

Auswirkungen der Umwelt auf die Gesundheit

Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

**Dr. Martina Ragettli
Benjamin Flückiger
Prof. Dr. Martin Rössli**

Kontakte

Swiss TPH 
Swiss Tropical and Public Health Institute
Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut
Institut Tropical et de Santé Publique Suisse

Associated Institute of the University of Basel

**Schweizerisches Tropen- und
Public Health-Institut**
Socinstrasse 57
Postfach
4002 Basel

www.swisstph.ch

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Sektion Umweltbeobachtung
3003 Bern

Dr. Hannah Scheuthle
T: +41 58 465 87 20
F: +41 58 463 03 67
E-mail: hannah.scheuthle@bafu.admin.ch

Projektbegleitgruppe Swiss TPH: Dr. Danielle Vienneau, Dr. Bettina Bringolf-Isler, Dr. Kees de Hoogh, Dr. Marloes Eeftens, Dr. Meltem Kutlar Joss, Dr. Pie Müller, Dr. Mirko Winkler, Prof. Dr. Nicole Probst-Hensch und Prof. Dr. Nino Künzli.

Begleitgruppe BAFU: Jérémie Millot, Dr. Denise Felber, Dr. Hans Bögli, Dr. Roland Hohmann, Dr. Gerda Jimmy
Begleitgruppe Bundesamt für Gesundheit (BAG): Dr. Steffen Wengert, Dr. Damiano Urbinello, Dr. Sébastien Baechler

Diese Studie wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Abkürzungen

ADI	Acceptable Daily Intake
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ALS	Amyotrophe Lateralsklerose
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BABS	Bundesamt für Bevölkerungsschutz
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BAZL	Bundesamt für Zivilluftfahrt
BEIR	Arbeitsgruppe zu den Gesundheitsrisiken von ionisierenden Strahlen im Niedrigdosisbereich (Biological Effects of Ionizing Radiation), gegründet von der US-amerikanischen Akademie der Wissenschaften
BFS	Bundesamt für Statistik
CI	Confidence Interval / Konfidenzintervall
CO	Kohlenstoffmonoxid
DALY	Disability-adjusted life years
EU	Europäische Union
HF-EMF	Hochfrequente elektromagnetische Felder
IARC	Internationale Agentur für Krebsforschung
MeteoSchweiz	Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz
NF-MF	Niederfrequenten Magnetfeldern
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO _x	Stickstoffoxide
OR	Odds Ratio
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PM ₁₀	Feinstaub, Partikel mit aerodynamischem Durchmesser von weniger als 10 Mikrometer
PM _{2.5}	Feinstaub, Partikel mit aerodynamischem Durchmesser von weniger als 2.5 Mikrometer
RR	Relatives Risiko
SED	Standard-Erythemdosis
SSUV	Statistik der Unfallversicherung
Swiss TPH	Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut
UV	Ultraviolett
VOC	Flüchtige organische Verbindungen
WHO	World Health Organization / Weltgesundheitsorganisation
WSL	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Übersichtstabelle Auswirkungen	3
Einleitung	9
Ziele des Projekts	9
Vorgehen	9
Übersicht Umweltthemen und Umweltfaktoren	11
1 Biodiversität	12
1.1 Verlust der Biodiversität	12
1.2 Erhöhung der Biodiversität	13
1.3 Pollen	14
1.4 Neophyten	16
1.5 Fazit	17
2 Chemikalien (in Boden, Wasser, Nahrung)	18
2.1 Pestizide	19
2.2 Schwermetalle	21
2.3 Arzneimittelrückstände	22
2.4 Fazit	23
3 Klima	25
3.1 Hitzewellen	25
3.2 Kältewellen	27
3.3 Sandmücken	28
3.4 Tigermücken	29
3.5 Zecken	29
3.6 Fazit	30
4 Landschaft und Wald	31
4.1 Grün- und Wasserflächen (Green & Blue Space)	31
4.2 Langsamverkehrswege (Walkability & Bikeability)	34
4.2 Fazit	35
5 Lärm	38
5.1 Verkehrslärm	39
5.2 Industrie- und Gewerbelärm	40
5.3 Schiesslärm (zivile und militärische Anlagen)	41
5.4 Andere Lärmquellen & Freizeitlärm	41

5.5	Fazit	42
6	Luft	43
6.1	Feinstaub in der Aussenluft	44
6.2	Ozon in der Aussenluft	49
6.3	Stickstoffdioxid (NO ₂) in den Aussenluft	50
6.4	Innenraumschadstoffe	51
6.5	Fazit	52
7	Naturgefahren	53
7.1	Hochwasser, Murgänge, Rutschungen, Sturzprozesse	53
7.2	Lawinen	53
7.3	Fazit	54
8	Nicht-ionisierende Strahlung	55
8.1	Licht (künstliches Licht in der Nacht)	55
8.2	UV-Strahlung	57
8.3	Niederfrequente Felder	58
8.4	Hochfrequente Felder	59
8.5	Fazit	60
9	Strahlung	61
9.1	Radon	61
9.2	Natürliche Strahlung in der Umwelt (kosmisch, terrestrisch)	62
9.3	Künstliche Strahlung in der Umwelt	63
9.4	Fazit	64
	Schlussbemerkungen	65
	Quellen	67

Zusammenfassung

Eine intakte Umwelt beugt Krankheiten vor und fördert das Wohlbefinden der Bevölkerung. Dazu gibt es eine Vielzahl von Studien. Weniger häufig untersucht ist jedoch die Relevanz von Gesundheitsauswirkungen in einem spezifischen Kontext, also die Gesundheitsauswirkungen von Umweltfaktoren auf eine bestimmte Bevölkerung bei einer gegebenen Exposition. Solche Abschätzungen der Auswirkungen werden „Impact Assessments“ genannt. Der Impact auf Bevölkerungsebene hängt nicht nur vom Gesundheitsrisiko, beziehungsweise Gesundheitsnutzen eines Umweltfaktors ab, sondern auch von der Höhe der Bevölkerungsexposition und dem Gesundheitsstatus der Bevölkerung.

Ziel dieses Berichtes ist es, einen besseren Überblick über die Relevanz von Umweltbelastungen und Umwelteinflüssen in der Schweiz im Hinblick auf die menschliche Gesundheit zu erhalten. Anhand Literaturrecherchen und Expertengespräche wurden für neun Umwelthemen und dazugehörige Umweltfaktoren Daten zur Exposition, zu Exposition-Wirkungsbeziehungen und zu möglichen positiven und negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit in der Schweiz (sogenannte „Health Impact“ Studien) gesammelt und bewertet. Bei fehlenden Daten wurden entsprechende Abschätzungen gemacht, sofern dies möglich war. Als Umweltfaktoren gelten sowohl Aspekte der natürlichen Umwelt (z. B. Pollen) als auch menschliche Aktivitäten (z. B. Verkehrslärm), die Einfluss auf die Gesundheit haben. Wo aufgrund Daten- oder Wissenslücken eine Quantifizierung der Auswirkungen zurzeit nicht möglich ist, werden Empfehlungen und grobe Aufwandabschätzungen für weitere Erhebungen und Forschungsarbeiten präsentiert.

Tabelle 1 bietet eine Übersicht zu den Umwelthemen, Umweltfaktoren und deren Auswirkungen auf die Gesundheit der Schweizer Bevölkerung. Die Evidenz des Zusammenhangs zwischen einem Umweltfaktor und der Gesundheit wurde mittels vorhandenen Studien beurteilt (Klassifizierung 1 bis 5, siehe Tabelle 2). Bei Umweltfaktoren mit der Klassifizierung 1 gelten Zusammenhänge, bzw. Auswirkungen auf die Gesundheit, als etabliert und die Expositions-Wirkungsbeziehung ist bekannt und quantifizierbar. Bei einer Klassifizierung 5 sind beide Sachverhalte noch unklar.

Die Resultate zeigen, dass sowohl die Datengrundlage für die Abschätzung der Expositionen sowie zu den Expositions-Wirkungsbeziehungen für die neun behandelten Umwelthemen unterschiedlich ausfallen. Beim heutigen Kenntnisstand sind relativ gute Aussagen zu den Themen Luft (betrifft vor allem die Aussenluft), Lärm (betrifft vor allem den Verkehrslärm), Klima, Naturgefahren, Strahlung und nicht-ionisierende Strahlung möglich. Unklarheiten bestehen im Bereich Biodiversität. Während die Auswirkungen von Pollen und Neophyten relativ gut dokumentiert sind, wurden andere mögliche und eher komplexe Effekte eines Biodiversitätsverlust (Gefährdung und Aussterben von Arten) auf die Gesundheit (z. B. Krankheiten durch Verlust von Möglichkeiten neue Medikamente zu entwickeln) kaum untersucht. Quantitative Daten zur Bedeutung von künstlichen Lichtemissionen während der Nacht (Thema nicht-ionisierende Strahlung) sowie Grün- und Wasserflächen (Thema Landschaft und Wald) für die Gesundheit und das Wohlbefinden sind ebenfalls (noch) nicht vorhanden. Grosse Datenlücken bestehen betreffend den möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von Chemikalien in Boden, Wasser und Nahrung. Obwohl das Gesundheitsrisiko für viele Stoffe bei hohen Expositionen gut untersucht ist, fehlen Daten zur Belastung der Schweizer Allgemeinbevölkerung durch Pestizide, Schwermetalle und Arzneimittelmrückstände oder anderen Chemikalien. Zudem sind die konkreten Gesundheitsauswirkungen der meist chronischen Expositionen gegenüber einer komplexen Mischung von Stoffen mit tiefer Konzentration in der Umwelt unklar.

Dies ist ein erster Überblick der vorhandenen quantitativen Daten zu den Auswirkungen von Umweltfaktoren auf die Gesundheit der Bevölkerung in der Schweiz. Solche Daten sind wichtig für die Information der Bevölkerung und für die Prioritätensetzung von Massnahmen zur Minimierung von umweltbedingten Gesundheitsrisiken. Das Projekt hat jedoch gezeigt, dass die Vergleichbarkeit von Impactstudien zu verschiedenen Umweltfaktoren beschränkt

ist und es einige Datenlücken gibt, insbesondere zur Exposition der Bevölkerung und zu den konkreten Gesundheitsauswirkungen bestimmter Umweltfaktoren. Als nächster Schritt wird empfohlen, diese Datenlücken zu schliessen und die Vergleichbarkeit der vorhandenen Impactstudien zu verbessern.

Übersichtstabelle Auswirkungen

Tabelle 1. Überblick über Umweltthemen, Umweltfaktoren, mögliche Gesundheitsauswirkungen, Klassierung der Evidenz für einen Zusammenhang und Daten zu den Gesundheitsauswirkungen (Impact) auf die Bevölkerung in der Schweiz. Wo solche Daten nicht vorhanden sind wurde der Aufwand für die Schliessung der Datenlücken geschätzt, sofern der Zusammenhang zwischen Umweltfaktor und Gesundheitsauswirkung als mindestens wahrscheinlich (Klassifizierung 1 bis 3) eingeschätzt wurde.

Nr.	Thema	Umweltfaktor	Auswirkung	Klassif. ¹	Berechnung der Auswirkungen auf die Schweiz (Gesamtbevölkerung) pro Jahr	Aufwand Schliessung Datenlücken ²
1.1	Biodiversität	Verlust der Biodiversität	Krankheiten durch Verbreitung von Krankheitserregern	5	Keine Daten vorhanden	
			Krankheiten durch Verlust von Möglichkeiten, neue Medikamente zu entwickeln	5	Keine Daten vorhanden	
			Anfälligkeit für Infektionen	5	Keine Daten vorhanden	
			Anfälligkeit für Krankheiten durch mangelnde Diversität des Mikrobioms	5	Keine Daten vorhanden	
1.2		Erhöhung der Biodiversität	Wohlbefinden durch Kontakt zur biologischen Vielfalt	5	Keine Daten vorhanden	
1.3		Pollen	Allergien	1	15-20% der Bevölkerung leiden an einer Pollenallergie	
1.4		Neophyten	<i>Aufrechte Ambrosie</i> : Allergische Reaktionen	1	Sensibilisierungsrate: 7.9% Allergieprävalenz beträgt regional bis zu 12%	
			<i>Riesenbärenklau</i> : Phototoxische Wirkung (Furanocumarine)	1	33 Vergiftungsmeldungen (von 1997 bis 2015)	
			<i>Schmalblättriges Greiskraut</i> : Verbreitung giftiger Pflanzenbestandteile in Nahrungsmitteln (Pyrrolizidinalkaloide)	1	6 Tote für Ausbreitungs-Extremszenario	

Nr.	Thema	Umweltfaktor	Auswirkung	Klassif. ¹	Berechnung der Auswirkungen auf die Schweiz (Gesamtbevölkerung) pro Jahr	Aufwand Schliessung Datenlücken ²
2.1	Chemikalien in Boden, Wasser, Nahrung	Pestizide	Schädigung des Nervensystems	3	Keine Daten vorhanden	+++
			Fortpflanzung	3	Keine Daten vorhanden	+++
			Neurologische Störungen	3	Keine Daten vorhanden	+++
			Schwächung des Immunsystems	3	Keine Daten vorhanden	+++
			Krebs	3	Keine Daten vorhanden	+++
2.2		Schwermetalle	Schädigung des Nervensystems	3	Keine Daten vorhanden	+++
			Fortpflanzung	3	Keine Daten vorhanden	+++
2.3		Arzneimittelrückstände	Antibiotikaresistenzen	3	Keine Daten vorhanden	+++
			Fortpflanzung (endokrine Wirkung)	3	Keine Daten vorhanden	+++
3.1	Klima	Hitzewellen	Mortalität	1	Hitzesommer 2003: 6.9% Zusatzmortalität (975 zusätzliche Todesfälle) Hitzesommer 2015: 5.4% Zusatzmortalität (rund 800 zusätzliche Todesfälle)	
			Hospitalisierungen (kardio-respiratorisch, Nieren)	2	Keine Daten vorhanden	+
			Magen-Darm Erkrankungen durch Mikroben in Nahrung, Trinkwasser und Badewasser	2	Salmonellose-Fälle vorhanden, aber nicht temperaturbedingte	++
3.2		Kältewellen	Mortalität	2	Keine Daten vorhanden	+
			Hospitalisierungen	2	Keine Daten vorhanden	+
3.3		Sandmücken	Leishmaniose	5	Keine detaillierte Daten vorhanden	
		Tigermücken	Dengue- und Chikungunyafieber, Zika	5	Anzahl Fälle 2016: 197 Denguefieber, 33 Chikungunya, 54 Zika (alle im Ausland angesteckt)	
3.4		Zecken	Lyme-Borreliose, Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) / Zeckenzephalitis	1	150-200 Fälle FSME-Fälle 6000-12'000 Fälle von Lyme-Borreliose	

Nr.	Thema	Umweltfaktor	Auswirkung	Klassif. ¹	Berechnung der Auswirkungen auf die Schweiz (Gesamtbevölkerung) pro Jahr	Aufwand Schliessung Datenlücken ²
4.1	Landschaft und Wald	Grünflächen und Wasserflächen (Green & Blue Space)	Mortalität (Reduktion Hitze, Schadstoffe, etc.)	3	Keine Daten vorhanden	+
			Physische und psychische Erholung, psychisches und soziales Wohlbefinden, mentale Gesundheit	3	Keine Daten vorhanden	++
			Kognitive und motorische Entwicklung bei Kindern und Jugendlichen	3	Keine Daten vorhanden	++
4.2		Langsam-Verkehrswege (Walkability & Bikeability)	Langsamverkehrsunfälle – Tote und Verletzte	1	Total 54 587 Unfälle mit 175 Toten in 2010	
			Mortalitätsreduktion (wegen körperlicher Aktivität)	1	10'000 frühzeitige Todesfälle	
			Diabetes (Typ II) (verhinderte Krankheitsfälle)	1-2	749 verhinderte Krankheitsfälle	
			Herz-Kreislaufkrankungen (verhinderte Krankheitsfälle)	1	12'331 verhinderte Krankheitsfälle	
			Brustkrebs (verhinderte Krankheitsfälle)	2	864 verhinderte Krankheitsfälle	
			Kolonkrebs (verhinderte Krankheitsfälle)	2	1'042 verhinderte Krankheitsfälle	
			Demenz (verhinderte Krankheitsfälle)	2	1'289 verhinderte Krankheitsfälle	
			Depression (verhinderte Krankheitsfälle)	2	4'042 verhinderte Krankheitsfälle	
5.1	Lärm	Verkehrslärm	Mortalität	2	5'540 Lebensjahre	
			Spitaltage Herz-Kreislaufkrankungen	2	22'400 Spitaltage	
			Ambulanten Behandlungen wegen Blutdruck	2	77'700 Behandlungen	
			Diabetes	3	Keine Daten vorhanden	+
			Schlafqualität	1	26'700 DALY	
			Belästigung	1	16'700 DALY	
			Depression	3	Keine Daten vorhanden	+
			Tinnitus	1	Keine Daten vorhanden	++
			kognitive Entwicklung	3	1'200 DALY	

Nr.	Thema	Umweltfaktor	Auswirkung	Klassif. ¹	Berechnung der Auswirkungen auf die Schweiz (Gesamtbevölkerung) pro Jahr	Aufwand Schliessung Datenlücken ²
5.2		Industrie- und Gewerbelärm	Belästigung, Schlafqualität	2	Keine Daten vorhanden	++
			Tinnitus, Herz-Kreislaufkrankungen, Sterblichkeit, Diabetes, Depression, kognitive Entwicklung	4	Keine Daten vorhanden	
5.3		Schiesslärm	Belästigung, Schlafqualität	2	Keine Daten vorhanden	++
			Tinnitus, Herz-Kreislaufkrankungen, Sterblichkeit, Diabetes, Depression, kognitive Entwicklung	4	Keine Daten vorhanden	
5.4		andere Lärmquellen & Freizeit	Belästigung, Schlafqualität	1	Keine Daten vorhanden	+
			Tinnitus, Herz-Kreislaufkrankungen, Sterblichkeit, Diabetes, Depression, kognitive Entwicklung	4	Keine Daten vorhanden	
6.1	Luft	Feinstaub (PM ₁₀ , PM _{2.5} , ultrafeine Partikel) in der Aussenluft	Mortalität (≥ 30 Jahre)	1	28'100 Lebensjahre	
			Kindersterblichkeit (≤1 Jahr)	1	750 Lebensjahre	
			Spittage wegen Herz-/Kreislaufkrankheiten (≥18 Jahre)	1	10'900 Spittage	
			Spittage wegen Atemwegserkrankungen (alle Alter)	1	9'400 Spittage	
			Inzidenz von Bronchitis bei Erwachsenen (≥18 Jahre)	1	3'100 Fälle	
			Prävalenz von akuter Bronchitis bei Kindern (6-18 Jahre)	1	17'300 Fälle	
			Tage mit Asthmaanfälle bei Erwachsenen (≥18 Jahre)	1	44'943 Tage	
			Tage mit Asthmaanfälle bei Kindern (5-17 Jahre)	1	107'500 Tage	
			Tage mit eingeschränkter Aktivität	1	4'746'000 Tage	
			Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden	1	11'438'100 Tage	
			Abnahme der Fertilität	4	Keine Daten vorhanden	
			Diabetes	2	Keine Daten vorhanden	

Nr.	Thema	Umweltfaktor	Auswirkung	Klassif. ¹	Berechnung der Auswirkungen auf die Schweiz (Gesamtbevölkerung) pro Jahr	Aufwand Schliessung Datenlücken ²
6.2		Ozon in der Aussenluft	Atemwegsallergien	2	Keine Daten vorhanden	+
			Niedriges Geburtsgewicht	3	Keine Daten vorhanden	++
			Demenz	3	Keine Daten vorhanden	+++
			Lungenkrebs	1	Keine Daten vorhanden (Todesfälle in Auswirkung "Mortalität" enthalten)	+
			Mortalität	1	2'700 verlorene Lebensjahre	+
6.3		Stickstoffdioxid (NO ₂) in der Aussenluft	Spitaleintritte wegen Herz-Kreislauf-krankheiten und Atemwegserkrankungen (65+ Jahre) (kurzfristige Exposition)	1	Keine Daten vorhanden	+
			Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden	1	Keine Daten vorhanden	+
			Mortalität	1	11'700 verlorene Lebensjahre	
			Inzidenz von Asthma bei Kindern	1	Keine Daten vorhanden	++
			Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen	2	Keine Daten vorhanden	+
6.4		Innenraumschadstoffe	Prävalenz von Bronchitis bei Kindern mit Asthma (5-14 Jahre)	1	Keine Daten vorhanden	+
			Lungenkrebs	1	200 Lungenkrebsfälle	
			Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen (alle Alter) (kurzfristige Exposition)	1	12'800 Spitaleintritte*	
			Sick Building Syndrom, Reizung, Wohlbefinden, erhöhte Symptomatik Allergie/Asthma	1	Keine Daten vorhanden	+++
7.1	Naturgefahren	Hochwasser, Murgänge, Rutschungen, Sturzprozesse	Mortalität	2	Wird in jedem Jahr erhoben	
7.2		Lawinen	Hospitalisierungen	2	Keine Daten vorhanden	+++
			Mortalität	2	20-25 Todesfälle	
			Hospitalisierungen	2	Keine Daten vorhanden	+++

Nr.	Thema	Umweltfaktor	Auswirkung	Klassif. ¹	Berechnung der Auswirkungen auf die Schweiz pro Jahr	Aufwand Schliessung Datenlücken ²
8.1	Nicht-ionisierende Strahlung	Übermässiges künstliches Licht in der Nacht	Schlafstörungen	2	Keine Daten vorhanden	+++
			Brustkrebs	3	Keine Daten vorhanden	+++
8.2		UV-Strahlung	Melanome	1	160 Fälle wegen Solarien, Auswirkungen solare UV nicht quantifiziert	
			weisser Hautkrebs	1	Keine Daten vorhanden	++
8.3		niederfrequente Felder	Kinderleukämie	4	Keine Daten vorhanden	
			neurodegenerative Erkrankungen	4	Keine Daten vorhanden	
8.4		hochfrequente Felder	Krebs	4	Keine Daten vorhanden	
			neurodegenerative Erkrankungen	5	Keine Daten vorhanden	
			Fortpflanzung	5	Keine Daten vorhanden	
9.1	Strahlung	Radon	Lungenkrebs, Krebs	1	340 neue Lungenkrebserkrankungen*	
9.2		natürliche Strahlung in der Umwelt (kosmisch, terrestrisch)	Krebs	1	20 neue Krebserkrankungen bei Erwachsenen, 5 bei Kindern*	
9.3		künstliche Strahlung in der Umwelt und in der Nahrung	Krebs	1	2 neue Krebserkrankungen*	

¹ siehe Tabelle 2. Klassifizierung des Zusammenhangs von 1 (=etabliert) bis 5 (=unklar), Details siehe Seite 10.

² +=gering / ++=mittel / +++=gross.

* im Rahmen dieser Studie hergeleitet.

Einleitung

Die Umwelt beeinflusst die Gesundheit in vielfacher und komplexer Art. Gemäss Weltgesundheitsorganisation (WHO) ist Gesundheit ein Zustand des vollständigen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlbefindens und nicht nur das Fehlen von Krankheit oder Beeinträchtigung. Eine intakte Umwelt (insbesondere Natur und Landschaft) beugt Krankheiten vor und fördert eine gesunde Entwicklung, gleichzeitig ist sie aber auch eine wichtige Voraussetzung für eine gute Lebensqualität. So leisten beispielsweise vegetationsreiche Landschaften einen wichtigen Beitrag zur Erholung und fördern die Bewegung (Abraham et al. 2007).

Laut Umweltschutzgesetz (USG, Art. 10e) haben die Behörden die Pflicht, die Öffentlichkeit sachgerecht über den Umweltschutz und den Stand der Umweltbelastung zu informieren. Dies schliesst – im Sinne des Schutzes des Menschen gegen schädliche und lästige Einwirkungen – auch Information über die Folgen der Umweltbelastung, beispielsweise für die menschliche Gesundheit, ein. Aussagen über die Auswirkungen von Umweltbelastungen auf Gesundheit und Wohlbefinden sind zudem zentral für eine wirkungsvolle Umweltkommunikation: Letztlich belegen sie die Notwendigkeit, Umweltbelastungen zu reduzieren und sind wichtig für evidenzbasierte Entscheidungen. Obwohl jedoch die Zusammenhänge zwischen Umweltbelastungen und deren Auswirkungen mittlerweile gut erforscht sind, fehlen in vielen Bereichen quantitative Aussagen über die gesundheitlichen Auswirkungen in der Schweiz.

In der Schweiz sind bei den insgesamt 165 Indikatoren zur Umweltberichterstattung die Themen Gesundheit und Wohlbefinden deutlich unterrepräsentiert. Zwar wird im Bericht „Umwelt Schweiz 2015“ (BAFU 2015f) ein Überblick über die gesundheitlichen Auswirkungen von Umweltbelastungen für verschiedene Schadenskategorien gegeben, die Auswirkungen sind aber weder quantifiziert noch gibt es Angaben zu der Bedeutung der verschiedenen Umweltfaktoren für die Gesundheit.

Ziele des Projekts

Das Hauptziel der Studie ist einen **besseren Überblick über die Relevanz von Umweltbelastungen und Umwelteinflüssen in der Schweiz im Hinblick auf die menschliche Gesundheit** zu erhalten. Dies beinhaltet eine Zusammenstellung von vorhandenen Daten zu den quantitativen Auswirkungen von Umwelteinflüssen auf Gesundheit und Wohlbefinden. Für Auswirkungen mit fehlenden quantitativen Angaben wurden entsprechende Abschätzungen durchgeführt, sofern dies mit den heute verfügbaren Daten möglich ist. Datenlücken wurden aufgezeigt.

Vorgehen

In einem ersten Schritt wurde für verschiedene Umweltthemen evaluiert, welche Umweltfaktoren und damit verbundenen Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen relevant sind. Die Umweltthemen basieren grösstenteils auf der Umwelt-Berichterstattung des Bundes. Bei den Umweltfaktoren wurden sowohl Aspekte der natürlichen Umwelt (z. B. Pollen) als auch menschliche Aktivitäten (z. B. Verkehrslärm), die Einfluss auf die Gesundheit haben berücksichtigt. **Dabei steht die (unfreiwillige) Belastungssituation der Allgemeinbevölkerung im Vordergrund. Ausserordentliche Unfälle (z. B. mit Chemikalien) oder berufsbedingte Exposition und Auswirkungen sind nicht Gegenstand dieser Untersuchung.**

Grundlage für diese Arbeit waren Literaturrecherchen in verschiedenen wissenschaftlichen Literaturdatenbanken sowie Expertengespräche. Für alle als relevant eingestuft Zusammenhänge wurde anschliessend eine Gesamtevidenzbeurteilung der vorhandenen Studien vorgenommen (Tabelle 2). Dafür wurden hauptsächlich – sofern vorhanden – hochrangige systematische Literaturübersichten und Meta-Analysen beigezogen. Für alle aufgenommenen Umweltfaktoren und Gesundheitsauswirkungen wurde überprüft, ob für die Schweiz bereits qualitativ gute Abschätzungen zu den Gesundheitsauswirkungen auf Bevölkerungsebene sowie Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung vorliegen. Die Klassifizierung des Zusammenhangs zwischen Umweltfaktor und Gesundheit sowie der Expositions-Wirkungsbeziehung erfolgte anhand der Expertengespräche basierend auf dem heutigen Stand des Wissens und der aktuellen Expositionssituation in der Schweiz. Das bedeutet, dass auch bei bekannten schädlichen Umweltfaktoren die Evidenz für Gesundheitsauswirkungen allenfalls als unklar beurteilt wurde, wenn es keine robusten Studien gab, die belegen, dass die Bevölkerung in der Schweiz gesundheitsrelevanten Konzentrationen ausgesetzt ist. Für fehlende Abschätzungen zu den Gesundheitsauswirkungen („Health Impacts“) wurden entsprechende Abschätzungen durchgeführt, sofern dies mit den heute verfügbaren Daten möglich war, d.h. Effektschätzer, Expositionsverteilung und Krankheitshäufigkeit bekannt waren. Dabei wurde die Methode der attributablen Fälle verwendet. Das attributable Risiko gibt an, wie sich die Krankheitshäufigkeit verändert, wenn man die Exposition gegenüber dem entsprechen Faktor ausschalten würde. Wo hinsichtlich der Quantifizierung noch Lücken bestehen und Daten für eigene Abschätzungen fehlen, wurde eine grobe Aufwandschätzung für die Erhebung der Datenlücken vorgenommen.

Tabelle 2. Klassifizierung des Zusammenhangs

Klasse	Zusammenhang zwischen Umweltfaktor und Gesundheit	Exposition-Wirkungsbeziehung	Auswirkungen auf die Gesundheit sind quantifizierbar
1	Etabliert	bekannt	Ja (sofern Exposition bekannt)
2	Etabliert	Bekannt, jedoch mit grossen Unsicherheiten	Ja (sofern Exposition bekannt)
3	Wahrscheinlich	Grosse Unsicherheiten	nein
4	Möglich, mit Bias-Risiko	Hinweise bestehen mit grossen Unsicherheiten	nein
5	Unklar	unklar	nein

Übersicht Umweltthemen und Umweltfaktoren

Nr.	Thema	Umweltfaktor	Seite
1	Biodiversität	Verlust der Biodiversität	12
		Erhöhung der Biodiversität	13
		Pollen	14
		Neophyten (inkl. Aufrechte Ambrosie)	16
2	Chemikalien (in Boden, Wasser, Nahrung)	Pestizide	19
		Schwermetalle	21
		Arzneimittelrückstände	22
3	Klima	Hitzewellen	25
		Kältewellen	27
		Sandmücken	28
		Tigermücken	29
		Zecken	29
4	Landschaft und Wald	Grün- und Wasserflächen (Green & Blue Space)	31
		Langsam-Verkehrswege (Walkability & Bikeability)	34
5	Lärm	Verkehrslärm	38
		Industrie- und Gewerbelärm	40
		Schiesslärm (zivile und militärische Anlagen)	41
		andere Lärmquellen & Freizeitlärm	41
6	Luft	Feinstaub (PM ₁₀ , PM _{2.5} , ultrafeine Partikel) in der Aussenluft	44
		Ozon in der Aussenluft	49
		Stickstoffdioxid (NO ₂) in der Aussenluft	50
		Innenraumschadstoffe	51
7	Naturgefahren	Hochwasser, Murgänge, Rutschungen, Sturzprozesse	53
		Lawinen	53
8	Nicht-ionisierende Strahlung	Licht (künstliches Licht in der Nacht)	55
		UV-Strahlung	55
		niederfrequente Felder	58
		hochfrequente Felder	59
9	Ionisierende Strahlung	Radon	61
		natürliche Strahlung in der Umwelt (kosmisch, terrestrisch)	62
		künstliche Strahlung in der Umwelt und in der Nahrung	63

1 Biodiversität

Nr.	Umweltfaktor	Auswirkung	Klassifizierung des Zusammenhangs	Berechnung der Auswirkungen auf die Schweiz
1.1	Verlust der Biodiversität	Krankheiten durch Verbreitung von Krankheitserregern	5	nicht möglich
		Krankheiten durch Verlust von Möglichkeiten, neue Medikamente zu entwickeln	5	nicht möglich
		Anfälligkeit für Infektionen	5	nicht möglich
		Anfälligkeit für Krankheiten durch mangelnde Diversität des Mikrobioms	5	nicht möglich
1.2	Erhöhung der Biodiversität	Wohlbefinden durch Kontakt zur biologischen Vielfalt	5	nicht möglich
1.3	Pollen	Allergien	1	möglich
1.4	Neophyten (inkl. Aufrechte Ambrosia, Riesenbärenklau, Schmalblättriges Greiskraut)	Allergien und andere gesundheitsschädliche Wirkungen	1	Ambrosia: Angaben zu Allergieprävalenz bestehen

1.1 Verlust der Biodiversität

Vorhandene Daten zur Exposition

Gemäss dem Bericht über den Umweltzustand der Schweiz 2015 ist die Biodiversität in einem „unbefriedigenden Zustand“ (BAFU 2015f). Nasse und feuchte Lebensräume weisen besonders hohe Anteile an gefährdeten Arten auf. Der Anteil an gefährdeten Lebensraumtypen ist mit rund zwei Drittel am höchsten bei den Feuchtgebieten, gefolgt von den Gewässern, wo rund die Hälfte der Lebensraumtypen bedroht ist. Der Gefährdungsgrad von einheimischen Arten wird in Fachgutachten, den Roten Listen, dokumentiert. In den letzten 30 Jahren wurden in der Schweiz 10'350 Arten bewertet. 36% dieser Arten werden als bedroht eingestuft, von denen 3% bereits in der Schweiz ausgestorben sind (BAFU 2011). Der Rückgang der Biodiversität in der Schweiz ist gut dokumentiert. Eine Gesamtanalyse der Biodiversität in der Schweiz seit 1990 zeigt auf, dass die Biodiversität vor allem zwischen 1900 und 1990 stark abgenommen hat. Seit 1990 ist bei vielen Arten eine Verlangsamung der Bestandrückgänge sowie der Flächenverluste von einigen Lebensräumen zu beobachten. Durch Aufwertung oder Revitalisierung von Lebensräumen konnte lokal die Biodiversität erhöht werden (Lachat et al. 2010). Es wird davon ausgegangen, dass der Druck auf die Biodiversität durch den Klimawandel noch verstärkt wird (SCNAT 2016a).

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Aufgrund der grossen Komplexität wurde bisher die Schnittstelle zwischen biologischer Vielfalt und Gesundheit nur wenig untersucht. Allgemein trägt die biologische Vielfalt dazu bei, dass ausreichend Nahrungsmittel und Arzneimittel in guter Qualität vorhanden sind, sie trägt zur Luftqualität und sauberem Trink- und Badewasser bei, schützt vor dem Klimawandel, und beugt Naturgefahren vor (SCNAT 2016d; WHO & CBD 2015). In

Ökosystemen mit hoher Biodiversität besteht zudem ein Gleichgewicht zwischen Pathogenen und Wirten (Keesing et al. 2010). Der aktuelle Verlust an Arten und Lebensräumen führt zu einer Beeinträchtigung dieser Wirkungssysteme und Ökosystemleistungen und beeinträchtigt somit die Gesundheit. In welchem Ausmass wurde bisher nicht quantifiziert.

In den letzten Jahren erschienen vermehrt Studien zu Mikroorganismen und der Bedeutung des Mikrobioms auf die Gesundheit, insbesondere für Allergien. Studien deuten darauf hin, dass die Exposition zu einer mangelnden umweltmikrobiellen Vielfalt bei Kindern das Risiko eine Allergie zu entwickeln erhöht. Schweizer Studien zeigten, dass Kinder, die auf einem Bauernhof aufgewachsen sind, besser gegen Allergien und Asthma geschützt sind als andere Kinder. Es wird vermutet, dass (neben anderen möglichen Faktoren) die grössere mikrobielle Exposition im natürlichen Umfeld der Bauernkindern für das geringe Allergierisiko verantwortlich ist (Alfvén et al. 2006; Braun-Fahrlander 2013; Frei et al. 2014).

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Die Bedeutung der biologischen Vielfalt auf die Gesundheit wurde in der Schweiz im Rahmen des Swiss Forum on Conservation Biology SWIFCO 2016 „Macht Biodiversität gesund?“ diskutiert (SCNAT 2016d). Konkrete Aussagen zu den quantitativen Auswirkungen auf die Schweiz sind schwierig. Die Schliessung dieser Wissenslücke erscheint wichtig, ist jedoch aufgrund der komplexen und interdisziplinären Thematik mit grossem Aufwand verbunden. Die Zusammenhänge zwischen Biodiversität und Gesundheit betreffen unterschiedliche Fachbereiche und somit braucht es sektorenübergreifende Herangehensweisen. Am SWIFCO 2016 wurde das „One Health“ Konzept (www.onehealthinitiative.com) als möglicher Ansatz vorgeschlagen. Es steht für den Nutzen, welcher eine verstärkte Zusammenarbeit zwischen Veterinärmedizin und Humanmedizin mit sich bringt. Durch die gemeinsame Arbeit dieser Fachbereiche können Synergien genutzt und ein ökonomischer sowie gesundheitlicher Mehrwert erreicht werden (SCNAT 2016d).

1.2 Erhöhung der Biodiversität

Vorhandene Daten zur Exposition

Siehe Kapitel 1.1.

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Neben den in Kapitel 1.1 beschriebenen positiven Effekten einer intakten Biodiversität auf die Gesundheit wird auch ein positiver Zusammenhang mit dem psychischen Wohlbefinden vermutet. Der Einfluss der Biodiversität auf das subjektiv eingeschätzte Wohlbefinden wurde in verschiedenen internationalen Studien untersucht (z. B. Dallimer et al. 2012; Fuller et al. 2007; Marselle et al. 2015; Qiu et al. 2013). Im Schweizer Kontext zeigte eine Studie der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), dass ökologische Ausgleichsflächen als ästhetisch ansprechender empfunden werden, als intensiv bewirtschaftete Flächen (Junge et al. 2015). Es ist jedoch unklar, ob die Studienteilnehmer (meist Laien) überhaupt Flächen mit hoher Artenvielfalt und niedriger Artenvielfalt unterscheiden können. Somit gibt es keine einfach definierbare und direkte Exposition-Wirkungsbeziehung zwischen der Biodiversität und dem psychischen Wohlbefinden (Dallimer et al. 2012).

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Der direkte Einfluss der Artenvielfalt auf die mentale Gesundheit ist nicht eindeutig und es sind weitere Forschungsanstrengungen notwendig. Gemäss der Umweltpsychologin Nicole Bauer von der WSL erscheint es vor allem wichtig, die Bevölkerung verstärkt auf die Biodiversität zu sensibilisieren (SCNAT 2016d). Eine für die Schweiz relevante Frage ist inwiefern sich der Rückgang der reich strukturierten landwirtschaftlichen Kulturlandschaften

in den Berggebieten, bzw. die Zunahme an Anzahl Bäumen, bewaldeten Naturlandschaften und brachliegenden Wiesen sowie die gebietsweise Intensivierung der Landwirtschaft, auf das menschliche Wohlbefinden auswirkt. Diese historischen Landschaften weisen, im Gegensatz zu intensiv genutzten Landwirtschaftsflächen, eine hohe Biodiversität auf und sind wichtige Erholungsräume, die auch eine grosse Bedeutung für den Tourismus haben. Obwohl Studien zeigten, dass für Menschen aus dem urbanen Raum Wildnisgebiete eine wichtige Bedeutung für den Ausgleich zum technisierten, regulierten und geplanten Alltag darstellen (Bauer et al. 2004), führt ein hoher Grad an Naturbelassenheit bzw. Wildnis im Wald nicht automatisch zu einem besseren Wohlbefinden (siehe Kapitel 4.1). Das Projekt „Healthy Alps“ erforscht derzeit mit Beteiligung der WSL, ob und in welchem Ausmass die Biodiversität von alpinen Landschaften und deren regulierende Ökosystemleistungen mit der Gesundheit und dem Wohlbefinden des Menschen verbunden sind (WSL 2017). Für weitere Auswirkungen der Landschaft auf die Gesundheit siehe auch Kapitel 4 Landschaft und Wald.

1.3 Pollen

Vorhandene Daten zur Exposition

MeteoSchweiz betreibt ein nationales Pollenmessnetz. Es umfasst 14 Messstationen, welche die wichtigsten Klima- und Vegetationsräume der Schweiz berücksichtigen. Die 20-jährigen Pollenmessungen zeigen bei einigen Pflanzen eine zeitliche Verschiebung der Pollensaison (Birken, Eschen, Gräser) sowie eine Verlängerung der Pollensaison (vor allem bei Gräser- und Kräuterpollen). Zudem wurde in der Schweiz bei einigen der 14 Messstationen eine höhere Pollenmenge als noch vor 20 Jahren festgestellt (Gehrig 2016). Das Klima hat einen wichtigen Einfluss auf den Beginn und die Dauer der Pollensaison sowie die Intensität der Blüte. So hat beispielsweise eine Analyse von Birkenpollendaten aus Basel gezeigt, dass die Pollensaison aufgrund des Temperaturanstiegs während der Zeitperiode 1969-2006 um 15 Tage früher im Jahr beginnt (Frei & Gassner 2008a). Weiter wird angenommen, dass Klimaveränderungen zu einer Erhöhung der Pollenproduktion führen können, wobei die Tage mit sehr hohen Konzentrationen zunehmen (Ziello et al. 2012). Für Personen mit Heuschnupfen und Asthma bedeuten diese Entwicklungen eine Verlängerung und Verstärkung der Beschwerdezeit.

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Der Zusammenhang zwischen Pollenkonzentrationen in der Luft und dem Auftreten allergischen Reaktionen gilt als erwiesen. Die Mindestkonzentration von Gräserpollen pro Kubikmeter Luft, die bei Allergikern zu mittleren bis schweren Symptomen führen kann beträgt 50 Pollen/m³ (MeteoSchweiz und aha! Allergiezentrum Schweiz 2016).

Während die Auswirkungen von Pollen auf Allergien gut erforscht sind, weiss man relativ wenig über den Einfluss der Luftpollenkonzentration auf andere Krankheiten. Es gibt Hinweise dafür, dass hohe Pollenkonzentrationen kurzfristig die Mortalität erhöhen. Eine vielbeachtete Studie aus den Niederlanden hat Mortalitätsdaten von 1986 bis 1994 mit Pollenkonzentrationen verglichen und hat für Gräserpollen (*Poaceae*) ab Konzentrationen (7-Tage Mittelwert vor Todesfall) von 22 m⁻³ signifikante Zusammenhänge mit der Gesamtmortalität sowie für Mortalität aufgrund Lungenentzündung, kardiovaskulären Ursachen und chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD) gefunden (RR und 95% KI für Gesamtmortalität für Konzentrationen 22-77 m⁻³: 1.019 (1.010-1.028); für Konzentrationen 78-135 m⁻³: 1.019 (1.008-1.031); für Konzentrationen >135 m⁻³: 1.043 (1.028-1.058)) (Brunekreef et al. 2000). Für die Schweiz sind keine solchen Daten vorhanden.

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Gemäss Angaben des AHA! Allergiezentrum Schweiz leiden rund 1.2 Millionen Menschen, also etwa 15-20% der Bevölkerung an einer Pollenallergie (Gehrig 2016). Etwa 30% der Patienten mit einer Pollenallergie entwickeln ein Pollenasthma (Ballmer-Weber & Helbling

2017). Die Krankheitslast (Burden of Disease) von Heuschnupfen (allergic rhinitis) wird relativ hoch eingeschätzt, da sich eine Pollenallergie auch negativ auf das Wohlbefinden (allgemeines Krankheitsgefühl, Schwäche, mentale Gesundheit, Leistungsminderung) auswirken kann. Übersichtsstudien haben gezeigt, dass die jährlichen direkten (Pflege von Patientinnen und Patienten) und indirekten Kosten (Arbeitsausfälle, reduzierte Produktivität) von Heuschnupfen mindestens 6 Millionen Dollar betragen (Blais 2007).

In den vergangenen Jahren wurde weltweit eine Zunahme von Asthma und Heuschnupfen festgestellt. Die Gründe dafür sind nach heutigem Kenntnisstand eher anderen Faktoren (Zunahme Luftverschmutzung, reduzierte Mikrobenbelastung) als klimabedingten Veränderungen des Pollenflugs zuzuweisen (Frei & Gassner 2008b). Resultate der SAPALDIA-Studie von 2001 zeigen (7'667 befragte Personen), dass rund 13% der Männer und 15% der Frauen über 60 Jahre alt an Heuschnupfen leiden. Bei Personen von 18-60 Jahren waren es 22% bei Männern und 25% bei Frauen (Wüthrich et al. 2013). Eine Untersuchung von Heuschnupfensymptomen in Schulkindern von fünf bis sieben Jahren in der Schweiz von Grize et al. (2006) kam jedoch zum Schluss, dass die Prävalenz von Heuschnupfen in den letzten Jahren stabil geblieben ist. In den Jahren 1992, 1995, 1998 und 2001 hatten 5 bis 6% der jeweils zwischen 1'000 und 1'800 untersuchten Kinder allergische Reaktionen (z. B. Niesen) während der Pollensaison.

Wie sich ein wärmeres Klima auf das Vorkommen von Pollenallergien, auf die Symptomprävalenz sowie auf die Blüte der Pflanzen auswirken wird, bleibt unklar (siehe auch Kapitel 3). Die Studien über den Zusammenhang zwischen Symptomen und Pollenflug zeigen noch etwas widersprüchliche Resultate. Bei einigen ist die Stärke der Symptome sehr gut mit der Intensität des Pollenflugs korreliert (je höher umso stärkere Symptome), andere Studien zeigen ab einer bestimmten Pollenkonzentration ein Plateau, ab dem die Symptome nicht mehr zunehmen (z. B. Grize et al. 2006). Folgende weitere Datenlücken bestehen:

- Lücken gibt es im Verständnis des Allergengehalts der Pollen. Dieser schwankt von Tag zu Tag oder von Jahr zu Jahr sehr stark. Das Projekt HIALINE (<http://www.hialine.eu>) hat während der Projektdauer (2009-2011) den Allergengehalt der Pollen an verschiedenen Orten gemessen. Die Ursachen für die starken Schwankungen des Allergengehalts sind noch unklar. Es wird vermutet, dass Luftschadstoffe dabei eine wichtige Rolle spielen (Olaniyan et al. 2016). Im Detail nicht verstanden sind auch wie sich der Allergengehalt auf die Symptome der Allergiker auswirkt. Im Allgemeinen ist jedoch die Korrelation zwischen dem Allergengehalt in der Luft und der gemessenen Pollenkonzentration sehr gut.
- Unklar ist, ob sich die Leute auf neue Allergene sensibilisieren werden, z.B. bei der potenziellen Zunahme von mediterranen allergenen Pflanzen wie z.B. Parietaria, Oleaceae (Olive – Kreuzreaktion mit der Esche, deshalb Symptome zu erwarten), Zypresse, oder Platane.
- Verbesserungspotential besteht bei den Pollenprognosen für die Bevölkerung. Das Pollenmessnetz von MeteoSchweiz besteht aus volumetrischen Pollenfallen. Die Auswertung erfolgt manuell und die gemessenen Pollenkonzentrationen sind immer erst mit Verspätung vorhanden, da die Messtrommel nur einmal pro Woche gewechselt wird. MeteoSchweiz plant deshalb den Einsatz von automatischen Messgeräten. In einer Machbarkeitsstudie konnte gezeigt werden, dass ein Messsystem, das auf Laserstreuung und Fluoreszenz basiert, für die Pollenmessung einsetzbar ist. Die Vorteile solcher Messgeräte wären die Automatisierung, die Echtzeitüberwachung und eine höhere Qualität (MeteoSchweiz 2017b).

Die Auswirkungen von hohen Pollenkonzentrationen auf die Sterblichkeit oder auf Hospitalisierungen in der Schweiz könnte retrospektiv anhand Modellierungen der täglichen Pollenkonzentrationen in der Luft mithilfe Daten des Schweizer Pollenmessnetzes von MeteoSchweiz sowie Mortalitätsdaten und Anzahl Spitaleinweisungen untersucht werden. Dies würde auch Aussagen über die Auswirkungen der prognostizierten Verlängerungen und Intensivierung der Pollensaison erlauben.

1.4 Neophyten

Vorhandene Daten zur Exposition

Als Neophyten werden gebietsfremde Pflanzen bezeichnet, die absichtlich oder unabsichtlich vom Menschen ausserhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebiets eingebracht wurden. Einige Neophyten gelten in der Schweiz als invasiv. Diese können neben ökonomischen und ökologischen Schäden auch Gesundheitsprobleme beim Menschen verursachen und werden daher systematisch bekämpft. Zu den besonders gefährlichen invasiven Neophyten gehört *Ambrosia artemisiifolia*, das Aufrechte Traubenkraut. Die Pflanze kommt ursprünglich aus Nordamerika, breitet sich nun jedoch auch in Europa aus. Die Ausbreitung von *Ambrosia* in der Schweiz wird durch Info Flora im Rahmen des nationalen Daten- und Informationszentrum zur Schweizer Flora im Auftrag des BAFU dokumentiert. Die Pflanze wurde lokal in der ganzen Schweiz nachgewiesen, ist aber am häufigsten im Genferseegebiet und im Tessin (Info Flora 2012a). In der Schweiz besteht eine Melde- und Bekämpfungspflicht. Die Pollenbelastung wird von MeteoSchweiz an 14 Messstationen gemessen. Zur Überwachung der *Ambrosia*-Pollen werden zusätzliche Messstationen unterhalten. In Genf werden beispielsweise im 20-jährigen Schnitt sechs Tage mit starkem *Ambrosia*-Pollenflug gemessen. Im Jahr 2015 waren es deren acht Tage mit Konzentrationen bis über 70 Pollen pro Kubikmeter Luft (MeteoSchweiz 2015).

Als weitere invasive gebietsfremde Neophyten mit besonders gesundheitsschädlicher Wirkung gelten in der Schweiz der Riesenbärenklau (*Heracleum mantegazzianum*) sowie das Schmalblättrige Greiskraut (*Senecio inaequidens*). Der Riesenbärenklau stammt ursprünglich aus dem Kaukasus, ist heute jedoch in Europa weit verbreitet. Auch in der Schweiz verbreitet sich der Riesenbärenklau schnell (Info Flora 2012b; Nielsen et al. 2005). Das schmalblättrige Greiskraut ist endemisch in Südafrika und ist mittlerweile auch in Süd- und Westeuropa weit verbreitet. In der Schweiz wurde die Pflanze landesweit entlang von Autobahnen und Bahnlinien sowie im Tessin und in der Westschweiz gefunden (Info Flora 2012c).

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Ambrosia kann heftige Allergien verursachen. Sowohl durch die Pollen als auch durch Hautkontakt mit dem Blütenstand. Die stark allergenen Pollen von *Ambrosia* können bei Allergikern schwere heuschnupfenartigen Symptome oder Asthma auslösen (BAG 2005; Info Flora 2012a). Die Mindestmenge von Pollen, die allergische Reaktionen auslösen können ist bei der *Ambrosia* sehr klein. Symptome treten schon ab 5 bis 10 Pollen pro Kubikmeter Luft auf (Tamarcaz et al. 2005), 11 Pollen/m³ gelten als starke Belastung. Im Vergleich, die Mindestmenge bei Gräserpollen für mittlere und schwere Reaktionen beträgt 50 Pollen/m³ (MeteoSchweiz & aha! Allergiezentrum Schweiz 2016). Eine Studie mit 31 auf *Ambrosia* allergischen Personen aus Frankreich und der Schweiz hat die allergischen Symptome und Pollenbelastungen während zwei Jahren untersucht. Folgende Odds Ratios (OR) mit 95% Konfidenzintervall (KI) pro 10 Pollen/m³ Zunahme wurden für das Jahr 2010 publiziert: Symptome der Augen 1.05 (1.02-1.07) sowie Symptome der Nase 1.04 (1.00-1.07) an Arbeitstagen und 1.25 (1.06; 1.46) während Wochenenden (Caillaud et al. 2014). Da die Blütezeit der *Ambrosia* relativ spät im Jahr stattfindet (August und September) verlängert sich die jährliche Pollensaison für Allergiker ausserdem um rund zwei Monate (Info Flora 2012a).

Die im Saft des Riesenbärenklau enthaltenen Furocoumarine entfalten nach einer Berührung der Pflanze zusammen mit Sonnenlicht eine ausgeprägte phototoxische Wirkung. Diese führt zu Hautentzündungen mit starker Blasenbildung. Als mögliche Nebenwirkungen werden Fieber, Schweissausbrüche und Kreislaufstörungen genannt (Info Flora 2012b).

Das schmalblättrige Greiskraut enthält stark giftige sekundäre Pflanzenstoffe (Pyrrolizidinalkaloide). Sie stellen eine Gefahr für die Gesundheit von Nutztieren und indirekt (über Nahrungsmittel wie Fleisch, Milch, Honig) auch für den Mensch dar. Das Bundesinstitut für Risikobewertung Deutschland empfiehlt, dass eine Tageszufuhr von 0,007 Mikrogramm

ungesättigter Pyrrolizidinalkaloide pro Kilogramm Körpergewicht nicht überschritten werden sollte (BfR 2011).

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Der Zusammenhang zwischen *Ambrosia* und allergischen Reaktionen ist erwiesen. An der Grenze zu Frankreich und Italien leiden in der Schweiz bis zu 12% der Bevölkerung an Asthma oder Heuschnupfen aufgrund von *Ambrosia*-Pollen (Tamarcaz et al. 2005). Kreuzreaktionen mit anderen Pflanzen oder Lebensmitteln sind häufig (MeteoSchweiz & aha! Allergiezentrum Schweiz 2016). Blutuntersuchungen von 5'823 Personen aus acht Regionen in der Schweiz im Jahr 2002 haben ergeben, dass 7.9% der Studienteilnehmerinnen und Studienteilnehmer auf Pollen von *Ambrosia* sensibilisiert sind. Ein Vergleich mit Daten von den gleichen Personen von 1991 ergab keine signifikante Zunahme der Sensibilisierungsrate (Ackermann-Lieblich et al. 2009). Eine genauere Abschätzung der Gesundheitsauswirkungen von *Ambrosia* wäre relativ aufwendig, da es sich um akute Reaktionen handelt und somit die Expositionsdaten räumlich und zeitlich aufbereitet werden müssten.

Trotz Melde- und Bekämpfungspflicht von *Ambrosia*, könnte sich die Pflanze in Zukunft – begünstigt durch den Klimawandel – weiter verbreiten (vgl. Kapitel 3). Unklar ist, welchen Einfluss die kürzlich eingeschleppte Käferart *Ophraella communa* (bis jetzt erst im Tessin nachgewiesen) auf die Bestände der *Ambrosia* haben werden. Dieser Käfer ernährt sich vorzugsweise von *Ambrosia* und hat sich seit 2013 auch im Tessin etabliert. In der Poebene konnte ein Rückgang der *Ambrosia*-Pollenbelastung durch den Käfer nachgewiesen werden (Bonini et al. 2015).

Im Zusammenhang mit Riesenbärenklau erhielt ToxInfo Schweiz im Zeitraum 1997 bis 2015 33 ärztliche Rückmeldungen (16 leichte, 14 mittelschwere und 2 schwere Vergiftungserscheinungen) (Faber et al. 2016). Pro Jahr ergibt das etwas weniger als zwei Meldungen. Die gesundheitlichen Auswirkungen wegen dem schmalblättrigen Greiskraut sind noch nicht erfasst und aufgrund der noch nicht abschätzbaren Ausbreitung nicht quantifizierbar. Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS) hat im Rahmen der nationalen Gefährdungsanalyse ein Gefährdungsdossier zu *Senecio inaequidens* erstellt und für ein mögliches Ausbreitungsszenario Gesundheitsauswirkungen abgeschätzt. Auswirkungen auf die Gesundheit fallen entsprechend der weiteren Ausbreitung und Bekämpfung der Pflanze unterschiedlich aus. Für den Fall eines Extremszenarios geht das BABS von sechs Todesfällen und einer nicht quantifizierten hohen Anzahl von leichten Vergiftungen aus. Die wirtschaftliche Einbusse eines Extremszenarios wird mit 1 Mia CHF veranschlagt (BABS 2015).

1.5 Fazit

Der Einfluss der Biodiversität auf die Gesundheit ist sehr komplex und bisher wenig untersucht. Direkte Auswirkungen betreffen wohl in erster Linie das Wohlbefinden und die mentale Gesundheit. Zusätzlich gibt es aber eine Vielzahl von möglichen indirekten Wirkungen. Beispielsweise bestimmt die Artenzusammensetzung die Verbreitung und das Pollengemisch in der Luft mit entsprechenden Konsequenzen für Allergiker. Auch die Problematik der Neophyten ist für einige Arten wie *Ambrosia* oder Bärenklau gut dokumentiert.

Die Herausforderung in diesem Bereich sind Vorhersagen von zukünftigen Entwicklungen, die durch den Mensch verursacht werden. Sowohl der Klimawandel wie auch die Invasion von (neuen) gebietsfremden Arten werden die Biodiversität beeinflussen. Diese Entwicklungen sind aber mit grossen Unsicherheiten behaftet. Noch grösser ist darum die Unsicherheit für die zukünftigen Auswirkungen auf die Gesundheit.

2 Chemikalien (in Boden, Wasser, Nahrung)

Nr.	Umweltfaktor	Auswirkung	Klassifizierung des Zusammenhangs	Berechnung der Auswirkungen auf die Schweiz
2.1	Pestizide	Schädigung des Nervensystems	3	nicht möglich
		Fortpflanzung	3	nicht möglich
		Neurologische Störungen	3	nicht möglich
		Schwächung des Immunsystems	3	nicht möglich
		Krebs	3	nicht möglich
2.2	Schwermetalle	Schädigung des Nervensystems	3	nicht möglich
		Fortpflanzung	3	nicht möglich
2.3	Arzneimittelrückstände	Antibiotikaresistenzen	3	nicht möglich
		Fortpflanzung (endokrine Wirkung)	3	nicht möglich

Chemische Schadstoffe finden sich in allen Umweltkompartimenten (Boden, Wasser, Luft) und auch in Lebewesen. Rund 20'000 Stoffe werden in der Schweiz hergestellt und eine Vielzahl von Chemikalien finden hierzulande Anwendung in der industriellen Produktion im Haushalt, im Gartenbau oder in der Landwirtschaft (BAFU 2015b). Aufgrund der Vielzahl von chemischen Stoffen in der Umwelt ist es praktisch unmöglich für jeden einzelnen Stoff die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit im Detail zu diskutieren. Im vorliegenden Bericht werden daher nur Stoffgruppen (Pestizide, Schwermetalle und Arzneimittelrückstände) erwähnt, die bisher am meisten untersucht worden sind. Chemische Schadstoffe in der Luft werden im Kapitel 6 beschrieben. Damit fehlen in diesem Bericht beispielsweise organische Verbindungen, sofern es sich nicht um Pestizide handelt. Beispielsweise sind polychlorierte Biphenyle, die hauptsächlich von Transformatoren, elektrischen Kondensatoren und Hydraulikanlagen in den Boden gelangen, erwiesenermassen gesundheitsschädlich (krebserregend und neurotoxisch) (Rösli 2011). Auch innerhalb der diskutierten Stoffgruppen werden im Folgenden nur die wichtigsten gesundheitlichen Auswirkungen ohne Anspruch auf Vollständigkeit diskutiert.

Für viele Stoffe liegen Verordnungen für den Umgang und die Freisetzung vor, viele Chemikalien sind aber noch nicht oder nur ungenügend geprüft. Um die Auswirkungen von chemischen Stoffen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit abzuschätzen sind neben Angaben zu den ökotoxikologischen Risiken für Organismen auch Kenntnisse der Umweltbelastung, Exposition und dem Verhalten der Stoffe in der Umwelt notwendig. Aufgrund der Tatsache, dass es sich oftmals um Langzeitexpositionen bei meist niedrigen Schadstoffkonzentrationen handelt, sind Zusammenhänge zwischen dem Vorkommen von Stoffen und den gesundheitlichen Auswirkungen schwierig zu belegen. Bisher werden nur wenige chemische Schadstoffe anhand nationaler Messnetze kontinuierlich beobachtet (Nationale Daueruntersuchung der Fliessgewässer NADUF, Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe NABEL, Nationale Grundwasserbeobachtung NAQUA und Nationale Bodenbeobachtung NABO in Fliessgewässern, Grundwasser und Boden). Vereinzelt werden Punktmessungen durchgeführt, die Aussagen zu aktuellen Belastungssituationen erlauben (BAFU 2015b). Sogenannte Human Biomonitoring-Studien ermöglichen Aussagen zur direkten Belastungssituation der Bevölkerung, die durch die Exposition zu Schadstoffen in Wasser, Luft, Boden und Nahrung entsteht. Solche Studien messen die Konzentration von chemischen Substanzen und deren Stoffwechselprodukten in Körperflüssigkeiten wie beispielsweise im Urin, in den Haaren, in der Muttermilch oder im Blut (Probst-Hensch 2016).

2.1 Pestizide

Vorhandene Daten zur Exposition

Der Begriff *Pestizid* beinhaltet sämtliche chemische Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel. Letztere werden auch als Biozidprodukte bezeichnet. Pflanzenschutzmittel werden hauptsächlich zur Sicherung der Erträge und der Qualität der Erntegüter in der Landwirtschaft eingesetzt. Sie werden jedoch auch ausserhalb der Landwirtschaft (professioneller und privater Gartenbau, Waldwirtschaft) verwendet. In der Schweiz werden schätzungsweise pro Jahr über 2'000 Tonnen Pflanzenschutzmittelwirkstoffe in die Umwelt ausgebracht (Bosshard 2016). Glyphosat ist der meistverkaufte Herbizidwirkstoff. Gemäss dem Bundesamt für Landwirtschaft werden in der Schweiz jährlich rund 300 Tonnen Glyphosat eingesetzt (Liner & Roberts 2015).

Die in Pflanzenschutzmitteln oder Bioziden enthaltenen biologisch wirksamen Stoffe können negative Auswirkungen auf Nichtzielorganismen sowie den Menschen und die Tiere haben. Ebenso können Rückstände im Erntegut und nachfolgend in den Nahrungsmitteln ein Risiko für den Menschen darstellen. Rückstände und Abbauprodukte von Pestiziden gelangen durch Ab- und Auswaschung sowie Abschwemmung in Oberflächengewässer oder ins Grundwasser und so ins Trinkwasser (WBF 2016). Damit können Pestizide auch über den Konsum von Trinkwasser vom Menschen aufgenommen werden.

In den letzten Jahren haben verschiedene Messungen in Fliessgewässern und im Grundwasser Pestizide nachgewiesen. Eine Untersuchung im Rahmen der Nationalen Beobachtung der Oberflächengewässerqualität (NAWA) im Jahr 2012 hat in Proben von fünf Fliessgewässern 104 verschiedene Pestizide, hauptsächlich Pflanzenschutzmittel, nachgewiesen. Die Konzentrationssumme war in 78% der Proben grösser als 1'000 ng/l. Dabei wurden die Anforderungswerte der Gewässerschutzverordnung von 31 verschiedenen Pestiziden überschritten (Wittmer et al. 2014). Von März bis August 2015 wurde die Wasserqualität von fünf Schweizer Fliessgewässern mit stark landwirtschaftlich genutztem Einzugsgebiet systematisch untersucht. Die Resultate zeigen, dass die Pestizidbelastung in diesen kleinen Bächen hoch ist und ein akutes Risiko für die Wasserlebewesen darstellen. In 80% der rund 1'800 Proben wurde die Anforderung der Gewässerschutzverordnung ($\leq 0.1 \mu\text{g/L}$) von mindestens einem Pflanzenschutzmittelstoff nicht eingehalten. In einigen Proben waren die Konzentrationen von Einzelstoffen bis $40 \mu\text{g/L}$ hoch (Doppler et al. 2017; Langer et al. 2017).

Auch Befunde von Grundwasserproben haben ergeben, dass pro Jahr an rund 2% der Messstellen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA der Anforderungswert von $0.1 \mu\text{g/l}$ durch Pflanzenschutzmittel überschritten wird (BAFU 2015f). Gemäss einem Bericht des Bundes zu den Risiken von Pflanzenschutzmitteln im Trinkwasser, wird jedoch das gesundheitliche Risiko für den Menschen aufgrund des Konsums von Trinkwasser, das aus Oberflächengewässern oder Grundwasser aufbereitet wird, als vernachlässigbar eingeschätzt (WBF 2016).

Die erlaubten Höchstkonzentrationen von Pflanzenschutzmitteln in Lebensmitteln in der Schweiz werden meist eingehalten. Die Beanstandungsquoten der kantonalen Vollzugsbehörden ist mit $<4\%$ bei Produkten aus der Schweiz und der EU tief (WBF 2016). Eine Konsumentenorganisation hat im Jahr 2015 Urinproben von 40 Personen in der Schweiz auf Rückstände des Pestizids Glyphosat untersucht. In der Hälfte der Proben wurden Konzentrationen von 0.2 bis $0.9 \mu\text{g/L}$ des Unkrautvernichters festgestellt (Marti 2015). Die gefundenen Werte liegen unter der in der Schweiz und in der EU geltenden gesundheitlichen Belastungsgrenze von 0.3 mg pro Kilogramm Körpergewicht (BLV 2016).

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Die Toxizität wird in Laborstudien mithilfe verschiedener Organismen ermittelt. Um die Bevölkerung vor gesundheitsschädlichen Auswirkungen bei lebenslänglicher Exposition zu schützen, wird basierend auf Langzeitstudien an Tieren für Pestizide eine akzeptierbare tägliche Aufnahmemenge bestimmt (Acceptable Daily Intake; ADI). Die chemischen

Rückstände von zugelassenen Pflanzenschutzmitteln müssen somit unter diesen Belastungsgrenzen gehalten werden (Zarn & Engeli 2014).

Während die gesundheitlichen Auswirkungen akuten Vergiftungen beim Menschen gut dokumentiert sind, sind Studien an Menschen zu langfristigen Pestizidexpositionen im Niedrigdosisbereich mit Unsicherheiten behaftet. Internationale Studien haben Hinweise gefunden, dass eine chronische Exposition gegenüber einigen Pestiziden neurologische Krankheiten verursachen (Muñoz-Quezada et al. 2013; Ross et al. 2013) das Immunsystems schwächen (Corsini et al. 2013) sowie das Nervensystem schädigen können (Alavanja et al. 2004; Kim et al. 2017). Zudem haben Pestizide das Potential, den Hormonhaushalt zu beeinflussen (Rattan et al. 2017), was zum Beispiel zu Störungen in der Embryonal- und Fötus-Entwicklung führen kann (Lichtensteiger et al. 2016) oder möglicherweise die männliche Fertilität beeinträchtigt (Roeleveld & Bretveld 2008). Einige Pestizide stehen im Verdacht krebserregend zu sein. Unklar ist jedoch, welche Inhaltsstoffe von Pestiziden als krebserregend gelten (Blair et al. 2014). Die internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) hat bisher eine Reihe von Bioziden als möglicherweise, wahrscheinlich oder erwiesenermassen kanzerogen eingeschätzt (arsenhaltige Pestizide, DDT, Polychlorphenole, Hexachlorbenzol). Im März 2015 hat sie für einige Pestizide eine Aktualisierung durchgeführt. Dabei hat sie das Insektizid Lindan als erwiesenermassen kanzerogen sowie das Insektizid Diazinon und das Herbizid Glyphosat als „wahrscheinlich krebserregend“ eingestuft (IARC 2015). Das IARC bezieht sich dabei auf das kanzerogene Gefährdungspotential unabhängig der Dosis. Gemäss Beurteilungen der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) sowie der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) sei es jedoch unwahrscheinlich, dass beim Einsatz nach den gesetzlichen Vorgaben Glyphosat über die Ernährung ein Krebsrisiko für den Menschen darstelle (ECHA 2017; EFSA 2015).

Neben der menschlichen Gesundheit sind ökotoxische Auswirkungen für die Umwelt relevant. Solche wurden beispielsweise in einer kürzlich erschienenen Studie der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) für kleine Fliessgewässer in der Schweiz dokumentiert (Langer et al. 2017).

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Das gesundheitliche Risiko für den Menschen ergibt sich aus der Toxizität der Stoffe und der Höhe der kumulativen Exposition. Das Ausmass der Exposition ist schwierig abzuschätzen, da verschiedene Faktoren eine Rolle spielen. Inwiefern die Bevölkerung mit Pflanzenschutzmitteln in Kontakt kommt ist abhängig von der Ausbringungsmenge, dem Anwendungszeitpunkt, der Anwendungstechnik, der Kultur, der Bodenbeschaffenheit und der physikalisch-chemischen Eigenschaften der eingesetzten Stoffe (WBF 2016). Über die Chemikalienbelastung der Schweizer Bevölkerung ist wenig bekannt (Morand Bourqui 2016). Verschiedene Studien und Aktionspläne sind in Planung um die Einschätzung des Risikos von Pestizidrückständen in Lebensmitteln zu aktualisieren. Eine Pilotstudie unterstützt vom Bundesamt für Gesundheit (BAG) soll die Durchführbarkeit eines nationalen Biomonitoring Programms prüfen. Ein solches Programm soll genauere Aussagen zum Gesundheitszustand (auch mithilfe biologischer Probenahmen) und Exposition gegenüber Chemikalien ermöglichen (Morand Bourqui 2016). Zudem wird ein Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln erarbeitet (zur Erfüllung des Postulates 12.3299). Der Aktionsplan schlägt unter anderem vor, dass zusätzlich zu den kantonalen Kontrollen von Lebensmitteln die Exposition und Gesundheitsrisiken von Pflanzenschutzmitteln mittels eines nationalen Monitorings überwacht werden sollen. Es soll auch die kumulative Exposition von Mehrfachrückständen von Pflanzenmitteln evaluiert werden. Es wird vermutet, dass die Rückstände von mehreren Stoffen die toxische Gesamtwirkung noch verstärken (WBF 2016). Ferner hat der Bundesrat am 27.01.2016 aufgrund eines vom Nationalrat eingereichten Postulats beschlossen, eine Studie durchzuführen, die aufzeigt, auf welchen Wegen Rückstände von Glyphosat in Lebensmittel gelangen und wie häufig solche in der täglichen Nahrung vorkommen (<https://www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaeft?AffairId=20154084>).

2.2 Schwermetalle

Vorhandene Daten zur Exposition

Weltweit am problematischsten für die Gesundheit gelten Blei, Arsen und Quecksilber. Die Auswirkungen dieser Schwermetalle auf die Morbidität und Mortalität wurde in zahlreichen epidemiologischen Studien aufgezeigt. Aber auch Cadmium, Cobalt, Zink und Aluminium können negative Auswirkungen auf die Gesundheit haben (Mamtani et al. 2011). Schwermetalle können direkt (via Luft, Wasser, Boden) oder über Nahrungsmittel aufgenommen werden. Die Bleikonzentrationen in der Luft konnte in der Schweiz durch das Verbot von bleihaltigen Kraftstoffen stark gesenkt werden (BAFU 2015f).

Schwermetallkonzentrationen im Boden werden von der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) mit Hilfe eines Referenzmessnetzes erhoben (BAFU 2017). Seit Beginn der Messungen in 1985 haben die Belastungen von Quecksilber und – etwas weniger ausgeprägt – von Blei deutlich abgenommen. Die Zink- und Kupferbelastungen im Schweizer Acker- oder Grasland nehmen jedoch tendenziell zu (BAFU 2015c). Verschiedene Bodenanalysen zeigen jedoch, dass die Schwermetallbelastungen in Böden der Siedlungsgebiete problematisch sein können und somit ein gesundheitliches Risiko für Mensch und Tier darstellen. So wurden beispielsweise in der Stadt Freiburg in den Jahren 2011 bis 2015 in 53 von 80 untersuchten Parzellen gesundheitsrelevante Schwermetallbelastungen gefunden (AfU 2016). Mediale Aufmerksamkeit erlangte die im Jahr 2011 entdeckten Quecksilberbelastungen im Raum des Grossgrundkanals im Kanton Wallis, die auf industrielle Abwässer zurückzuführen sind. Umfangreiche Bodenuntersuchungen (rund 4'000 Bodenproben) ergaben in 71 der untersuchten Parzellen im Siedlungsgebiet Quecksilberkonzentrationen über dem Sanierungswert (2 mg Quecksilber pro kg Boden) (Luttenbacher 2015).

In Schweizer Fliessgewässern wird aufgrund von Verbesserungen bei den Kläranlagen und Sanierungen von metallverarbeitenden Betrieben eine Abnahme der Schwermetallbelastung beobachtet. Als Indikator für die Schadstoffe, die von der Industrie in die Umwelt gelangen, wird in der Schweiz die Freisetzung von Zink in Gewässer erhoben. Die Daten stammen aus dem Schadstoffregister SwissPRTR (Pollutant Release and Transfer Register). Seit dem Jahr 2010 ist eine Abnahme der Schadstofffreisetzung in Wasser zu beobachten. Im Jahr 2010 wurden rund 6500 kg Zink in Wasser freigesetzt, im Jahr 2013 noch annähernd 3700 (BAFU 2016b).

Insgesamt ist die Datenlage zur Exposition der Bevölkerung gegenüber Schwermetallen dürftig. In einer Pilotstudie wurden in Gemüsearten, welche Quecksilber akkumulieren, nur geringe Konzentrationen gefunden. Die Quecksilberwerte lagen deutlich unter den Konzentrationen, die gelegentlich in Raubfischen (z. B. Schwertfisch und Marlin) gemessen werden und wurden daher als gesundheitlich nicht bedenklich eingestuft. Etwas höhere Konzentrationen wurden bei wilden Steinpilzen gemessen. Dort lag das Quecksilber aber überwiegend in der anorganischen und damit weniger toxischen Form vor (Reber & Pacciarelli 2016).

Im Rahmen des Pilotprojektes *DEMOCOPHES Human Biomonitoring Survey* wurden zwischen 2010 und 2012 Daten zur Cadmium- und Quecksilberbelastung der Bevölkerung in 17 europäischen Ländern, darunter die Schweiz, erhoben. Das Ziel der Studie war es, Studienprotokolle für die Sammlung von europaweit vergleichbaren Biomarker zu entwickeln und zu prüfen. In jedem Land wurden Urinproben und Haarproben von 120 Mutter-Kind-Paaren gesammelt. Die Urinproben wurden zusätzlich auf Cotinin und verschiedene Phthalatmetaboliten untersucht (BAG 2012; Smolders et al. 2015). Die gemessenen Cadmiumkonzentrationen im Urin (geometrisches Mittel (Min - Max)) bei den Kindern (6 bis 11 Jahre alt) betrug 0.08 µg/L (0.04-0.24) und bei den Müttern 0.19 µg/L (0.04-0.91). Die Quecksilberkonzentrationen in den Haaren der Kinder war 0.08 µg/g (0.01-0.95) und bei ihren Müttern 0.16 µg/g (0.01-1.33). Die Resultate dieser nicht repräsentativen Stichprobe zeigen keine gesundheitsrelevante Schadstoffbelastung in Bezug auf Cadmium, Quecksilber und die Phthalatmetabolite auf (BAG 2012).

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Für die Schweiz bestehen – ähnlich wie bei den Pestiziden – Unklarheiten betreffend der Belastung der Bevölkerung mit Schwermetallen sowie den gesundheitlichen Auswirkungen im Niedrigdosisbereich. Die Abschätzung der Dauer, des Zeitpunkts und des Ausmasses der Exposition durch Schwermetalle in Boden, Wasser und Nahrung ist komplex und entsprechend gibt es grosse Unsicherheiten in den gesundheitlichen Wirkungen (Holmes et al. 2009) (Holmes et al. 2009). Es wird daher im Folgenden nur auf die wichtigsten möglichen Gesundheitseffekte von einigen Schwermetallen hingewiesen.

Für Blei ist schon seit 70 Jahren bekannt, dass es insbesondere in der Entwicklungsphase neurotoxisch wirkt (Röösli 2011). Eine untere Schwelle ohne gesundheitliche Auswirkungen hat sich bisher nicht etabliert. Für chronische, tiefe Belastungen gibt es Hinweise für erhöhtes Abortrisiko inklusive Frühgeburten, reduziertes Wachstum des Fötus sowie verminderte kognitive Entwicklung (Röösli 2011). Gute Evidenz besteht, dass Bleiexposition in der Kindheit die kognitive Entwicklung hemmt. Mehrere Meta-Analysen kamen zum Schluss, dass eine Zunahme des Blutbleiangehalts von 10 mg/dL zu einer Reduktion des Intelligenzquotienten von 1.5 Punkten führt. Für andere Entwicklungsstörungen bei Kindern wie Verhaltens- oder Hörprobleme gibt es Hinweise. Die wissenschaftliche Evidenz ist jedoch weniger klar. Unspezifische Gesundheitssymptome wie Müdigkeit und Erschöpfung wurden in Studien ebenfalls gefunden (Röösli 2011).

Quecksilber schädigt ebenfalls das Nervensystem, wobei die verschiedenen Arten von Quecksilberverbindungen unterschiedliche Wirkungen zeigen. Es ist unbestritten, dass hohe Expositionen in der Schwangerschaft oder in der frühen Kindheit die kognitive Entwicklung des Nachwuchses beeinträchtigt. In Bezug auf niedrigere Dosen ist der Zusammenhang weniger klar etabliert (Röösli 2011). Wie Blei kann Quecksilber auch die Nieren schädigen und die Säureausscheidung beeinträchtigen (renale tubuläre Azidose). Eine umweltepidemiologische Studie der Universität Zürich zu den oben beschriebenen erhöhten Bodenwerten von Quecksilber im Wallis konnte anhand der gemessenen Quecksilberkonzentrationen im Haar und im Urin von Kindern und ihren Müttern keine relevante Gesundheitsgefährdung feststellen (Universität Zürich 2016).

Arsen ist erwiesenermassen karzinogen und hat je nach Exposition auch weiterreichende Einflüsse auf die Gesundheit inklusive Fortpflanzung (Shakoor et al. 2017). Auch andere Schwermetalle stehen im Verdacht hormonaktiv zu wirken und damit zu Störungen bei der Fortpflanzung beizutragen (Rattan et al. 2017). Mögliche Schwellenwerte und die Expositions-Wirkungsbeziehungen sind aber unklar.

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Quantitative Daten zu den gesundheitlichen Auswirkungen von Schwermetallen auf die Schweizer Bevölkerung sind keine vorhanden. Gemäss internationalen Studien sind Kinder und Frauen im gebärfähigen Alter (wegen möglicher Schwangerschaften) die potentiell gefährdetsten Bevölkerungsgruppen für gesundheitliche Auswirkungen von Schwermetallen (Röösli 2011). Für 2015 wurde die globale Krankheitslast (*Global Burden of Disease*) für Blei auf 18'400'000 DALYs (disability-adjusted life years) geschätzt (Forouzanfar et al. 2016). Ein DALY entspricht einem verlorenen Lebensjahr bei einwandfreier Gesundheit. Für Quecksilber liegen keine weltweiten Daten zur globalen Krankheitslast vor, da nicht genügend Daten zur Exposition vorhanden sind (Poulin et al. 2012). Um die Belastung der Schweizer Bevölkerung genauer abzuklären, wird ein nationales Biomonitoring-Programm vorgeschlagen (siehe Kapitel 2.1) (Morand Bourqui 2016).

2.3 Arzneimittelrückstände

Vorhandene Daten zur Exposition

Rückstände von Antibiotika und Heilmitteln sind besonders in den Gewässern verbreitet. Sie tragen neben anderen Substanzen (Pestizide, Rückstände von Reinigungsmitteln) zu

Mikroverunreinigungen der Gewässer bei. Die Abwasserreinigungsanlagen können zurzeit nicht alle Arzneimittelrückstände und gegen Antibiotika resistente Keime herausfiltern. (BAFU 2015a; Hanke et al. 2007). Im Rahmen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA wurden in den Jahren 2004 und 2005 in flussnahen Grundwasser-Messstellen wiederholt das Antibiotikum Sulfamethoxazol, das Antiepileptikum Carbamazepin sowie verschiedene Röntgenkontrastmittel nachgewiesen (BAFU 2009a). Weitere Daten zu Rückständen von Medikamenten sowie anderen Mikroverunreinigungen in einzelnen Schweizer Gewässer sind in verschiedenen BAFU-Publikationen vorhanden (BAFU 2009b; 2015d; 2016d). Aktuell sind keine Daten zum Eintrag von Antibiotikamengen aus der Tierproduktion – die potentiell über Hofdünger in Böden und Gewässer eingetragen werden – vorhanden (Schweizer Bundesrat 2015).

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Verschiedene Studien zeigen, dass Arzneimittelrückstände die Fortpflanzungsfähigkeit von Fischen und Amphibien beeinträchtigen. Zudem können sie auch das Werbe-, Fress- oder Aggressionsverhalten von Fischen verändern. In welchem Ausmass Arzneimittelrückstände via Trinkwasser oder über andere Wege wieder in den menschlichen Organismus gelangen und welche gesundheitlichen Folgen daraus resultieren können ist weniger klar (Jones et al. 2005). Die grössten Auswirkungen von Arzneimittelrückständen auf die menschliche Gesundheit werden der Bildung von Antibiotikaresistenzen (Bürgmann 2014; Burkhardt-Holm 2011; Jones et al. 2003) und der endokrinen Wirkung zugeschrieben (Touraud et al. 2011). Bisher wurden die gesundheitlichen Risiken von niedrigen Arzneimittelrückstände-Konzentrationen im Trinkwasser jedoch als gering eingeschätzt (Kumar et al. 2010). Wie sich solche (niedrigen) Expositionen langfristig auf den Menschen auswirken ist unklar (Burkhardt-Holm 2010; 2011; Murray et al. 2010; Touraud et al. 2011; WHO 2012).

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Für die Schweiz liegen keine verlässlichen Daten zu den Folgen und Auswirkungen von Antibiotikaresistenzen vor (Schweizer Bundesrat 2015). Es wird angenommen, dass in der EU pro Jahr 25'000 Menschen aufgrund von Infektionen mit antibiotikaresistenten Bakterien sterben und jährlich 2.5 Mio Krankenhaustage verursachen (ECDC & EMEA 2009). Welchen Anteil Arzneimittelrückstände insgesamt an der Bildung von Antibiotikaresistenzen zuzuordnen ist, kann bisher jedoch nicht beziffert werden. Das BAG ist federführend in der Umsetzung der 2015 verabschiedeten Nationalen Strategie gegen Antibiotikaresistenzen. Weitere Bundesämter sind ebenfalls beteiligt (BAFU, BLV, BLW) (Schweizer Bundesrat 2015).

2.4 Fazit

Sowohl die Belastung der Schweizer Bevölkerung durch Pestizide, Schwermetalle, Arzneimittelrückstände oder anderen Chemikalien, als auch die Gesundheitsauswirkungen von langfristigen Expositionen im Niedrigdosisbereich gegenüber chemischen Stoffen in Boden, Wasser und Nahrungsmitteln ist unklar. Dies betrifft gleichwohl bekannte sowie unbekannte Stoffe. Gesundheitsrelevante Leitstoffe und Indikatoren, die Aussagen zur Belastung der Bevölkerung durch Chemikalien in Boden, Wasser und Nahrungsmitteln erlauben sind nicht vorhanden. Aufgrund der Vielzahl der Chemikalien in der Umwelt und der Tatsache, dass laufend neue Stoffe auf den Markt kommen, sollten die gesundheitlichen Auswirkungen einzelner Substanzen nicht nur isoliert betrachtet werden. Die Auswirkungen sind meist nicht einem einzigen Schwermetall, Pestizidinhaltstoff oder Arzneimittel zuzuschreiben. Es wird vermutet, dass auch Stoffgemische zu toxikologischen Effekten führen können (Tchounwou et al. 2012). Angesichts der möglichen Gesundheitsrisiken von chemischen Stoffen erscheint es wichtig, die Belastungswerte langfristig und wiederholt über einen längeren Zeitraum systematisch zu erheben und Leitstoffe oder Indikatoren zu bestimmen. Die geplanten Aktivitäten im Bereich Human Biomonitoring sind wichtige

Schritte, um das komplexe Geschehen in der Entstehung chronischer Krankheiten zu erforschen (Morand Bourqui 2016). Anhand solcher Studien kann abgeschätzt werden, zu welchem Ausmass eine untersuchte Bevölkerungsgruppe zu einem bestimmten Zeitpunkt mit Einzelstoffen oder Stoffgemischen belastet ist. Zudem könnte eine systematische Literaturanalyse von potentiell gesundheitsschädlichen Chemikalien und Stoffgemischen und detaillierten Abklärungen von vorhandenen Daten aus nationalen Messprogrammen zur Identifikation von gesundheitsrelevanten Leitstoffen und Leitindikatoren beitragen.

3 Klima

Nr.	Direkte und indirekte Auswirkung auf die Gesundheit	Umweltfaktor	Auswirkung	Klassifizierung des Zusammenhangs	Berechnung der Auswirkungen auf die Schweiz
3.1	direkt	Hitzewellen	Mortalität	1	vorhanden
	direkt		Hospitalisierungen (kardio-respiratorisch, Nieren)	2	möglich
	indirekt		Magen-Darm Erkrankungen durch Mikroben in Nahrung, Trinkwasser und Badewasser	2	möglich
3.2	direkt	Kältewellen	Mortalität	2	möglich
	direkt		Hospitalisierungen	2	möglich
3.3	indirekt	Sandmücken	Leishmaniose	5	möglich
3.4	indirekt	Tigermücken	Dengue- und Chikungunyafieber, Zika	5	möglich
3.5	indirekt	Zecken	Lyme-Borreliose, Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) / Zeckenzephalitis	1	möglich

Die Auswirkungen des Klimas auf die menschliche Gesundheit können direkter oder indirekter Natur sein. Temperaturextreme wie Hitze- und Kältewellen können unmittelbare Folgen auf die Gesundheit haben (Kapitel 3.1 und 3.2). Indirekte Auswirkungen entstehen aufgrund von kurz- und langfristigen klimabedingten Einflüssen auf die Ökosysteme und somit Veränderungen der Lebensbedingungen von Krankheitsüberträger wie Insekten und Zecken (Kapitel 3.3 bis 3.5) sowie Veränderungen bezüglich Dauer und Beginn der Pollensaison (Kapitel 1.3). Zudem können klimatische Veränderungen die Lebensbedingungen von temperaturempfindlichen Bakterien und Viren beeinflussen und dadurch zu vermehrtem Auftreten von Magendarm- und andern Infekten führen (Kapitel 3.1).

3.1 Hitzewellen

Vorhandene Daten zur Exposition

Temperaturdaten sind in der Schweiz von kantonalen und nationalen Messstationen vorhanden. In der Schweiz gab es seit Messbeginn zwei Hitzewellen. Während dem Hitzesommer 2003 lagen die Temperaturen in der Schweiz 4.0°C bis 5.5°C über dem langjährigen Mittelwert der Sommertemperaturen (1864-2003) (ProClim 2005). Der Sommer 2015 war nach 2003 der zweitwärmste Sommer. Auf der Alpennordseite wurden Temperaturen von 2.0°C bis 2.5°C höher als die Norm (1981 bis 2010) gemessen. Auf der Alpensüdseite wurde ein Wärmeüberschuss von 1.6°C bis 2.3°C verzeichnet (BAFU 2016a). Als Hitzeindikator wird in der Schweiz ein Hitzeindex verwendet, der Temperatur und Luftfeuchtigkeit berücksichtigt.

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Es besteht ein natürlicher Zusammenhang zwischen Temperatur und menschlicher Sterblichkeit. Ab einer gewissen Temperatur, der sogenannten optimalen Temperatur, bei der die temperaturbedingte Sterblichkeit minimal ist, nimmt die Anzahl Todesfälle pro Grad Celsius relativ stark zu. Dieser Temperaturgrenzwert ist regional unterschiedlich und ist abhängig vom regionalen Klima sowie weiteren Faktoren (sozio-ökonomische Faktoren, Infrastruktur, Demographie) (Gasparrini et al. 2015). Eine internationale Studie von Baccini et al. (2008) hat für die Stadt Zürich während der Zeitperiode 1990 bis 1996 die optimale gefühlte Tagesmaximum-Temperatur auf 21.8°C geschätzt, dies entspricht etwa dem 50. Perzentil der Tagesmaximum-Temperaturen während den Sommermonaten. Eine Studie zum Effekt von Hitzeperioden auf die Mortalität im Rahmen des Pilotprogramms Anpassung an den Klimawandel (BAFU 2015e) hat den Zusammenhang zwischen Sommertemperaturen und Todesfällen für die acht grössten Schweizer Städte (Basel, Bern, Lausanne, Lugano, Luzern, St. Gallen, Genf, Zürich) von 1995 bis 2013 untersucht. In der Woche (kumuliert lag 0 bis lag 6) nach einem Hitzetag (definiert als das 98. Perzentil der gefühlten Tageshöchsttemperaturen von 1995 bis 2013 in 8 Städten während den Monaten Mai bis September; 31°C) war das Mortalitätsrisiko gegenüber einem Sommertag von 21°C (Median der gefühlten Tageshöchsttemperaturen von 1995 bis 2013; 21°C) um 12% erhöht (RR: 1.12 (95% KI: 1.05-1.18)) (siehe auch Abbildung 3.1). Ein Vergleich der RR vor und nach dem Jahr 2003 zeigt, dass das Mortalitätsrisiko in der Zeitperiode 2004-2013 (RR= 1.13 (1.02-1.25) gegenüber der Zeitperiode 1995-2002 (RR=1.09 (1.00-1.18)) in der Gesamtbevölkerung leicht – jedoch nicht signifikant – abgenommen hat (Ragettli et al. 2017). Bei anhaltend hohen Temperaturen nehmen Magen-Darm-Infekte und chronisch entzündliche Darmerkrankungen zu. Eine Studie des Universitätsspitals Zürich hat Daten von rund 800 Patienten und Patientinnen mit Darmerkrankungen zwischen 2001 und 2005 ausgewertet und mit Temperaturdaten verglichen. Während Hitzeperioden (definiert als Perioden von sechs Tagen mit Tagesmaximum-Temperaturen von mindestens 5°C über dem Mittelwert) nahm das relative Risiko für Magen-Darm-Infekte bei jedem zusätzlichen Hitzetag um 4.7% (95% KI: 1.8-7.4) zu. Bei chronischen Darmerkrankungen stieg das Risiko pro Hitzetag um 4.6% (1.6-7.4). Die grössten Auswirkungen der hohen Temperaturen haben die Forscher jeweils sieben Tage nach einer Hitzeperiode festgestellt (RR für chronische Darmerkrankungen: 1.072 (1.046-1.0977)) (Manser et al. 2013).

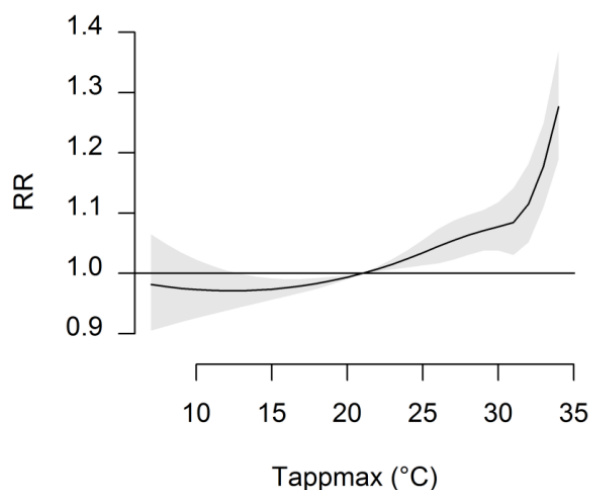


Abbildung 3.1. Zusammenhang zwischen der gefühlten Tagesmaximum-Temperatur (Tappmax) und der Sterblichkeit (Relatives Risiko RR) in acht Schweizer Städten* während den Monaten Mai bis September 1995 bis 2013. Dargestellt ist der kumulative Effekt innerhalb von sechs Tagen nach einem Hitzetag ($\geq 31^{\circ}\text{C}$), wobei die mittlere Sommertemperatur (21°C) als Referenz dient. (*Genf, Lausanne, Lugano, Luzern, Basel, Bern, St. Gallen, Zürich). Quelle: Ragettli et al. (2017).

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Hitze kann hauptsächlich wegen Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Atemwegserkrankungen das Sterberisiko erhöhen (Åström et al. 2011; D'Ippoliti et al. 2010). Wie eine kürzlich erschienene Review-Studie bestätigt, sind ältere Personen sowie sozial benachteiligte Menschen mehr durch Hitze gefährdet als andere (Benmarhnia et al. 2015). Insgesamt war der Effekt bei Personen über 74 Jahre um 4% (95% KI: 2%-7%) grösser als bei jüngeren Personen (15-74 Jahre). Diverse epidemiologische Studien haben gezeigt, dass während Hitzewellen die hitzebedingte Mortalität und die Anzahl Notfalleinweisungen deutlich zunehmen. So wurden im Hitzesommer 2003 in Gesamteuropa rund 70'000 zusätzliche Todesfälle – im Vergleich zur Mortalität in vorherigen Sommern – registriert (Robine et al. 2008). Für die Schweiz wurde für die Monate Juni bis August 2003 eine zusätzliche Sterblichkeit von 6.9% (975 zusätzliche Todesfälle) geschätzt (Grize et al. 2005). Eine Analyse der hitzebedingten Todesfälle während den Sommermonaten Juni bis August 2015 ergaben ähnliche Zahlen. So starben während dem Hitzesommer 2015 in der Schweiz rund 800 Personen mehr als in einem normalen Jahr zu erwarten gewesen wäre. Dies entspricht einer Zusatzsterblichkeit von 5.4%. Am grössten war die Sterblichkeit im Tessin (10.3%), in der Nordwestschweiz (9.5%) und im Espace Mittelland (8.9%). Für die Region Zürich und die Zentralschweiz wurde eine relative Zusatzsterblichkeit in der Höhe von 4.3%, respektive 3.9% geschätzt. Obwohl in der Genferseeregion die Hitzebelastung gross war (gemessene Tagesmaximum-Temperaturen bis 39.7°C), war die Zusatzsterblichkeit mit 5.2% geringfügig kleiner als im schweizerischen Durchschnitt. In der Ostschweiz, wo die tiefsten Temperaturen während der Hitzewelle gemessen wurden (Tmax 31.7°C), wurden 3.3% weniger Todesfälle beobachtet als erwartet. Am meisten betroffen waren Personen im Alter über 75 Jahre alt (9.7% zusätzliche Todesfälle) (BAFU 2016a; Vicedo-Cabrera et al. 2016). Die erwähnten Studien von Vicedo-Cabrera et al. (2016) und Ragettli et al. (2017) zeigen, dass hohe Temperaturen trotz Massnahmen im Bereich öffentlicher Gesundheit und einer Sensibilisierung der Bevölkerung gegenüber den Auswirkungen von Hitze auf die Gesundheit ein Gesundheitsrisiko darstellen.

Datenlücken zu diesem Thema in der Schweiz bestehen in Bezug auf die Wirkungen von einzelnen Massnahmen im Bereich öffentlicher Gesundheit, Auswirkungen nach Todesursachen sowie auf weitere Einflussfaktoren der Mortalität (z. B. sozio-ökonomische Faktoren, Wohnumgebung, Wärmeinseln in Städten, Unterschied Stadt-Land). Eine geplante Studie vom Swiss TPH mit Daten von der Swiss National Cohort (SNC) (www.swissnationalcohort.ch) wird im Jahr 2018 weitere Antworten dazu liefern. Zudem ist eine Studie der Notfalleinweisungen während dem Hitzesommer 2015 vorgesehen. Das Thema Hitzewellen bleibt aktuell, da Klimamodelle eine Zunahme von Hitzewellen in Bezug auf Häufigkeit und Intensität und Dauer prognostizieren (SCNAT 2016a).

3.2 Kältewellen

Vorhandene Daten zur Exposition

Kältewellen sind Perioden vor mehreren Tagen und Wochen, in welchen die Temperaturen deutlich tiefer sind als aufgrund der klimatologischen Norm zu erwarten wären. Während in der Schweiz in den letzten Jahren immer häufiger Hitzeperioden auftraten, haben die Kältewellen abgenommen. Trotz ihrer Seltenheit können sich Kältewellen aber immer noch sehr kräftig entwickeln. Die Schweiz wurde in der ersten Februarhälfte 2012 von der letzten grossen Kältewelle erfasst. Damals betrug der 14-tägige Temperaturdurchschnitt -9.9°C (MeteoSchweiz 2017a).

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Das Gesundheitsrisiko von Kälteperioden wurde in der Schweiz bisher noch nicht erforscht. Die Studie von Ragettli et al. (2017) erlaubt zurzeit lediglich eine Aussage über den Zusammenhang zwischen Temperatur und Mortalität während den Sommermonaten.

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Kältewellen können zusätzliche Todesfälle sowie eine Zunahme von Hospitalisierungen verursachen. Gemäss einer Studie von Gasparrini et al. (2015) ist der Anteil der Todesfälle (attributable fraction), der auf extrem kalte Temperaturen (definiert als Temperaturen unter dem 2.5 Perzentil der Jahrestemperaturverteilung) zurückzuführen ist vergleichbar oder sogar grösser für extrem hohe Temperaturen (97.5 Perzentil). Es ist die bisher grösste Studie zum Zusammenhang zwischen Temperatur und Mortalität und wurde im Mai 2015 in der Fachzeitschrift *The Lancet* veröffentlicht. Die Autoren von der London School of Hygiene and Tropical Medicine haben 74 Millionen Todesfälle zwischen 1985 und 2012 in 384 Städten in 13 Ländern in Europa, Australien, Asien sowie in den USA ausgewertet. Europa war mit den Ländern Italien, Spanien, Grossbritannien und Schweden vertreten. Die Resultate zeigen, dass die Temperatur in den Städten dieser 13 Länder im Durchschnitt für 7.71% (Minimum: 3.37%; Maximum: 11.00%) der Todesfälle in dieser Zeitperiode verantwortlich war. Extrem kalte und heisse Temperaturen waren während der ausgewerteten Zeitperioden für knapp 1% aller temperatur-bedingten Todesfälle verantwortlich. Resultate aus anderen Ländern sind jedoch nicht auf die Schweiz übertragbar, da die Auswirkungen der Temperatur auf die Bevölkerung von verschiedenen lokalen Bedingungen abhängen (z. B. Massnahmen im Bereich öffentlicher Gesundheit, Infrastruktur, Klimabedingungen etc.). Die Auswirkungen von Kältewellen, respektive tiefen Temperaturen, auf die Sterblichkeit sowie Hospitalisierungen könnten in der Schweiz ähnlich wie in den Studien über Hitzeperioden evaluiert werden (siehe Kapitel 3.5).

3.3 Sandmücken

Vorhandene Daten zur Exposition

Die Infektionskrankheit Leishmaniose wird durch Sandmücken bzw. Sandfliegen der Gattung *Phlebotomus* übertragen und durch protozoische Parasiten der Gattung *Leishmania* verursacht. Die Vektoren kommen in Europa vor allem in Südeuropa vor (WHO 2014), in der Schweiz wurden Sandfliegen bisher vorwiegend im Tessin beobachtet (BAG 2007; Grimm et al. 1993).

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Angaben für die Schweiz sind nicht bekannt. Die konkrete Übertragung der Pathogenen durch Sandmücken hängt von vielen Faktoren ab wie z. B. Vektorverbreitung, Vektorhäufigkeit, Überlebensrate des Vektors, Infektionsrate der Vektoren, Kontakt zu Vektoren, etc.

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Gemäss WHO ist Leishmaniose eine vernachlässigte und wenig erforschte Krankheit in Europa (WHO 2014). Die Krankheit ist vor allem in Südeuropäischen Ländern endemisch. Im Mittelmeerraum werden pro Jahr rund 700 Fälle registriert (Dujardin et al. 2008). Auch Hunde können von Sandmücken mit dem Erreger von viszeraler Leishmaniose infiziert werden und gelten somit als potentiell Reservoir für den Menschen. Vereinzelt wurden autochthone Leishmaniose-Fälle nördlich der Alpen festgestellt, beispielsweise in Deutschland (Naucke et al. 2008). Für die Schweiz sind keine quantitativen Daten vorhanden. Es soll jedoch konkrete Fälle von Leishmaniose auch im Tessin gegeben haben (Kutlar Joss 2010). Mit einer zunehmenden Erwärmung ist damit zu rechnen, dass sich die Sandfliegen und Leishmaniose in Mitteleuropa weiter ausbreiten werden (WHO 2014). Deshalb wäre ein entsprechendes Monitoring, um die aktuelle Verbreitung von Sandfliegen in der Schweiz sinnvoll.

3.4 Tigermücken

Vorhandene Daten zur Exposition

Die asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*) ist eine mögliche Überträgerin des Chikungunya-, Dengue- und Zika-Virus. In der Schweiz ist diese Mückenart seit 2003 im Tessin heimisch geworden (BAG 2016c; Flacio et al. 2004). In den letzten Jahren wurden einzelne Exemplare auch entlang der Autobahnen nördlich der Alpen (Müller et al. 2013) sowie im grenznahen Deutschland bei Basel nachgewiesen (Werner et al. 2012). Bisher wurden keine Hinweise dafür gefunden, dass die in der Schweiz etablierten Tigermücken mit einem der erwähnten Viren infiziert sind und somit stellt auch die Übertragung dieser Krankheiten zur Zeit kein erhebliches Risiko dar (BAG 2016c). Allerdings kann eine Übertragung dieser Krankheiten durch einheimische Tigermücken nicht ausgeschlossen werden, da einerseits die Mückenart im Tessin vorkommt und andererseits immer wieder auch Reisende aus endemischen Gebieten mit entsprechenden Infektionen zurückkehren. Es wird davon ausgegangen, dass sowohl klimaanabhängige Faktoren (Zunahme internationaler Reiseverkehr und globale Materialflüsse) als auch die Folgen des Klimawandels zu einer Zunahme der Einschleppung und Verbreitung der asiatischen Tigermücke in der Schweiz führen werden (Caminade et al. 2012; Neteler et al. 2013). Dieser Trend lässt sich seit der ersten Einschleppung im Kanton Tessin beobachten (Flacio et al. 2016). Daher ist es wichtig, die Verbreitung der asiatischen Tigermücke zu überwachen und entsprechende Aktionspläne zur allfälligen Bekämpfung durch die Kantone und Gemeinden zu entwickeln. Deshalb koordiniert das Bundesamt für Umwelt BAFU die Überwachung der asiatischen Tigermücke und anderer gebietsfremder Stechmückenarten auf nationaler Ebene (BAFU 2014c; BAG 2016c; Müller et al. 2013; Müller et al. 2016).

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Für die Schweiz sind zurzeit Angaben zur konkreten Übertragung des Chikungunya-, Dengue- und Zika-Virus durch die asiatische Tigermücke auf den Menschen und Entwicklung der davon verursachten Infektionskrankheiten nicht relevant.

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Die in der Schweiz registrierten Dengue-, Chikungunya-, und Zika-Fällen sind alle auf Auslandsreisen zurück zu führen, bei denen sich die betroffenen Personen infiziert haben. In den letzten Jahren wurde in der Schweiz eine Zunahme der Viruserkrankungen beobachtet. Im Jahr 2016 wurden 197 Fälle von Denguefieber, 33 Chikungunya-Fälle und 54 Zika-Virus Infektionen gemeldet (BAG 2016d).

3.5 Zecken

Vorhandene Daten zur Exposition

In der Schweiz werden von Zecken hauptsächlich zwei verschiedene Krankheitserreger auf den Menschen übertragen. Dazu gehört das Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) Virus sowie das Bakterium *Borrelia burgdorferi*, das bei einer Infektion zu Lyme Borreliose führen kann. Seit 2013 publiziert das BAG interaktive Karten zu den Risikogebieten von FSME (www.fsme-schweiz.ch). Die Kantone des Mittellands gehörten zu den am meisten betroffenen Risikogebieten, wo etwa 1% (0,5 bis 3%) der Zecken mit Virus infiziert sind (BAG 2017). Das Bakterium *Borrelia burgdorferi* trägt gemäss Schätzungen des BAGs 5 bis 30% (stellenweise sogar bis zu 50%) der Zecken in sich (BAG 2016e).

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Angaben für die Schweiz sind nicht bekannt. Die konkrete Übertragung der Pathogenen durch Zecken hängt von vielen Faktoren ab wie z. B. Vektorverbreitung, Vektorhäufigkeit, Überlebensrate des Vektors, Infektionsrate der Vektoren, Kontakt der Menschen zu Vektoren, etc. Zudem verlaufen Infektionen mit dem *Borrelia burgdorferi* Bakterium und dem FSME-Virus häufig ohne Symptome. Schätzungsweise ein Drittel der mit dem FSME-Virus infizierten Personen erkranken. Im Gegensatz zu Borreliose ist zur Vorbeugung gegen FSME eine Impfung vorhanden und wird in der Schweiz Personen ab sechs Jahren, die in Endemiegebieten wohnen oder sich oft dort aufhalten, empfohlen. Gemäss Studien vermittelt die FSME-Impfung einen Schutz von $\geq 95\%$ (BAG 2016a).

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Die Fallzahlen von FSME und Lyme Borreliose werden im Sentinella-Meldesystem des Bundes erfasst. Im Jahr 2016 wurden 202 Fälle von FMSE gemeldet. Seit 2007 schwanken die Fallzahlen in der Schweiz zwischen 100 und 250 pro Jahr (BAG 2016d). An Lyme Borreliose erkranken jährlich etwa 6'000 bis 12'000 Personen (BAG 2016e). Inwiefern die Verbreitung der Zecken und somit die Infektionen mit FSME und Lyme Borreliose im Rahmen eines sich ändernden Klimas zunehmen werden ist unklar. Da der Lebenszyklus des gemeinen Holzbocks (*Ixodes ricinus*) (eine einheimische Zeckenart, die Lyme Borreliose und FSME übertragen kann) sehr komplex ist, hat nicht nur das Klima einen Einfluss auf dessen Vorkommen und Verbreitung, sondern es spielen viele andere Faktoren eine wichtige Rolle wie z.B. die Waldstruktur, Freizeitverhalten der Menschen oder die Wildtierbestände. Wärmere Winter (Verlängerung der Aktivität), Zunahme der Temperaturen in Gebieten über 1'000 m ü. M. (neue Besiedlungsgebiete) sowie heisse und trockene Sommer (Abnahme der Aktivität) könnten die Verbreitungsdynamik von Zecken verändern und möglicherweise zu einer Zunahme – aber auch zu einer Abnahme - der von Zecken übertragenen Krankheiten führen (Gray et al. 2009; Medlock et al. 2013). Zudem hat eine Schweizer Studie gezeigt, dass von *Borrelia burgdorferi* befallene Zecken warme Trockenperioden besser überleben, als wenn sie keine solche bakteriellen Krankheitserreger in sich tragen (Herrmann & Gern 2010).

3.6 Fazit

Die derzeitigen Auswirkungen von hohen Temperaturen auf die Gesundheit sind für die Schweiz relativ gut dokumentiert. Angaben zu tiefen oder gemässigten Temperaturen fehlen. Wie sich diese Zusammenhänge im Hinblick auf die prognostizierten Klimaveränderungen entwickeln ist unklar. Unter den derzeitigen klimatischen Verhältnissen findet in der Schweiz keine aktive Übertragung von Dengue, Chikungunya, Zika und Leishmaniose statt. Aufgrund des erwarteten Temperaturanstiegs und verbesserter Brutbedingungen für die Vektoren muss jedoch auch in der Schweiz in Zukunft mit Ausbrüchen durch einige dieser Erreger gerechnet werden. Dies würde bedeuten, dass der Zusammenhang zwischen Umweltfaktor und Auswirkungen auf die Gesundheit als 4 oder gar als 3 klassifiziert werden müsste. Die gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweiz (bereits nachzuweisende und zukünftige) unter Berücksichtigung von Anpassungsstrategien sind unklar.

4 Landschaft und Wald

Nr.	Umweltfaktor	Auswirkung	Klassifizierung des Zusammenhangs	Berechnung der Auswirkungen auf die Schweiz
4.1	Grün- und Wasserflächen (Green & Blue Space)	Mortalität (Reduktion Hitze, Schadstoffe, etc.)	3	nicht möglich
		Physische und psychische Erholung, psychisches und soziales Wohlbefinden, mentale Gesundheit	3	nicht möglich
		Kognitive und motorische Entwicklung bei Kindern und Jugendlichen	3	nicht möglich
4.2	Langsam-Verkehrswege (Walkability & Bikeability)	Langsamverkehrsunfälle – Tote und Verletzte	1	vorhanden
		Mortalitätsreduktion (wegen körperlicher Aktivität)	1	vorhanden
		Diabetes (Typ II) (verhinderte Krankheitsfälle)	1-2	vorhanden
		Herz-Kreislauf-erkrankungen (verhinderte Krankheitsfälle)	1	vorhanden
		Brustkrebs (verhinderte Krankheitsfälle)	2	vorhanden
		Dickdarmkrebs (verhinderte Krankheitsfälle)	2	vorhanden
		Demenz (verhinderte Krankheitsfälle)	2	vorhanden
		Depression (verhinderte Krankheitsfälle)	2	vorhanden

4.1 Grün- und Wasserflächen (Green & Blue Space)

Vorhandene Daten zur Exposition

Der Zustand und die Entwicklung der Landschaft in der Schweiz wird im Rahmen des Monitoringprogramms *Landschaftsbeobachtung Schweiz (LABES)* seit 2007 dokumentiert und beurteilt. Es werden sowohl die physischen Aspekte wie auch die Wahrnehmung und Bewertung der Landschaftsqualität der Bevölkerung berücksichtigt. In den letzten Jahren hat sich die Landschaft hauptsächlich durch die Intensivierung der Landwirtschaft sowie durch das Wachstum von Siedlungen und Verkehrsflächen verändert. Die Folgen davon sind eine zunehmende Versiegelung, eine gebietsweise starke Zersiedelung und Zerschneidung sowie eine Zerstörung von charakteristischen Landschaftsmerkmalen. In der Schweiz nahm im Erhebungszeitraum 1992/1997 bis 2004/2009 der Versiegelungsgrad der Gesamtfläche um rund 12% zu und beträgt gegenwärtig 4.7%. Im Mittelland sind gar rund 10% der Flächen versiegelt. Einen grossen Anteil (32%) der Landesfläche nimmt der Wald ein. Dabei hat die

Waldfläche besonders aufgrund von nicht mehr bewirtschafteten Alpweiden in den letzten Jahren kontinuierlich leicht zugenommen (BAFU & WSL 2017).

Die Bedeutung der vegetationsreichen Landschaft, bzw. von Grünflächen (*Green Space*) für die Gesundheit wurde in der Schweiz bisher am besten am Beispiel Wald untersucht. Im Rahmen des Projektes *WaMos 2 – Waldmonitoring soziokulturell* hat das BAFU und die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) die Einstellung der Bevölkerung zu Wald- und Holzthemen sowie zur Erholungsfunktion im Jahr 2010 mittels Telefoninterviews und Online-Fragebogen erfasst. Die Ergebnisse basieren auf einer Umfrage mit 3'022 Personen. Die Hälfte der Schweizer Bevölkerung geht im Sommer mindestens einmal pro Woche in den Wald und über 80% mindestens einmal im Monat. Im Winter besucht immer noch die Mehrheit (62%) mindestens einmal pro Monat den Wald. Die Besuche dauern im Durchschnitt 90 Minuten. Am meisten wird der Wald besucht, um zu spazieren, Sport zu treiben, einfach dort zu verweilen oder um die Natur zu beobachten. Die Erreichbarkeit des Waldes wird in der Schweiz als sehr gut eingeschätzt. Zu erreichen ist der Wald für 59% der Bevölkerung zu Fuss oder mit einem anderen Verkehrsmittel in weniger als 10 Minuten. Den Weg bis in den Wald bewältigt ein hoher Anteil der Bevölkerung normalerweise zu Fuss (70%), mit dem Fahrrad (7%) oder mit den öffentlichen Verkehrsmittel (4%). Lediglich ein geringer Anteil von 4% benötigt länger als 30 Minuten, um in den Wald zu gelangen. Autos oder Motorräder (18%) haben gegenüber 1997 als Transportmittel für den Weg zum Wald an Bedeutung verloren (BAFU & WSL 2013; WSL 2012).

Erst wenige Studien haben den Zusammenhang zwischen Gesundheitsdaten und dem (zugänglichen) Grünflächenanteil in der unmittelbaren Wohnumgebung mittels objektiver Messungen untersucht. Bisher wurde der Zusammenhang hauptsächlich anhand Daten der subjektiven Wahrnehmung untersucht (anhand Interviews und Fragebögen). Objektive Messmethoden charakterisieren die Grünfläche (*greenness*) der Wohnumgebung (*residential greenness*) anhand Karten der Landnutzung (z. B. Prozent Grünfläche innerhalb einem Radius von 250m), Satellitendaten (Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)) oder berechnen die Distanz zwischen dem Wohnort und dem am nächsten gelegenen Grünraum (Gascon et al. 2016). In der Schweiz wurde im Rahmen einer Studie zum Einfluss der Wohnumgebung auf das objektiv gemessene Bewegungsverhalten bei Kindern (n=1'742) die *residential greenness* anhand der Arealstatistik (Bundesamt für Statistik) charakterisiert. Der mittlere Grünflächenanteil ($\pm$ Standardabweichung) in der unmittelbaren Nähe der Wohnorte (3x3 ha Buffer) war 1.4 (1.9) ha (Bringolf-Isler et al. 2014). Eine ähnliche Auswertung für die Gesamtbevölkerung liegt nicht vor.

Die Exposition zu Wasserflächen (*Blue Space*) und ihre Bedeutung für die Gesundheit wurden in der Schweiz noch nicht evaluiert. In Anlehnung an den Begriff *Green Space* bezeichnet *Blue Space* alle sichtbaren Wasserflächen (Seen, Flüsse, Meer). Analog zu *Green Space* wird auch beim *Blue Space* die Nähe, beziehungsweise die Erreichbarkeit vom Wohnort zum nächsten Gewässer gemessen.

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Die Landschaft hat eine wichtige Bedeutung für die Gesundheit der Bevölkerung. Sie bietet zahlreiche Möglichkeiten zur physischen und psychischen Erholung, unterstützt das Wohlbefinden und die Lebensqualität (BAFU & WSL 2017). Vor allem Aktivitäten in natürlichen Lebensräumen (in Bewegung oder ruhend) haben ein grosses Potential zur Reduktion von Stress und tragen somit zum Erhalt einer guten Gesundheit bei. Eine Literaturübersichtsarbeit der Universität Bern hat im Jahr 2007 im Rahmen der Aktion „*Paysage à votre santé*“ der Stiftung Landschaftsschutz Schweiz (SL) und der Ärztinnen und Ärzten für Umweltschutz (AefU) die Wirkungen von Landschaft auf die Gesundheit beschrieben. Gemäss dieser Recherche beeinflusst die Landschaft die psychische (mentales Wohlbefinden, Erholung), physische (durch Bewegung) und soziale Gesundheit (soziales Wohlbefinden). Letzteres stützt sich auf qualitative Studien, die zeigen, dass grüne und begegnungsfreundlich gestaltete Aussenräume das soziale Engagement und die soziale Integration fördern. Bei Kinder und Jugendlichen trägt zudem das Spielen in natürlichen und vegetationsreichen Landschaften zur kognitiven und motorische Entwicklung bei (Abraham et al. 2007).

Es gibt zudem Hinweise darauf, dass der Aufenthalt in Grünräumen nicht nur die psychische Befindlichkeit (Abraham et al. 2007) sondern auch verschiedene physiologische Körperfunktionen wie beispielsweise die Herz-Kreislauffähigkeit, die Gehirnaktivität, das Immunsystem und den Hormonhaushalt positiv beeinflusst. Studien (hauptsächlich aus Japan) zeigen, dass ein Aufenthalt in Wäldern, im Gegensatz zu vergleichbaren Aktivitäten im urbanen Raum, die physiologischen Reaktionen auf Stress kurzfristig verbessert. Die Resultate sind jedoch, im Vergleich zu den Auswirkungen auf das subjektiv empfundene psychische Befinden, weniger eindeutig (Haluza et al. 2014; Park et al. 2009; Song et al. 2016). Zudem sind die langfristigen physiologischen Wirkungen von Naturerlebnissen unklar (Haluza et al. 2014).

Eine Metaanalyse mit den Resultaten von acht Studien aus den USA, Kanada, Grossbritannien, Neuseeland und Litauen ergab, dass ein hoher Grünflächenanteil in der Wohnumgebung (erfasst durch quantitative Methoden) die Mortalität (aufgrund kardiovaskulärer Ursachen) signifikant reduziert (Risk Ratio (95% KI) 0.96 (0.94-0.97) (Gascon et al. 2016). Einfache und direkte Expositions-Wirkungsbeziehungen zwischen Angaben zum Grünflächenanteil und dem psychischen Wohlbefinden sind wie beim Thema Biodiversität nicht vorhanden (siehe Kapitel 1.2).

Die Bedeutung von Wasserflächen für das menschliche Wohlbefinden wurde bisher nur wenig erforscht. Gemäss Literaturübersichtsstudien von Gascon et al. (Gascon et al. 2015; 2016) gilt aufgrund widersprüchlichen Resultaten der Zusammenhang zwischen Blue Space und Mortalität und mentale Gesundheit als (noch) nicht etabliert.

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Der Wald ist ein wichtiger Erholungsraum für die Schweiz und trägt zum Wohlbefinden der Bevölkerung bei. Die Befragungen im Rahmen des Projekts *WaMos 2 – Waldmonitoring soziokulturell* ergaben, dass sich die Bevölkerung nach einem Waldaufenthalt (von durchschnittlich 90 Minuten) entspannter fühlen (67% viel entspannter, 29% ein bisschen entspannter, 5% genauso entspannt) (BAFU & WSL 2013; WSL 2012). Die Schweizer Forschung zur Frage, wie ein Wald aussehen muss, damit er eine positive Wirkung auf die mentale Gesundheit hat zeigt, dass bewirtschaftete Wälder einen positiveren Einfluss auf die psychische Gesundheit haben als verwildernde Wälder. Eine mögliche Erklärung dafür ist die Tatsache, dass letztere Wälder in ihrer Struktur eher unübersichtlich sind und daher komplex erscheinen (Martens et al. 2011). Ein weiteres Forschungsprojekt der WSL untersucht gegenwärtig wie die positiven Effekte von der Natur auf das menschliche Wohlbefinden zustande kommen. Um die Erholungswirkung zu quantifizieren, werden neben subjektiven Einschätzungen auch physiologische Daten erhoben (insb. das «Stresshormon» Cortisol) (WSL 2016).

Ein grünes Wohnumfeld fördert die Bewegung bei Kindern (4-17 Jahre alt) in der Schweiz. Zu diesem Schluss kam die Studie von Bringolf-Isler et al. (2014), die objektive Daten zum Bewegungsverhalten (anhand Beschleunigungsmesser; misst Körperbeschleunigungen, die bei körperlicher Aktivität gegen die Gravitationskraft entstehen) und zum Wohnumfeld von 1'742 Kindern zwischen 2005 und 2010 ausgewertet hat. Der Grünflächenanteil in einem 3x3 ha Quadrat um die Wohnadresse der Kinder hatte einen signifikant positiven Effekt auf das Bewegungsverhalten der Kinder.

Von internationalen Studien ergeben sich Hinweise darauf, dass ein hoher Grünflächenanteil in unmittelbarer Nähe des Wohnorts die Mortalität aufgrund kardiovaskulärer Ursachen reduziert (Gascon et al. 2016) und sich positiv auf die mentale Gesundheit auswirkt (de Keijzer et al. 2016; Gascon et al. 2015; James et al. 2015; van den Berg et al. 2015). Personen, die in der Nähe von Grünflächen wohnen, schätzen ihren Gesundheitszustand oftmals besser ein als Personen, die weit weg von solchen Flächen wohnen (Pietilä et al. 2015). Die genauen Wirkungsmechanismen sind jedoch unklar. Ein grünes Wohnumfeld (oder die Nähe zu Wasserflächen) könnte durch eine gute Luftqualität, wenig Lärmexposition, Lebensqualität oder durch den Anreiz für mehr Bewegung und Sportaktivitäten zu einer Reduktion der Mortalität führen (Gascon et al. 2016). Zudem ist unklar, welche Distanz zu Grünflächen (oder Wasserflächen) oder welcher Anteil von umgebender Grünfläche gesundheitsfördernd ist (Gascon et al. 2015). Inwiefern der Zugang zu Grünflächen/räumen und der Anteil von Grünfläche in der Wohnumgebung die

Mortalitätsraten (nach Todesursachen) in der Schweiz beeinflusst, wird gegenwärtig am Swiss TPH untersucht.

4.2 Langsamverkehrswege (Walkability & Bikeability)

Vorhandene Daten zur Exposition

Bewegungsfreundlich gestaltete und als bewegungsattraktiv wahrgenommene Landschaftsräume fördern die Ausübung von körperlicher Aktivität (Abraham et al. 2007; de Nazelle et al. 2011). Der Mikrozensus Verkehr (Bundesamt für Statistik) gibt Auskunft über das Mobilitätsverhalten der Schweizer Bevölkerung. Die Erhebung wird alle fünf Jahre durchgeführt. Es werden jeweils rund 60'000 zufällig ausgewählte Personen telefonisch zu ihrem Verkehrsverhalten befragt. Es werden unter anderem Daten zu den durchschnittlichen Unterwegszeiten und der zurückgelegten Distanz für die verschiedenen Verkehrsmittel ermittelt. Im Jahr 2010 legen Schweizerinnen und Schweizer im Durchschnitt pro Tag 2.0 km zu Fuss (entspricht 31.4 min Unterwegszeit) und 0.8 km mit dem Velo (entspricht 3.8 min Unterwegszeit) zurück (BFS & ARE 2012).

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Die körperliche Aktivität im Langsamverkehr fördert die physische Gesundheit in vielerlei Hinsicht. Personen, die sich regelmässig im Langsamverkehr bewegen, leiden weniger unter Krankheiten und sterben durchschnittlich später als körperlich inaktive Personen (de Nazelle et al. 2011). Negative Auswirkungen auf die Gesundheit ergeben sich durch das Risiko für Langsam-Verkehrsunfälle (Tote und Verletzte). Gesundheitseffekte durch (erhöhte) Exposition gegenüber verkehrsbedingter Luftverschmutzung werden hier nicht berücksichtigt. Gemäss dem heutigen Stand des Wissens überwiegt der Gesundheitsnutzen aus körperlicher Aktivität im Langsamverkehr möglichen Gesundheitsschäden durch Luftverschmutzung bei weitem (De Hartog et al. 2010).

Die Wirkung der körperlichen Aktivität aus dem Langsamverkehr auf ausgewählte Krankheiten wurden für die Schweiz für die Berechnung der externen Effekte des Verkehrs erhoben (Ecoplan & ISPMZ Universität Zürich 2013). Die dazu verwendeten Effektschätzer aus einer systematischen Literaturübersicht von Woodcock et al. (2009) sind in Tabelle 4.1 aufgezeigt. Die aus dem Langsamverkehr resultierende Dosis an körperlicher Aktivität wird anhand der Dauer und der Art der Mobilitätsform (Fuss/Fahrrad) berechnet. Die Intensität wird dabei mit einem Mass zur Beschreibung des Stoffwechselumsatzes im Vergleich zum Ruhestand ausgedrückt; dem metabolischem Äquivalent (MET). Die relativen Risiken (RR) in Tabelle 4.1 beschreiben die Reduktion einer Krankheitsrate, die sich pro ausgeführte Aktivität ergibt, beispielsweise eine um 20% verringerte Inzidenz von Herz-Kreislaufkrankheiten für 20 MET-Stunden pro Woche (entspricht ca. 30 Minuten zügigem zu Fuss gehen pro Tag). Bei der Berechnung der Auswirkungen wird zudem das Alter (5-Jahres-Altersklassen), das Geschlecht sowie die durchschnittliche Sportaktivität der Schweizer Bevölkerung (Gesundheitsbefragung 2007) berücksichtigt. Letzteres trägt dem Umstand Rechnung, dass je nach Niveau der Grundaktivität die zusätzliche Bewegung im Langsamverkehr sich stärker (bei wenig Grundbewegung) oder weniger stark (bei sportlich bereits sehr aktiven Personen) auf die Gesundheit auswirkt.

Tabelle 4.1. Effektgrössen für die Wirkung der körperlichen Aktivität aus dem Langsamverkehr auf ausgewählte Krankheitsbilder.

	Relative Risiken (RR) pro 20 MTh/Woche* im Vergleich zu 0 MTh/Woche
Sterberisiko (aufgrund körperlicher Aktivität)	-21.9%
Diabetes (Typ II) (verhinderte Krankheitsfälle)	-18.7%
Herz-Kreislaufkrankungen (verhinderte Krankheitsfälle)	-20.0%
Brustkrebs (verhinderte Krankheitsfälle)	-9.9%
Kolonkrebs (verhinderte Krankheitsfälle)	-15.4%
Demenz (verhinderte Krankheitsfälle)	-25.2%
Depression (verhinderte Krankheitsfälle)	-21.8%

*MET: metabolisches Äquivalent (siehe Text)

Quelle: Ecoplan & ISPMZ Universität Zürich (2013)

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Die gesundheitlichen Auswirkungen der zurückgelegten Langsamverkehrswege wurden für die Schweiz für das Jahr 2010 quantifiziert (Ecoplan & ISPMZ Universität Zürich 2013). Grundlage dafür sind die im Mikrozensus Verkehr 2010 erhobenen Daten sowie die oben erwähnten Effektschätzer für den Nutzen der Aktivität. Zusätzlich wurden die Unfälle aus dem Langsamverkehr bei dieser Berechnung berücksichtigt. Langsamverkehrs-Unfälle auf öffentlichen Strassen oder Plätzen, in die ein Verkehrsmittel verwickelt war, wurden von der Strassenverkehrsstatistik (Bundesamt für Statistik BFS und Bundesamt für Strassen ASTRA) aus dem Jahr 2005 entnommen. Zusätzliche Langsamverkehrs-Unfälle aus den Bereichen Sport (z.B. Inlineskating, Joggen, Spazieren) sowie Haus- und Freizeit (z. B. Stürze von Fussgängern auf der Strasse) wurden mithilfe der Datenbank der Sammelstelle für die Statistik der Unfallversicherung (SSUV) ergänzt. Netto verhindern Langsamverkehrsaktivitäten in der Schweiz jährlich über 12'000 Herz-Kreislauf-Fälle, rund 4'000 Fälle von Depressionen, ca. 1'900 Krebserkrankungen sowie rund 1'300 Demenzerkrankungen (Tabelle 4.2). Die Berechnungen der Auswirkungen des Langsamverkehrs auf die Gesundheit im Jahr 2010 ergeben zudem, dass durch diese Aktivitäten der Schweizer Bevölkerung insgesamt knapp 125'000 Lebensjahre bzw. knapp 15'000 Erwerbsjahre gewonnen werden (Tabelle 4.3). Dies ergibt sich durch die Vermeidung von rund 10'000 frühzeitigen Todesfällen (Ecoplan & ISPMZ Universität Zürich 2013). Grosse Unsicherheit besteht aber zur Frage, inwiefern sich die Umweltbedingungen (Walkability und Bikeability) auf das Verhalten der Bevölkerung auswirken.

4.2 Fazit

Es besteht grundsätzlich Konsens darüber, dass Grün- und Wasserflächen inklusive der Wald in besiedelten Regionen wie der Schweiz positive Auswirkungen auf die Gesundheit haben. Dabei werden verschiedene Wirkungsmechanismen diskutiert. Qualitativ hochwertige Landschaften wirken stressmindernd und haben eine Erholungsfunktion. Zudem fördern Grünflächen und Waldgebiete in der Wohnumgebung die körperliche Aktivität, was sich langfristig erwiesenermassen positiv auf die Gesundheit auswirkt. Eine weitere Wirkungsmöglichkeit sind reduzierte Luftschadstoffe und weniger Lärm in der Umgebung von Grünflächen im Vergleich zu urbanen Gebieten ohne Grünflächen.

Bisherige Gesundheitsdaten zum positiven Einfluss der Landschaft und des Waldes fokussieren in erster Linie auf das subjektive Befinden, physiologische Funktionen und die

Sterblichkeit. Eine Schwierigkeit der Quantifizierung der Auswirkung besteht darin, dass sich aus diesen Studien der isolierte Einfluss der Landschaft unabhängig von anderen Einflussfaktoren nur mit grosser Unsicherheit ableiten lässt. Das macht quantitative Abschätzungen schwierig.

Tabelle 4.2. Durch den Langsamverkehr verhinderte Krankheitsfälle in 2010.

Langsam- verkehr	Alters- klasse	Herz- Kreislauf	Kolonkrebs	Brustkrebs	Demenz	Depression	Diabetes (II)
Zu Fuss	6-14	11	0	0	3	32	3
	15-39	169	15	33	8	818	23
	40-69	4029	339	391	102	1505	253
	70+	4299	363	153	821	367	238
Total	15+	8497	717	578	931	2690	514
Velo	6-14	6	0	0	1	17	1
	15-39	85	8	17	4	409	11
	40-69	2170	183	212	55	809	136
	70+	1579	134	57	299	134	88
Total	15+	3834	325	286	358	1352	235
Total LV	15+	12331	1042	864	1289	4042	749

Auflistung der durch den Langsamverkehr jährlich verhinderten Krankheitsfälle in der Schweiz. Basierend auf Krankenhausdiagnosen.

Quelle: Ecoplan & ISPMZ Universität Zürich (2013).

Tabelle 4.3. Mortalitätsreduktion durch den Langsamverkehr.

Anzahl gewonnene Lebensjahre	Zu Fuss	Velo	Total
Total (über 20-Jährige)	86'875	37'886	124'762
6-19-Jährige	835	434	1'269
20-74 bzw. 64-Jährige	50'554	16'723	67'277
Über 74 bzw. 64-Jährige	36'321	21'164	57'485
Anzahl gewonnene Erwerbsjahre			
Total (über 20-Jährige)	9'286	5'184	14'470
6-19-Jährige	485	254	739
20-74 bzw. 64-Jährige	9118	4782	13'900
Über 74 bzw. 64-Jährige	168	402	570
Anzahl verhinderte frühzeitige Todesfälle			
Total (über 20-Jährige)	7'481	2'705	10'187
6-19-Jährige	13	7	20
20-74 bzw. 64-Jährige	2'369	610	2'979
Über 74 bzw. 64-Jährige	5'113	2'095	7'208
Anzahl verhinderte frühzeitige Todesfälle von Erwerbstätigen			
Total (über 20-Jährige)	978	533	1'510
6-19-Jährige	3	1	4
20-74 bzw. 64-Jährige	922	349	1'271
Über 74 bzw. 64-Jährige	56	184	240
Durchschnittlich gewonnene Lebensjahre je verhinderter Todesfall			
Total (über 20-Jährige)	12	14	12
6-19-Jährige	65	65	65
20-74 bzw. 64-Jährige	21	27	23
Über 74 bzw. 64-Jährige	7	10	8

Resultate für die Mortalitätsreduktion durch den Fuss- und Veloverkehr in der Schweiz, ausgedrückt als gewonnene Lebensjahre, gewonnene Erwerbsjahre, verhinderte Todesfälle insgesamt und bei Erwerbstätigen sowie die durchschnittliche Anzahl verlorene Lebensjahre pro Todesfall. Die Altersgruppen der unter 20-jährigen und über 74-jährigen für das zu Fuss gehen, bzw. der über 64-jährigen für das Velofahren sind separat ausgewiesen.

Quelle: Ecoplan & ISPMZ Universität Zürich (2013)

5 Lärm

Nr.	Umweltfaktor	Auswirkung	Klassifizierung des Zusammenhangs	Berechnung der Auswirkungen auf die Schweiz
5.1	Verkehrslärm	Belästigung	1	vorhanden
		Schlafqualität	1	vorhanden
		Tinnitus	1	nicht möglich
		Ischämische Herzkrankheiten	2	vorhanden
		Mortalität	2	vorhanden
		Spitaltage Herz-Kreislaufferkrankungen	2	vorhanden
		Diabetes	3	nicht möglich
		Depression	3	nicht möglich
		kognitive Entwicklung	3	vorhanden
5.2	Industrie- und Gewerbelärm	Belästigung	1	nicht möglich
		Schlafqualität	1	nicht möglich
		Tinnitus	4	nicht möglich
		Herz-/Kreislaufferkrankungen	4	nicht möglich
		Sterblichkeit	4	nicht möglich
		Diabetes	4	nicht möglich
		Depression	4	nicht möglich
		kognitive Entwicklung	4	nicht möglich
5.3	Schiesslärm (zivile und militärische Anlagen)	Belästigung	1	nicht möglich
		Schlafqualität	1	nicht möglich
		Tinnitus	4	nicht möglich
		Herz-/Kreislaufferkrankungen	4	nicht möglich
		Sterblichkeit	4	nicht möglich
		Diabetes	4	nicht möglich
		Depression	4	nicht möglich
		kognitive Entwicklung	4	nicht möglich
5.4	andere Lärmquellen & Freizeitlärm	Belästigung	1	nicht möglich
		Schlafqualität	1	nicht möglich
		Tinnitus	4	nicht möglich
		Herz-/Kreislaufferkrankungen	4	nicht möglich
		Sterblichkeit	4	nicht möglich
		Diabetes	4	nicht möglich
		Depression	4	nicht möglich
		kognitive Entwicklung	4	nicht möglich

Akuter Lärm über einer bestimmten Schwelle kann das Gehör schädigen. Dies betrifft in erster Linie berufliche Expositionen und ist somit nicht Bestandteil dieses Berichts. Lärm in

der Umwelt vom Verkehr, Industrie, Schiessbetrieb und anderen Quellen ist im Allgemeinen unterhalb der Schwelle, die zu Gehörschäden führen und es stehen andere mögliche Gesundheitsauswirkungen durch solche chronische Lärmbelastung im Vordergrund. Diese sind im Folgenden diskutiert.

5.1 Verkehrslärm

Vorhandene Daten zur Exposition

Die Exposition gegenüber Strassen- und Bahnlärm wird für die ganze Schweiz modelliert und in der GIS-Lärmdatenbank sonBASE registriert (BAFU 2014a). Für die Berechnung des Strassenverkehrslärms wurden Modellrechnungen und Verkehrszählungen von über 72'000 km Strassen berücksichtigt, für den Bahnlärm von rund 3'000 km Bahnlinien. Daten zur Lärmexposition im Jahr 2012 wurden im BAFU-Bericht „Lärmbelastung durch Strassenverkehr in der Schweiz“ (BAFU 2014b) oder in Héritier et al. (2017) für die über 30-jährige Bevölkerung in der Schweiz publiziert.

Die Exposition der Schweizer Bevölkerung gegenüber Fluglärm wird vom Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) in Form eines Lärmkatasters erfasst (BAZL 2016). Berücksichtigt sind sowohl Zivil- wie auch Militärflugplätze. Die Expositionsverteilung der Fluglärmexposition der Bevölkerung wurde für das Jahr 2010 zusammen mit Daten zum Strassen- und Bahnlärm in Ecoplan & Infras (2014) publiziert. Diese Expositionsdaten bilden die Grundlage für die Abschätzung von Gesundheitsauswirkungen (siehe unten).

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Der Zusammenhang zwischen Verkehrslärm und Belästigung sowie Schlafstörungen wurde in einer Vielzahl von Studien quantifiziert. Die Lärmschutzpolitik der EU stützt sich auf sogenannte Standardkurven für den Zusammenhang zwischen dem Lärmpegel von Strassen-, Bahn- sowie Flugverkehr und der Belästigung (European Commission 2002). Neuere Untersuchungen zeigen aber, dass solche Expositions-Wirkungsbeziehungen stark vom Kontext abhängen und sich über die Zeit verändern. Von daher sind diese Kurven nur bedingt auf die Schweiz übertragbar.

In Ecoplan & Infras (2014) sind Expositions-Wirkungsbeziehungen für ischämische Herzerkrankungen, bluthochdruckbedingte Erkrankungen und Schlaganfälle publiziert. Die Expositions-Wirkungsbeziehungen basieren auf Meta-Analysen von internationalen Studien. Im Jahr 2014 erschien zudem eine neue Meta-Analyse zu Strassenlärm und koronaren Herzerkrankungen (Babisch 2014) sowie eine Meta-Analyse zu Verkehrslärm und ischämischen Herzerkrankungen (Vienneau et al. 2015), wobei letztere auch im Bericht Ecoplan & Infras (2014) verwendet wurde. Die beiden Meta-Analysen finden eine Zunahme des Erkrankungsrisikos von 8% (95% KI: 4%-13%) bzw. 6% (95% KI: 3%-9%) pro 10 dB Lärmzunahme ab einer Exposition (Lden) von ca 50 dB. Für das Risiko an Bluthochdruck zu erkranken zeigen Meta-Analysen eine Zunahme von 13% pro 10 dB Zunahme Fluglärm (Babisch & Van Kamp 2009) bzw. 7% pro 10 dB Zunahme von Strassenlärm (van Kempen & Babisch 2012).

Kürzlich ist im Rahmen der SiRENE-Studie (Short and Long Term Effects of Transportation Noise Exposure) eine epidemiologische Studie zum Zusammenhang zwischen Strassen-, Bahn- und Luftverkehrslärm und allen Herz-Kreislauf-todesfällen bei über 30-Jährigen in der Schweiz zwischen 2000 und 2008 publiziert worden (Héritier et al. 2017). Die Studie zeigt Expositions-wirkungsbeziehungen für alle kardiovaskulären Todesursachen sowie separat für ischämische Herzerkrankungen inklusive Herzinfarkt, Herzinsuffizienz, bluthochdruckbedingte Sterbefälle und Schlaganfälle. Der konsistenteste Zusammenhang wurde für Herzinfarkt beobachtet: 3.8%, 1.8% und 2.6% pro 10 dB Zunahme des Strassen-, Bahn- oder Flugverkehrs ab einer Schwelle von 35 dB (Strasse) oder 30 dB (Bahn und Luft).

Einige Studien finden einen Zusammenhang zwischen Verkehrslärmbelastung und Diabetes sowie anderen metabolischen Parametern inkl. Hüfte-zu-Taille Verhältnis. Besonders

relevant für die Schweiz ist eine Untersuchung der SAPALDIA-Studie im Rahmen von SiRENE, die einen Zusammenhang zwischen Strassen- und Fluglärm und dem Auftreten von Diabetes nachweisen konnte (Eze et al. 2017). Aufgrund der bekannten Wirkungsmechanismen ist ein solcher Zusammenhang grundsätzlich plausibel. Die Datenlage ist jedoch immer noch dünn und eine internationale systematische Literaturübersicht ist nicht vorhanden.

Ein Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Depressionen wird schon seit Jahrzehnten postuliert. Es gibt aber immer noch wenige Untersuchungen dazu. Kürzlich zeigte eine grosse deutsche Studie diesbezügliche Zusammenhänge für alle drei Verkehrslärmarten (Seidler et al. 2017). Aber auch hier fehlt noch eine systematische Literaturübersicht und Meta-Analyse der Expositions-Wirkungsbeziehung. Dasselbe gilt für die Verhaltensauffälligkeiten und die kognitive Entwicklung bei Kindern (Christensen et al. 2016; Dreger et al. 2015; Forns et al. 2016; Hjortebjerg et al. 2016; Schlittmeier et al. 2015; Stansfeld et al. 2010). Die Herleitung einer Expositions-Wirkungsbeziehung wird dadurch erschwert, dass in diesen Studien unterschiedliche Parameter erhoben und kognitive Tests durchgeführt wurden.

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Die Gesundheitsauswirkungen des Verkehrslärms für die Schweizer Bevölkerung im Jahr 2010 sind in Ecoplan & Infras (2014) publiziert. Für das Jahr 2010 wurden 5'540 abdiskontierte Lebensjahre wegen ischämischen Herzerkrankungen, Schlaganfällen und bluthochdruckbedingter Sterblichkeit berechnet. Das entspricht 595 frühzeitigen Todesfällen. Zusätzlich ergaben sich 22'400 Spitaltage und 77'700 ambulante Behandlungen. Belästigungen und Schlafstörungen wurden in diesem Bericht nicht explizit quantifiziert. Da das Hauptziel die Abschätzung der externen Verkehrskosten war, wurde angenommen, dass Belästigungswirkungen und Schlafstörungen am zuverlässigsten über die nachgewiesene Reduktion von Miet- und Verkaufspreisen von Wohnungen monetarisiert werden können. Diese machten an den gesamten externen Lärmkosten von 1.8 Milliarden pro Jahr 59% aus. Ecoplan hat vor einigen Jahren die DALY's wegen Verkehrslärm abgeschätzt (Ecoplan 2014). Gemäss diesen Abschätzungen gehen in der Schweiz insgesamt 46'400 DALY wegen Verkehrslärm verloren. Die Bandbreite der Berechnungen liegt zwischen 25'400 und 141'600 DALY. Von den 46'400 DALY gehen 85% wegen Strassen-, 12% wegen Bahn- und 3% wegen Luftverkehr verloren. Die verlorenen DALY sind in erster Linie auf Schlafstörungen (58%) und Belästigungen (36%) zurückzuführen. Nur 4% bzw. 2% sind auf ischämische Herzkrankheiten und Lernschwierigkeiten bei Kindern zurückzuführen.

Zurzeit wird im Rahmen der SiRENE Studie bei rund 6'000 Personen der Zusammenhang zwischen Lärmexposition und Lärmbelastung quantifiziert. Die Publikation der Daten wird gegen Ende 2017 erwartet und erlaubt damit eine Hochrechnung der Anzahl lärm-belästigter Personen in der Schweiz für alle drei Verkehrsarten.

Zu den anderen möglichen Gesundheitsauswirkungen wie Diabetes, Depressionen, Tinnitus und kognitive Beeinträchtigungen gibt es keine Abschätzungen für die Schweiz.

Die WHO erstellt zurzeit „Guidelines for Environmental Noise for the European Region“. Dies beinhaltet einen systematischen Review über den gegenwärtigen wissenschaftlichen Kenntnisstand der verschiedenen Gesundheitsrisiken wegen Lärm.

5.2 Industrie- und Gewerbelärm

Vorhandene Daten zur Exposition

Es liegen keine Daten zur Verteilung von Industrielärm für die Schweiz vor. Allenfalls sind solche Daten bei den kantonalen Behörden von den Baubewilligungen verfügbar.

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Es ist eine systematische Literaturreview zum Einfluss des Windturbinenlärms auf den Schlaf und die Lebensqualität von Onakpoya et al. (2015) vorhanden: Auf der Basis von acht

Studien mit insgesamt 2'433 Teilnehmenden fühlten sich Personen, die Windturbinenlärm von >40 dB exponiert waren rund vier Mal häufiger belästigt als Personen mit einem geringeren oder keinem Windturbinenlärm (OR: 4.1; 95% KI: 2.4-7.0). Die Wahrscheinlichkeit für selbstberichtete Schlafprobleme war 2.94 Mal erhöht (OR: 2.9; 95% KI: 2.0-4.4). Zu anderen industriell-gewerblichen Lärmquellen und ihre chronischen Auswirkungen auf die Gesundheit liegen zurzeit keine Daten vor.

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Auswirkungen für andere Lärmarten als Verkehr wurde für die Schweiz bisher nicht quantifiziert. Aufgrund fehlender Expositionsdaten, ist eine Abschätzung im Rahmen dieser Studie nicht möglich.

5.3 Schiesslärm (zivile und militärische Anlagen)

Vorhandene Daten zur Exposition

Ein Inventar von Schiessplätzen ist vorhanden, Daten zur Lärmbelastung liegen jedoch keine vor. Allenfalls sind solche Daten bei den kantonalen Behörden verfügbar.

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Brink & Wunderli (2010) untersuchten den Zusammenhang zwischen Lärmbelästigung und Schiesslärm in einer Stichprobe von 1'002 Erwachsenen aus der Schweiz, die in der Nähe von acht verschiedenen Schiessplätzen wohnen. Der Anteil Belästigter gemäss ICBEN Belästigungsskala (Standardisierte Skala zur Erfassung der Belästigung) stieg von ca. 6% bei einer Lärmexposition (L_{AE} pro Jahr) von 90 dB auf einen Anteil von knapp 40% bei einer Exposition von 130 dB an. Es ist klar, dass beim Schützen bei ungenügendem Ohrenschutz Tinnitus und andere Gehörschäden auftreten können. Jedoch ist ein mögliches Risiko für Tinnitus bei Anwohnern von Schiessständen bisher nicht untersucht worden. Auch für andere Gesundheitseffekte im Zusammenhang mit Schiesslärm liegen keine Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung vor.

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Auswirkungen für andere Lärmarten als Verkehr wurde für die Schweiz bisher nicht quantifiziert. Aufgrund fehlender Expositionsdaten, ist eine Abschätzung im Rahmen dieser Studie nicht möglich.

5.4 Andere Lärmquellen & Freizeitlärm

Vorhandene Daten zur Exposition

Es liegen keine Daten zur Verteilung von anderen Lärmarten für die Schweiz vor.

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Es gibt einen narrativen Review über Lärmeffekte auf den Schlaf von nicht-verkehrsbezogenen Lärmquellen (Omlin et al. 2011). Allerdings beinhaltet das Paper keine quantitative Expositions-Wirkungsbeziehung. Da möglicherweise grosse Unterschiede in der Art des nicht-verkehrsbezogenen Lärm zwischen verschiedenen Ländern existiert, ist die Übertragbarkeit von Studienresultaten andere Länder auf die Schweiz schwierig. Für die Schweiz gibt es eine Feldstudie zu Aufwachreaktionen im Zusammenhang mit Kirchenglocken (Brink et al. 2011). Anhand der Schlafdaten von 27 Probanden zeigte sich, dass zuhause spontane Aufwachreaktionen auftreten, wenn der maximale Lärmpegel durch den Glockenschlag am Ohr 35 dB ($L_{AF, max}$) überschreitet. Bei 60dB ist die Wahrscheinlichkeit

aufzuwachen rund drei Mal höher als die spontane Aufwachwahrscheinlichkeit. Zu anderen Gesundheitsauswirkungen als Schlaf gibt es keine nationalen und internationalen Publikationen.

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Auswirkungen für andere Lärmarten als Verkehr wurde für die Schweiz bisher nicht quantifiziert. Aufgrund fehlender Expositionsdaten, ist eine Abschätzung im Rahmen dieser Studie nicht möglich.

5.5 Fazit

Für das Jahr 2010 wurden die externen Kosten und damit die kardiovaskulären Gesundheitseffekte von Verkehrslärm quantifiziert. Es gibt auch Schätzungen der DALY für ischämische Herzerkrankungen, Schlafstörungen, Belästigungen und Lernschwierigkeiten bei Kindern für das Jahr 2010. Seit diesen Berechnungen hat sich die epidemiologische Datenlage aber stark verändert und diese Gesundheitsabschätzungen entsprechen nicht mehr dem heutigen Kenntnisstand. Für zukünftige Abschätzungen der Auswirkungen gibt es zwei mögliche Vorgehensweisen: Erstens hat das Projekt SiRENE spezifische Daten für die Schweiz kreiert, die eine Abschätzung der verlorenen Lebensjahre wegen Herz-Kreislaufkrankungen erlauben würden. Der Vorteil dieser Daten ist, dass die Expositions-Wirkungsbeziehungen nicht aus einem anderen (internationalen) Kontext übertragen werden müssen. Andererseits ist eine einzelne Studie ungenauer als die gesamte epidemiologische Datenlage und somit kann ein Bias nie ganz ausgeschlossen werden. Zweitens werden in naher Zukunft von der WHO systematische Reviews publiziert werden (Heroux et al. 2016), die die Herleitung von aktualisierten Expositions-Wirkungsbeziehungen erlauben. Vor- und Nachteile dieser Expositions-Wirkungsbeziehungen sind umgekehrt zu den SiRENE Daten. Leider gibt es keine Auswirkungsabschätzungen für andere Lärmarten als Verkehr. Da es dazu auch kaum Studien gibt, stellt sich die Frage wie gut Expositions-Wirkungsbeziehungen für Verkehrslärm auf diese Lärmarten übertragbar sind.

6 Luft

Nr.	Umweltfaktor	Auswirkung	Klassifizierung des Zusammenhangs	Berechnung der Auswirkungen auf die Schweiz
6.1	Feinstaub (PM ₁₀ , PM _{2.5} , ultrafeine Partikel) in der Aussenluft	Mortalität (≥ 30 Jahre)	1	vorhanden
		Kindersterblichkeit (≤1 Jahr)	1	vorhanden
		Spitaleintritte wegen Herz-/Kreislaufkrankheiten (≥18 Jahre)	1	vorhanden
		Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen (alle Alter)	1	vorhanden
		Inzidenz von Bronchitis bei Erwachsenen (≥18 Jahre)	1	vorhanden
		Prävalenz von Bronchitis bei Kindern (6-18 Jahre)	1	vorhanden
		Tage mit Asthmasymptomen bei Erwachsenen (≥18 Jahre)	1	vorhanden
		Tage mit Asthmasymptomen bei Kindern (5-17 Jahre)	1	vorhanden
		Tage mit eingeschränkter Aktivität	1	vorhanden
		Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden	1	vorhanden
		Abnahme der Fertilität	4	nicht möglich
		Diabetes	2	nicht möglich
		Atemwegsallergien	2	nicht möglich
		Niedriges Geburtsgewicht	3	nicht möglich
		Demenz	3	nicht möglich
		Lungenkrebs	1	möglich
		COPD (chronic obstructive pulmonary disease)	1	möglich
6.2	Ozon in der Aussenluft	Mortalität	1	vorhanden
		Spitaleintritte wegen Herz-/Kreislaufkrankheiten und Atemwegserkrankungen (65+ Jahre) (kurzfristige Exposition)	1	nicht möglich
		Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden	1	nicht möglich
6.3	Stickstoffdioxid (NO ₂) in der Aussenluft	Mortalität	1	möglich*
		Inzidenz von Asthma bei Kindern	1	möglich*
		Inzidenz von Asthma bei Erwachsenen	2	nicht möglich
		Prävalenz von Bronchitis bei Kindern mit Asthma (5-14 Jahre)	1	nicht möglich
		Lungenkrebs	1	möglich*
		Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen (alle Alter) (kurzfristige Exposition)	1	möglich*

*Falls Daten zur NO₂ Verteilung in der Schweizer Bevölkerung bereitgestellt werden

Nr.	Umweltfaktor	Auswirkung	Klassifizierung des Zusammenhangs	Berechnung der Auswirkungen auf die Schweiz
6.4	Innenraum-schadstoffe	Sick Building Syndrom, Reizung, Wohlbefinden, erhöhte Symptomatik Allergie/Asthma	1	nicht möglich

6.1 Feinstaub in der Aussenluft

Vorhandene Daten zur Exposition

Die Exposition der Bevölkerung zu verkehrsbedingten Luftschadstoffen in der Schweiz wurde im Rahmen der externen Kostenberechnung 2010 vorgenommen. Die bevölkerungsgewichtete PM₁₀-Konzentration wurde für alle Einwohnerinnen und Einwohner, für die 0–14-Jährigen sowie für die über 30-Jährigen berechnet (Ecoplan & Infras 2014). Im Durchschnitt ist die Schweizer Bevölkerung einer PM₁₀ Konzentration von 19.4 µg/m³ ausgesetzt. Davon stammen 5.1 µg/m³ aus dem Verkehr (Strasse: 4.4, Bahn: 0.5, Schifffahrt: 0.1 und Flugverkehr 0.1 µg/m³). Haushalte tragen 3.4 µg/m³ bei, die Industrie 6.3 µg/m³ und die Landwirtschaft 4.1 µg/m³. Aus natürlichen Quellen stammen 0.5 µg/m³.

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Die WHO publizierte 2013 für Europa (HRAPIE-Projekt) Konzentrations-Wirkungsbeziehungen für PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂ und Ozon für verschiedene kurzfristige und langfristige Auswirkungen auf die Gesundheit. Die Konzentrations-Wirkungsbeziehungen (Relatives Risiko (RR)) beruhen auf der bis 2010 erschienen Literatur (Heroux et al. 2015; WHO 2013b) (siehe Tabelle 6.1). Diese Expositions-Wirkungsbeziehungen wurden auch für die externe Kostenstudie für die Schweiz verwendet. Seit der Herleitung der tabellierten Effektschätzer wurde eine Vielzahl von neuen Studien zu den Gesundheitswirkungen publiziert. So erschienen mehrere systematische Literaturübersichten zu Feinstaub und den Auswirkungen auf Lungenkrebs (Chen et al. 2015), Allergien (Gruziova et al. 2014), Frühgeburten (Lamichhane et al. 2016), Diabetes (Eze et al. 2015), kognitive Funktionen und Demenz (Power et al. 2016). Im Jahr 2013 hat die IARC zudem die Aussenluft als Ganzes und PM im Speziellen als kanzerogen (Klasse 1) eingestuft (Loomis et al. 2013).

Besonders relevant für die Abschätzungen von Auswirkungen von Luftschadstoffen ist das EU Projekt ESCAPE (<http://www.escapeproject.eu>). In diesem Projekt wurden Daten von rund 30 europäischen Studien – so auch die Schweizer SAPALDIA Studie - gemeinsam analysiert. Damit stehen neue Daten für Expositions-Wirkungsbeziehungen zur Verfügung, die europäische Verhältnisse besonders gut wiedergeben und deshalb auch auf die Schweiz übertragen werden können. Expositions-Wirkungsbeziehungen aus aggregierten Auswertungen wurden publiziert zu Mortalität, respiratorisch bedingte Sterblichkeit (Dimakopoulou et al. 2014), akute Herzerkrankungen (Cesaroni et al. 2014), Schlaganfälle (Stafoggia et al. 2014), chronische Bronchitis (Cai et al. 2014), Lungenkrebsinzidenz (Raaschou-Nielsen et al. 2013), Lungenfunktion (Adam et al. 2015; Gehring et al. 2013), Blutdruck (Fuks et al. 2014), niedriges Geburtsgewicht (Pedersen et al. 2013), Lebertumore (Pedersen et al. 2017), Asthma bei Kindern (Molter et al. 2015) und Erwachsenen (Jacquemin et al. 2015) sowie Atemwegsinfektionen bei Kindern (MacIntyre et al. 2014). Der besonders grosse Datensatz der Mortalität liess es zu, die Analysen auf jene Personen zu beschränken, deren Feinstaubbelastung draussen an der Wohnadresse tiefer lag als 20 µg/m³. Der Zusammenhang zwischen Belastung und Sterblichkeit blieb unverändert ohne Hinweis auf unschädliche Schwellenwerte.

Besonders interessant im Hinblick auf die Quantifizierung von quellenspezifischen Auswirkungen sind ESCAPE Publikation, die spezifisch verschiedene Anteile von Feinstaub

(Tsai et al. 2015) und ihre Auswirkungen auf kardiovaskuläre Sterblichkeit (Wang et al. 2014) und Lungenfunktion (Eeftens et al. 2014) untersuchten. Es ist zu erwarten, dass in Zukunft noch weitere Analysen zu anderen Gesundheitsauswirkungen erscheinen werden.

Tabelle 6.1. Überblick über die Expositions-Wirkungsbeziehungen der WHO (WHO 2013a), die für die Abschätzung der luftbedingten gesundheitlichen Auswirkungen für den 2010 Bericht zu den externen Effekten des Verkehrs (Ecoplan & Infras 2014) verwendet wurden.

Endpunkt	Relatives Risiko pro 10 µg/m ³ PM ₁₀ (95%-Konfidenzintervall)	Quelle	Kurz-/langfristiger Effekt
Mortalität (≥ 30 Jahre)	1.045 (1.029-1.06)	Meta-Analyse von 13 Kohortenstudien (Hoek et al 2013)	Langfristig
Kindersterblichkeit (≤1 Jahr)	1.04 (1.02-1.07)	HRAPIE Project (WHO 2013b), Woodruff et al. (1997) et al (1997), basierend auf 4 Millionen Kindern in den USA	Langfristig
Spitaleintritte wegen Herz-/Kreislaufkrankheiten (≥18 Jahre)	1.007 (1.001-1.012)	APED Meta-Analyse von 4 Einzelstädtestudien und einer Multicenterstudie	Kurzfristig
Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen (alle Alter)	1.014 (0.999-1.029)	APED Meta-Analyse von 3 Einzelstädtestudien	Kurzfristig
Inzidenz von Bronchitis bei Erwachsenen (≥18 Jahre)	1.117 (1.04-1.89)	HRAPIE Project (WHO 2013b), Kombination der longitudinalen AHSMOG und SAPALDIA Studien	Langfristig
Prävalenz von Bronchitis bei Kindern (6-18 Jahre)	1.08 (0.98-1.19)	HRAPIE Project (WHO 2013b), PATY (Pollution and the Young) Projekt (Hoek et al. 2012) von ca. 40'000 Kindern aus neun Ländern	Langfristig
Tage mit Asthmasymptomen bei Erwachsenen (≥18 Jahre)	1.029 (1.013-1.045)	Meta-Analyse von 6 europäischen Studien (Sommer et al. 2004)	Kurzfristig
Tage mit Asthmasymptomen bei Kindern (5-17 Jahre)	1.028 (1.006-1.051)	HRAPIE Project (WHO 2013b), Meta-Analyse von 36 Panelstudien an asthmatischen Kindern aus 51 Populationen (davon 36 von Europa) (Weinmayr et al. 2010)	Kurzfristig
Tage mit eingeschränkter Aktivität	1.034 (1.030-1.038)	Studie von 12'000 Erwachsenen aus 49 Städten aus den USA (Ostro 1987)	Langfristig
Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden	1.033 (1.028-1.038)	Studie von 12'000 Erwachsenen aus 49 Städten aus den USA (Ostro 1987)	Langfristig

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Feinstaub (PM₁₀) wurde bisher als Indikator für die externe Verkehrskostenschätzung verwendet (Ecoplan & Infras 2014). Auswirkungen wurden mit den oben erwähnten HRAPIE Expositions-Wirkungsbeziehungen quantifiziert unter der Berücksichtigung der Häufigkeiten der verschiedenen Gesundheitsendpunkte von der Sterbe- und Spitalstatistik des Bundesamts für Statistik (BFS), Schweizer Studien oder von Grundeinschätzungen der WHO. Damit ergaben sich für den Verkehr rund 12'500 verlorene Lebensjahre (1'200 frühzeitige Todesfälle) wegen der Feinstaubbelastung aus dem Verkehr. Auf die gesamte

Luftbelastung sind rund 29'000 verlorene Lebensjahre (2'800 frühzeitige Todesfälle) zurückzuführen (Tabelle 6.2). Kürzlich wurden die feinstaubbedingten Todesfälle auch von der Europäischen Umweltagentur abgeschätzt (EEA 2016). Diese kam zum Schluss, dass in der Schweiz 51'400 verlorenen Lebensjahre (4'980 vorzeitige Todesfälle) auf die $PM_{2.5}$ Belastung zurückzuführen ist. Diese höhere Schätzung im Vergleich zur Schweizer Studie rührt daher, dass keine untere Schwelle angewendet wurde. In der Schweizer Studie sind Auswirkungen unterhalb einer PM_{10} Konzentration von $7.5 \mu g/m^3$ nicht quantifiziert, da es für diesen Bereich kaum Studienresultate gibt und damit die statistische Ungenauigkeit steigt. Die attributablen Erkrankungsfälle im Zusammenhang mit der verkehrsbedingten Luftschadstoffbelastung sowie der gesamten Luftschadstoffbelastung aus der Schweizer Studie sind in Tabelle 7.3 aufgelistet.

Tabelle 7.2. Abdiskontierte verlorene Lebensjahre und Todesfälle für verschiedene Schadstoffemittenten aus Ecoplan & Infras (2014).

	Strassenverkehr						Schienenverkehr		Schiffsverkehr		Luft- verkehr Total	Total Verkehr	Total Luft- belastung
	PW	Li	SNF (LW+SS)	GW	Bus	MR (inkl Mofa)	Personen- verkehr	Güterverkehr	Personen- verkehr	Güterverkehr			
Anzahl abdiskontierte verlorene Lebensjahre													
Über 30-Jährige	7039	892	1823	156	415	61	801	477	117	86	281	12148	28138
Säuglinge	187	24	49	4	11	2	21	13	3	2	8	323	753
Säuglinge und über 30-Jährige	7226	916	1872	161	426	63	822	489	120	88	289	12471	28891
Anzahl abdiskontierte verlorene Erwerbsjahre													
Über 30-Jährige	692	88	179	15	41	6	79	47	11	8	28	1195	2767
Säuglinge	86	11	22	2	5	1	10	6	1	1	4	148	346
Säuglinge und über 30-Jährige	778	99	202	17	46	7	88	53	13	10	31	1343	3113
Anzahl abdiskontierte frühzeitige Todesfälle													
Über 30-Jährige	707	90	183	16	42	6	80	48	12	9	28	1220	2827
Säuglinge	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6	13
Säuglinge und über 30-Jährige	710	90	184	16	42	6	81	48	12	9	28	1226	2840
Anzahl abdiskontierte frühzeitige Todesfälle von Erwerbstätigen													
Über 30-Jährige	84	11	22	2	5	1	10	6	1	1	3	145	335

PW = Personenwagen, Li = Lieferwagen, SNF = schwere Nutzfahrzeuge (Lastwagen und Sattelschlepper), GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad.

Tabelle 7.3. Überblick über die Auswirkungen der Luftbelastung auf die Morbidität im Jahr 2010 aus Ecoplan & Infras (2014).

	Strassenverkehr						Schienenverkehr		Schiffsverkehr		Luft- verkehr Total	Total Verkehr	Total Luft- belastung
	PW	Li	SNF (LW+SS)	GW	Bus	MR (inkl Mofa)	Personen- verkehr	Güterverkehr	Personen- verkehr	Güterverkehr			
Spitaleintritte wegen Herz-/Kreislaufkrankungen	285	36	74	6	17	2	32	19	5	3	11	493	1138
Spittage wegen Herz-/Kreislaufkrankungen	2743	348	711	61	162	24	312	185	46	34	110	4735	10940
Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen	285	36	74	6	17	2	32	19	5	3	11	491	1131
Spittage wegen Atemwegserkrankungen	2369	301	615	53	140	21	270	160	39	29	95	4092	9420
Inzidenz von Bronchitis bei Erwachsenen (≥18 Jahre)	808	104	212	18	48	7	93	55	14	10	33	1403	3078
Prävalenz von akuter Bronchitis bei Kindern (5-17 Jahre)	4449	570	1166	100	262	39	502	303	76	56	183	7705	17302
Tage mit Asthmaanfälle Erwachsene (≥18 Jahre)	11378	1448	2958	254	673	99	1297	772	190	140	457	19666	44943
Tage mit Asthmaanfälle bei Kindern (5-17 Jahre)	27059	3447	7052	603	1585	235	3034	1829	456	336	1106	46742	107545
Tage mit eingeschränkter Aktivität	1204146	153313	313240	26893	71250	10534	137348	81750	20114	14801	48451	2081838	4746089
Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden (≥15 Jahre)*	288672	36751	75088	6446	17079	2525	32924	19596	4821	3548	11614	499064	11438140

PW = Personenwagen, Li = Lieferwagen, SNF = schwere Nutzfahrzeuge (Lastwagen und Sattelschlepper), GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad. Tage mit eingeschränkter

*Aktivität und Tage mit Erwerbsausfall vor Abzug der Doppelzählung mit anderen Krankheitsbildern.

6.2 Ozon in der Aussenluft

Vorhandene Daten zur Exposition

Modellierungen der Ozonkonzentration für die Schweiz sind vorhanden (<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/zustand/daten/luftbelastung--aktuelle-daten/ozonkarte.html>). Es wird jedoch nur die Verteilung des 98% Perzentil des monatlichen maximalen Stundenwertes modelliert. Andere Expositionsmasse die häufig in epidemiologischen Studien verwendet werden – wie beispielsweise der maximale tägliche 8-Stundenmittelwert – liegen nicht vor, sind aber in hohem Masse zeitlich und räumlich korreliert. Neben den Modellierungen wird Ozon an einer Vielzahl von kantonalen und nationalen (NABEL) Messstationen gemessen. Solche Daten können für die Abschätzung der Bevölkerungsexposition herangezogen werden.

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Die WHO hat empfohlen für kurzfristige Auswirkungen von Ozon auf die Mortalität ab einer Schwellenkonzentration des täglichen maximalen 8-Stundenmittelwert von $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ von einer linearen Zunahme der Mortalität von 0.29% (95%-KI: 0.14%- 0.43%) pro $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auszugehen (WHO 2013b). Dieser Effektschätzer basiert auf Daten von 32 europäischen Städten (APHENA Studie). Alternativ empfiehlt die WHO langfristige Auswirkungen zu quantifizieren. Sie schlägt für die Sterblichkeit wegen Atemwegserkrankungen bei über 30-Jährigen einen Effektschätzer von der amerikanischen Krebskohortenstudie vor: Zunahme des Sterberisikos: 1.4% (95% KI 0.5%- 2.4%) pro $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Zunahme der mittleren täglichen 8-Stunden Maximal-Ozonkonzentration in den Sommermonaten (April-September). Auch für langfristige Auswirkungen wird eine Referenzkonzentration von $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vorgeschlagen (WHO 2013b). In einer kürzlich erschienenen systematischen Übersichtsarbeit wurde für die langfristigen Auswirkungen von Ozon eine Risikozunahme von 0.5% (95% KI 0%-1%) für kardiovaskuläre Todesfälle und eine Risikozunahme von 1.5% (95% KI 0.5%-2.5%) für respiratorische Todesursachen pro $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Zunahme der langfristigen Ozonexposition in den Sommermonaten gefunden (Atkinson et al. 2016).

Neben Mortalität hat die WHO Effektschätzer für kurzfristige Auswirkungen von Ozon auf Spitaleintritte aufgrund von Herz-/Kreislauf- und Atemwegserkrankungen von der APHENA Studie hergeleitet. Für kardiovaskuläre Spitaleinweisungen bei über 65-Jährigen beträgt die Risikozunahme ab $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 0.89% (95% KI: 0.50%-1.27%) und für respiratorisch bedingte Spitaleinweisungen 0.44% (95% KI: 0.07%-0.83%) pro $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Zunahme der mittleren täglichen 8-Stunden Maximal-Ozonkonzentration (WHO 2013b).

In einer amerikanischen Studie wurde ein konsistenter Zusammenhang zwischen Tage mit Erwerbsausfall und Ozon beobachtet und die WHO empfiehlt die diesbezüglichen Effekte bei der Quantifizierung von Gesundheitsauswirkungen von Ozon zu berücksichtigen. Damit sind auch andere Symptome wie beispielsweise Verschlechterung des Gesundheitszustandes von Asthmatikern durch Ozon erfasst, die sich weder in der Sterblichkeit noch in Spitaleinweisungen niederschlagen. Die Zunahme von Abwesenheiten am Arbeitsplatz beträgt 1.54% (95% KI: 0.60%-2.49%) pro $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Zunahme der mittleren täglichen 8-Stunden Maximalozonkonzentration in den Sommermonaten. Dieser Zusammenhang gilt für alle Altersgruppen (WHO 2013b).

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Ozon ist ein Schadstoff, dessen zeitliche und räumliche Verteilung in der Schweiz (und Europa) nicht mit Feinstaub korreliert und dessen gesundheitliche Auswirkungen mit dem Leitschadstoff PM_{10} folglich nicht berücksichtigt sind. Gemäss den Abschätzungen der Europäischen Umweltagentur verursacht Ozon in der Schweiz 2'700 verlorene Lebensjahre (240 vorzeitige Todesfälle) (EEA 2016). Auch im Global Burden of Disease werden seit mehreren Jahren sowohl die Folgen von Feinstaub als auch von Ozon global ausgewiesen, wobei auch hier die Folgen von Feinstaub um ein Vielfaches höher ausfallen als jene von

Ozon. Eine besondere Schwierigkeit bei der Quantifizierung der Beiträge der einzelnen Quellen an den Ozon-bedingten Gesundheitsauswirkungen ist die Tatsache, dass Ozon ist ein sekundärer Schadstoff ist und Verbrennungsemissionen lokal zu einer Reduktion führen können. Zudem wird die Ozonkonzentration zu einem grossen Teil durch Langstreckentransporte und natürliche Quellen beeinflusst.

6.3 Stickstoffdioxid (NO₂) in den Aussenluft

Vorhandene Daten zur Exposition

Die räumliche Verteilung von Stickoxiden wird in der Schweiz regelmässig durch Meteotest modelliert. Daraus wurde auch die bevölkerungsgewichtete Exposition berechnet. Diese beträgt für die Jahre 2010 bis 2014 rund 20 µg/m³ (Meteotest 2015).

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Die WHO hat auch für NO₂ für eine Reihe von Gesundheitseffekten inkl. Sterblichkeit Expositions-Wirkungsbeziehungen publiziert (WHO 2013a). Für die Quantifizierung der langfristigen Auswirkungen der Sterblichkeit bei den über 30-Jährigen wird ein Effektschätzer (RR) von 1.055 (95% KI: 1.031-1.080) pro 10 µg/m³ Zunahme der NO₂ Exposition vorgeschlagen. Dieser Effektschätzer stammt von einer Meta-Analyse aller Kohortenstudien (n=11), die vor 2013 publiziert wurden (Hoek et al. 2013). Es handelt sich dabei um Risiken aus Einzelschadstoffmodellen.

Weiter schlägt die WHO vor, bronchitische Symptome bei asthmatischen Kindern (5-14 Jahre) im Zusammenhang mit der NO₂ Exposition zu quantifizieren. Der Effektschätzer stammt aus einem Mehrfachschaadstoffmodell der Southern California Children's Health Study (McConnell et al. 2003) und beträgt 1.231 (95% KI: 0.904-1.791) pro 10 µg/m³ Zunahme der NO₂ Konzentration. Für Spitaleinweisungen wegen Atemwegserkrankungen in allen Altersgruppen hat die WHO einen Effektschätzer von 1.018 (95% KI: 1.012-1.025) pro 10 µg/m³ Zunahme der NO₂ Konzentration hergeleitet (WHO 2013a).

Neue Meta-Analysen zu NO₂ berichten über einen Zusammenhang mit Lungenkrebs (Hamra et al. 2015) und Häufigkeit von Asthma bei Kindern (Favarato et al. 2014).

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Für die nationale Quantifizierung der Auswirkungen der Luftbelastung wurde bisher immer PM₁₀ als Leitschadstoff verwendet. Die Europäische Umweltagentur schätzt für die Schweiz 11'700 verlorenen Lebensjahre (1'140 vorzeitige Todesfälle) aufgrund von NO₂. Da NO₂ und PM₁₀ teilweise von den gleichen Quellen stammen und miteinander korrelieren, können epidemiologische Studien mit Einzelschadstoffmodellen den Zusammenhang nicht unabhängig voneinander quantifizieren. Die gesundheitlichen Auswirkungen von NO₂ und Feinstaub dürfen nicht addiert werden, um die Auswirkungen der gesamten Luftschadstoffbelastung zu quantifizieren. Dies könnte zu einer Doppelzählung von bis zu 30% der Auswirkungen von NO₂ und PM führen (EEA 2016).

Für ihre Abschätzungen wendet die Europäische Umweltagentur den von der WHO vorgeschlagenen Effektschätzer von 1.055 (95% KI: 1.031-1.08) pro 10 µg/m³ an unter Berücksichtigung einer von der WHO empfohlenen Referenzkonzentration von 20 µg/m³. Es wird aber in dieser Studie explizit betont, dass eine solch hohe Referenzkonzentration zu konservativ sein könnte, da auch unterhalb dieser Schwelle Zusammenhänge mit der Sterblichkeit beobachtet wurden. Würde man analog zur Abschätzung beim Feinstaub, mit einer Referenzkonzentration von 7.5 µg/m³ rechnen, ergäben sich rund 4'000 (95% KI: 2'300-5'600) attributable Todesfälle wegen NO₂. Das sind deutlich mehr als in der externen Kostenschätzungsstudie für PM₁₀ ausgewiesen wurden (2'840) (Ecoplan & Infras 2014). Dies deckt sich mit einer kürzlich für die Region Lausanne erschienene Studie (Castro et al. 2017), welche den gesundheitlichen Nutzen der lokalen Luftreinhaltepolitik hochrechnete. Die NO₂-basierten Berechnungen fielen ebenfalls höher aus als die für PM₁₀ berechneten Fallzahlen. Der lokale Nutzen der auf den Verkehr ausgerichteten Luftreinhaltepolitik lässt

sich anhand NO_2 besser erfassen als mit PM_{10} , das von vielen verschiedenen Quellen stammt. Falls die Lausanner Studie auch für die Schweiz zutrifft, könnte dies darauf hinweisen, dass die auf PM_{10} beruhende Folgenabschätzung der Luftverschmutzung eine eher konservative Schätzung ergibt. In Bezug auf respiratorisch bedingte Hospitalisierungen ergeben sich mit dem Leitschadstoff NO_2 gemäss dem WHO Effektschätzer 1'500 Spitaleintritte, die sich zu 12'800 Spitaltage summieren. Die Grundhäufigkeit von bronchitischen Symptome bei Kindern mit Asthma ist in der Schweiz nicht bekannt. Deshalb können die entsprechenden Auswirkungen nicht quantifiziert werden. Mit dem Effektschätzer von Hamra et al. (2015) ergeben sich 200 Lungenkrebsfälle, die auf NO_2 zurückzuführen sind, bzw. 150 Lungenkrebstodesfälle.

6.4 Innenraumschadstoffe

Vorhandene Daten zur Exposition

Die stärkste Innenraumbelastung entsteht durch Rauchen, das unter anderem Belastungen mit Feinstaub inkl. polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Stickoxide (NO_x), Kohlenmonoxide (CO), Formaldehyde und Benzol verursacht. Auch andere Verbrennungsprozesse im Innenraum, wie das Kochen und Heizen mit Gas oder Holz, das Abbrennen von Kerzen oder gasbetriebene Durchlauferhitzer führen zu einer signifikanten Zunahme von Luftschadstoffkonzentrationen. Vor allem in Neubauten und nach Sanierungen können zudem erhöhte Innenraumbelastungen durch chemische Schadstoffe in Baustoffen auftreten (z. B. flüchtige organische Verbindungen (VOC), Biozide, Weichmacher, Flammenschutzmittel). Kohlendioxid und Gerüche sind eine Folge des Stoffwechsels der Bewohnerinnen und Bewohner. Auch Einrichtungsgegenstände können Schadstoffe enthalten und an die Luft abgeben. Zudem sind neben chemischen Schadstoffen im Innenraum auch biologische Schadstoffe wie Schimmelpilze oder Milben relevant. Die Voraussetzungen für das Auftreten von Schimmelpilz sind hohe Feuchtigkeit, geringer Luftaustausch und kalte Stellen (Kältebrücken). Eine erhöhte Feuchtigkeit im Innenraum begünstigt auch die Ausbreitung von Hausstaubmilben (SCNAT 2016b; c).

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Die gesundheitlichen Wirkungen von Feinstaub und Stickoxiden sind gut untersucht. Sie beeinflussen das Atemwegs- sowie das Herz-/Kreislaufsystem und erhöhen sowohl kurz- als auch langfristig das entsprechende Erkrankungs- und Todesfallrisiko. Feinstaub gilt gemäss IARC als kanzerogen (Klasse 1). Schwieriger abzuschätzen sind die Auswirkungen der vielfältigen Belastungen durch VOC und andere chemische Schadstoffe. Vor allem langfristige Auswirkungen wurden noch wenig erforscht. Einige der erwähnten Substanzen sind erwiesenermassen auch kanzerogen. Kurzfristig können sie bezüglich Ursache unspezifische Beschwerden wie Schleimhautreizungen, Kopfschmerzen, Müdigkeit und Unwohlsein auslösen. Das Auftreten von solchen unspezifischen Gesundheitsbeschwerden in Innenräumen wird insbesondere bei Arbeitsplatzbelastungen auch häufig als „Sick-Building-Syndrom“ bezeichnet. Oft kann jedoch bei diesem Krankheitsbild keine verursachende Substanz identifiziert werden und andere psychologische Faktoren spielen ebenfalls eine Rolle.

Der Kot von Hausstaubmilben aber auch Schimmelpilze oder Tierhaare können bei entsprechend prädisponierten Personen eine Allergie auslösen. Am häufigsten reagieren Allergiker und Allergikerinnen mit Atembeschwerden (Asthma), Schnupfen (Rhinitis), Augenbrennen und Bindehautentzündung (Konjunktivitis), Hautausschlägen (Ekzeme, Kontaktdermatitis) sowie Durchfall (Typ I- und IV-Allergien). In seltenen Fällen können allergische Vorgänge Blutzellen, Gewebe und Organe schädigen (Typ II- und III-Allergien) (SCNAT 2016b; c).

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Es wurden für die Schweiz keine Quantifizierungen der Gesundheitsauswirkungen gefunden.

6.5 Fazit

Die Gesundheitsauswirkungen der Feinstaubbelastung durch den Verkehr werden für die Schweiz regelmässig quantifiziert. Mittlerweile gibt es jedoch eine Vielzahl von neuen Studien mit aktuellen Expositions-Wirkungsbeziehungen von europäischen Kohortenstudien. Es ist denkbar, dass diese Expositions-Wirkungsbeziehungen besser den Schweizer Kontext reflektieren als die bisher verwendeten Expositions-Wirkungsbeziehungen der WHO, die für einige Gesundheitsauswirkungen von Studien aus der ganzen Welt (vor allem nordamerikanische und europäische Studien) hergeleitet wurden. Ein kritischer Parameter bei den Abschätzungen der Auswirkungen der gesamten Luftbelastung ist die verwendete Referenzkonzentration, welche einen grossen Einfluss auf das Resultat ausübt. Es empfiehlt sich, diesen Aspekt in Zukunft genauer zu evaluieren.

In Bezug auf quellspezifische Gesundheitsauswirkungen liefern die neuen Studien viel genauere Daten zu den Gesundheitseffekten der verschiedenen Feinstaubanteile. Damit stellt sich die Frage, ob das bisherige Vorgehen bei den Schätzungen der externen Kosten mit einem einzigen Leitschadstoff (PM_{10}) noch adäquat ist. PM_{10} ist ein guter Indikator für die gesamte Luftbelastung aber nicht unbedingt für jede einzelne Quelle. Kritisch ist zum Beispiel der Leitschadstoff PM_{10} für die Quantifizierung der Gesundheitsauswirkungen des Flugverkehrs. Eine Risikoabschätzungsstudie für den Flughafen Genf zeigte, dass die gleiche Abschätzungsmethode mit NO_2 statt PM_{10} für den Flugverkehr rund 30 Mal mehr verlorene Lebensjahre ergibt (Cantoreggi et al. 2016). Der Grund liegt darin, dass der Flugverkehr kaum Feinstaub emittiert, dafür deutlich mehr Stickoxide. Insofern ist PM_{10} für den Flugverkehr nicht der ideale Leitschadstoff, da der Zusammenhang zwischen Stickoxide und Sterblichkeit ebenfalls etabliert ist. Für quellspezifische Quantifizierung der Gesundheitsauswirkungen ist es daher notwendig, die Methodik weiter zu entwickeln und sich nicht nur auf einen Leitschadstoff abzustützen sondern das vorhandene Wissen zu den Gesundheitseffekten der verschiedenen Luftschadstoffe zur berücksichtigen. Es ist auch zu betonen, dass es mittlerweile mehr Studien zu den Gesundheitsauswirkungen von Russ oder elementaren Kohlenstoff gibt. Die grosse Herausforderung dabei wird sein, die Korrelation der Schadstoffe untereinander adäquat zu berücksichtigen um Doppelzählungen zu vermeiden. Wenn man sich nur auf Studien mit Mehrschadstoffmodellen abstützt, wird die Datenlage stark eingeschränkt. Ein mögliches Vorgehen könnte darin bestehen, dass man wie bisher alle verfügbaren Studien evaluiert aber aus den vorhandenen Studien mit Multiexpositionsmodellen abschätzt wie stark die Reduktion des Gesundheitsrisikos für einen bestimmten Leitschadstoff ist, wenn gleichzeitig noch andere Schadstoffe in den epidemiologischen Analysen berücksichtigt werden.

In Bezug auf Innenraumschadstoffe fehlen in der Schweiz Expositionsdaten für eine gute Abschätzung der Gesundheitsauswirkungen. Auch die Expositions-Wirkungsbeziehungen müssten systematisch evaluiert werden. Der Aufwand wäre beträchtlich.

7 Naturgefahren

Nr.	Umweltfaktor	Auswirkung	Klassifizierung des Zusammenhangs	Berechnung der Auswirkungen auf die Schweiz
7.1	Hochwasser, Murgänge, Rutschungen, Sturzprozesse	Mortalität	2	möglich
		Hospitalisierungen	2	nicht möglich
7.2	Lawinen	Mortalität	2	möglich
		Hospitalisierungen	2	nicht möglich

7.1 Hochwasser, Murgänge, Rutschungen, Sturzprozesse

Vorhandene Daten zur Exposition

Seit den 1970er-Jahren hat die Anzahl der extremen Naturereignisse tendenziell zugenommen. Total 12 Grossereignisse haben seither sattgefunden, von denen acht auf Hochwasser zurückzuführen sind (BAFU 2015f).

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Die Auswirkungen von möglichen Ereignissen sind schwierig abzuschätzen. Mit Massnahmen wie Schutzbauten, Gefahrenkarten, Intensitätskarten, Risikomanagement und raumplanerischen Massnahmen wird versucht die Risiken und Schäden zu minimieren.

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Die Anzahl Todesopfer aufgrund von Naturgefahren (Murgang, Rutschung, Steinschlag und Felssturz) werden von der eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) im Auftrag des BAFU systematisch erfasst und auf der Website des BAFU publiziert (BAFU 2016c). Die Daten gelten als Indikator für die Wirksamkeit präventiver Massnahmen sowie das gefahrengerechte Verhalten der Bevölkerung. Die Daten basieren hauptsächlich auf Meldungen von Schweizer Zeitungen und Zeitschriften sowie auf Angaben von Kantonen und Versicherungsgesellschaften. In der Zeitperiode 1972-2015 forderten Hochwasser insgesamt 52 Todesopfer, Murgänge deren 21 und Rutschungen deren 40. Seit Beginn der systematischen Erfassung im Jahre 2002 starben wegen Sturzprozesse insgesamt 16 Menschen. Im Durchschnitt kamen durch Hochwasser, Murgänge und Rutschungen seit 1972 jährlich 2.6 Menschen ums Leben (BAFU 2016c). Dies sind im internationalen Vergleich wenig. Daten zu den Hospitalisierungen aufgrund Naturereignisse liegen keine vor. Ungewiss ist, wie sich der Klimawandel auf die Naturgefahren auswirken wird.

7.2 Lawinen

Vorhandene Daten zur Exposition

Das WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) in Davos erhebt im Auftrag des Bundesrates systematisch Daten zu Lawinenunglücken in der Schweiz (BAFU 2016c).

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Nicht relevant (siehe dazu auch Kapitel 7.1)

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

„Lawinen forderten in der Periode 1936-2013 durchschnittlich 25 Todesopfer pro Jahr. Der Grossteil davon (70%) entfällt auf so genannte Touristenunfälle abseits gesicherter Pisten und auf Skitouren. Die durchschnittliche Anzahl der Todesopfer ist verglichen mit dem 19. Jahrhundert stabil. Angesichts der bedeutenden Bevölkerungszunahme hat sie im Verhältnis zur Gesamtbevölkerung sogar abgenommen (BAFU 2016c).“

7.3 Fazit

Die direkten gesundheitlichen Auswirkungen von Naturgefahren können aus der Unfallstatistik hergeleitet werden. Relevant im Kontext von dieser Studie sind vor allem zukünftige Entwicklungen der Naturgefahren aufgrund des menschlichen Einflusses (z. B. Klimawandel). Die diesbezüglichen Gesundheitsauswirkungen hängen von den getroffenen Adaptions- beziehungsweise Schutzmassnahmen ab.

8 Nicht-ionisierende Strahlung

Nr.	Umweltfaktor	Auswirkung	Klassifizierung des Zusammenhangs	Berechnung der Auswirkungen auf die Schweiz
8.1	Licht (künstliches Licht in der Nacht)	Schlafstörungen	2	nicht möglich
		Brustkrebs	3	nicht möglich
8.2	UV-Strahlung	Melanome	1	nicht möglich
		weisser Hautkrebs	1	nicht möglich
		Immunsystem	1	nicht möglich
		Vitamin D Synthese	1	nicht möglich
8.3	niederfrequente Felder	Kinderleukämie	4	nicht möglich
		neurodegenerative Erkrankungen	4	nicht möglich
8.4	Hochfrequente Felder	Krebs	4	nicht möglich
		neurodegenerative Erkrankungen	5	nicht möglich
		Fortpflanzung	5	nicht möglich

8.1 Licht (künstliches Licht in der Nacht)

Es ist unbestritten, dass sichtbares Licht die Lebensgrundlage darstellt und positive Auswirkungen auf das Wohlbefinden hat. Beispielsweise hat natürliches Licht am Arbeitsplatz in vielen Studien einen positiven Einfluss auf das subjektive Befinden. Die positiven Gesundheitsauswirkungen von Licht werden aber im Rahmen dieses Berichtes nicht weiter vertieft.

Vorhandene Daten zur Exposition

Übermässiges künstliches Licht kann einen negativen Einfluss auf die nächtliche Landschaft, die Artenvielfalt und den Menschen haben (Chepesiuk 2009; Schlangen et al. 2014). Betroffen von hohen künstlichen Lichtemissionen von der öffentlichen Beleuchtung oder Werbung während der Nacht sind vor allem die urbanen Räume in der Schweiz. Die gegen oben gerichteten Lichtemissionen haben in der Schweiz in den letzten zwanzig Jahren um rund 70% zugenommen (Schweizer Bundesrat 2012). Eine Analyse von Satellitenbildern von 1994 bis 2012 im Rahmen der Landschaftsbeobachtung Schweiz (LABES) zeigt, dass vor allem das Mittelland von Lichtemissionen in der Nacht betroffen ist. Schon seit 1996 gibt es in der Region Mittelland keinen km² mehr mit Nachtdunkelheit (entspricht einer normalen „Hintergrunddunkelheit“ einer mondlosen Nacht) (BAFU & WSL 2017).

Wichtige Kriterien für die Einschätzung der Lichtexposition während der Nacht sind die Beleuchtungsstärke und die Leuchtdichte. Eine vom BAFU in Auftrag gegebene Studie hat das Ausmass der Lichtimmissionen für verschiedene Situationen gemessen. Die von aussen kommenden Lichtemissionen in Wohnungen wurden stichprobenartig an Fenstern und Fassaden an verschiedenen Standorten (Agglomeration, urbaner Raum, ruraler Raum mit mässiger Besiedlung, ruraler Raum mit schwacher Besiedlung) ermittelt. Mit Ausnahme des ruralen Raums mit geringer Besiedlungsdichte wurden an allen Standorten hohe und tiefe (vertikale) Beleuchtungsstärken gemessen (Emin (lx)-Emax (lx): urban: 0.04-24.9; Agglomeration 0.00-5.7; rural mit mässiger Besiedlung: 0.00-19.29; rural mit schwacher

Besiedelung 0.00-0.07). Das punktuell gemessene Helligkeitsniveau war massgebend von der Strassengeometrie abhängig (art light GmbH 2015). Normale Beleuchtungsstärken in Innenräumen sind 100-200 lx (Cajochen 2007).

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Auswirkungen von künstlichen Lichtquellen im Aussenraum auf die Schlafqualität sind auf übermässige Raumaufhellungen während der Nacht zurückzuführen. Als besonders störend gelten – in der Reihenfolge zunehmender Störung – gelbes oder weisses Licht, grünes, rotes oder blaues Licht sowie blinkendes Licht mit geringer und mit hoher Blinkfrequenz. Eine Bewertung der Lichtimmissionen als Belästigung beruht auch auf subjektiven Faktoren (Schweizer Bundesrat 2012).

In Laborstudien wurden Dosis-Wirkungsbeziehungen von Licht auf den Melatoninspiegel (Hormon, das den Tag-Nacht-Rhythmus steuert) sowie andere Parameter zur Beschreibung von Wachheit bzw. Schläfrigkeit ermittelt (Cajochen 2007). Inwiefern diese jedoch auf die Gesamtbevölkerung unter realen Bedingungen zutreffen ist unklar. Verschiedene Parameter müssen berücksichtigt werden. So ist die Wirkung der Lichtexposition abhängig von der Dauer, der Tageszeit, der Beleuchtungsintensität sowie der Wellenlänge des Lichts. Die Ausprägung der biologischen Effekte von Licht wird zudem von der individuellen Anpassung und der langfristigen Lichtexposition beeinflusst (Schlangen et al. 2014).

Einige Studien haben bei Frauen, die nachts über längere Zeit künstlichem Licht ausgesetzt waren (z. B. bei Schichtarbeit) ein höheres Risiko für Brustkrebs gefunden. Die Forschung zum Zusammenhang zwischen Schichtarbeit und Krebs ist jedoch nicht eindeutig (Chepesiuk 2009; Hurley et al. 2014). Die IARC klassiert Schichtarbeit, welche den circadianen Rhythmus stört, als wahrscheinlich kanzerogen (IARC 2007).

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Die Bedeutung von künstlichen Lichtemissionen während der Nacht für die Gesundheit der Schweizer Bevölkerung wurde für die Schweiz noch nicht quantifiziert. Es bestehen Schwierigkeiten der genauen Abschätzung der Exposition zu künstlichem Licht, da neben der Lichtexposition auch das individuelle Verhalten die Exposition beeinflussen kann (Schlafverhalten, subjektive Beurteilung der Störung, Einsatz von Fensterläden und Rollläden, etc.). Aufgrund der Tatsache, dass die Exposition zu künstlichem Licht während der Nacht den Tag-Nacht-Rhythmus beeinträchtigen kann und dadurch nicht nur Schlafprobleme sondern auch möglicherweise Krebs verursachen kann, erscheint eine Quantifizierung der Auswirkungen für den Menschen wichtig. Eine Studie am Swiss TPH modelliert derzeit die Lichtexposition im Aussenraum während der Nacht für die Schweiz und untersucht mögliche Zusammenhänge mit Brustkrebs unter Berücksichtigung von anderen Umweltfaktoren. Die Exposition zu künstlichem Licht im Aussenraum wird dabei mittels Satellitenbildern ausgewertet.

Eine weitere mögliche Auswirkung von Licht auf die Gesundheit sind Belästigungen aufgrund von Blendungen. Sonnenlicht, das an spiegelnden Flächen wie Glasfassaden oder Photovoltaikanlagen reflektiert wird kann während dem Tag die Bevölkerung belästigen. Es bestehen keine aussagekräftigen Daten bezüglich des Ausmasses der Belästigung und der Zumutbarkeit.

Ferner untersucht die Forschung derzeit auch den Einfluss von künstlichem Licht im Innenraum auf den Tag-Nacht-Rhythmus. Vor allem blaues Licht (von Tablets, Smartphones, etc.), das über Rezeptoren ohne Sehfunktion auf der Netzhaut aufgenommen wird, scheint solche chronobiologischen Wirkungen zu haben (Cajochen et al. 2011). Ob, welche Intensitäten und zu welchem Ausmass auch Lichtquellen im Aussenraum chronobiologische Wirkungen haben, ist unklar (Schlangen et al. 2014; Schweizer Bundesrat 2012).

8.2 UV-Strahlung

Vorhandene Daten zur Exposition

Das Bundesamt für Gesundheit publiziert täglich den Ultraviolett (UV) Index. Daraus lässt sich die räumliche und zeitliche Verteilung der UV-Strahlung in der Schweiz herleiten. Die persönliche UV-Exposition hängt jedoch auch vom eigenen Verhalten ab. Basierend auf Befragungen und Satellitendaten wurde der Median der jährlichen UV-Strahlung bei französischen Arbeitern draussen auf 77 kJ/m² bis 116 kJ/m² geschätzt (Vernez et al. 2015a). Die höchste standardisierte erythemwirksame UV Dosis (SED) wurde bei Gärtnern (1.19 SED) gefunden, gefolgt von Bauarbeitern (1.13 SED) und Bauern (0.95 SED). Neben Geschlecht und Hauttyp war das Einnehmen von Mittagessen draussen ein wichtiger Einflussfaktor. Zur UV-Exposition der allgemeinen Bevölkerung wurden nur wenig Informationen gefunden. Bei sieben Maturanden von Davos entsprach die gemessene UV-Strahlung zwischen März und August 1.7% der gesamten UV-Strahlung draussen (Grobner et al. 2015). Es gibt auch ein Modell um die individuelle UV-Strahlung aus der Umgebungsstrahlung berechnen zu können (Vernez et al. 2015b). Ein wichtiger Faktor für die persönliche UV-Exposition ist auch der Besuch von Solarien, was aber nicht Gegenstand dieses Berichts ist.

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Es ist unbestritten, dass UV-Strahlen die Erbsubstanz schädigen und damit das Risiko an Hautkrebs zu erkranken erhöhen. Es ist auch bekannt, dass hohe Dosen von UV-Strahlung das Immunsystem schwächen (Schwarz 2005). Man geht davon aus, dass dieser Effekt einerseits in direktem Zusammenhang mit dem erhöhten Risiko für Hautkrebs steht, andererseits aber auch das Risiko für Autoimmunkrankheiten senkt (Halliday et al. 2012). Die IARC (Internationale Agentur für Krebsforschung) hat UV-Strahlung als kanzerogen (Klasse 1) eingeschätzt (IARC 2012). Dabei sind sowohl nicht-melanozytärer Hautkrebs (umgangssprachlich oft weisser Hautkrebs) wie auch maligne Melanome (schwarzer Hautkrebs) betroffen. Für nicht-melanozytärer Hautkrebs sind insbesondere die kumulierte UV-Strahlung (Lebensdosis) relevant, während bei den Melanomen starke Sonnenbrände in der Kindheit und Jugend eine grosse Rolle spielen (Green et al. 2011). Zu der Expositions-Wirkungsbeziehung der solaren UV-Strahlungen in der allgemeinen Bevölkerung gibt es keine aktuellen Daten. Whiteman et al. (2001) beschrieben in einer systematischen Literaturanalyse den Einfluss der kindlichen UV-Strahlung für das Risiko später an einem Melanom zu erkranken. Usher-Smith et al. (2014) geben einen Überblick über verschiedenen Risikofaktoren für Melanome, unter anderem solare UV-Strahlung, ohne aber eine Expositions-Wirkungsbeziehung abzuschätzen. Für Personen, die draussen arbeiten, zeigt eine Meta-Analyse von 24 epidemiologischen Studien ein um 43% (95% KI: 23%-66%) erhöhtes Risiko an einem Basalzellenkarzinom zu erkranken (Bauer et al. 2011). Neben Hautkrebs wurden im Zusammenhang mit UV-Strahlung auch erhöhte Risiken für Lippenkrebs, Tumore der Bindehaut und Melanome in den Augen gefunden (IARC 2012). Dafür gibt es aber keine systematischen Herleitungen der Expositions-Wirkungsbeziehung. Neben den negativen Auswirkungen hat die UV-Strahlung auch erwiesenermassen positive Auswirkungen auf die Gesundheit. UV-B Strahlung ist wichtig für die Vitamin D Synthese (Grant 2013). Dazu braucht es jedoch nur eine vergleichsweise geringe UV-B Dosis (Mahé et al. 2015). Eine gute Vitamin D Versorgung ist unter anderem wichtig für gesunde Knochen.

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Es gibt keine Abschätzungen zu den attributablen Hautkrebsfällen wegen solarer UV Exposition für die Schweiz. Für das Jahr 2000 kam die WHO zum Schluss, dass exzessive solare UV-Strahlung weltweit ca. 1.5 Millionen DALY's verursache, was 0.1% der totalen globalen Krankheitslast entspreche (Lucas et al. 2006). Die damit verbundene Anzahl frühzeitiger Todesfälle beträgt 60'000. Diese Daten sind veraltet und nicht einfach auf die Schweiz übertragbar. Eine Abschätzung für die Schweiz ist aufwendig. Erstens fehlen Daten

zur solaren UV-Exposition der Allgemeinbevölkerung. Wichtig für eine solche Abschätzung ist auch Kenntnis über das Freizeitverhalten der Bevölkerung zu haben und welche Schutzmassnahmen in Abhängigkeit vom Hauttyp getroffen werden. Zurzeit fehlen auch aktuelle Expositions-Wirkungsbeziehungen für verschiedene Hauttypen. Diese müssten mittels systematischer Literaturanalysen hergeleitet werden. In der Studie von Lucas et al. S (2006) sind auch positive Aspekte der UV Exposition erwähnt, wie die Verhinderung von Osteoporose. Da für Vitamin D Mangel neben UV-Strahlung noch andere Faktoren verantwortlich sind, ist eine Quantifizierung des Nutzens der UV-Strahlung nicht möglich.

8.3 Niederfrequente Felder

Vorhandene Daten zur Exposition

In den Jahren 1993 und 1994 wurde bei persönlichen Messungen von niederfrequenten Magnetfeldern während 24 Stunden bei 552 Erwachsenen aus der Schweiz ein Medianwert von 0.05 μT festgestellt (Stratmann et al. 1995). Fünf Prozent der Messwerte waren höher als 0.65 μT . In einer neuen Studie wurden persönliche Messungen von niederfrequenten Magnetfeldern bei Kindern in der Schweiz und Italien durchgeführt (Struchen et al. 2016). Der geometrische Mittelwert dieser Messungen lag bei 0.04 μT . Bei Kindern, die näher als 100 m von einer Höchstspannungsleitung (>200 kV) wohnen, war die durchschnittliche persönliche Exposition rund sechs Mal höher. Ebenfalls erhöht ist die niederfrequente Magnetfeldexposition in Räumen, die unmittelbar an einen Transformer grenzen (Röösli et al. 2011). Relativ hoch (0.2-0.3 μT) sind die Magnetfelder in den Strassen von Städten, da sich im Untergrund stromführende Kabel befinden (Röösli et al. 2015).

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

1979 wurde in einer epidemiologischen Studie aus den USA erstmals das Auftreten von Kinderleukämien mit der Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern (NF-MF) am Wohnort assoziiert (Wertheimer & Leeper 1979). Seither ist weltweit eine Vielzahl von Studien dieser Fragen nachgegangen. Mehrere zusammengefasste Analysen kamen zum Schluss, dass sich das Kinderleukämierisiko ungefähr verdoppelt, wenn Kinder an ihrem Wohnort einer durchschnittlichen NF-MF Belastung von mehr als 0.3-0.4 μT ausgesetzt sind (Ahlbom et al. 2000; Kheifets et al. 2010). Weiterführende Analysen schlossen methodische Fehler als alleinige Erklärung für diese Studienresultate mit grosser Wahrscheinlichkeit aus (Greenland 2005). Dennoch wurde in Zell- und Tierstudien bisher kein biologischer Mechanismus entdeckt, der die Befunde erklären könnte. Die IARC hat deshalb NF-MF als *möglicherweise* kanzerogen klassiert (IARC 2002). Diese Klassierung wurde in neuer Evaluation im Rahmen des EU Projektes Arimora bestätigt (Schüz et al. 2016).

Neben Kinderleukämien stehen neurodegenerative Erkrankungen im Verdacht durch NF-MF verursacht zu werden. In den letzten 10 bis 15 Jahren stellten mehrere Studien bei Personen, die am Arbeitsplatz stark NF-MF exponiert sind, erhöhte Erkrankungsrisiken für amyotrophe Lateralsklerose (ALS) (Zhou et al. 2012) und für Alzheimer-Demenz (Vergara et al. 2013) fest. Die Resultate sind jedoch nicht konsistent, und es kann nicht ausgeschlossen werden, dass andere Faktoren als NF-MF diese Befunde verursacht haben. Beispielsweise wird vermutet, dass die ALS Befunde auf Stromschläge zurückzuführen sind, die bei NF-MF exponierten Personen in elektrischen Berufen häufiger sind (Grell et al. 2012). Wenig untersucht wurde bisher ob NF-MF 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 (ca. 20-30%) an Alzheimer zu erkranken (Frei et al. 2013; Huss et al. 2009). In der Schweizer Studie war dieser Zusammenhang jedoch nur statistisch signifikant für Personen, die mindestens 10 Jahre am selben Ort gewohnt hatten (RR=2.00, 95% KI: 1.21-3.33).

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Unter der Annahme, dass die beobachteten Zusammenhänge in den epidemiologischen Studien zu Kinderleukämie kausal sind, haben Grellier et al. (2014) abgeschätzt, dass in Europa rund 1.5-2% aller Kinderleukämiefälle auf niederfrequente Felder zurückzuführen sind. In der Schweiz treten jährlich rund 60-70 Kinderleukämiefälle auf. Unter der Annahme einer gleichen Expositionsverteilung wie in Europa, wären damit rund ein bis zwei Erkrankungen pro Jahr auf NF-MF zurückzuführen.

8.4 Hochfrequente Felder

Vorhandene Daten zur Exposition

Hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF) stammen im Alltag hauptsächlich von drahtlosen Kommunikationstechnologien. Körpernahbetriebene 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 (Lauer et al. 2013). Für körpernah betriebene Geräte wird die spezifische Absorptionsrate als Mass für die Exposition verwendet. Der Grenzwert beträgt 2 W/kg. Für HF-EMF in der Umwelt wird die elektrische Feldstärke als Expositionsmass verwendet. Diese liegt in der Schweiz typischerweise zwischen 0.2 und 0.6 V/m (Sagar et al. 2016). Der Hauptbeitrag stammt von Mobilfunkbasisstationen und tendenziell nimmt die Exposition mit zunehmender Urbanität zu. In öffentlichen Verkehrsmitteln ist die Exposition eher höher aufgrund der Emissionen von Mobiltelefonen. In Wohnräumen ist die Exposition eher tiefer, da die Umweltfelder abgeschirmt werden. In verschiedenen Studien aus der Schweiz war die mittlere persönliche Exposition im Bereich von 0.2 V/m (Frei et al. 2009; Rösli et al. 2016; Roser et al. 2017). Die Kombination der Umweltexpositionen mit der Exposition durch körpernah betriebene Geräten ist komplex. Dosimetrische Abschätzungen finden, dass im Durchschnitt rund 95% der vom Gehirn absorbierten Strahlungsleistung und rund 90% der vom ganzen Körper absorbierten Strahlung von körpernah betriebenen Geräten stammt (Lauer et al. 2013; Rösli et al. 2016; Roser et al. 2017).

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Bisher wurden keine Gesundheitsrisiken von HF-EMF Exposition unter alltäglichen Expositionsbedingungen etabliert. Da der Kopf durch das Mobiltelefon der am stärksten exponierte Körperteil ist, wurde eine mögliche Kanzerogenität insbesondere bei Hirntumoren untersucht. Im Jahr 2011 klassierte die IARC HF-EMF als *möglicherweise* kanzerogen (Klasse 2B) (Baan et al. 2011). Hinweise auf ein erhöhtes Krebsrisiko beschränken sich aber auf wenige Studien mit Personen mit intensiver Mobiltelefonnutzung. In Bezug auf Emissionen von grossen TV- und Radioantennen fand eine schweizweite Studie zu Kinderkrebs keinen Zusammenhang (Hauri et al. 2014), was im Einklang mit anderen grossen Studien steht.

Elektromagnetisch hypersensible Personen führen Beeinträchtigungen ihrer Gesundheit oder ihrem Wohlbefinden auf die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern in ihrem Alltag zurück. Eine systematische Literaturübersicht ist zum Schluss gekommen, dass bisher mit wissenschaftlichen Methoden nicht nachgewiesen werden konnte, dass die Beschwerden von elektromagnetisch hypersensiblen Personen kausal von solchen Belastungen verursacht werden, obwohl es im Einzelfall nicht vollkommen ausgeschlossen werden kann (Hug & Rösli 2012).

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Da bisher keine gesundheitlichen Effekte etabliert sind, wurden auch noch keine Auswirkungen quantifiziert.

8.5 Fazit

Die positiven gesundheitlichen Wirkungen von sichtbarem Licht sind kaum systematisch untersucht worden, da sie offensichtlich sind. Künstliches Licht in der Nacht beeinträchtigt grundsätzlich die Schlafqualität und kann so weitreichende gesundheitliche Konsequenzen haben. Inwiefern das aber auch für die tatsächlichen Lichtimmissionen in bewohnten Gebieten gilt ist unklar. Es gibt kaum empirische Daten dazu. Übermässige UV-Strahlung ist ein erwiesener Risikofaktor für verschiedene Arten von Hautkrebs und schädigt das Immunsystem. Kleine Dosen sind jedoch erwünscht, da es für die Vitamin-D-Synthese benötigt wird und indirekt damit auch das Immunsystem gestärkt wird. Die aufgenommene UV-Strahlung hängt in erster Linie vom individuellen Verhalten und der Anwendung von Sonnenschutz ab. Gesundheitliche Auswirkungen von nieder- oder hochfrequenten elektromagnetischen Feldern unterhalb der Grenzwerte gelten bisher als nicht etabliert. Am meisten Evidenz besteht für Kinderleukämie und niederfrequente Magnetfelder, was jedoch nur eine relativ geringe Anzahl von Fällen betreffen würde aufgrund der seltenen Krankheit und Expositionssituation. Quantitativ bedeutender wären gesundheitliche Folgen von weitverbreiteten Expositionen wie Handynutzung, wenn sich in Zukunft solche zeigen würden.

9 Ionisierende Strahlung

Nr.	Umweltfaktor	Auswirkung	Klassifizierung des Zusammenhangs	Berechnung der Auswirkungen auf die Schweiz
9.1	Radon	Lungenkrebs, Krebs	1	vorhanden
9.2	natürliche Strahlung in der Umwelt (kosmisch, terrestrisch)	Krebs	1	möglich
9.3	künstliche Strahlung in der Umwelt und in der Nahrung (Tschernobyl, Atomtest, Leckstrahlung)	Krebs	1	möglich

9.1 Radon

Vorhandene Daten zur Exposition

Radon liegt in der natürlichen Zerfallsreihe von Uran zu Blei. Die Schweizerische Radondatenbank enthält zurzeit ca. 200'000 Messungen von 150'000 Gebäuden. Damit lässt sich die räumliche Verteilung von Radon in der Schweiz gut abschätzen (siehe z. B. <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/themen/mensch-gesundheit/strahlung-radioaktivitaet-schall/radon/radongebiete-ch.html>). Beispielsweise wurde auf der Basis von 45'000 Radonmessungen von 1994 bis 2004 ein Radonmodell erstellt, um die Radonbelastung in jeder Schweizer Wohnung abzuschätzen (Hauri et al. 2013a). Damit ergab sich eine mittlere häusliche Radonbelastung von rund 84 Bq/m³. Weitere Modelle wurden in der Schweiz für eine effiziente Identifizierung von Häusern mit hohen Radonbelastungen entwickelt (Kropat et al. 2015; Kropat et al. 2017).

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Beim Zerfall von Radon entstehen Alpha und Beta Partikel mit geringer Eindringtiefe in das Gewebe. Die Organdosis ist daher für die Lunge am höchsten und es ist plausibel, dass vor allem die Lunge betroffen ist. In einer Vielzahl von Studien wurde ein Zusammenhang zwischen häuslicher Radonbelastung und Lungenkrebs nachgewiesen. Die WHO geht von einer linearen Zunahme des relativen Risikos ohne Schwellenwert von ca. 20% pro 100 Bq/m³ aus (WHO 2009). Studien zu den Auswirkungen von Radon auf andere Krebsarten sind nicht eindeutig. Die Haut hat die zweithöchste Organdosis für Radon und es gibt einige Studien, die ein erhöhtes Hautkrebsrisiko für zunehmende Radonbelastung finden (Brauner et al. 2015; Wheeler et al. 2012). Dazu gehört auch eine grosse Schweizer Studie zu Sterblichkeit aufgrund Melanomen und häusliche Radonbelastung (Vienneau et al. 2017). Klein ist die Organdosis von Radon für das rote Knochenmark und mehrere Studien bei Kindern fanden inkonsistente Zusammenhänge mit Kinderleukämie (Brauner et al. 2010; Evrard et al. 2006; Kendall et al. 2013; Laurent et al. 2013; Raaschou-Nielsen 2008; Raaschou-Nielsen et al. 2008). Eine schweizweite Studie mit allen Kinderkrebsfällen, die zwischen 2000 und 2008 aufgetreten sind, fand keinen Zusammenhang für Kinderleukämie oder andere Tumore bei Kindern (Hauri et al. 2013b). Kürzlich fand eine grosse amerikanische Studie einen Zusammenhang zwischen Radon im Trinkwasser und Magenkrebs (Messier & Serre 2016).

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Menzler et al. (2000) haben auf der Basis von Schweizer Radonmessungen und Gesundheitsdaten von 1997 bis 2001 berechnet, dass 8.3% aller Lungenkrebsfälle auf häusliche Radonbelastung zurückzuführen sind, was bei Männern 169 Lungenkrebstodesfälle und bei Frauen 62 Todesfälle entsprach. Wendet man die attributablen Fraktion von 8.3% auf die neuesten verfügbaren Daten von 2009 bis 2013 an, ergeben sich jährlich 210 neue radonbedingte Lungenkrebserkrankungsfälle bzw. 167 Todesfälle bei den Männern und 130 Erkrankungsfälle beziehungsweise 93 Todesfälle bei den Frauen. Gemäss Vienneau et al. (2010) wären rund 10% aller Todesfälle wegen Melanomen auf häusliche Radonstrahlung zurückzuführen.

9.2 Natürliche Strahlung in der Umwelt (kosmisch, terrestrisch)

Vorhandene Daten zur Exposition

Die Verteilung der Gammastrahlung von externen Quellen (kosmisch, terrestrisch und künstlich) wurde für das Jahr 2000 für die ganze Schweiz modelliert und mit den Volkszählungsdaten von 1990 überlagert (Rybach et al. 2002). Damit ergab sich eine mittlere Strahlenbelastung von 108 nSv/h, das heisst 0.95 mSv pro Jahr. Bei den unter 16-Jährigen betrug die mittlere Dosisrate 109 nSv/h (Spycher et al. 2015). Davon stammt rund 50% von natürlichen terrestrischen Quellen, 42% von kosmischer Strahlung und 8% von künstlicher terrestrischen Quellen. Zum Vergleich, gemäss BAG beträgt die mittlere jährliche Dosis der Bevölkerung aufgrund medizinischer Anwendungen (Röntgendiagnostik) im Durchschnitt 1.4 mSv. Über die Nahrung nimmt die Bevölkerung rund 0.35 mSv pro Jahr auf. Künstliche Strahlungsquellen durch Kernkraftwerke, Industrie, Forschung, Medizin, Konsumgüter und künstliche Radioisotope in der Umwelt tragen jährlich ≤ 0.1 mSv bei (BAG 2016b).

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Es ist unbestritten, dass ionisierende Strahlung Krebs erzeugen kann, obwohl es erhebliche Unsicherheiten im Tiefdosisbereich gibt, der für natürliche Strahlungsquellen relevant ist. Die IARC hat alle Arten von ionisierender Strahlung für verschiedene Tumoren als kanzerogen (Klasse 1) klassiert (IARC 2012). Nach einer Strahlenexposition erhöht sich zuerst das Risiko für Leukämien, Schilddrüsentumore und Knochenkrebs. Das Risiko für andere (solide) Tumore erhöht sich erst nach 10 Jahren und bleibt über Jahrzehnte erhöht (UNSCEAR 2016). Es ist unbestritten, dass die Strahlenempfindlichkeit mit zunehmendem Alter abnimmt, da weniger Zellzyklen von einer allfälligen Mutation betroffen sind. UNSCEAR geht ab einer Exposition von 100 mSv von einer Zunahme des absoluten Krebsrisikos von 3 bis 5% pro Sievert aus. Eine von der US-amerikanischen Akademie der Wissenschaften gebildete Arbeitsgruppe zu den Gesundheitsrisiken von ionisierenden Strahlen im Niedrigdosisbereich (*National Academy of Sciences Advisory Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation BEIR, Report VII*) geht in ihrem linearen Risikomodell ohne Schwellenwert davon aus, dass das *relative* Zusatzrisiko für solide Tumore rund 0.5% pro Sievert beträgt und für Leukämie 2% pro Sievert. Am häufigsten verwendet wird der *absolute* lebenslangen Risikoschätzer für die Gesamtsterblichkeit von der International Commission on Radiological Protection (ICRP): 5% pro Sievert ohne Schwellenwert (ICRP 2007).

Eine Schweizer Studie hat den Zusammenhang zwischen Gammastrahlung und Kinderkrebs quantifiziert (Spycher et al. 2015). Dabei wurde in den Daten von 1990 bis 2008 für Kinderleukämien und Zentralnervensystemtumore einen Zusammenhang mit der Gammastrahlung gefunden. Lineare Expositions-Wirkungsmodelle ergaben eine Zunahme des Kinderkrebsrisiko von 3% (95% KI: 1%-5%) pro mS kumulative Dosis. Sowohl für Kinderleukämien als auch für Zentralnervensystemtumore wurde eine Risikozunahme von 4% (95% KI: 0%-8%) beobachtet. Es gibt weltweit eine Reihe von weiteren Studien zu diesem Thema. Beispielsweise wurde in einer grossen Fall-Kontrollstudie in Grossbritannien ebenfalls einen Zusammenhang zwischen Kinderkrebs und Gammastrahlung beobachtet

(Kendall et al. 2013), nicht aber in einer kürzlich publizierten grossen französischen Studie (Demoury et al. 2017).

Für hohe Expositionen, die im Zusammenhang mit natürlichen Strahlen nicht relevant sind, gibt es auch Hinweise für andere Gesundheitsrisiken wie Herz-/Kreislaufkrankungen oder negative Einflüsse auf das Immunsystem. Diese Wirkungen treten beispielsweise bei den Aufräumarbeitern von Tschernobyl oder nach hohen medizinischen Dosen auf (Kashcheev et al. 2017).

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Bisher gibt es keine Abschätzungen zu den strahlenbedingten Krebserkrankungen in der Schweiz. Da jedoch die mittlere Strahlendosis der Schweizer Bevölkerung bekannt ist und international akzeptierte Dosis-Wirkungsbeziehungen vorliegen, können solche Abschätzungen durchgeführt werden. In der Schweiz treten pro Jahr rund 31'000 Todesfälle bei Männern und 31'000 Todesfälle bei Frauen auf (BFS 2016). Wendet man den absoluten Risikoschätzer von 5% der ICRP und die durchschnittlich Strahlendosis von 1 mSv von natürlichen Quellen, erwartet man jährlich bei Männern und Frauen je rund zwei attributable Todesfälle. Kombiniert man den oben erwähnten BEIR VII Dosisschätzer von 0.5% pro Sievert für solide Tumore und 2% pro Sievert für Leukämie mit der in der Schweiz pro Jahr beobachteten Anzahl Krebserkrankungen (rund 20'000 bei Männern und 18'000 bei Frauen, NICER: 2009-2013) ergäben sich für die Schweiz rund 20 neue Krebserkrankungen pro Jahr beziehungsweise acht attributable Todesfälle. Diese Abschätzung berücksichtigt jedoch nicht die organspezifischen Dosisschätzer von BEIR VII und die Altersabhängigkeit des Risikos. Im Prinzip kann man für Kinderkrebs die Anzahl attributabler Todesfälle direkt aus der Schweizer Studie von Spycher et al. (2015) herleiten, da sie die ganze Schweiz umfasste. Wendet man den Risikoschätzer von 3% pro mSv auf die mittlere Dosis von 1 mSv an, ergeben sich rund fünf attributable Fälle pro Jahr im Vergleich zu den 185 aufgetreten Fällen pro Jahr zwischen 1990 und 2008. Wie in jeder Studie bestehen Unsicherheiten bezüglich der Genauigkeit der gefundenen Assoziationen. Da davon auszugehen wird, dass Auswirkungen von ionisierender Strahlung nicht stark kontextspezifisch sind, wäre es aber wünschenswert für eine solche Abschätzung die Resultate aller verfügbaren Studien zu berücksichtigen. Das bedingt eine systematische Literaturübersicht inkl. Meta-Analysen.

9.3 Künstliche Strahlung in der Umwelt

Vorhandene Daten zur Exposition

Siehe Kapitel 9.2.

Vorhandene Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung

Siehe Kapitel 9.2.

Auswirkungen auf die Gesundheit sowie Wissens- und Datenlücken

Bisher sind die Gesundheitsauswirkungen von Strahlung in der Umwelt von künstlichen Quellen wie Kernkraftwerke (Normalbetrieb und Unfälle Tschernobyl, Fukushima), Industrie, Forschung, Medizin, Konsumgüter, Atombombentests und Kernkraftwerkunfälle nicht quantifiziert worden. Eine Schweizer Studie hat zwischen 1985 und 2009 keine erhöhten Raten von Kinderkrebs in der Nähe von Kernkraftwerken beobachtet (Spycher et al. 2011). Unter der Annahme von einer mittleren Bevölkerungsdosis 0.1 mSv wegen künstlich generierter Strahlung in der Umwelt ergeben sich mit dem BEIR VII Dosisschätzer rund zwei attributable Krebserkrankungen pro Jahr.

9.4 Fazit

Im internationalen Kontext ist die natürliche Strahlenbelastung in der Schweiz aufgrund der Höhenlage und des Gesteins relativ hoch. Dies führt zu einigen hundert Krebsfällen pro Jahr, vor allem Lungenkrebs wegen Radon. Bei geeigneter Bauweise kann jedoch die Radonexposition deutlich reduziert werden. Der Anteil der künstlichen Strahlung in der Umwelt ist klein und damit auch die damit verbundenen Gesundheitsauswirkungen. Nicht berücksichtigt sind dabei die künstlichen Expositionen durch medizinische Anwendungen, vor allem in der Diagnostik. Insgesamt sind die gesundheitlichen Auswirkungen der Strahlenbelastung gut untersucht, obwohl es im Niedrigdosisbereich immer noch erhebliche Unsicherheiten zur Expositions-Wirkungsbeziehung gibt. Gesundheitsrisikoabschätzungen weisen deshalb eine grosse Bandbreite auf.

Schlussbemerkungen

Dieser Bericht bietet eine Übersicht zu den vorhandenen quantitativen Daten („Health Impacts“) zur Beurteilung der Auswirkungen der Umwelt auf die Gesundheit der Schweizer Bevölkerung. Die beschriebenen Auswirkungen beziehen sich auf die aktuelle Situation und vorhandene nationale und internationale Studien. Mögliche Szenarien von Veränderungen gewisser Umweltaspekte – wie sie zum Beispiel im Hinblick auf prognostizierte Klimaänderungen erwarten werden – wurden nicht berücksichtigt. Zudem basiert der Bericht auf der Expertise der Autorenschaft, konsultierte Expertinnen und Experten sowie der Begleitgruppe des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) und Gesundheit (BAG) und erhebt somit keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Die Resultate zeigen, dass sowohl die Datengrundlage für die Abschätzung der Expositionen sowie zu den Expositions-Wirkungsbeziehungen für die neun behandelten Umweltthemen unterschiedlich detailliert vorliegt. Beim heutigen Kenntnisstand sind relativ gute Aussagen zu den Themen Luft (betrifft vor allem die Aussenluft), Lärm (betrifft vor allem den Verkehrslärm), Klima, Naturgefahren, Strahlung und nicht-ionisierbare Strahlung möglich. Unklarheiten bestehen im Bereich Biodiversität, Licht sowie Landschaft und Wald. Grosse Datenlücken bestehen betreffend den möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von Chemikalien in Boden, Wasser und Nahrung.

Die Methodik zur Abschätzungen der gesundheitlichen Auswirkungen (z. B. attributable Fälle, DALY) zwischen und innerhalb der Umweltthemen variiert stark und ein Vergleich der Relevanz von einzelnen Umweltfaktoren ist mit grossen Unsicherheiten behaftet. Es wird daher empfohlen, in einem möglichen weiteren Schritt die Vergleichbarkeit der Auswirkungen zu verbessern. Im Rahmen eines interdisziplinären Projekts könnten die relevanten Umweltfaktoren festgelegt und die Auswirkungen in geeigneten einheitlichen Methoden berechnet werden (z. B. DALYs).

In diesem Bericht wird grundsätzlich nicht zwischen anthropogen und natürlich verursachten Umweltexpositionen unterschieden. Bei vielen chemischen Schadstoffen inklusive Luftschadstoffen, bei der Strahlung oder beim Verkehrslärm ist der anthropogene Anteil klar abgrenzbar und einfach quantifizierbar. Bei anderen Themen wie Biodiversität, Naturgefahren, Landschaft und Wald ist der anthropogene Anteil weniger einfach abgrenzbar und bezieht sich häufig auch auf zukünftige langfristige Entwicklungen. Dasselbe gilt für den Bereich Klimawandel, wo die Abgrenzung zwischen kurzfristigen und unvermeidlichen Temperaturextremereignissen und den langfristigen gesundheitlichen Folgen des Klimawandels unklar ist. Es wäre wünschbar, eine Systematik zu entwickeln, wie eine solche Abgrenzung zu erfolgen hat.

Zusätzlich wird empfohlen, spezifische Datenlücken zu schliessen. Die folgende Liste bietet eine Auswahl an Vorschlägen zur Schliessung von Datenlücken:

- **Biodiversität:** Systematische Literaturübersichtsstudie zu den gesundheitlichen Auswirkungen des Verlusts beziehungsweise der Erhöhung der Biodiversität, inkl. Entwicklung einer Methodik für die Abschätzung des Impacts.
- **Chemikalien:** Erhebung der Bevölkerungsexposition gegenüber Pestiziden, Schwermetallen und Arzneimittelrückständen oder anderen Chemikalien im Rahmen eines Biomonitorings. Systematische Literaturstudie zu Gesundheitsauswirkungen im Niedrig-Dosis-Bereich inklusive möglicher Interaktionen bei Schadstoffmischungen.
- **Klima:** Evaluation der gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels in der Schweiz inkl. Entwicklung von geeigneten Methoden zur Prognose der zu erwartenden Veränderungen.
- **Lärm:** Abschätzung der Exposition und Auswirkungen von Nicht-Verkehrslärm.
- **Luft:** Quellspezifische Quantifizierung der Gesundheitsauswirkungen und Überprüfung des aktuellen Leitschadstoff-Prinzips.
- **Innenraumschadstoffe:** Systematische Erhebung des Ausmasses und der gesundheitlichen Auswirkungen durch Innenraumschadstoffe bei verbesserter Gebäudedämmung inkl. Biologische Kontaminationen durch Lüftungssysteme.

- **Evaluation der Gesundheitsauswirkungen von Massnahmen** zur Verbesserung der Umweltqualität (z. B. Luftqualität, Lärmbelastung, Wasserqualität) und zur Anpassung an den Klimawandel.

Quellen

Abraham A., Sommerhalder K., Bolliger-Salzmann H., Abel T. 2007: Landschaft und Gesundheit. Das Potential einer Verbindung zweier Konzepte. Bern: Universität Bern, Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Abteilung Gesundheitsforschung.

Ackermann-Lieblich U., Schindler C., Frei P., et al. 2009: Sensitisation to Ambrosia in Switzerland: a public health threat on the wait. *Swiss Medical Weekly*;139:70-75.

Adam M., Schikowski T., Carsin A.E., et al. 2015: Adult lung function and long-term air pollution exposure. ESCAPE: a multicentre cohort study and meta-analysis. *Eur Respir J*;45:38-50.

AfU 2016: Bodenanalysen in der Stadt Freiburg, 2011–2015 Amt für Umwelt Freiburg. Available: https://www.fr.ch/sol/files/pdf71/analyses_sols_fribourg_synthese_de.pdf [abgerufen 31.03 2017].

Ahlbom A., Day N., Feychting M., et al. 2000: A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *British journal of cancer*;83:692-698.

Alavanja M.C., Hoppin J.A., Kamel F. 2004: Health effects of chronic pesticide exposure: cancer and neurotoxicity. *Annual Review of Public Health*;25:155-197.

Alfvén T., Braun-Fahrländer C., Brunekreef B., et al. 2006: Allergic diseases and atopic sensitization in children related to farming and anthroposophic lifestyle—the PARSIFAL study. *Allergy*;61:414-421.

art light GmbH 2015: Erhebung der Lichtimmissionen in verschiedenen Beleuchtungssituationen. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt. Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU).

Åström D.O., Bertil F., Joacim R. 2011: Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: a review of recent studies. *Maturitas*;69:99-105.

Atkinson R.W., Butland B.K., Dimitroulopoulou C., et al. 2016: Long-term exposure to ambient ozone and mortality: a quantitative systematic review and meta-analysis of evidence from cohort studies. *BMJ Open*;6:e009493.

Baan R., Grosse Y., Lauby-Secretan B., et al. 2011: Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields. *The Lancet Oncology*;11:624-626.

Babisch W. 2014: Updated exposure-response relationship between road traffic noise and coronary heart diseases: a meta-analysis. *Noise and Health*;16:1-9.

Babisch W., Van Kamp I. 2009: Exposure-response relationship of the association between aircraft noise and the risk of hypertension. *Noise and Health*;11:161.

BABS 2015: Nationale Gefährdungsanalyse – Gefährdungsdossier Massenausbreitung invasiver Arten. Bern: Bundesamt für Bevölkerungsschutz.

Baccini M., Biggeri A., Accetta G., et al. 2008: Heat Effects on Mortality in 15 European Cities. *Epidemiology*;19:711-719.

BAFU 2009a: Ergebnisse der Grundwasserbeobachtung Schweiz (NAQUA). Zustand und Entwicklung 2004 – 2006. Umwelt-Zustand Nr 0903. Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU).

BAFU 2009b: Mikroverunreinigungen in den Gewässern. Umwelt-Wissen: Bundesamt für Umwelt (BAFU).

BAFU 2011: Gefährdete Arten in der Schweiz. Synthese Rote Listen, Stand 2010. Umwelt-Zustand Nr 1120. Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU).

BAFU 2014a: GIS-Lärmdatenbank sonBASE. Bundesamt für Umwelt (BAFU). Available: <http://www.bafu.admin.ch/laerm/10312/10340/> [abgerufen 16. Januar 2017].

BAFU 2014b: Lärmbelastung durch Strassenverkehr in der Schweiz. Zweite nationale Lärmberechnung, Stand 2012. Umwelt-Zustand Nr 1406. Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU).

BAFU 2014c: Pilotprojekt zur Anpassung an den Klimawandel «Nationales Programm zur Überwachung der Asiatischen Tigermücke» Bundesamt für Umwelt (BAFU). Available:

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/anpassung-an-den-klimawandel/pilotprogramm-anpassung-an-den-klimawandel/pilotprojekte-zur-anpassung-an-den-klimawandel--cluster--managem/pilotprojekt-zur-anpassung-an-den-klimawandel--nationales-progra.html> [abgerufen 7. Juni 2017].

BAFU 2015a: Arzneimittel im Grundwasser. Bundesamt für Umwelt (BAFU). Available: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/zustand-der-gewaesser/zustand-des-grundwassers/grundwasser-qualitaet/arzneimittel-im-grundwasser.html> [abgerufen 14. Juni 2017].

BAFU 2015b: Chemikalien: Das Wichtigste in Kürze. Bundesamt für Umwelt (BAFU). Available: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/chemikalien/inkuerze.html> [abgerufen 28. Juni 2017].

BAFU 2015c: Ergebnisse der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) 1985-2009. Zustand und Veränderungen der anorganischen Schadstoffe und Bodenbegleitparameter. Umwelt-Zustand Nr 1507. Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU).

BAFU 2015d: Mikroverunreinigungen in Fließgewässern aus diffusen Einträgen. Umwelt-Zustand: Bundesamt für Umwelt (BAFU).

BAFU 2015e: Pilotprojekt zur Anpassung an den Klimawandel «Effekt von Hitzeperioden auf die Sterblichkeit und mögliche Adaptionsmassnahmen» Bundesamt für Umwelt (BAFU). Available: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/anpassung-an-den-klimawandel/pilotprogramm-anpassung-an-den-klimawandel/pilotprojekte-zur-anpassung-an-den-klimawandel--cluster--klima/pilotprojekt-zur-anpassung-an-den-klimawandel--effekt-von-hitze.html> [abgerufen 6. April 2017].

BAFU 2015f: Umwelt Schweiz 2015. Bericht des Bundesrates. Bern: Schweizerischer Bundesrat.

BAFU 2016a: Hitze und Trockenheit im Sommer 2016. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Umwelt-Zustand Nr 1629. Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU).

BAFU 2016b: Indikator Chemikalien. Freisetzung von Zink aus Betrieben. Bundesamt für Umwelt (BAFU). Available: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-chemikalien/chemikalien--daten--indikatoren--und-karten/chemikalien--indikatoren/indikator-chemikalien.pt.html/aHR0cHM6Ly93d3cuaW5kaWthdG9yZW4uYWRTaW4uY2gvUHViG/ljL0FlbURldGFpbD9pbmQ9U1AwMTEmbG5nPWRI.html> [abgerufen 5. April 2017].

BAFU 2016c: Indikator Todesfälle durch Hochwasser, Murgänge, Rutschungen, Sturzprozesse und Lawinen. Bundesamt für Umwelt (BAFU). Available: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-naturgefahren/naturgefahren--daten--indikatoren--und-karten/naturgefahren--indikatoren/indikator-naturgefahren.pt.html/aHR0cHM6Ly93d3cuaW5kaWthdG9yZW4uYWRTaW4uY2gvUHViG/ljL0FlbURldGFpbD9pbmQ9R0UwMTQmbG5nPWRI.html> [abgerufen 20.03.2017 2016].

BAFU 2016d: Zustand der Schweizer Fließgewässer. Umwelt-Zustand: Bundesamt für Umwelt (BAFU).

BAFU 2017: Nationale Bodenbeobachtung (NABO). Available: <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/umwelt-ressourcen/boden-gewaesser-naehrstoffe/nabo.html> [abgerufen 05.04 2017].

BAFU, WSL 2013: Die Schweizer Bevölkerung und ihr Wald. Bericht zur zweiten Bevölkerungsumfrage Waldmonitoring soziokulturell (WaMos 2). Umwelt-Wissen Nr 1307. Bern und Birmensdorf: Bundesamt für Umwelt (BAFU), und Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL).

BAFU, WSL 2017: Wandel der Landschaft: Erkenntnisse aus dem Monitoringprogramm Landschaftsbeobachtung Schweiz (LABES). Umwelt-Zustand Nr 1641. Bern, Birmensdorf: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL).

BAG 2005: Ambrosia: eine Pflanze, die die Gesundheit Millionen kostet. Bundesamt für Gesundheit (BAG) Bulletin;30:528-529.

BAG 2007: Klimaänderung: Auswirkungen auf die Gesundheit Bundesamt für Gesundheit (BAG). Available: <https://www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/nat-gesundheitspolitik/klimawandel/hitzewelle/hintergrundinfos/info-klimaaenderung/klimawandel-auswirkungen-gesundheit.pdf.download.pdf/klimaaenderung-auswirkungen-auf-gesundheit.pdf> [abgerufen 23. März 2017].

BAG 2012: EU Pilotstudie DEMOCOPHES zur Schadstoffbelastung. Informationen zum Studiendesign und zu den Resultaten der Schweizer Erhebung. Bern: Bundesamt für Gesundheit (BAG), Abteilung Chemikalien.

BAG 2016a: Impfen schützt vor Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME): Meldedaten Schweiz, 2002 bis 2015. Bundesamt für Gesundheit (BAG), Abteilung übertragbare Krankheiten Sektion Epidemiologische Überwachung und Beurteilung, BAG Bulletin;41:622-628.

BAG 2016b: Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung Bundesamt für Umwelt (BAG). Available: <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/themen/mensch-gesundheit/strahlung-radioaktivitaet-schall/strahlung-gesundheit/strahlenexposition-der-schweizer-bevoelkerung.html> [abgerufen 7. April 2017].

BAG 2016c: Vektorübertragene Krankheiten. Bundesamt für Gesundheit (BAG). Available: <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/themen/mensch-gesundheit/uebertragbare-krankheiten/infektionskrankheiten-a-z/vektoriebertragen.html> [abgerufen 20. März 2017].

BAG 2016d: Zahlen zu Infektionskrankheiten. Bundesamt für Gesundheit (BAG). Available: <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/service/zahlen-fakten/zahlen-zu-infektionskrankheiten.html> [abgerufen 20. März 2017].

BAG 2016e: Zecken und Zecken übertragene Krankheiten Lebensraum und Entwicklung der Zecken. Bundesamt für Gesundheit (BAG). Available: <https://www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/mt/infektionskrankheiten/borreliose/uebersicht-zecken-uebertragene-krankheiten.pdf.download.pdf/info-fsme-2014.pdf>. [abgerufen 21. März 2017].

BAG 2017: Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) / Zeckenzephalitis. Bundesamt für Gesundheit (BAG). Available: <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/themen/mensch-gesundheit/uebertragbare-krankheiten/infektionskrankheiten-a-z/fsme.html> [abgerufen 21. März 2017].

Ballmer-Weber B.K., Helbling A. 2017: Eine Volkserkrankung des 20. Jahrhunderts. Allergische Rhinitis. Swiss Medical Forum - Schweizerisches Medizin-Forum;17:179-186.

Bauer A., Diepgen T.L., Schmitt J. 2011: Is occupational solar ultraviolet irradiation a relevant risk factor for basal cell carcinoma? A systematic review and meta-analysis of the epidemiological literature. Br J Dermatol;165:612-625.

Bauer N., Wasem K., Hunziker M. 2004: Wildnis in der Schweiz-Eine qualitative Studie über die Einstellungen zu Verwilderung und zur Ausweisung neuer Wildnisgebiete. Umweltpsychologie;8:102-123.

BAZL 2016: Lärmbelastungskataster Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL). Available: <https://www.bazl.admin.ch/bazl/de/home/politik/umwelt/laerm/laermbelastungskataster.html> [abgerufen 16. Januar 2017].

Benmarhnia T., Deguen S., Kaufman J.S., Smargiassi A. 2015: Vulnerability to heat-related mortality. A systematic review, meta-analysis, and meta-regression analysis. Epidemiology;26:781-793.

BfR 2011: Analytik und Toxizität von Pyrrolizidinalkaloiden sowie eine Einschätzung des gesundheitlichen Risikos durch deren Vorkommen in Honig. Bundesamt für Risikobewertung.

BFS 2016: Krebs in der Schweiz 2009-2013. Bundesamt für Statistik (BFS). Available: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/gesundheit/gesundheitszustand.gnpdetail.2016-0421.html> [abgerufen 8. April 2017].

BFS, ARE 2012: Mobilität in der Schweiz. Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010. Neuchâtel und Bern: Bundesamt für Statistik (BFS), Bundesamt für Raumentwicklung (ARE).

Blair A., Ritz B., Wesseling C., Beane Freeman L. 2014: Pesticides and human health. Occupational and Environmental Medicine;72:81-82.

Blaiss M.S. 2007: Allergic rhinoconjunctivitis: burden of disease. Allergy and Asthma Proceedings;28:393-397.

BLV 2016: Fachinformation: Glyphosat. Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV). Available: <https://www.blv.admin.ch/blv/de/home/lebensmittel-und-ernaehrung/lebensmittelsicherheit/stoffe-im-fokus/glyphosat.html> [abgerufen 20. März 2017].

Bonini M., Šikoparija B., Prentović M., et al. 2015: A follow-up study examining airborne Ambrosia pollen in the Milan area in 2014 in relation to the accidental introduction of the ragweed leaf beetle Ophraella communa. Aerobiologia;32:371-374.

Bosshard A. 2016: Pestizid-Reduktionsplan Schweiz. Aktuelle Situation, Reduktionsmöglichkeiten, Zielsetzungen und Massnahmen. Oberwil-Lieli: Vision Landwirtschaft.

- Bourqui R.M. 2016:** Nationales Human Biomonitoring Programm in der Schweiz. *oekeoskop*
- Braun-Fahrländer C. 2013:** Mikrobielles Umfeld und allergische Erkrankungen im Kindesalter. *Therapeutische Umschau*;70:714-719.
- Brauner E.V., Andersen C.E., Andersen H.P., et al. 2010:** Is there any interaction between domestic radon exposure and air pollution from traffic in relation to childhood leukemia risk? *Cancer Causes Control*;21:1961-1964.
- Brauner E.V., Loft S., Sorensen M., et al. 2015:** Residential Radon Exposure and Skin Cancer Incidence in a Prospective Danish Cohort. *PLoS one*;10:e0135642.
- Bringolf-Isler B., Kriemler S., Mäder U., et al. 2014:** Relationship between the objectively-assessed neighborhood area and activity behavior in Swiss youth. *Preventive Medicine Reports*;1:14-20.
- Brink M., Omlin S., Müller C., Pieren R., Basner M. 2011:** An event-related analysis of awakening reactions due to nocturnal church bell noise. *Science of the Total Environment*;409:5210-5220.
- Brink M., Wunderli J.M. 2010:** A field study of the exposure-annoyance relationship of military shooting noise. *J Acoust Soc Am*;127:2301-2311.
- Brunekreef B., Hoek G., Fischer P., Spijksma F.T.M. 2000:** Relation between airborne pollen concentrations and daily cardiovascular and respiratory-disease mortality. *The Lancet*;355:1517-1518.
- Bürgmann H. 2014:** Eintrag von Antibiotika und Antibiotikaresistenzen in Wassersysteme der Schweiz. *Prävention und Gesundheitsförderung*;9:185-190.
- Burkhardt-Holm P. 2010:** Endocrine disruptors and water quality: a state-of-the-art review. *International Journal of Water Resources Development*;26:477-493.
- Burkhardt-Holm P. 2011:** Linking water quality to human health and environment: The fate of micropollutants. *Serial NoIWPWP/No3*. Singapore: Institute of Water Policy, National University of Singapore.
- Cai Y., Schikowski T., Adam M., et al. 2014:** Cross-sectional associations between air pollution and chronic bronchitis: an ESCAPE meta-analysis across five cohorts. *Thorax*;69:1005-1014.
- Caillaud D., Thibaudon M., Martin S., et al. 2014:** Short-term effects of airborne ragweed pollen on clinical symptoms of hay fever in a panel of 30 patients. *J Investig Allergol Clin Immunol*;24:249-256.
- Cajochen C. 2007:** Alerting effects of light. *Sleep Medicine Reviews*;11:453-464.
- Cajochen C., Frey S., Anders D., et al. 2011:** Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. *Journal of Applied Physiology*;110:1432-1438.
- Caminade C., Medlock J.M., Ducheyne E., et al. 2012:** Suitability of European climate for the Asian tiger mosquito *Aedes albopictus*: recent trends and future scenarios. *Journal of the Royal Society Interface*;rsif20120138.
- Cantoreggi N., Simos J., al. e. 2016:** Plan sectoriel de l'infrastructure aéronautique (PSIA) de l'Aéroport de Genève-Cointrin (GA) Evaluation d'impacts sur la santé. Geneva: Institute of Global Health.
- Castro A., Künzli N., Götschi T. 2017:** Health benefits of a reduction of PM10 and NO2 exposure after implementing a clean air plan in the Agglomeration Lausanne-Morges. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*;220:829-839.
- Cesaroni G., Forastiere F., Stafoggia M., et al. 2014:** Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: prospective cohort study and meta-analysis in 11 European cohorts from the ESCAPE Project. *BMJ*;348:f7412.
- Chen G., Wan X., Yang G., Zou X. 2015:** Traffic-related air pollution and lung cancer: A meta-analysis. *Thorac Cancer*;6:307-318.
- Chepesiuk R. 2009:** Missing the dark: health effects of light pollution. *Environmental Health Perspectives*;117:A20.

Christensen J.S., Hjortebjerg D., Raaschou-Nielsen O., Ketzel M., Sorensen T.I., Sorensen M. 2016: Pregnancy and childhood exposure to residential traffic noise and overweight at 7years of age. *Environ Int*;94:170-176.

Corsini E., Sokooti M., Galli C., Moretto A., Colosio C. 2013: Pesticide induced immunotoxicity in humans: a comprehensive review of the existing evidence. *Toxicology*;307:123-135.

D'Ippoliti D., Michelozzi P., Marino C., et al. 2010: The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project. *Environmental Health*;9:37.

Dallimer M., Irvine K.N., Skinner A.M.J., et al. 2012: Biodiversity and the feel-good factor: Understanding associations between self-reported human well-being and species richness. *BioScience*;62:47-55.

De Hartog J.J., Boogaard H., Nijland H., Hoek G. 2010: Do the health benefits of cycling outweigh the risks? *Environmental health perspectives*:1109-1116.

de Keijzer C., Gascon M., Nieuwenhuijsen M.J., Dadvand P. 2016: Long-term green space exposure and cognition across the life course: A systematic review. *Current environmental health reports*;3:468-477.

de Nazelle A., Nieuwenhuijsen M.J., Antó J.M., et al. 2011: Improving health through policies that promote active travel: A review of evidence to support integrated health impact assessment. *Environment International*;37:766-777.

Demoury C., Marquant F., Ielsch G., et al. 2017: Residential Exposure to Natural Background Radiation and Risk of Childhood Acute Leukemia in France, 1990-2009. *Environ Health Perspect*;125:714-720.

Dimakopoulou K., Samoli E., Beelen R., et al. 2014: Air pollution and nonmalignant respiratory mortality in 16 cohorts within the ESCAPE project. *American journal of respiratory and critical care medicine*;189:684-696.

Doppler T., Mangold S., Wittmer I., et al. 2017: Hohe Pflanzenschutzmittelbelastung in Schweizer Bächen. *Aqua & Gas*;4:46-56.

Dreger S., Meyer N., Fromme H., Bolte G., Study Group of the G.M.E.c. 2015: Environmental noise and incident mental health problems: A prospective cohort study among school children in Germany. *Environmental research*;143:49-54.

Dujardin J.-C., Campino L., Cañavate C., et al. 2008: Spread of vector-borne diseases and neglect of Leishmaniasis, Europe. *Emerging Infectious Diseases*;14:1013-1018.

ECDC, EMEA 2009: The bacterial challenge: time to react. A call to narrow the gap between multidrug-resistant bacteria in the EU and the development of new antibacterial agents. EMEA/576176. Stockholm: European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) und European Medicines Agency (EMA).

ECHA 2017: Glyphosate not classified as a carcinogen by ECHA. Europäische Chemikalienagentur (ECHA). Available: <https://echa.europa.eu/de/-/glyphosate-not-classified-as-a-carcinogen-by-echa> [abgerufen 14. Juni 2017].

Ecoplan 2014: Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit: Berechnung von DALY für die Schweiz. Bern, www.ecplan.ch: Bundesamt für Umwelt (BAFU).

Ecoplan, Infras 2014: Externe Effekte des Verkehrs 2010. Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten. Bern, Zürich und Altdorf: Bundesamt für Raumentwicklung.

Ecoplan, ISPMZ Universität Zürich 2013: Integration des Langsamverkehrs in die Transportrechnung. Bern: Schlussbericht zuhanden des Bundesamtes für Statistik BFS und des Bundesamtes für Raumentwicklung ARE.

EEA 2016: Air quality in Europe — 2016 report. No 28. Luxembourg: European Environment Agency (EEA).

Eeftens M., Hoek G., Gruzieva O., et al. 2014: Elemental composition of particulate matter and the association with lung function. *Epidemiology*;25:648-657.

EFSA 2015: Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance glyphosate EFSA Journal 13:1-107.

European Commission 2002: Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance. Luxembourg, Belgium: Office for Official Publications of the European Communities.

- Evrard A.S., Hemon D., Billon S., et al. 2006:** Childhood leukemia incidence and exposure to indoor radon, terrestrial and cosmic gamma radiation. *Health Phys*;90:569-579.
- Eze I.C., Foraster M., Schaffner E., et al. 2017:** Long-term exposure to transportation noise and air pollution in relation to incident diabetes in the SAPALDIA study. *International Journal of Epidemiology*;dyx020.
- Eze I.C., Hemkens L.G., Bucher H.C., et al. 2015:** Association between ambient air pollution and diabetes mellitus in Europe and North America: systematic review and meta-analysis. *Environmental health perspectives*;123:381-389.
- Faber K., Hofer K., Rauber-Lüthy C. 2016:** Der Riesenbärenklau: Die Sonne macht das Gift. *Tox Info Suisse*. Available: http://toxinfo.ch/544_de [abgerufen 24. März 2017].
- Favarato G., Anderson H.R., Atkinson R., Fuller G., Mills I., Walton H. 2014:** Traffic-related pollution and asthma prevalence in children. Quantification of associations with nitrogen dioxide. *Air Qual Atmos Health*;7:459-466.
- Flacio E., Engeler L., Tonolla M., Müller P. 2016:** Spread and establishment of *Aedes albopictus* in southern Switzerland between 2003 and 2014: an analysis of oviposition data and weather conditions. *Parasites & vectors*;9:304.
- Flacio E., Lüthy P., Patocchi N., Guidotti F., Tonolla M., Peduzzi R. 2004:** Primo ritrovamento di *Aedes albopictus* in Svizzera. *Boll Della Soc Ticinese Sci Nat*;92:141-142.
- Forns J., Dadvand P., Foraster M., et al. 2016:** Traffic-Related Air Pollution, Noise at School, and Behavioral Problems in Barcelona Schoolchildren: A Cross-Sectional Study. *Environmental health perspectives*;124:529-535.
- Forouzanfar M.H., Afshin A., Alexander L.T., et al. 2016:** Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *The Lancet*;388:1659-1724.
- Frei P., Mohler E., Neubauer G., et al. 2009:** Temporal and spatial variability of personal exposure to radio frequency electromagnetic fields. *Environ Res*;109:779-785.
- Frei P., Poulsen A.H., Mezei G., et al. 2013:** Residential Distance to High-voltage Power Lines and Risk of Neurodegenerative Diseases: a Danish Population-based Case-Control Study. *Am J Epidemiol*;
- Frei R., Roduit C., Bieli C., et al. 2014:** Expression of Genes Related to Anti-Inflammatory Pathways Are Modified Among Farmers' Children. *PLOS ONE*;9:e91097.
- Frei T., Gassner E. 2008a:** Climate change and its impact on birch pollen quantities and the start of the pollen season an example from Switzerland for the period 1969–2006. *International Journal of Biometeorology*;52:667.
- Frei T., Gassner E. 2008b:** Trends in prevalence of allergic rhinitis and correlation with pollen counts in Switzerland. *International journal of biometeorology*;52:841-847.
- Fuks K.B., Weinmayr G., Foraster M., et al. 2014:** Arterial blood pressure and long-term exposure to traffic-related air pollution: an analysis in the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Environmental health perspectives*;122:896-905.
- Fuller R.A., Irvine K.N., Devine-Wright P., Warren P.H., Gaston K.J. 2007:** Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity. *Biology Letters*;3:390-394.
- Gascon M., Triguero-Mas M., Martínez D., et al. 2015:** Mental health benefits of long-term exposure to residential green and blue spaces: a systematic review. *International journal of environmental research and public health*;12:4354-4379.
- Gascon M., Triguero-Mas M., Martínez D., et al. 2016:** Residential green spaces and mortality: A systematic review. *Environment international*;86:60-67.
- Gasparri A., Guo Y., Hashizume M., et al. 2015:** Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *The Lancet*;386:369-375.
- Gehrig R. 2016:** Klima und Pflanzen. AHA! Allergiezentrum Schweiz. Available: <https://www.aha.ch/allergiezentrum-schweiz/info-zu-allergien/allergien-intoleranzen/pollenallergien/klima-und-pollen/?oid=1476&lang=de> [abgerufen 27. März 2017].

- Gehring U., Gruzieva O., Agius R.M., et al. 2013:** Air pollution exposure and lung function in children: the ESCAPE project. *Environmental health perspectives*;121:1357-1364.
- Grant W.B. 2013:** Benefits of ultraviolet-B irradiance and vitamin D in youth. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*;136:221-223.
- Gray J., Dautel H., Estrada-Peña A., Kahl O., Lindgren E. 2009:** Review Article. Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe. *Interdisciplinary perspectives on infectious diseases*;2009:1-12.
- Green A.C., Wallingford S.C., McBride P. 2011:** Childhood exposure to ultraviolet radiation and harmful skin effects: epidemiological evidence. *Prog Biophys Mol Biol*;107:349-355.
- Greenland S. 2005:** Multiple-bias modelling for analysis of observational data. *J R Statist Soc A*;168:267–306.
- Grell K., Meersohn A., Schuz J., Johansen C. 2012:** Risk of neurological diseases among survivors of electric shocks: a nationwide cohort study, Denmark, 1968-2008. *Bioelectromagnetics*;33:459-465.
- Grellier J., Ravazzani P., Cardis E. 2014:** Potential health impacts of residential exposures to extremely low frequency magnetic fields in Europe. *Environment international*;62:55-63.
- Grimm F., Gessler M., Jenni L. 1993:** Aspects of sandfly biology in southern Switzerland. *Medical and veterinary entomology*;7:170-176.
- Grize L., Gassner M., Wuthrich B., et al. 2006:** Trends in prevalence of asthma, allergic rhinitis and atopic dermatitis in 5-7-year old Swiss children from 1992 to 2001. *Allergy*;61:556-562.
- Grize L., Huss A., Thommen O., Schindler C., Braun-Fahrländer C. 2005:** Heat wave 2003 and mortality in Switzerland. *Swiss Medical Weekly*;135:200-205.
- Grobner M., Grobner J., Hulsén G. 2015:** Quantifying UV exposure, vitamin D status and their relationship in a group of high school students in an alpine environment. *Photochem Photobiol Sci*;14:352-357.
- Gruzieva O., Gehring U., Aalberse R., et al. 2014:** Meta-analysis of air pollution exposure association with allergic sensitization in European birth cohorts. *J Allergy Clin Immunol*;133:767-776 e767.
- Halliday G.M., Damian D.L., Rana S., Byrne S.N. 2012:** The suppressive effects of ultraviolet radiation on immunity in the skin and internal organs: implications for autoimmunity. *Journal of Dermatological Science*;66:176-182.
- Haluza D., Schönbauer R., Cervinka R. 2014:** Green perspectives for public health: a narrative review on the physiological effects of experiencing outdoor nature. *International journal of environmental research and public health*;11:5445-5461.
- Hamra G.B., Laden F., Cohen A.J., Raaschou-Nielsen O., Brauer M., Loomis D. 2015:** Lung Cancer and Exposure to Nitrogen Dioxide and Traffic: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environmental health perspectives*;123:1107-1112.
- Hanke I., Singer H., McArdell-Buergisser C., et al. 2007:** Arzneimittel und Pestizide im Grundwasser. *gwa Gas Wasser Abwasser (Sonderdruck Nr 1501)*;3:3-12.
- Hauri D., Huss A., Zimmermann F., Kuehni C.E., Röösli M., Swiss National C. 2013a:** Prediction of residential radon exposure of the whole Swiss population: comparison of model-based predictions with measurement-based predictions. *Indoor air*;23:406-416.
- Hauri D., Spycher B., Huss A., et al. 2014:** Exposure to radio-frequency electromagnetic fields from broadcast transmitters and risk of childhood cancer: A census-based cohort study. *American Journal of Epidemiology*;DOI: 10.1093/aje/kwt442
- Hauri D., Spycher B., Huss A., et al. 2013b:** Domestic radon exposure and risk of childhood cancer: a prospective census-based cohort study. *Environ Health Perspect*;121:1239-1244.
- Héritier H., Vienneau D., Foraster M., et al. 2017:** Transportation noise exposure and cardiovascular mortality: a nationwide cohort study from Switzerland. *European Journal of Epidemiology*;4:307-315.
- Heroux M.E., Anderson H.R., Atkinson R., et al. 2015:** Quantifying the health impacts of ambient air pollutants: recommendations of a WHO/Europe project. *Int J Public Health*;60:619-627.

Heroux M.E., Belojevic G., Brink M., et al. 2016: WHO Environmental noise guidelines for the European Region-What is new? 1. Policy context and methodology used for guideline development. INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings: Institute of Noise Control Engineering.

Herrmann C., Gern L. 2010: Survival of *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) Under Challenging Conditions of Temperature and Humidity Is Influenced by *Borrelia burgdorferi* sensu lato Infection. *Journal of Medical Entomology*;47:1196-1204.

Hjortebjerg D., Andersen A.M., Christensen J.S., et al. 2016: Exposure to Road Traffic Noise and Behavioral Problems in 7-Year-Old Children: A Cohort Study. *Environmental health perspectives*;124:228-234.

Hoek G., Krishnan R.M., Beelen R., et al. 2013: Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review. *Environmental Health*;12:43.

Hoek G., Pattenden S., Willers S., et al. 2012: PM10, and children's respiratory symptoms and lung function in the PATY study. *European Respiratory Journal*;40:538-547.

Holmes P., James K., Levy L. 2009: Is low-level environmental mercury exposure of concern to human health? *Science of the Total Environment*;408:171-182.

Hug K., Rössli M. 2012: Elektromagnetische Hypersensibilität. Bewertung von wissenschaftlichen Studien. Stand Ende 2011. Bern, <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01669/>. Bundesamt für Umwelt.

Hurley S., Goldberg D., Nelson D., et al. 2014: Light at night and breast cancer risk among California teachers. *Epidemiology (Cambridge, Mass)*;25:697.

Huss A., Spoerri A., Egger M., Rössli M., Swiss National Cohort S. 2009: Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: longitudinal study of the Swiss population. *Am J Epidemiol*;169:167-175.

IARC 2002: Non-ionizing radiation, part 1: static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. in: Organization W.H., ed. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon: International Agency for Research on Cancer.

IARC 2007: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Painting, Firefighting, and Shiftwork. Lyon: World Health Organization, International Agency for Research on Cancer (IARC).

IARC 2012: Radiation: a review of human carcinogensw. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Lyon: IARC.

IARC 2015: Some organophosphate insecticides and herbicides. IARC Monographs Volume 112. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer (IARC).

ICRP 2007: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. International Commission on Radiological Protection.

Info Flora 2012a: Aufrechte Ambrosie. Info Flora. Available: https://www.infoflora.ch/assets/content/documents/neophyten/inva_ambr_art_d.pdf [abgerufen 4. April 2017].

Info Flora 2012b: Riesen-Bärenklau. Info Flora. Available: https://www.infoflora.ch/de/assets/content/documents/neophyten/inva_hera_man_d.pdf [abgerufen 4. April 2017].

Info Flora 2012c: Schmalblättriges Greiskraut oder Kreuzkraut. Info Flora. Available: https://www.infoflora.ch/en/assets/content/documents/neophyten/inva_sene_ina_d.pdf [abgerufen 4. Mai 2017].

Jacquemin B., Siroux V., Sanchez M., et al. 2015: Ambient air pollution and adult asthma incidence in six European cohorts (ESCAPE). *Environmental health perspectives*;123:613-621.

James P., Banay R.F., Hart J.E., Laden F. 2015: A Review of the Health Benefits of Greenness. *Current Epidemiology Reports*;2:131-142.

Jones O.A., Lester J.N., Voulvoulis N. 2005: Pharmaceuticals: a threat to drinking water? *TRENDS in Biotechnology*;23:163-167.

Jones O.A., Voulvoulis N., Lester J.N. 2003: Potential impact of pharmaceuticals on environmental health. *Bulletin of the World Health Organization*;81:768-769.

- Junge X., Schüpbach B., Walter T., Schmid B., Lindemann-Matthies P. 2015:** Aesthetic quality of agricultural landscape elements in different seasonal stages in Switzerland. *Landscape and Urban Planning*;133:67-77.
- Kashcheev V., Chekin S.Y., Karpenko S., et al. 2017:** Radiation Risk of Cardiovascular Diseases in the Cohort of Russian Emergency Workers of the Chernobyl Accident. *Health Physics*;113:23-29.
- Keesing F., Belden L.K., Daszak P., et al. 2010:** Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases. *Nature*;468:647-652.
- Kendall G.M., Little M.P., Wakeford R., et al. 2013:** A record-based case-control study of natural background radiation and the incidence of childhood leukaemia and other cancers in Great Britain during 1980-2006. *Leukemia*;27:3-9.
- Kheifets L., Ahlbom A., Crespi C.M., et al. 2010:** Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia. *British journal of cancer*;103:1128-1135.
- Kim K.-H., Kabir E., Jahan S.A. 2017:** Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of The Total Environment*;575:525-535.
- Kropat G., Bochud F., Jaboyedoff M., et al. 2015:** Predictive analysis and mapping of indoor radon concentrations in a complex environment using kernel estimation: an application to Switzerland. *Sci Total Environ*;505:137-148.
- Kropat G., Bochud F., Murith C., Palacios Gruson M., Baechler S. 2017:** Modeling of geogenic radon in Switzerland based on ordered logistic regression. *J Environ Radioact*;166:376-381.
- Kumar A., Chang B., Xagorarakis I. 2010:** Human health risk assessment of pharmaceuticals in water: issues and challenges ahead. *International Journal of Environmental Research and Public Health*;7:3929-3953.
- Kutlar Joss M. 2010:** Klimawandel und Gesundheit. Durch Mücken übertragene Infektionskrankheiten in der Schweiz. Master-These zur Erlangung des Masters of Public Health im Rahmen des Weiterbildungsstudiengangs Public Health. Universität Basel, Bern und Zürich.
- Lachat T., Pauli D., Gonseth Y., et al. 2010:** Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900: Ist die Talsohle erreicht? *Bristol-Schriftenreihe*. Bern: Forum Biodiversität Schweiz, Akademie der Naturwissenschaften (SCNAT).
- Lamichhane D.K., Leem J.H., Kim H.C., et al. 2016:** Association of infant and young child feeding practices with under-nutrition: evidence from the Nepal Demographic and Health Survey. *Paediatrics and international child health*;36:260-269.
- Langer M., Junghans M., Spycher S., et al. 2017:** Hohe Ökotoxikologische Risiken in Bächen. *Aqua & Gas*;4:58-68.
- Lauer O., Frei P., Gosselin M.C., Joseph W., Rössli M., Fröhlich J. 2013:** Combining near- and far-field exposure for an organ-specific and whole-body RF-EMF proxy for epidemiological research: A reference case. *Bioelectromagnetics*;34:366-374.
- Laurent O., Ancelet S., Richardson D.B., et al. 2013:** Potential impacts of radon, terrestrial gamma and cosmic rays on childhood leukemia in France: a quantitative risk assessment. *Radiat Environ Biophys*;52:195-209.
- Lichtensteiger W., Schlumpf M., Basseti-Gaille C. 2016:** Auswirkungen der Chemikalienexposition auf unser Gehirn. *Oekoskop*;4:23-26.
- Liner M., Roberts J. 2015:** Glyphosat – Gefährdung von Natur und Gesundheit? Basel: Juni 2015. Pro Natura.
- Loomis D., Grosse Y., Lauby-Secretan B., et al. 2013:** The carcinogenicity of outdoor air pollution. *Lancet Oncol*;14:1262-1263.
- Lucas R., McMichael T., Smith W., Armstrong B. 2006:** Solar Ultraviolet Radiation: Global Burden of Disease from Solar Ultraviolet Radiation. . in: *Environmental Burden of Disease Series N.*, ed. Geneva: World Health Organization.
- Luttenbacher R. 2015:** Quecksilber im Grossgrundkanal (Wallis). *Oekoskop*;3:17-19.
- MacIntyre E.A., Gehring U., Molter A., et al. 2014:** Air pollution and respiratory infections during early childhood: an analysis of 10 European birth cohorts within the ESCAPE Project. *Environmental health perspectives*;122:107-113.

- Mahé E., de Paula C.M., Vouldoukis I., Godin-Beekmann S., Sigal M., Beauchet A. 2015:** Sun exposure at school: Evaluation of risk (erythema dose), benefits (vitamin-D synthesis) and behaviour among children in France. *Annales de dermatologie et de venerologie*
- Mamtani R., Stern P., Dawood I., Cheema S. 2011:** Metals and disease: A global primary health care perspective. *Journal of toxicology*;2011
- Manser C.N., Paul M., Rogler G., Held L., Frei T. 2013:** Heat Waves, Incidence of Infectious Gastroenteritis, and Relapse Rates of Inflammatory Bowel Disease: A Retrospective Controlled Observational Study. *Am J Gastroenterol*;108:1480-1485.
- Marselle M.R., Irvine K.N., Lorenzo-Arribas A., Warber S.L. 2015:** Moving beyond Green: Exploring the Relationship of Environment Type and Indicators of Perceived Environmental Quality on Emotional Well-Being following Group Walks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*;12:106-130.
- Martens D., Gutscher H., Bauer N. 2011:** Walking in "wild" and "tended" urban forests: The impact on psychological well-being. *Journal of Environmental Psychology*;31:36-44.
- Marti S. 2015:** Jeder zweite hat riskantes Pestizid im Urin. *Gesundheitstipp*;5:6-8.
- McConnell R., Berhane K., Gilliland F., et al. 2003:** Prospective study of air pollution and bronchitic symptoms in children with asthma. *American journal of respiratory and critical care medicine*;168:790-797.
- Medlock J.M., Hansford K.M., Bormane A., et al. 2013:** Driving forces for changes in geographical distribution of Ixodes ricinus ticks in Europe. *Parasites & Vectors*;6:1.
- Menzler S., Bikker J.A., Suman-Chauhan N., Horwell D.C. 2000:** Design and biological evaluation of non-peptide analogues of omega-conotoxin MVIIA. *Bioorg Med Chem Lett*;10:345-347.
- Messier K.P., Serre M.L. 2016:** Lung and stomach cancer associations with groundwater radon in North Carolina, USA. *International Journal of Epidemiology*;46:676-685.
- MeteoSchweiz 2015:** Die Pollensaison 2015. Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz). Available: [https://www.pollenundallergie.ch/file/meteoswiss/MeteoSchweiz_Pollensaison_2015\(1\).pdf](https://www.pollenundallergie.ch/file/meteoswiss/MeteoSchweiz_Pollensaison_2015(1).pdf) [abgerufen 6. April 2017].
- MeteoSchweiz 2017a:** Immer weniger Kältewellen. Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz). Available: <http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/aktuell/meteoschweiz-blog.subpage.html/de/data/blogs/2017/1/immer-weniger-kaeltewellen.html> [abgerufen 31. März 2017].
- MeteoSchweiz 2017b:** Pollenmessnetz. Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz). Available: <http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/mess-und-prognosesysteme/bodenstationen/pollenmessnetz.html>.
- MeteoSchweiz, aha! Allergiezentrum Schweiz 2016:** Ambrosia - Gesundheitsaspekte. aha! Allergiezentrum Schweiz. Available: <https://www.aha.ch/allergiezentrum-schweiz/info-zu-allergien/allergien-intoleranzen/pollenallergien/ambrosia/die-gesundheitlichen-aspekte/> [abgerufen 4. April 2017].
- Meteotest 2015:** Karten von Jahreswerten der Luftbelastung in der Schweiz: Dokumentation zu Datengrundlagen, Berechnungsverfahren und Resultaten der Karten bis zum Jahr 2014. Bern: Federal Office for the Environment.
- Molter A., Simpson A., Berdel D., et al. 2015:** A multicentre study of air pollution exposure and childhood asthma prevalence: the ESCAPE project. *Eur Respir J*;45:610-624.
- Morand Bourqui R. 2016:** Nationales Human Biomonitoring Programm in der Schweiz. *Oekoskop*;4:10-12.
- Müller P., Engeler L., Tonolla M. 2013:** Vorprojekt Nationales Programm zur Überwachung der asiatischen Tigermücke – Alpennordseite und Wallis. Zwischenbericht. Bundesamt für Gesundheit (BAG). Available: <https://www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/mt/infektionskrankheiten/tigermuecke/zb-vp-np-ueberwachung-tigermuecke.pdf.download.pdf/vorprojekt-nationales-programm-ueberwachung-asiatische-tigermuecke.pdf> [abgerufen 20. März 2017].
- Müller P., Suter T., Engeler L., et al. 2016:** Zwischenbericht 2015: Nationales Programm zur Überwachung der asiatischen Tigermücke. Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU).

- Muñoz-Quezada M.T., Lucero B.A., Barr D.B., et al. 2013:** Neurodevelopmental effects in children associated with exposure to organophosphate pesticides: A systematic review. *NeuroToxicology*;39:158-168.
- Murray K.E., Thomas S.M., Bodour A.A. 2010:** Prioritizing research for trace pollutants and emerging contaminants in the freshwater environment. *Environmental Pollution*;158:3462-3471.
- Naucke T., Menn B., Massberg D., Lorentz S. 2008:** Sandflies and leishmaniasis in Germany. *Parasitology Research*;103:65-68.
- Neteler M., Metz M., Rocchini D., et al. 2013:** Is Switzerland suitable for the invasion of *Aedes albopictus*? *PLoS One*;8:e82090.
- Nielsen C., Ravn H.P., Nentwig W., Wade M. 2005:** The giant hogweed best practice manual. Guidelines for the management and control of an invasive weed in Europe. Hoersholm, Denmark: Forest and Landscape Denmark.
- Olaniyan T.A., Dalvie M.A., Roosli M., Jeebhay M.F. 2016:** Air Pollution, Pollens and Childhood Asthma - Is There a Link? *Curr Allergy Clin Im*;29:252-261.
- Omlin S., Bauer G.F., Brink M. 2011:** Effects of noise from non-traffic-related ambient sources on sleep: Review of the literature of 1990-2010. *Noise and health*;13:299.
- Onakpoya I.J., O'Sullivan J., Thompson M.J., Heneghan C.J. 2015:** The effect of wind turbine noise on sleep and quality of life: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Environ Int*;82:1-9.
- Ostro B.D. 1987:** Air pollution and morbidity revisited: a specification test. *Journal of Environmental Economics and Management*;14:87-98.
- Park B.J., Tsunetsugu Y., Kasetani T., Kagawa T., Miyazaki Y. 2009:** The physiological effects of Shinrin-yoku (taking in the forest atmosphere or forest bathing): evidence from field experiments in 24 forests across Japan. *Environmental Health and Preventive Medicine*;15:18.
- Pedersen M., Andersen Z.J., Stafoggia M., et al. 2017:** Ambient air pollution and primary liver cancer incidence in four European cohorts within the ESCAPE project. *Environ Res*;154:226-233.
- Pedersen M., Giorgis-Allemand L., Bernard C., et al. 2013:** Ambient air pollution and low birthweight: a European cohort study (ESCAPE). *Lancet Respir Med*;1:695-704.
- Pietilä M., Neuvonen M., Borodulin K., Korpela K., Sievänen T., Tyrväinen L. 2015:** Relationships between exposure to urban green spaces, physical activity and self-rated health. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*;10:44-54.
- Poulin J., Gibb H., Prüss-Üstün A. 2012:** Mercury: assessing the environmental burden of disease at national and local levels. *Mercury: assessing the environmental burden of disease at national and local levels*;
- Power M.C., Adar S.D., Yanosky J.D., Weuve J. 2016:** Exposure to air pollution as a potential contributor to cognitive function, cognitive decline, brain imaging, and dementia: A systematic review of epidemiologic research. *Neurotoxicology*;56:235-253.
- Probst-Hensch N. 2016:** Vom Biomonitoring zum Exposom. *Oekoskop*;4:4-9.
- ProClim 2005:** Hitzesommer 2003. Synthesebericht. Bern: ProClim-Forum for Climate and Global Change. Platform of the Swiss Academy of Sciences.
- Qiu L., Lindberg S., Nielsen A.B. 2013:** Is biodiversity attractive?—On-site perception of recreational and biodiversity values in urban green space. *Landscape and Urban Planning*;119:136-146.
- Raaschou-Nielsen O. 2008:** Indoor radon and childhood leukaemia. *Radiat Prot Dosimetry*;132:175-181.
- Raaschou-Nielsen O., Andersen C.E., Andersen H.P., et al. 2008:** Domestic radon and childhood cancer in Denmark. *Epidemiology*;19:536-543.
- Raaschou-Nielsen O., Andersen Z.J., Beelen R., et al. 2013:** Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Lancet Oncol*;14:813-822.
- Ragettli M.S., Vicedo-Cabrera A.M., Schindler C., Rösli M. 2017:** Exploring the association between heat and mortality in Switzerland between 1995 and 2013. *Environmental research*;158C:703-709.

Rattan S., Zhou C., Chiang C., Mahalingam S., Brehm E., Flaws J.A. 2017: Exposure to endocrine disruptors during adulthood: consequences for female fertility. *J Endocrinol*;233:R109-R129.

Reber S., Pacciarelli B. 2016: Quecksilber-Spezies in landwirtschaftlichen Produkten der Schweiz. Zürich: Kanton Zürich, Gesundheitsdirektion, Kantonales Labor Zürich.

Robine J.-M., Cheung S.L.K., Le Roy S., et al. 2008: Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies*;331:171-178.

Roeleveld N., Bretveld R. 2008: The impact of pesticides on male fertility. *Curr Opin Obstet Gynecol*;20:229-233.

Röösli M. 2011: Non-cancer effects of chemical agents on children's health. *Prog Biophys Mol Bio*;107:315-322.

Röösli M., Foerster M., Roser K., Schöni A., Urbinello D., Struchen B. 2015: Stichprobenkonzept für Messungen der nicht-ionisierenden Strahlung mit Exposimetern. Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU). Basel und Bern: Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut (Swiss TPH).

Röösli M., Jenni D., Kheifets L., Mezei G. 2011: Extremely low frequency magnetic field measurements in buildings with transformer stations in Switzerland. *Sci Total Environ*;409:3364-3369.

Röösli M., Struchen B., Eeftens M., Roser K. 2016: Persönliche Messungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern bei einer Bevölkerungsstichprobe im Kanton Zürich 2016. Auftrag des AWEL, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft in Zürich. Basel, Bern: Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut (Swiss TPH).

Roser K., Schoeni A., Struchen B., et al. 2017: Personal radiofrequency electromagnetic field exposure measurements in Swiss adolescents. *Environment international*;99:303-314.

Ross S.M., McManus I., Harrison V., Mason O. 2013: Neurobehavioral problems following low-level exposure to organophosphate pesticides: a systematic and meta-analytic review. *Critical reviews in toxicology*;43:21-44.

Rybach L., Bachler D., Bucher B., Schwarz G. 2002: Radiation doses of Swiss population from external sources. *J Environ Radioact*;62:277-286.

Sagar S., Struchen B., Finta V., Eeftens M., Röösli M. 2016: Use of portable exposimeters to monitor radiofrequency electromagnetic field exposure in the everyday environment. *Environmental research*;150:289-298.

Schlangen L., Lang D., Novotny P., et al. 2014: Lighting for health and well-being in education, work places, nursing homes, domestic applications, and smart cities. SSL-erate Consortium. European project to accelerate the uptake of high-quality Solid State Lighting (SSL) technology. Available: <http://lightingforpeople.eu/2016/wp-content/uploads/2016/03/SSLerate-3.2-3.4-v4.pdf> [abgerufen 7. April 2017].

Schlittmeier S.J., Feil A., Liebl A., Hellbr Ck J.R. 2015: The impact of road traffic noise on cognitive performance in attention-based tasks depends on noise level even within moderate-level ranges. *Noise & health*;17:148-157.

Schüz J., Dasenbrock C., Ravazzani P., et al. 2016: Extremely low-frequency magnetic fields and risk of childhood leukemia: A risk assessment by the ARIMMORA consortium. *Bioelectromagnetics*;37:183-189.

Schwarz T. 2005: Mechanisms of UV-induced immunosuppression. *The Keio Journal of Medicine*;54:165-171.

Schweizer Bundesrat 2012: Auswirkungen von künstlichem Licht auf die Artenvielfalt und den Menschen Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats Moser 09.3285. Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU).

Schweizer Bundesrat 2015: Strategie Antibiotikaresistenzen Schweiz. Bern: Vertrieb Bundespublikationen.

SCNAT 2016a: Brennpunkt Klima Schweiz: Grundlagen, Folgen und Perspektiven. Swiss Academies Reports. Bern: Akademien der Wissenschaften Schweiz (SCNAT).

SCNAT 2016b: Gesundheitliche Aspekte der Schweizerischen Energiestrategie 2050: Grundlagenpapier zum Factsheet der Energiekommission der Akademien Schweiz. Vol 11, No 7. Bern: Akademien der Wissenschaften Schweiz.

SCNAT 2016c: Konsequenzen der Energiestrategie 2050 für die Gesundheit. Swiss Academies Factsheets 10(3). Bern: Akademien der Wissenschaften Schweiz.

SCNAT 2016d: Tagungsbericht. Macht Biodiversität gesund? Swiss Forum on Conservation Biology SWIFCOB 16. Bern: Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCANAT).

Seidler A., Hegewald J., Seidler A.L., et al. 2017: Association between aircraft, road and railway traffic noise and depression in a large case-control study based on secondary data. *Environmental research*;152:263-271.

Shakoor M.B., Nawaz R., Hussain F., et al. 2017: Human health implications, risk assessment and remediation of As-contaminated water: A critical review. *Sci Total Environ*;601-602:756-769.

Smolders R., Den Hond E., Koppen G., et al. 2015: Interpreting biomarker data from the COPHES/DEMOCOPHES twin projects: Using external exposure data to understand biomarker differences among countries. *Environmental research*;141:86-95.

Sommer H., Lieb C., Heldstab J., Künzle T., Braun-Fahrländer C., Rössli M. 2004: Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2000. Bern: Bundesamt für Raumentwicklung (ARE).

Song C., Ikei H., Miyazaki Y. 2016: Physiological effects of nature therapy: A review of the research in Japan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*;13:781.

Spycher B.D., Feller M., Zwahlen M., et al. 2011: Childhood cancer and nuclear power plants in Switzerland: a census-based cohort study. *International journal of epidemiology*;40:1247-1260.

Spycher B.D., Lupatsch J.E., Zwahlen M., et al. 2015: Background ionizing radiation and the risk of childhood cancer: a census-based nationwide cohort study. *Environmental health perspectives*;123:622-628.

Stafoggia M., Cesaroni G., Peters A., et al. 2014: Long-term exposure to ambient air pollution and incidence of cerebrovascular events: results from 11 European cohorts within the ESCAPE project. *Environmental health perspectives*;122:919-925.

Stansfeld S., Hygge S., Clark C., Alfred T. 2010: Night time aircraft noise exposure and children's cognitive performance. *Noise & health*;12:255-262.

Stratmann M., Wernli C., Kreuter U., Joss S. 1995: Messung der Belastung der Schweizer Bevölkerung durch 50 Hz Magnetfelder. PSI Bericht Nr 95-09, ISSN 1019-0643. Villigen: Paul Scherrer Institut (PSI).

Struchen B., Liorni I., Parazzini M., Gangler S., Ravazzani P., Rössli M. 2016: Analysis of personal and bedroom exposure to ELF-MFs in children in Italy and Switzerland. *J Expo Sci Environ Epidemiol*;26:586-596.

Taramarcaz P., Lambelet C., Clot B., Keimer C., Hauser C. 2005: Ragweed (Ambrosia) progression and its health risks: will Switzerland resist this invasion? *Swiss Medical Weekly*;135:538.

Tchounwou P.B., Yedjou C.G., Patlolla A.K., Sutton D.J. Heavy Metal Toxicity and the Environment. *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology: Volume 3: Environmental Toxicology*. Basel: Springer Basel; 2012.

Touraud E., Roig B., Sumpter J.P., Coetsier C. 2011: Drug residues and endocrine disruptors in drinking water: risk for humans? *International journal of hygiene and environmental health*;214:437-441.

Tsai M.Y., Hoek G., Eeftens M., et al. 2015: Spatial variation of PM elemental composition between and within 20 European study areas--Results of the ESCAPE project. *Environment international*;84:181-192.

Universität Zürich 2016: Gutachten über eine mögliche Gesundheitsgefährdung der Bevölkerung durch quecksilberbelastete Böden im Gebiet Turtig und Visp. Zürich: Universität Zürich, Institut für Epidemiologie.

UNSCEAR 2016: Radiation effects and sources. United Nations Environment Programme. Austria

Usher-Smith J.A., Emery J., Kassianos A.P., Walter F.M. 2014: Risk prediction models for melanoma: a systematic review. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*;23:1450-1463.

van den Berg M., Wendel-Vos W., van Poppel M., Kemper H., van Mechelen W., Maas J. 2015: Health benefits of green spaces in the living environment: A systematic review of epidemiological studies. *Urban Forestry & Urban Greening*;14:806-816.

van Kempen E., Babisch W. 2012: The quantitative relationship between road traffic noise and hypertension: a meta-analysis. *Journal of hypertension*;30:1075-1086.

Vergara X., Kheifets L., Greenland S., Oksuzyan S., Cho Y.S., Mezei G. 2013: Occupational exposure to extremely low-frequency magnetic fields and neurodegenerative disease: a meta-analysis. *J Occup Environ Med*;55:135-146.

Vernez D., Koechlin A., Milon A., et al. 2015a: Anatomical UV Exposure in French Outdoor Workers. *J Occup Environ Med*;57:1192-1196.

Vernez D., Milon A., Vuilleumier L., et al. 2015b: A general model to predict individual exposure to solar UV by using ambient irradiance data. *J Expo Sci Environ Epidemiol*;25:113-118.

Vicedo-Cabrera A.M., Ragetti M.S., Schindler C., Rössli M. 2016: Excess mortality during the warm summer of 2015 in Switzerland. *Swiss Medical Weekly*;146:w14379-w14379.

Vienneau D., de Hoogh K., Hauri D., et al. 2017: Effects of radon and UV exposure on skin cancer mortality in Switzerland. *Environmental Health Perspectives*;67009:1-8.

Vienneau D., Perez L., Schindler C., et al. 2015: Years of life lost and morbidity cases attributable to transportation noise and air pollution: A comparative health risk assessment for Switzerland in 2010. *International journal of hygiene and environmental health*;218:514-521.

Wang M., Beelen R., Stafoggia M., et al. 2014: Long-term exposure to elemental constituents of particulate matter and cardiovascular mortality in 19 European cohorts: results from the ESCAPE and TRANSPHORM projects. *Environment international*;66:97-106.

WBF 2016: Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Entwurf vom 4. Juli 2016. Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung (WBF).

Weinmayr G., Romeo E., De Sario M., Weiland S.K., Forastiere F. 2010: Short-term effects of PM10 and NO2 on respiratory health among children with asthma or asthma-like symptoms: A systematic review and meta-analysis. *Environmental health perspectives*;118:449.

Werner D., Kronefeld M., Schaffner F., Kampen H. 2012: Two invasive mosquito species, *Aedes albopictus* and *Aedes japonicus japonicus*, trapped in south-west Germany, July to August 2011. *Euro Surveill*;17:20067.

Wertheimer N., Leeper E. 1979: Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol*;109:273-284.

Wheeler B.W., Allen J., Depledge M.H., Curnow A. 2012: Radon and skin cancer in southwest England: an ecologic study. *Epidemiology*;23:44-52.

Whiteman D.C., Whiteman C.A., Green A.C. 2001: Childhood sun exposure as a risk factor for melanoma: a systematic review of epidemiologic studies. *Cancer Causes Control*;12:69-82.

WHO 2009: WHO handbook on indoor radon. Geneva

WHO 2012: State of the science of endocrine disrupting chemicals. World Health Organization (WHO).

WHO 2013a: Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. Copenhagen: World Health Organization.

WHO 2013b: Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project. Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. Copenhagen: World Health Organization (WHO). Regional office for Europe.

WHO 2014: Fact sheet - Leishmaniasis in the WHO European Region. World Health Organization (WHO) Regional Office for Europe. Available: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0007/246166/Fact-sheet-Leishmaniasis-Eng.pdf?ua=1 [abgerufen 20. März 2017].

WHO, CBD 2015: Connecting global priorities: biodiversity and human health: a state of knowledge review. Geneva: World Health Organization (WHO) and Secretariat of the Convention on Biological Diversity (CBD).

Wittmer I., Moschet C., Simovic J., et al. 2014: Über 100 Pestizide in Fließgewässern. Programm NAWA SPEZ zeigt die hohe Pestizidbelastung der Schweizer Fließgewässer auf. *Aqua & Gas*;94:32-43.

Woodcock J., Edwards P., Tonne C., et al. 2009: Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. *The Lancet*;374:1930-1943.

Woodruff T.J., Grillo J., Schoendorf K.C. 1997: The relationship between selected causes of postneonatal infant mortality and particulate air pollution in the United States. *Environmental health perspectives*;105:608.

WSL 2012: Das Verhältnis der Schweizer Bevölkerung zum Wald. Waldmonitoring soziokulturell: Weiterentwicklung und zweite Erhebung - WaMos 2. Birmensdorf: Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL).

WSL 2016: Gesundheitseffekte unterschiedlicher städtischer Erholungsorte. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) Available: http://www.wsl.ch/fe/wisoz/projekte/Erholungsorte/index_DE [abgerufen 31. März 2017].

WSL 2017: Alpine Landschaften unter globalem Wandel: Einflüsse von Landnutzungsänderungen auf Ökosystemfunktionen, Biodiversität, Gesundheit und Wohlbefinden des Menschen („Healthy Alps“). Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. Available: http://www.wsl.ch/fe/wisoz/projekte/healthyalps/index_DE [abgerufen 23. März 2017].

Wüthrich B., Schmid-Grendelmeier P., Schindler C., et al. 2013: Prevalence of atopy and respiratory allergic diseases in the elderly SAPALDIA population. *International archives of allergy and immunology*;162:143-148.

Zarn J.A., Engeli B.E. 2014: Aspekte der gesundheitlichen Beurteilung von Fremd-und Inhaltsstoffen in Lebensmitteln. *Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin* 4:10-17.

Zhou H., Chen G., Chen C., Yu Y., Xu Z. 2012: Association between extremely low-frequency electromagnetic fields occupations and amyotrophic lateral sclerosis: a meta-analysis. *PloS one*;7:e48354.

Ziello C., Sparks T.H., Estrella N., et al. 2012: Changes to airborne pollen counts across Europe. *PloS one*;7:e34076.