger Infektionskrankheiten konzipiert wurde. Sentinella deckt 2.5 % aller hausärztlichen Konsultationen in der Schweiz ab. Die am System freiwillig teilnehmenden Hausärztinnen und Hausärzte melden wöchentlich ihre Inanspruchnahme zu definierten Erhebungsthemen: falls der Konsultationsgrund bzw. die Diagnose das definierte Meldekriterium eines Erhebungsthemas erfüllt, erfolgt eine Meldung mit anamnestischen Angaben. Patientinnen und Patienten werden zu Themen ausserhalb der Anamnese nicht befragt. Das System ist zudem vollständig anonymisiert – der Behandlungs- und Genesungsverlauf kann nicht protokolliert werden. Laut Andreas Birrer gibt es die Möglichkeit, Erhebungen über die Programmkommission von Sentinella einzubringen. Auch einmalige Erhebungen, beispielsweise via Fragebogen, wären gemäss Andreas Birrer theoretisch denkbar.

Die ärztliche Beurteilung würde zum einen eine bessere Interpretierbarkeit der gewonnenen Zahlen erlauben, zum andern gibt sie auch Auskunft, ob und wie sich die Konsultationspraxis zu diesem Gesundheitsproblem über die Zeit verändert.

Im Rahmen eines NIS-Gesundheitsmonitorings könnte man z.B. alle fünf Jahre abfragen lassen, in wie vielen Konsultationen NIS ein Thema war. Aus methodischer Sicht kritisch ist jedoch die Tatsache, dass gemäss früheren Befragungen nur ein kleiner Prozentsatz wegen NIS-assoziierten Beschwerden den Arzt konsultiert [80]. Da die Stichprobe des Sentinella-Systems sehr heterogen ist [81], kann das dazu führen, dass die Einschätzung oder das Patientenkollektiv eines oder weniger Ärzte ein überproportionales Gewicht im Gesamtbild hat. Weitere Limitierungen einer Sentinella-Erhebung sind, dass die gesunde Bevölkerung nicht eingeschlossen ist, Migranten unterrepräsentiert sind (gehen oft direkt ins Spital), und die Sentinella-Ärzte die Konzentration von Arztbesuchen in der Nähe von Verkehrsknotenpunkten schlecht repräsentieren.

Ein weiteres denkbare Instrument zur Erhebung von EHS-Fallzahlen wären auch wieder „Citizen Science“ Ansätze.⁴⁷ Es wäre aber vorgängig zu prüfen, ob für diese spezielle Thematik Smartphones, Apps und interaktive Websites wirklich zielführend wären. Ausserdem käme als Befragungsinstrument der „Omnibus“⁴⁸ in Frage, ein prioritär auf Marktforschung ausgelegter Ansatz. Trotzdem besteht dort theoretisch die Möglichkeit, Fragen einzugeben bzw. „Zeit einzukaufen“. Aber auch hier stellt sich die Frage, ob die Art

⁴⁷ www.citizenscience.ch

⁴⁸ <https://www.gfk.com/de-ch/produkte-a-z/ch/omnibus/>

der Kontaktaufnahme und Auswahl der Telefonnummern (Mobil- vs. Festnetz) beim Thema NIS zu einem Bias führen könnte.

Es ist zu betonen, dass EHS eine subjektive Zuschreibung ist und es keine diagnostischen Kriterien gibt. Insofern kann ein Monitoring der Fallzahlen keine Aussage zur Kausalität machen. Eine Zu- oder Abnahme von EHS kann nicht unbedingt als die Folge einer Zu- oder Abnahme von NIS interpretiert werden, sondern könnte auch darauf zurückzuführen sein, wie intensiv das Thema in der Öffentlichkeit diskutiert wird. So hat laut Auskunft von Hugo Lehmann (Swisscom) die Zahl der Anfragen zu elektromagnetischen Feldern an Swisscom seit Beginn der öffentlichen Diskussion rund um die Einführung vom 5G in der Schweiz stark zugenommen. Die Kosten für ein solches EHS-Monitoring sind gering, wenn es in eine bestehende Untersuchung eingebettet werden kann.

Vertiefte EHS Fallabklärungen

In der Schweiz hat man seit 2001 Erfahrungen mit umfassenden medizinischen, psychologischen und umweltbezogenen Abklärungen gemacht [37]. Die Erfahrungen mit diesen interdisziplinären Beratungsprojekten zeigten, dass die involvierten Experten bei einem Teil der EHS-Patienten NIS als eine plausible Ursache/Mitursache für einen Teil der beklagten Beschwerden erachten. Vorausgesetzt dass eine Plausibilität mit NIS-Belastungen bejaht werden kann, wurden seitens der involvierten Ärzteschaft einfache feldminimierende Massnahmen empfohlen [82]. Ein Monitoring von EHS umfasst in einem ersten Schritt die strukturierte und kontinuierliche Dokumentation von Beobachtungen zu gesundheitlichen Auswirkungen von NIS. Es sollte ausserdem die Möglichkeit geschaffen werden, Einzelfälle mit plausiblen NIS-bezogenen Gesundheitsstörungen vertieft abzuklären.

Für die konkrete Umsetzung eines solchen EHS-Gesundheitsmonitorings bietet sich das umweltmedizinische Beratungsnetzwerk (UMBN) der Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz (AefU) an. Die AefU treiben seit 2008 das Projekt einer in den Praxisalltag integrierten umweltmedizinischen Beratungsstruktur voran. Fernziel ist es, dass umweltmedizinische Abklärungen und Beratungen zum Angebot der Grundversorgung gehören. In der Aufbauphase zwischen dem 1. Januar 2008 und 30. Juni 2010 wurde systematisch evaluiert, in welchem Ausmass die umweltmedizinische Beratung in Anspruch genommen wurde und ob sie von Betroffenen als hilfreich erlebt wurde [82]. Insgesamt meldeten sich in diesem Zeitraum 185 Personen beim UMBN, die eigene Gesundheitssymptome einem oder mehreren Umweltfaktoren zuschrieben. Dabei betrafen die weitaus meisten Patientenfragen (84%) NIS, und die am häufigsten genannten Gesundheitsbeschwerden waren Schlafstörungen (41%) und Kopfschmerzen (23%). Vertiefte Abklärungen und Behandlungen wurden bei 49 Patienten mit Umweltproblemen durchgeführt. Insgesamt beteiligten sich 31 Patienten mit NIS-Problemen an der Begleitstudie inklusive einer Nachbefragung 12 Monate nach der Behandlung. Bei dieser Nachbefragung war der Gesundheitszustand der NIS-Patienten im Durchschnitt praktisch unverändert mit einer leichten Tendenz zur Verbesserung. Rund die Hälfte der NIS-Patienten war nach einem Jahr der Meinung, dass ihnen das UMBN geholfen hatte und 30 Patienten (97%) fanden, dass das UMBN weitergeführt werden sollte. 70% würden das Projekt weiter empfehlen. Seit Abschluss der Pilotprojekte bietet die AefU einen umweltmedizinischen Telefonberatungsdienst an [82].

Um das Hilfsangebot entsprechend der gewonnenen Erfahrungen zu verbessern, bemühen sich die AefU, eine interdisziplinäre NIS-Fachstelle als Backoffice für den Grundversorger zu

schaffen. Dabei macht der Hausarzt/die Hausärztin selbst erste Abklärungen und koordiniert das Falldossier, was Abklärungsschritte verschlankt und eine kontinuierliche ganzheitliche Begleitung und Betreuung der Betroffenen ermöglicht. Die Fachstelle führt auf Zuweisung fallspezifisch vertiefte Abklärungen durch. Diese umfassen individualisierte Provokationsuntersuchungen mit gezielten Messungen der Körperfunktionen und der Exposition und/oder umweltbezogene Abklärungen am Arbeitsplatz oder zu Hause und/oder weitergehende medizinische Abklärungen und/oder interdisziplinäre Fallbesprechungen. Hierfür muss ein interdisziplinäres Netzwerk von Experten mit Vertretern aus der Gebäudetechnik, Messtechnik, Arbeitshygiene und medizinischen Subspezialitäten aufgestellt werden. Die NIS-Fachstelle zielt nicht auf den wissenschaftlichen Kausalitätsbeweis sondern darauf, fallbasiert Abklärungs- und Behandlungskonzepte zu verfeinern und bezüglich Wirksamkeit zu validieren. Relevante Fragestellungen sollen schrittweise bedarfsgesteuert in Form kleiner Forschungsprojekte aufgearbeitet werden, zum Beispiel die Frage nach dem Nutzen feldminimierender Massnahmen. Der Aufgabenbereich der interdisziplinären Fachstelle ist aufwendig, hat Pioniercharakter und deren Dienstleistung kann nicht als Krankenkassenleistung abgegolten werden. Für die Projektrealisierung sind die Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz deshalb auf Unterstützungsgelder angewiesen. Aufgrund bisheriger Erfahrungen ist jährlich mit rund 100 telefonischen Fallbearbeitungen zu rechnen, wobei erfahrungsgemäss bei ca. 10 bis 20 Fällen eine vertiefte Abklärung angezeigt ist, mit einem durchschnittlichen Fallaufwand von 2000 CHF. Zusätzlich müssen der Koordinationsaufwand der NIS-Fachstelle sowie die Aktivitäten des interdisziplinären Expertennetzwerks finanziert werden. Da auch bei Nutztieren immer wieder Beschwerden im Zusammenhang mit NIS auftreten, welche ähnliche Problemstellungen und Aufgaben aufwerfen, wäre eine Synergie im Sinne einer One-Health-Fachstelle eine Möglichkeit, um Ressourcen zu sparen. Diesbezüglich sind bereits Bestrebungen in Gang, um mit einer interdisziplinären Expertise den betroffenen Bauern besser helfen zu können.

Die Bestrebungen der Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz nach einem Ausbau ihrer umweltmedizinischen Beratungsstruktur finden sich im ANSES-Bericht [36] bestätigt: Der Leidensdruck der Betroffenen sei gross, und die Schaffung von ärztlich betreuten Beratungsstrukturen sowie die Erarbeitung von Handlungsanleitungen für die niedergelassenen ÄrztInnen dringlich. Die interdisziplinäre Fachstelle ist in erster Linie als Hilfsangebot für Betroffene konzipiert. Sie ist jedoch ideal geeignet für ein Monitoring von EHS-Fällen, da ärztlich erhobene Einzelfallbeobachtungen strukturiert und kontinuierlich dokumentiert werden. Da eine solche Fachstelle Fallbeobachtungen vertieft und interdisziplinär abklärt, können Zusammenhänge zwischen Belastungen und Beschwerden nachgewiesen werden, die in Bevölkerungsstudien im statistischen Rauschen untergehen. Solche Erkenntnisse können neue Hypothesen für zukünftige Forschung generieren. Ausserdem bekommen niedergelassene Ärztinnen und Umweltfachpersonen die Möglichkeit, aussergewöhnliche Beobachtungen und Anregungen im Zusammenhang mit NIS niederschwellig und unbürokratisch an die NIS-Fachstelle heranzutragen.

Möglicherweise hat eine solche Fachstelle mit der Möglichkeit vertiefter Abklärungen und Provokationen auch einen positiven Einfluss auf die öffentliche Kommunikation von EHS, da sich dadurch Handlungsmöglichkeiten für Betroffene eröffnen. So eignet sich der Ansatz von van Moorselaar et al. [35] mit einem mobilen Expositionsgerät für diejenigen Betroffenen, die berichten, dass NIS-Exposition bei ihnen unmittelbar Beschwerden verursacht. Dabei wird zusammen mit den Betroffenen bei ihnen zu Hause die Frequenz, Stärke und Dauer der

NIS-Exposition so eingestellt, bis sie sicher sind, darauf zu reagieren. Danach werden im Doppelblindverfahren mehrere Expositionsprovokationen durchgeführt. Kann mit einem solchen Verfahren eine EHS-Person objektiv identifiziert werden, wäre dies ein Beweis für das Phänomen EHS. Im Umkehrschluss kann jedoch das Fehlen eines solchen Nachweises nicht als Beweis gegen die Existenz von EHS gelten, da der Zusammenhang auch komplexer sein könnte und Symptome erst nach einer längeren und variablen Latenzzeit auftreten könnten. Aber auch ein solcher Befund kann für die Betroffenen hilfreich sein, wenn die Erfahrung, unter doppelblinden Bedingungen nicht wie erwartet zu reagieren, neue Therapieansätze eröffnen würde. Eine solche vertiefte Einzelfallabklärung wäre also nicht nur für die Untersuchung von Kausalzusammenhängen potentiell hilfreich, sondern auch für die Untersuchung von Diagnose- und Behandlungsansätzen von elektromagnetisch hypersensiblen Personen. Neben dem möglichen Wissensgewinn wäre eine solche Beratungsstelle vor allem auch ein wichtiges Hilfsangebot für Betroffene. Es könnten dabei auch neue Behandlungsmethoden erprobt werden.

6.3 Forschung zu spezifischen Fragestellungen

Im Kapitel 5 sind eine Reihe von möglichen Auswirkungen von NIS erwähnt, die sich nicht für ein Monitoring eignen, weil der Zusammenhang zu wenig gut etabliert ist, die Effekte nur aufwendig messbar sind und/oder eine umfassende individuelle Abschätzung der NIS-Exposition sowie anderer Faktoren nötig ist, um aussagekräftige Resultate zu erhalten. Für solche Fragestellungen, die besser in spezifischen Studien als mit einem Monitoring untersucht werden, wäre ein Forschungsprogramm NIS denkbar. Ein solches Forschungsprogramm wurde in der Schweiz schon einmal durchgeführt und läuft zurzeit in Deutschland und Frankreich. Der Vorteil von einem Forschungsprogramm im Vergleich zu einem Monitoring liegt darin, dass flexibel auf neue Erkenntnisse reagiert werden kann. Damit könnten zum Beispiel auch neue kontroverse Studienergebnisse geprüft und vertieft werden. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass eine akademische Expertise im Bereich NIS erhalten bleibt beziehungsweise generiert wird. Damit profitiert auch die öffentliche Kommunikation.

Grundsätzlich gibt es viele Möglichkeiten, wie ein solches **Forschungsprogramm** aufgesetzt werden kann. Hilfreich könnte dabei sein, das Synergiepotential mit der an der ETH Zürich domizilierten Forschungsstiftung Strom und Mobilkommunikation (FSM) zu prüfen, da hier auf eine bestehende Organisation und ihr Netzwerk zurückgegriffen werden kann. Denkbar wäre auch ein ähnliches Vorgehen wie in Frankreich. Dort verwaltet die französische Umweltbehörde ANSES die Finanzen und führt die Ausschreibung, Auswahl und Evaluation der Forschungsprojekte durch. Grundsätzlich könnte sich ein NIS-Forschungsprogramm an den Nationalen Forschungsprogrammen (NFP) des Schweizerischen Nationalfonds⁴⁹ orientieren, da die Zielsetzung ähnlich ist. Bei den NFP gibt es Projektausschreibungen mit gewissen Vorgaben für die eingereichten Projekte. Diese Ausschreibungen werden von einem breit zusammengesetzten Gremium erstellt, bei der auch die Behörden und ihr Forschungsbedarf mitberücksichtigt werden. Damit wird

⁴⁹ <http://www.snf.ch/de/foerderung/programme/nationale-forschungsprogramme/Seiten/default.aspx>: In den NFP werden Forschungsprojekte durchgeführt, die einen Beitrag zur Lösung wichtiger Gegenwartsprobleme leisten. Bundesämter, Forschungsinstitute, Forschungsgruppen oder einzelne Personen schlagen dem Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI) die Thematik und möglichen Schwerpunkte eines NFP vor.

sichergestellt, dass die Projekte auch die Erkenntnisse liefern, die für die Umsetzung in der Praxis hilfreich sind. Die Kosten für ein solches Programm richten sich nach den gewünschten Studien. Gemäss Einschätzung von Gregor Dürrenberger (FSM) und Hugo Lehmann (Swisscom) bieten die momentane politische Diskussion rund um die Einführung von 5G in der Schweiz und die Einnahmen aus der 5G-Lizenzvergabe eine Chance für den Ausbau der Finanzierung diesbezüglicher Forschungsprogramme, vor allem zu biologischer Forschung zu Millimeterwellen.

Interessant ist auch der Ansatz in Deutschland, bei dem die Nationale Kohortenstudie als Teil eines umfassenden Gesundheitsmonitorings verstanden wird. Der Aufbau einer analogen Langzeitstudie ist in der Schweiz in der Pilotphase. Eine prospektive Langzeitstudie ist der einzige Weg, um das komplexe Ursachengeschehen für chronische Krankheiten insbesondere auch von neurodegenerativen Krankheiten zu untersuchen. Eine solche gross angelegte und prospektive Studie könnte langfristig eine Vielzahl von möglichen Gesundheitsauswirkungen, unter anderem NIS, untersuchen. Nach Einschätzung von Nicole Probst-Hensch (Swiss TPH), wissenschaftliche Leiterin des Projektes, wäre eine Integration von NIS-Fragestellungen in die geplante **Schweizer Gesundheitsstudie** machbar und sinnvoll. Die longitudinale Erfassung von Biomarkern erlaubt ein besseres Verständnis des Krankheitsgeschehens. Je mehr Daten erfasst werden, desto besser können Ko-Faktoren in der Analyse mitberücksichtigt werden und Assoziationen im Hinblick auf Kausalität interpretiert werden. Wichtig sind für eine solche Studie valide Abschätzungen der langfristigen NF- und HF-NIS-Exposition aller Studienteilnehmenden. Neben etablierten Methoden wie Ausbreitungsmodellierungen am Wohnort oder Nutzungsdauer von NIS-emittierenden Geräten, braucht es dafür auch neue innovative Methoden. Ein möglicher Ansatz zur Expositionsabschätzung ist die Verwendung einer Smartphone-App, die eine Vielzahl von expositionsrelevanten Parametern automatisch erfassen könnte.

7 Schlussfolgerungen

Die bisherigen Forschungsergebnisse zu gesundheitlichen Auswirkungen von NIS weisen darauf hin, dass der „Einflussfaktor“ NIS auf die gesamte Bevölkerung bezogen mit einem geringen Gesundheitsrisiko einhergeht, allfällige Schädigungen erst spät manifest werden oder nur sehr kleine Untergruppen mit einem NIS bezogenen höheren Gesundheitsrisiko betroffen sind. Entsprechend kann nicht erwartet werden, dass mit einem klassischen Fallzahlenmonitoring alleine direkt Rückschlüsse auf die gesundheitliche Wirkung von NIS möglich sind. Zu klein sind die populationsbezogenen Gesundheitsrisiken und zu vielfältig andere Faktoren, welche auch zu einer Veränderung von Krankheitsfällen führen. Dennoch sind drei machbare Monitoringkonzepte identifiziert worden, die im Kapitel 6 detailliert beschrieben sind:

- 1) Monitoring von Tumoren
- 2) Monitoring von EHS
 - a. Häufigkeit von selbstberichteter EHS
 - b. Vertiefte Abklärung von EHS-Einzelfällen
 - c. Praxisbezogene Studien im Rahmen eines Forschungsprogramms
- 3) Forschung zu spezifischen Fragestellungen

Wichtig wegen dem Schweregrad der Erkrankungen und gleichzeitig relativ gering im Aufwand ist ein Monitoring der Tumorzinzidenz basierend auf den routinemässig erhobenen Daten der Krebsregister. Für seltene Tumore kann ein Monitoring der Inzidenz keine statistisch robusten Aussagen machen. In diesem Fall wäre eine Befragung der Patienten zu NIS-expositionsrelevantem Verhalten informativ. Dies würde aber den Aufwand deutlich erhöhen. Relativ wenig Zusatzaufwand bedeutet ein Monitoring der Häufigkeit von selbstberichteter EHS im Rahmen von bestehenden Erhebungen (z.B. Sentinella oder Schweizerische Gesundheitsbefragung SGB). Etwas aufwendiger ist eine strukturierte und vertiefte Fallabklärung von EHS-Fällen im Rahmen eines interdisziplinären Netzwerkes. Prinzipiell am kostenintensivsten ist es, Forschung als Monitoring aufzugleisen. Im Hinblick auf die Kausalitätsbeurteilung sind Forschungsprojekte jedoch am aussagekräftigsten. Mit den Konzessionseinnahmen stünden entsprechende Mittel im Prinzip zur Verfügung. Mit einem Forschungsprogramm können flexibel Studien zu den neuesten Fragestellungen durchgeführt werden. Ein entsprechendes Forschungsprogramm könnte auch eine nationale Gesundheitsstudie unterstützen, in der NIS-Fragestellungen eingebettet werden.

Die Einführung eines NIS-Gesundheitsmonitorings müsste mit einem NIS-Expositionsmonitoring kombiniert werden. Für ein NIS-Gesundheitsmonitoring und die entsprechende Interpretation von Gesundheitsdaten ist eine gute Kenntnis der NIS-Expositionssituation der Bevölkerung unabdingbar. Zurzeit ist die Kenntnis über die NIS-Exposition gering, insbesondere hinsichtlich des Dosisbeitrags von Nahfeldquellen wie Mobiltelefone, Schnurlostelefone oder Tablets. Es fehlen auch Expositionsdaten zu den neuen Technologien 4G und 5G, die typischerweise erst mehrere Jahre nach der Implementierung eines neuen Mobilfunkstandards verfügbar sind.

8 Referenzen

1. Ragetti MS, Vicedo-Cabrera AM, Schindler C, Roosli M: Exploring the association between heat and mortality in Switzerland between 1995 and 2013. *Environmental research* 2017, **158**:703-709.
2. Vicedo-Cabrera AM, Ragetti MS, Schindler C, Rössli M: Excess mortality during the warm summer of 2015 in Switzerland. *Swiss Med Wkly* 2016, **146**:w14379.
3. Stratmann M, Wernli C, Kreuter U, Joss S: Messung der Belastung der Schweizer Bevölkerung durch 50 Hz Magnetfelder. In. Villigen: P. S. Institut; 1995.
4. Rössli M, Jenni D, Kheifets L, Mezei G: Extremely low frequency magnetic field measurements in buildings with transformer stations in Switzerland. *The Science of the total environment* 2011, **409**(18):3364-3369.
5. Rössli M, Lörtscher M, Egger M, Pfluger D, Schreier N, Lörtscher E, Locher P, Spoerri A, Minder C: Mortality from neurodegenerative disease and exposure to extremely low-frequency magnetic fields: 31 years of observations on Swiss railway employees. *Neuroepidemiology* 2007, **28**(4):197-206.
6. Lauer O, Frei P, Gosselin MC, Joseph W, Rössli M, Fröhlich J: Combining near- and far-field exposure for an organ-specific and whole-body RF-EMF proxy for epidemiological research: A reference case. *Bioelectromagnetics* 2013, **34**(5):366-374.
7. Urbinello D, Rössli M: Impact of one's own mobile phone in stand-by mode on personal radiofrequency electromagnetic field exposure. *Journal of exposure science & environmental epidemiology* 2013, **23**(5):545-548.
8. Roser K, Schoeni A, Struchen B, Zahner M, Eeftens M, Fröhlich J, Rössli M: Personal radiofrequency electromagnetic field exposure measurements in Swiss adolescents. *Environ Int* 2017, **99**:303-314.
9. Ecoplan & Infras: Externe Effekte des Verkehrs 2010. Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten. Bundesamt für Raumentwicklung, Bern. In. Edited by Sommer H, Lieb C, Amacher M, Maibach M, Sutter D, Bieler C, Zandonella R, Heldstab J, Rössli M, Vienneau D *et al*; 2014.
10. BAFU: Konzept für ein nationales Monitoring elektromagnetischer Felder. In. <https://www.parlament.ch/centers/eparl/curia/2009/20093488/Bericht%20BR%20D.pdf> 2015.
11. INTERPHONE Study Group: Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *Int J Epidemiol* 2010, **39**(3):675-694.
12. INTERPHONE Study Group: Acoustic neuroma risk in relation to mobile telephone use: Results of the INTERPHONE international case-control study. *Cancer Epidemiol* 2011, **35**(5):453-464.
13. Baan R, Grosse Y, Lauby-Secretan B, El Ghissassi F, Bouvard V, Benbrahim-Tallaa L, Guha N, Islami F, Galichet L, Straif K *et al*: Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields. *Lancet Oncol* 2011, **12**(7):624-626.
14. Falcioni L, Bua L, Tibaldi E, Lauriola M, De Angelis L, Gnudi F, Mandrioli D, Manservigi M, Manservigi F, Manzoli I *et al*: Report of final results regarding brain and heart tumors in Sprague-Dawley rats exposed from prenatal life until natural death to mobile phone radiofrequency field representative of a 1.8GHz GSM base station environmental emission. *Environmental research* 2018.
15. NTP: NTP technical report on the toxicology and carcinogenesis studies in Hsd:Sprague Dawley SD rats exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones. In. Edited by 595 NTP: National Institutes of Health; 2018.
16. NTP: NTP technical report on the toxicology and carcinogenesis studies in B6C3F1/N mice exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (1,900 MHz)

- and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones. In. Edited by 596 NTPT: National Institutes of Health; 2018.
17. Lerchl A, Klose M, Grote K, Wilhelm AF, Spathmann O, Fiedler T, Streckert J, Hansen V, Clemens M: Tumor promotion by exposure to radiofrequency electromagnetic fields below exposure limits for humans. *Biochem Biophys Res Commun* 2015, **459**(4):585-590.
 18. Deltour I, Auvinen A, Feychting M, Johansen C, Klæboe L, Sankila R, Schuz J: Mobile phone use and incidence of glioma in the Nordic countries 1979-2008: consistency check. *Epidemiology* 2012, **23**(2):301-307.
 19. de Vocht F, Burstyn I, Cherrie JW: Time trends (1998-2007) in brain cancer incidence rates in relation to mobile phone use in England. *Bioelectromagnetics* 2011, **32**(5):334-339.
 20. Inskip PD, Hoover RN, Devesa SS: Brain cancer incidence trends in relation to cellular telephone use in the United States. *Neuro-oncology* 2010, **12**(11):1147-1151.
 21. Chapman S, Azizi L, Luo Q, Sitas F: Has the incidence of brain cancer risen in Australia since the introduction of mobile phones 29 years ago? *Cancer Epidemiol* 2016, **42**:199-205.
 22. Hardell L, Carlberg M: Increasing rates of brain tumours in the Swedish national inpatient register and the causes of death register. *International journal of environmental research and public health* 2015, **12**(4):3793-3813.
 23. Hardell L, Carlberg M: Mobile phones, cordless phones and rates of brain tumors in different age groups in the Swedish National Inpatient Register and the Swedish Cancer Register during 1998-2015. *PLoS One* 2017, **12**(10):e0185461.
 24. Philips A, Henshaw DL, Lamburn G, O'Carroll MJ: Brain Tumours: Rise in Glioblastoma Multiforme Incidence in England 1995-2015 Suggests an Adverse Environmental or Lifestyle Factor. *J Environ Public Health* 2018, **2018**:7910754.
 25. de Vocht F: Analyses of temporal and spatial patterns of glioblastoma multiforme and other brain cancer subtypes in relation to mobile phones using synthetic counterfactuals. *Environmental research* 2019, **168**:329-335.
 26. Rösli M, Lagorio S, Schoemaker MJ, Schüz J, Feychting M: Brain and Salivary Gland Tumors and Mobile Phone Use: Evaluating the Evidence from Various Epidemiological Study Designs. *Annu Rev Publ Health* 2019, **40**:221-238.
 27. McNeill KA: Epidemiology of Brain Tumors. *Neurol Clin* 2016, **34**(4):981-998.
 28. Betzalel N, Feldman Y, Ben Ishai P: The Modeling of the Absorbance of Sub-THz Radiation by Human Skin. *Ieee T Thz Sci Techn* 2017, **7**(5):521-528.
 29. Deltour I, Schlehofer B, Massardier-Pilonchery A, Schläefer K, Armstrong B, Giles GG, Siemiatycki J, Parent ME, Krewski D, McBride M *et al*: Exposure to loud noise and risk of vestibular schwannoma: results from the INTERPHONE international casecontrol study. *Scand J Work Environ Health* 2018.
 30. Welch HG, Black WC: Overdiagnosis in cancer. *J Natl Cancer Inst* 2010, **102**(9):605-613.
 31. Huss A, Rösli M: Consultations in primary care for symptoms attributed to electromagnetic fields--a survey among general practitioners. *BMC Public Health* 2006, **6**:267.
 32. Hug K, Rösli M: Elektromagnetische Hypersensibilität. Bewertung von wissenschaftlichen Studien. Stand Ende 2011, Bundesamt für Umwelt: Bern. 2012.
 33. Rösli M, Frei P, Mohler E, Hug K: Systematic review on the health effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields from mobile phone base stations. *Bulletin of the World Health Organization* 2010, **88**(12):887-896F.
 34. Radon K, Maschke C: Gibt es Elektrosensibilität im D-Netzbereich? *Umweltmed Forsch Prax* 1998, **3**(3):125.
 35. van Moorselaar I, Slottje P, Heller P, van Strien R, Kromhout H, Murbach M, Kuster N, Vermeulen R, Huss A: Effects of personalised exposure on self-rated electromagnetic hypersensitivity and sensibility - A double-blind randomised controlled trial. *Environ Int* 2017, **99**:255-262.

36. ANSES: Hypersensibilité électromagnétique ou intolérance environnementale idiopathique attribuée aux champs électromagnétiques. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES). Avis de l'Anses Rapport d'expertise collective. Mars 2018. 2018.
37. Huss A, Küchenhoff J, Bircher A, Niederer M, Tremp J, Waeber R, Braun-Fahrländer C: Elektromagnetische Felder und Gesundheitsbelastungen – Interdisziplinäre Fallabklärungen im Rahmen eines umweltmedizinischen Beratungsprojektes. *Umweltmed Forsch Prax* 2005, **10**(1):21-28.
38. Belyaev I, Dean A, Eger H, Hubmann G, Jandrisovits R, Kern M, Kundi M, Moshhammer H, Lercher P, Muller K *et al*: EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses. *Rev Environ Health* 2016, **31**(3):363-397.
39. Schreier N, Huss A, Roosli M: The prevalence of symptoms attributed to electromagnetic field exposure: a cross-sectional representative survey in Switzerland. *Soz Präventivmed* 2006, **51**(4):202-209.
40. Sagar S, Dongus S, Schoeni A, Roser K, Eeftens M, Struchen B, Foerster M, Meier N, Adem S, Roosli M: Radiofrequency electromagnetic field exposure in everyday microenvironments in Europe: A systematic literature review. *Journal of exposure science & environmental epidemiology* 2018, **28**(2):147-160.
41. Borbely AA, Huber R, Graf T, Fuchs B, Gallmann E, Achermann P: Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram. *Neurosci Lett* 1999, **275**(3):207-210.
42. Huber R, Graf T, Cote KA, Wittmann L, Gallmann E, Matter D, Schuderer J, Kuster N, Borbely AA, Achermann P: Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *Neuroreport* 2000, **11**(15):3321.
43. Huber R, Treyer V, Borbely AA, Schuderer J, Gottselig JM, Landolt HP, Werth E, Berthold T, Kuster N, Buck A *et al*: Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *J Sleep Res* 2002, **11**(4):289-295.
44. Loughran SP, McKenzie RJ, Jackson ML, Howard ME, Croft RJ: Individual differences in the effects of mobile phone exposure on human sleep: rethinking the problem. *Bioelectromagnetics* 2012, **33**(1):86-93.
45. Loughran SP, Wood AW, Barton JM, Croft RJ, Thompson B, Stough C: The effect of electromagnetic fields emitted by mobile phones on human sleep. *Neuroreport* 2005, **16**(17):1973-1976.
46. Regel SJ, Tinguely G, Schuderer J, Adam M, Kuster N, Landolt HP, Achermann P: Pulsed radio-frequency electromagnetic fields: dose-dependent effects on sleep, the sleep EEG and cognitive performance. *J Sleep Res* 2007, **16**(3):253-258.
47. Schmid MR, Loughran SP, Regel SJ, Murbach M, Bratic Grunauer A, Rusterholz T, Bersagliere A, Kuster N, Achermann P: Sleep EEG alterations: effects of different pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields. *J Sleep Res* 2012, **21**(1):50-58.
48. Lustenberger C, Murbach M, Durr R, Schmid MR, Kuster N, Achermann P, Huber R: Stimulation of the brain with radiofrequency electromagnetic field pulses affects sleep-dependent performance improvement. *Brain Stimul* 2013, **6**(5):805-811.
49. Foerster M, Thielens A, Joseph W, Eeftens M, Roosli M: A Prospective Cohort Study of Adolescents' Memory Performance and Individual Brain Dose of Microwave Radiation from Wireless Communication. *Environ Health Perspect* 2018, **126**(7):077007.
50. Schoeni A, Roser K, Rössli M: Memory performance, wireless communication and exposure to radiofrequency electromagnetic fields: A prospective cohort study in adolescents. *Environ Int* 2015, **85**:343-351.
51. Schoeni A, Roser K, Rössli M: Symptoms and Cognitive Functions in Adolescents in Relation to Mobile Phone Use during Night. *PLoS One* 2015, **10**(7):e0133528.

52. Adams JA, Galloway TS, Mondal D, Esteves SC, Mathews F: Effect of mobile telephones on sperm quality: a systematic review and meta-analysis. *Environ Int* 2014, **70**:106-112.
53. Crausaz M, Vargas J, Parapanov R, Chollet Y, Wisard M, Stettler E, Senn A, Germond M: First evaluation of human sperm quality in various geographic regions of Switzerland. *Chimia* 2008, **62**(5):395-400.
54. Zufferey F, Rahban R, Garcia A, Gagnebin Y, Boccard J, Tonoli D, Jeanneret F, Stettler E, Senn A, Nef S *et al*: Steroid profiles in both blood serum and seminal plasma are not correlated and do not reflect sperm quality: Study on the male reproductive health of fifty young Swiss men. *Clin Biochem* 2018, **62**:39-46.
55. Rahban R, Priskorn L, Senn A, Stettler E, Galli F, Vargas J, Van den Bergh M, Fusconi A, Garlantezec R, Jensen TK *et al*: Semen quality of young men in Switzerland: a nationwide cross-sectional population-based study. *Andrology* 2019.
56. Mortimer D, Barratt CL, Bjorndahl L, de Jager C, Jequier AM, Muller CH: What should it take to describe a substance or product as 'sperm-safe'. *Hum Reprod Update* 2013, **19 Suppl 1**:i1-45.
57. Dasdag S, Akdag MZ: The link between radiofrequencies emitted from wireless technologies and oxidative stress. *J Chem Neuroanat* 2016, **75**(Pt B):85-93.
58. Belpomme D, Campagnac C, Irigaray P: Reliable disease biomarkers characterizing and identifying electrohypersensitivity and multiple chemical sensitivity as two etiopathogenic aspects of a unique pathological disorder. *Rev Environ Health* 2015, **30**(4):251-271.
59. Schüz J, Waldemar G, Olsen JH, Johansen C: Risks for central nervous system diseases among mobile phone subscribers: a Danish retrospective cohort study. *PLoS One* 2009, **4**(2):e4389.
60. Wertheimer N, Leeper E: Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol* 1979, **109**(3):273-284.
61. Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, Linet M, McBride M, Michaelis J, Olsen JH *et al*: A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer* 2000, **83**(5):692-698.
62. Kheifets L, Ahlbom A, Crespi CM, Draper G, Hagihara J, Lowenthal RM, Mezei G, Oksuzyan S, Schuz J, Swanson J *et al*: Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer* 2010, **103**(7):1128-1135.
63. Soffritti M, Giuliani L: The carcinogenic potential of non-ionizing radiations: The cases of S-50Hz MF and 1.8GHz GSM RFR. *Basic Clin Pharmacol Toxicol* 2019.
64. IARC: Non-ionizing radiation, part 1: static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, World Health Organization (WHO). International Agency for Research on Cancer (IARC): Lyon. In.; 2002.
65. Zhou H, Chen G, Chen C, Yu Y, Xu Z: Association between extremely low-frequency electromagnetic fields occupations and amyotrophic lateral sclerosis: a meta-analysis. *PLoS One* 2012, **7**(11):e48354.
66. Garcia AM, Sisternas A, Hoyos SP: Occupational exposure to extremely low frequency electric and magnetic fields and Alzheimer disease: a meta-analysis. *Int J Epidemiol* 2008, **37**(2):329-340.
67. Vergara X, Kheifets L, Greenland S, Oksuzyan S, Cho YS, Mezei G: Occupational exposure to extremely low-frequency magnetic fields and neurodegenerative disease: a meta-analysis. *J Occup Environ Med* 2013, **55**(2):135-146.
68. Grell K, Meersohn A, Schuz J, Johansen C: Risk of neurological diseases among survivors of electric shocks: a nationwide cohort study, Denmark, 1968-2008. *Bioelectromagnetics* 2012, **33**(6):459-465.
69. Frei P, Poulsen AH, Mezei G, Pedersen C, Cronberg Salem L, Johansen C, Rösli M, Schüz J: Residential Distance to High-voltage Power Lines and Risk of Neurodegenerative Diseases: a Danish Population-based Case-Control Study. *Am J Epidemiol* 2013, **177**(9):970-978.

70. Huss A, Spoerri A, Egger M, Roosli M, Swiss National Cohort S: Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: longitudinal study of the Swiss population. *Am J Epidemiol* 2009, **169**(2):167-175.
71. Kheifets L, Afifi AA, Shimkhada R: Public health impact of extremely low-frequency electromagnetic fields. *Environ Health Perspect* 2006, **114**(10):1532-1537.
72. Schüz J: Exposure to extremely low-frequency magnetic fields and the risk of childhood cancer: update of the epidemiological evidence. *Prog Biophys Mol Biol* 2011, **107**(3):339-342.
73. Nishida T, Tamura H, Sakakibara H: The association of smartphone use and depression in Japanese adolescents. *Psychiatry Res* 2019, **273**:523-527.
74. Bilke-Hentsch O: Pathologische Mediennutzung bei Kindern und Jugendlichen - eine Perspektive für die Praxis. *Praxis (Bern 1994)* 2017, **106**(14):775-779.
75. Mireku MO, Barker MM, Mutz J, Dumontheil I, Thomas MSC, Roosli M, Elliott P, Toledano MB: Night-time screen-based media device use and adolescents' sleep and health-related quality of life. *Environ Int* 2019, **124**:66-78.
76. Dirani M, Crowston JG, Wong TY: From reading books to increased smart device screen time. *Br J Ophthalmol* 2019, **103**(1):1-2.
77. Persson T, Tornevik C, Larsson LE, Loven J: Output power distributions of terminals in a 3G mobile communication network. *Bioelectromagnetics* 2012, **33**(4):320-325.
78. Li K, Lu D, Guo Y, Wang C, Liu X, Liu Y, Liu D: Trends and patterns of incidence of diffuse glioma in adults in the United States, 1973-2014. *Cancer Med* 2018, **7**(10):5281-5290.
79. Karipidis K, Elwood M, Benke G, Sanagou M, Tjong L, Croft RJ: Mobile phone use and incidence of brain tumour histological types, grading or anatomical location: a population-based ecological study. *BMJ Open* 2018, **8**(12):e024489.
80. Rössli M, Moser M, Baldinini Y, Meier M, Braun-Fahrländer C: Symptoms of ill health ascribed to electromagnetic field exposure - a questionnaire survey. *Int J Hyg Environ Health* 2004, **207**(2):141-150.
81. Huss A, Kuchenhoff J, Bircher A, Niederer M, Tremp J, Waeber R, Braun-Fahrländer C, Swiss Sentinel Surveillance N: Are environmental medicine problems relevant in Switzerland? *Swiss Med Wkly* 2004, **134**(33-34):500-507.
82. Rössli M, Frei P, Bolliger-Salzmann H, Barth J, Hlavica M, Huss A: Umweltmedizinisches Beratungsnetzwerk von Hausärzten: ein Schweizer Pilotprojekt. *Umweltmedizin in Forschung und Praxis* 2011, **16**(3):123-132.