

Forschungskonzept Umwelt 2021 – 2024

Forschungsbereiche und prioritäre Forschungsthemen



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Forschungskonzept Umwelt 2021 – 2024

Forschungsbereiche und prioritäre Forschungsthemen

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autoren

Marie-Laure Pesch (BAFU), Olivier Jacquat (BAFU),

Daniel Zürcher (BAFU), Pierre Queloz (BAFU)

Begleitgruppen

Beratendes Organ für Umweltforschung (OFU):

Andrea Baranzini (HEG), Robert Baur (Agroscope), Herbert Brunold (BAG), Brigitte Buchmann (Empa), Beat Bürgenmeier (Uni Genève), Philippe Corvini (FHNW), Alain Dietrich (Innosuisse), Sabine Döbeli (Swiss Sustainable Finance), Fabienne Favre Boivin (HEFR), Thomas Heim (FHNW), Jutta Hellstern (Novartis), Rolf Holderegger (WSL), Christian Huggel (Uni ZH), Lukas Keller (Uni ZH), Kathrin Kramer (Innosuisse), Sabine Krattiger (Immark AG), Markus Lötscher (BLW), Christian Ludwig (PSI), Daniel Marti (SBFI), Urs Müller (ZHAW), Martine Rebetez (UniNE), Peter Reichert (eawag), Martin Röösl (Schweizerisches Tropen- und Public Health Institut), Adrian Rüeggsegger (TA-swiss), Urs Schaffner (CABI), Rolf Schmitz (BFE), Jürg Speerli (HSR), Werner Spillmann, Michael Stauffacher (ETHZ), Daniela Thurnherr (Uni Basel)

BAFU:

Hugo Amacker, Sibyl Anwander, Sabine Augustin, Lars Birgelen, Beat Bringold, Amanda Finger, Karin Fink, Jean-Michel Gardaz, Nadine Gehrig, Andreas Hauser, David Hiltbrunner, Sophie Hoehn, Roland Hohmann, Michael Hügi, Daniel Lehmann, Jérémie Millot, Christoph Moor, Martine Reymond, Brigitte Reutter, Nele Rogiers, José Romero, Philip Röser, Gilles Rudaz, Michael Schärer, Andreas Schellenberger, Hannah Scheuthle, Petra Schmocker-Fackel, Ulrich Sieber, Salome Sidler, Simon Steiner, Anja Strahm, Gian-Reto Walther, Markus Wüest, Anne Gabrielle Wüst Saucy

Weitere Bundesstellen:

Mattia Cattaneo (ARE), Gilles Chomat (ARE), Gérard Gremaud (BLV), Beat Jeckelmann (METAS), Heike Kunz (Meteoschweiz), Olivier Lateltin (Swisstopo), Nicole Mathys (ARE), Céline Pascale (METAS), Thomas Schlegel (Meteoschweiz)

Lektorat

Claudia Zingerli

Gestaltung

Cavelti AG, Marken. Digital und gedruckt, Gossau

Titelbild

Erkrankter Eschenbestand im Sommer im Kanton Fribourg.

© Valentin Queloz, WSL

Zitierung

BAFU (Hrsg.) 2020: Forschungskonzept Umwelt 2021 – 2024.

Forschungsbereiche und prioritäre Forschungsthemen.

Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Info Nr. 2009: 82 S.

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/ui-2009-d

Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.

Die Originalsprache ist Deutsch.

© BAFU 2020

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	5	15	Chemikalien	56
		16	Biosicherheit	58
Vorwort	6	17	Eindämmung und Bewältigung Klimawandel	60
		18	Umgang mit Naturgefahren und technischen Risiken	62
1 Einleitung	7			
2 Überblick Politikbereich Umwelt	8	4 Finanzierung 2021 – 2024		64
2.1 Strategische Ausrichtung des Politikbereichs Umwelt	8	5 Akteure und Schnittstellen		65
2.2 Gesetzlicher Auftrag als Grundlage für die Umweltforschung des BAFU	9	5.1 Beschreibung der wichtigsten Akteure im Hoch- und Fachhochschulbereich		65
2.3 Rückblick auf das Forschungskonzept Umwelt der Periode 2017 – 2020	9	5.2 Schnittstellen mit anderen Förderinstrumenten im Umweltbereich		65
		5.3 Internationale Forschungszusammenarbeit		71
Projektbeispiele	11	6 Organisation und Qualitätssicherung		73
2.4 Finanzierung der schweizerischen Umweltforschung	15	6.1 Interne Organisation		73
2.5 Herausforderungen und Handlungsbedarf für Politik und Forschung	16	6.2 Beratung durch das wissenschaftliche Begleitorgan OFU		73
		6.3 Qualitätssicherung		74
3 Prioritäre Forschungsthemen 2021 – 2024	19	Anhang		75
3.1 Übersicht der prioritären Forschungsthemen	19	A1 Forschung der Bundesverwaltung: allgemeine Informationen		75
3.2 Ressortübergreifende Forschungsthemen zwischen Bundesstellen	19	A2 Erarbeitung von gemeinsamen ressortübergreifende Forschungsthemen		79
3.3 Ressortübergreifende Forschungsthemen innerhalb des BAFU	23			
3.4 Schwerpunkte, Forschungsbereiche und Forschungsthemen des BAFU	27			
1 Umweltökonomie und Ressourceneffizienz	28	Literatur		80
2 Umweltbeobachtung, Umweltbildung und Umweltkommunikation	30			
3 Umweltrecht	32			
4 Internationale Umweltpolitik	34			
5 Lärmbekämpfung und Ruheschutz	36			
6 Schutz vor nichtionisierender Strahlung	38			
7 Altlasten	40			
8 Luft	42			
9 Boden	44			
10 Wasser	46			
11 Biodiversität	48			
12 Landschaft	50			
13 Wald und Holz	52			
14 Abfall- und Rohstoffmanagement	54			

Abstracts

Environmental research serves as a basis for the early identification and analysis of environmental problems, and helps devise solutions to conserve our environment and resources. It is essential to the functional development of environmental policy and guarantees that this policy is effectively implemented. The research conducted by the Federal Office for the Environment (FOEN) is predominantly applied in character so as to provide findings that can be used directly by policymakers and the administration to fulfil their duties. This document outlines the FOEN's specific environmental research needs in 18 areas during the 2021 – 2024 period. It also discusses the cross-cutting scientific topics that fall under the FOEN's responsibility and interface with other federal offices.

Die Umweltforschung bildet die Grundlage für die Früherkennung und Analyse von Umweltproblemen und ermöglicht die Erarbeitung von Lösungen zum Schutz unserer Umwelt und unserer Ressourcen. Sie ist unverzichtbar für die funktionale Weiterentwicklung der Umweltpolitik und gewährleistet eine effiziente Umsetzung. Die Umweltforschung des Bundesamts für Umwelt (BAFU) ist stark praxisorientiert: Ihre Ergebnisse sollen von Politik und Verwaltung bei der Erfüllung ihrer Aufgaben unmittelbar genutzt werden können. Im vorliegenden Konzept werden für den Zeitraum 2021 – 2024 die konkreten Bedürfnisse des BAFU in 18 Teilbereichen der Umweltforschung aufgezeigt. Zudem werden die ressortübergreifenden Forschungsthemen erläutert, die innerhalb des BAFU und in Zusammenarbeit mit anderen Bundesämtern bearbeitet werden.

La recherche environnementale sert de base à l'identification précoce et à l'analyse des problèmes environnementaux, et permet de formuler des solutions afin de préserver notre environnement et nos ressources. Elle est essentielle au développement fonctionnel de la politique de l'environnement et en garantit une mise en œuvre efficace. Les activités de recherche de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) ont un caractère fortement appliqué afin de produire des résultats directement exploitables par les responsables politiques et l'administration dans l'accomplissement de leurs tâches. Ce document présente les besoins concrets de l'OFEV en matière de recherche environnementale pour la période 2021-2024 dans 18 domaines. Les thèmes scientifiques transversaux du ressort de l'OFEV et en interface avec d'autres offices fédéraux sont également développés.

La ricerca ambientale funge da base per l'identificazione e l'analisi precoce dei problemi ambientali e consente di formulare soluzioni volte a preservare l'ambiente e le risorse. Inoltre è essenziale per lo sviluppo funzionale della politica ambientale e ne garantisce l'attuazione efficace. Le attività di ricerca dell'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) sono orientate in larga misura alla produzione di risultati direttamente utilizzabili dalla politica e dall'amministrazione nell'adempimento dei propri compiti. Questa pubblicazione illustra le esigenze concrete dell'UFAM nella ricerca ambientale in 18 settori per il periodo 2021 – 2024. Inoltre sviluppa anche temi scientifici trasversali di competenza dell'UFAM ma che coinvolgono anche altri uffici federali.

Keywords:

environmental research, priority areas, research fields, cross-cutting research topics, research needs

Stichwörter:

Umweltforschung, Schwerpunkte, Forschungsbereiche, Ressortübergreifende Forschungsthemen, Forschungsbedarf

Mots-clés :

recherche environnementale, axes prioritaires, domaines de recherche, thèmes transversaux de recherche, besoins de recherche

Parole chiave:

ricerca ambientale, assi prioritari, settori della ricerca, temi di ricerca trasversali, esigenze di ricerca

Vorwort

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) ist zuständig für die Umsetzung der Umweltpolitik in der Schweiz und verantwortlich für die Bereitstellung der wissenschaftlichen Grundlagen, die für die Weiterentwicklung der Umweltpolitik benötigt werden. Diese Weiterentwicklung gewährleistet, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt, umwelt- und gesundheitsschädigende Belastungen minimiert und wirksame Massnahmen zum Schutz vor Naturgefahren ergriffen werden können. Zwar hat die Umweltbelastung der Schweiz in den vergangenen zwanzig Jahren abgenommen, aber es sind nach wie vor zahlreiche Herausforderungen zu bewältigen. Diese werfen komplexe Fragestellungen auf, die nach neuen Erkenntnissen verlangen. Die durch das BAFU finanzierte angewandte Forschung liefert nicht nur konkrete Antworten auf diese Fragen, sondern gibt auch Aufschluss über den Zustand und die Entwicklung der natürlichen Ressourcen und unserer Umwelt.

Das vorliegende Forschungskonzept zeigt die prioritären Forschungsthemen auf, welche das BAFU für die Jahre 2021 – 2024 identifiziert hat. Sie orientieren sich an den folgenden vier Schwerpunkten: Erhaltung und Gestaltung einer intakten Umwelt, Immissionschutz, Schutz und nachhaltige Nutzung von Ressourcen und Ökosystemen sowie Bewältigung des Klimawandels und Gefahrenprävention.

Heutzutage sind in der Schweiz die Ernährung, das Wohnen und die Mobilität für den grössten Teil der Umweltauswirkungen verantwortlich. In naher Zukunft dürfte eine durchdachte Weiterentwicklung der Digitalisierung in Wirtschaft und Gesellschaft dazu beitragen, die Umweltbelastung menschlichen Handels zu reduzieren. Dessen ungeachtet werfen die Probleme in den drei genannten Bereichen spezifische Fragen auf und rufen systemrelevante Veränderungen hervor, die umfassend und bereichsübergreifend angegangen werden müssen. Ein Beispiel dafür ist die Frage, wie der Übergang zur Kreislaufwirtschaft gelingen kann. In diesem Sinne haben die Bundesämter eine Reihe von ressortübergreifenden Forschungsthemen identifiziert, welche den Zielen der nachhaltigen Entwicklung gerecht werden und es erlauben, die wissenschaftliche Zusammenarbeit der Ämter zu stärken und die Forschung in der Schweiz besser zu koordinieren. Für das BAFU von besonderem Interesse sind dabei die Themen Nachhaltiges Verhalten, Smarte Regionen sowie Gesundheit und Umwelt. Dieser systemische Ansatz, dem ein eigenes Kapitel gewidmet ist, bietet neue Möglichkeiten, um gemeinsam Wege zur Bewältigung der grossen umweltbezogenen Herausforderungen zu finden, mit denen wir konfrontiert sind.

Im Namen des BAFU danke ich allen, die zur Ausarbeitung dieses Forschungskonzepts beigetragen haben. Spezieller Dank gebührt den Mitgliedern des Beratenden Organs für Umweltforschung (OFU), die die Forschungstätigkeiten des BAFU begleiten und die Erarbeitung des Forschungskonzepts tatkräftig unterstützt haben.

Karine Siegwart, Vizedirektorin
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

1 Einleitung

Die schweizerische Umweltforschung bildet eine wichtige Basis für eine wirksame und effiziente Umwelt- und Ressourcenpolitik. Sie liefert Ergebnisse und Grundlagen, die Politik und Verwaltung für die Festlegung der Ziele und Massnahmen im Umweltbereich brauchen sowie für die Überprüfung der Wirksamkeit dieser Massnahmen. Weitere wichtige Aufgaben der Umweltforschung sind die Früherkennung von neuen Umweltproblemen, die Entwicklung von umwelt- und ressourcenschonenden Lösungen und die Beurteilung von Chancen und Risiken neuer Technologien.

Die schweizerische Umweltforschung bearbeitet ein breites Spektrum an Themen, liefert wertvolle Resultate zu relevanten und dringenden Fragen und gehört auch international zur Spitzenklasse.

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) konzentriert sich auf die praxisnahe Forschung, deren Ergebnisse von Politik und Verwaltung direkt für die Erfüllung ihrer Aufgaben benötigt werden. Die Umweltforschung des BAFU muss sowohl die Grundlagen für die langfristige Bewältigung von Herausforderungen im Umweltbereich bereitstellen als auch kurzfristig Lösungsmöglichkeiten für aktuelle und dringende Probleme aufzeigen. Sie ist einerseits durch den gesetzlichen Auftrag und andererseits durch aktuelle politische Bedürfnisse beeinflusst. Bei der Planung der Forschungsaktivitäten muss deshalb ein angemessener Spielraum für neue Themen und dringliche Fragestellungen gewährleistet werden. Durch ihren starken Praxisbezug und ihre Orientierung auf die Problemlösung ist die Umweltforschung des BAFU grösstenteils inter- und transdisziplinär ausgerichtet und legt grosses Gewicht darauf, dass betroffene Akteure frühzeitig in die Lösungsfindung einbezogen werden.

Das BAFU verfügt – im Unterschied zu anderen Politikbereichen – über keine eigenen Forschungseinrichtungen und ist deshalb für die Deckung seines Forschungsbedarfs auf die Zusammenarbeit mit externen Fachleuten aus universitären Hochschulen, Fachhochschulen, Forschungsanstalten, privaten Institutionen oder anderen Bundesstellen, wie z. B. MeteoSchweiz angewiesen.

Das vorliegende Forschungskonzept Umwelt 2021 – 2024 (FKU 2021 – 2024) fokussiert auf den Forschungsbedarf des BAFU. Zusätzlich zu den 18 Forschungsbereichen des BAFU, liegt neu ein besonderes Augenmerk auf den ressortübergreifenden Forschungsthemen innerhalb des BAFU oder an Schnittstellen mit anderen Politikbereichen. Das FKU 2021 – 2024 liefert die Grundlage für die Finanzplanung der gesamten Ressortforschung des BAFU und dient den Fachabteilungen des BAFU als Planungsinstrument. Es ermöglicht auch die Überprüfung der Zielerreichung. Das Forschungskonzept 2021 – 2024 beinhaltet einen Rückblick auf die Forschungsaktivitäten der Jahre 2017 – 2020 und legt Rechenschaft über die Verwendung der Forschungsmittel in dieser Periode ab.

2 Überblick Politikbereich Umwelt

2.1 Strategische Ausrichtung des Politikbereichs Umwelt

Die Nutzung und der Verbrauch natürlicher Ressourcen durch Produktion und Konsum liegen weltweit über dem naturverträglichen Mass. Mit ihren gegenwärtigen Konsum- und Produktionsmustern nutzt die Schweiz die natürlichen Ressourcen in einem Ausmass, das die Regenerationsfähigkeit der Erde übersteigt. Dies führt zu zahlreichen Umweltproblemen: Ressourcenübernutzung im In- und Ausland, starker Rückgang der Biodiversität und der Landschaftsqualität, Immissionsbelastung, Klimawandel und in seiner Folge zunehmende Risiken durch hydrologische und geologische Gefahren. Wesentliche Treiber der Umweltbelastung sind wirtschaftliche Entwicklung, Handel, Intensivierung der Landwirtschaft, Energieverbrauch, industrielle Produktion, Mobilität, Siedlungsentwicklung, Bevölkerungswachstum, Ausbau von Infrastrukturen und nicht nachhaltiger Konsum. Die Nutzung und der Verbrauch natürlicher Ressourcen können häufig, zumindest für menschliche Massstäbe, irreversible Folgen haben. Die Umweltpolitik von heute muss deshalb auch Verantwortung für künftige Generationen übernehmen und dabei ethische Aspekte berücksichtigen. Gesunde natürliche Ressourcen, die Sicherheit vor natürlichen und technischen Gefahren und ein Klima mit wenig Variabilität und erträglichen Extremen sind Voraussetzungen für eine funktionierende Gesellschaft und Volkswirtschaft.

Das BAFU hat als Fachstelle des Bundes für die Umwelt die Aufgaben, auf nationaler und internationaler Ebene die Umweltpolitik aktiv mitzugestalten, die Entwicklung der Umwelt zu beobachten und darüber Bericht zu erstatten, den Vollzug des Umweltrechtes durch Kantone, Bundesstellen und Private zu beaufsichtigen und wo nötig Massnahmen zur Verbesserung des Umweltzustandes bzw. zur Verhinderung einer Zustandsverschlechterung vorzuschlagen. Entsprechend den politischen Vorgaben setzt es dabei folgende Ziele:

- Eindämmung und Bewältigung des Klimawandels durch Begrenzung des Ausstosses von Treibhausgasen, gezielte Anpassungsmassnahmen an die Auswirkungen des Klimawandels und Gestaltung der Finanzströme, damit sie die Entwicklung hin zu niedrigen Treibhausgasemissionen unterstützen;
- Langfristige Erhaltung und nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen Boden, Wasser und Luft sowie Wald und Holz und Behebung bestehender Beeinträchtigungen;
- Langfristige Erhaltung und Förderung der Biodiversität sowie der landschaftlichen Werte;
- Schutz vor übermässiger Belastung, insbesondere durch Lärm, schädliche Organismen und Stoffe, nicht-ionisierende Strahlung, Abfälle, Altlasten und Störfälle;
- Schutz des Menschen und erheblicher Sachwerte vor hydrologischen und geologischen Naturgefahren;
- Früherkennung umweltrelevanter Entwicklungen.

Vision der Strategie des BAFU 2030 (BAFU 2016b): «Intakter Lebensraum» – Wir leben in einer Umwelt, in der:

- der Verbrauch von natürlichen Ressourcen in der Schweiz und weltweit so weit optimiert ist, dass deren Erneuerungspotenzial nicht gefährdet wird und diese heutigen und künftigen Generationen weiterhin zur Verfügung stehen;
- die natürlichen Ressourcen und die biologische und landschaftliche Vielfalt gesichert und widerstandsfähig gegen aktuelle und künftige Beeinträchtigungen sind und das Klima geschützt wird;
- die Treibhausgasemissionen der Schweiz klimaverträglich und die Folgen des Klimawandels abgefedert sind;
- verbleibende natürliche und technologische Risiken tragbar und die Gesundheit als Grundlage der Wohlfahrt und der Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz nachhaltig gewährleistet sind.

2.2 Gesetzlicher Auftrag als Grundlage für die Umweltforschung des BAFU

In der Bundesverfassung sowie in 11 Umweltgesetzen und 72 Umweltverordnungen sind die Grundlagen der schweizerischen Umweltpolitik festgelegt, für deren Umsetzung auf Bundesebene das BAFU verantwortlich ist. Verbindlich für die Schweiz sind ebenfalls die Nachhaltigkeitsziele gemäss Agenda 2030 sowie die Verpflichtungen aus globalen Umweltabkommen (z. B. Klima, Biodiversität, Chemikalien, Biotechnologie, Abfall) und aus regionalen Abkommen (z. B. für Luft, Umweltverträglichkeitsprüfung, grenzüberschreitende Wasserläufe, Industrieunfälle, freier Zugang zu Umweltinformationen, Erhaltung von Arten oder der Landschaft). Weiter regeln spezifische Abkommen die Zusammenarbeit mit Nachbarstaaten und Ländern der Europäischen Union (EU) und der OECD.

Für den Bereich der Umweltforschung erteilt das Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG, Art. 49 Abs. 2 und 3, SR 814.01) einen besonderen Auftrag. Darüber hinaus werden den Bundesstellen in weiteren Gesetzen und Verordnungen spezifische Forschungsaufgaben übertragen, so im Chemikaliengesetz (ChemG, Art. 37, SR 813.1), im Gentechnikgesetz (GTG, Art. 26 Abs. 1, SR 814.91), im Gewässerschutzgesetz (GschG, Art. 50 Abs. 1 und Art. 57, SR 814.20), im Jagdgesetz (JSG, Art. 14 Abs. 3 und 4, SR 922.0), im Fischereigesetz (BGF, Art. 12, SR 923.0), im Bundesgesetz über die Lärmsanierung der Eisenbahnen (BGLE, Art. 10a Abs. 2, SR 742.144), im Natur- und Heimatschutzgesetz (NHG, Art. 14a und Art. 23l, SR 451), im Waldgesetz (WaG, Art. 31, SR 921.0) und im Bundesgesetz über den Wasserbau (Art. 13, SR 721.100).

Die Vergabe der Forschungsvorhaben (Forschungsaufträge und -beiträge) erfolgt nach den Vorgaben des Bundesgesetzes und der Verordnung über das öffentliche Beschaffungswesen (BöB, SR 172.056.1 und VöB, SR 172.056.11) sowie des Subventionsgesetzes (SuG, SR 616.1).

2.3 Rückblick auf das Forschungskonzept Umwelt der Periode 2017 – 2020

Im Folgenden wird über die Umsetzung der Forschungsprioritäten der Periode 2017 – 2020 berichtet und die Forschungsarbeiten anhand von vier Beispielen illustriert. Forschungsprojekte wurden in allen vier strategischen Schwerpunkten und 21 Forschungsbereichen durchgeführt.

Für die Ressortforschung der Jahre 2017 – 2020 (BAFU 2016a) plante das BAFU im Forschungskonzept Umwelt insgesamt 80 Millionen Franken, um die Forschungsbedürfnisse abzudecken (Abb. 1). Dem Schwerpunkt III «Schutz und nachhaltige Nutzung von Ressourcen und Ökosysteme» wurden am meisten Finanzmittel zugewiesen (38,2 %), gefolgt von Schwerpunkt I «Handeln für die Erhaltung und Gestaltung einer intakten Umwelt» mit 33,2 %, Schwerpunkt IV «Bewältigung Klimawandel und Gefahrenprävention» mit 17 % und Schwerpunkt II «Immissionsschutz» mit 11,6 %. Diese Planung beinhaltete auch die Beträge für die Umwelttechnologieförderung, den Wald- und Holzforschungsfonds und die Forschungsaktivitäten im Rahmen des Aktionsplans Holz.

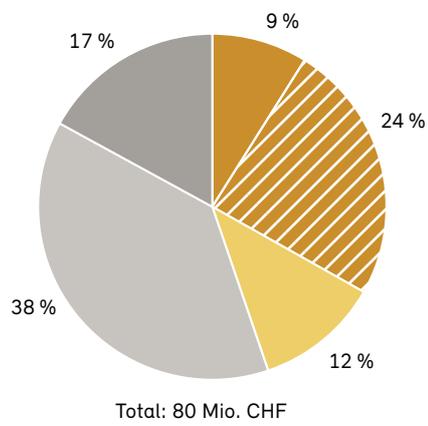
Von 2017 bis 2020 standen dem BAFU insgesamt 76 Millionen Franken zur Verfügung, mit denen rund 160 Forschungsvorhaben finanziert wurden. Die effektiv verfügbaren Mittel für die Jahre 2017 – 2020 sind somit kleiner als die veranschlagten Forschungsgelder. Die effektive Nutzung der Mittel in den vier Schwerpunkten ist in Abbildung 1 ersichtlich. Trotz tieferem Gesamtbudget konnten in allen Bereichen Forschungsprojekte initialisiert werden. Allerdings konnten einige Projekte aufgrund des tieferen Gesamtbudgets nicht oder erst zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt werden. Die Ergebnisse der durchgeführten Studien fliessen schwerpunktmässig in legislative Arbeiten, in die Optimierung von Vollzugstätigkeiten im Rahmen der Gesetze und in die Formulierung von umweltpolitischen Zielen und Strategien. Die Ergebnisse werden unterschiedlichen Akteuren, wie den Vollzugsbehörden der Kantone, betroffenen Branchen, anderen Bundesstellen, dem Parlament und der breiten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Exemplarisch werden die Ergebnisse der Forschungsprojekte «Reliktpopulationen in den Schweizer Nordalpen», «Reduktion von Störfallrisiken»,

«Geschiebe- und Habitatsdynamik» sowie «Materialresourcen Schweiz» im Folgenden detaillierter beschrieben.

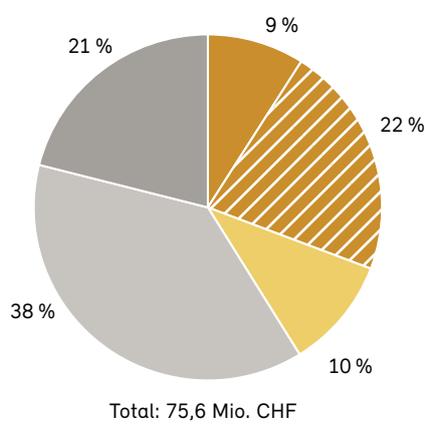
Abbildung 1

Gegenüberstellung der im Forschungskonzept Umwelt 2017 – 2020 geplanten Mittel und der effektiven Verteilung der Forschungsmittel nach Schwerpunkten (SP) für die Periode 2017 – 2020, in %

Finanzplanung gemäss
Forschungskonzept Umwelt



Effektive Mittelverteilung



- SP I Handeln für die Erhaltung und Gestaltung einer intakten Umwelt
- davon Umwelttechnologie-förderung
- SP II Immissionsschutz
- SP III Schutz und nachhaltige Nutzung von Ressourcen und Ökosystemen
- SP IV Bewältigung Klimawandel und Gefahrenprävention

Projektbeispiele

Projektbeispiel 1: Reliktpopulationen in den Nordalpen



Bodenprobenentnahme auf dem Nidwaldner Brisengipfel

Bild: M. Baggenstos, ZHAW

Im Vordergrund aller Schutzbemühungen für die Erhaltung national prioritärer Arten steht der Erhalt deren Lebensräume. Dieser Grundsatz gilt umso mehr, wenn es sich um endemische Arten und Arten mit vollständig isolierten Reliktvorkommen handelt. Der Kenntnisstand über das Vorkommen einzelner Tiergruppen ist teilweise lückenhaft. Im Rahmen des Projekts «Reliktpopulationen von Prioritätsarten aus Schweizer Nordalpen» wurden deshalb während fünf Jahren Feldbegehungen in den nördlichen Schweizer Alpen durchgeführt, um endemische Käferarten mit hoher Schutzverantwortung der Schweiz (Prioritätsarten) systematisch zu erfassen.

Von allen endemischen oder relikitär verbreiteten Arten konnten zahlreiche neue Fundorte festgestellt und eine allgemeine Einschätzung zur Gefährdung der Arten abgeleitet werden. Drei neue Arten wurden entdeckt und wissenschaftlich beschrieben: *Trechus schyberosiae*, *Oreonebria bluemlisalpicola* (beides Carabidae) und *Leptusa calanensis* (Staphylinidae). Die meisten Vorkommen von Relikt-

populationen befinden sich in Gebirgszonen zwischen 2000 und 2500 m. ü. M. Die Mehrheit der untersuchten Käferarten besiedeln naturnahe Standorte. Die Vermeidung oder das Beenden von Störungseinflüssen und der Erhalt des Lebensraumes in seiner charakteristischen Ausprägung sind die wichtigsten Massnahmen, um das Überleben dieser Käferarten zu sichern. Gefährdungen entstehen, wenn flächige Zerstörungen vorgenommen werden, z. B. Pistenplanierungen oder neue Trasse für Bergbahnen. Wanderwege scheinen dagegen kein Problem darzustellen. Bei konkreten Bauprojekten wird empfohlen abzuklären, ob Standorte mit Vorkommen von Endemiten oder Reliktpopulationen von Prioritätsarten anzutreffen sind.

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde eine umfangreiche Referenzsammlung von Käfer-Trockenpräparaten erstellt. Die Fundmeldungen und Artenbeschreibungen stehen den kantonalen Naturschutzfachstellen über die Datenbanken von InfoSpecies zur Verfügung.

Projektbeispiel 2: Reduktion von Störfallrisiken



Lagerhalle für Chemiegüter

Bild: Adobe Stock, Industrieblick

Die Produktion, die Lagerung und der Transport von Treibstoffen, Brennstoffen sowie chemischen Stoffen sind immer mit Risiken verbunden. Dabei eintretende Unfälle, welche erhebliche Auswirkungen auf die Bevölkerung und Umwelt haben, werden als Störfälle bezeichnet. Störfälle treten zwar nur selten auf, können aber in besiedelten Gebieten katastrophale Folgen haben.

Die Planungshilfe des Bundes verlangt eine Koordination der Richt- und Nutzungsplanung mit der Störfallvorsorge. Sie zeigt auf, wie die Siedlungsentwicklung an zweckmäßigen Standorten gewährleistet werden kann, ohne die Sicherheit der Bevölkerung übermässig zu gefährden. So können bspw. durch Schutzmassnahmen ausserhalb der Quelle die Auswirkungen eines Störfalls auf die Objekte in der Umgebung der Anlage begrenzt werden. Methodische Grundlagen, um die Auswirkungen von Störfällen (Hitzeabstrahlung, Druckwellen, toxische Gaswolken) quantifizieren zu können sind noch lückenhaft. Sie sind aber für eine geeignete Dimensionierung von Schutzmassnahmen und die Abschätzung deren risikomindernden Wirkung unerlässlich.

Mit dem Projekt zur «Bewertung von Schutzmassnahmen ausserhalb der Quelle zur Reduktion von Störfallrisiken» wurde eine Übersicht von möglichen Objektschutzmassnahmen aus vorhandenen Fallbeispielen erstellt, nach ihrer Art kategorisiert und nach Nutzen für verschiedene Szenarien beurteilt. Für einige ausgewählte Massnahmen wurde die Effektivität untersucht, indem die Reduktion der Letalität bestimmt wurde, die durch diese Massnahmen erreicht werden kann. Für die objektspezifische Bestimmung von Letalitätswahrscheinlichkeiten wurden die wichtigsten Störfallszenarien einheitlich festgelegt und quantifiziert. Mit dem beschriebenen Vorgehen kann die Risikoreduktion quantifiziert werden. Mit den situations- und gebäudespezifisch ermittelten Kosten ist damit ein fundierter Variantenvergleich für verschiedene Massnahmen und deren Effizienz möglich.

Die Studie stiess bei Behörden und Wirtschaft auf grossen Anklang. Die Resultate werden weiterentwickelt und ein Hilfsmittel für die Praxis wird daraus erarbeitet.

Projektbeispiel 3: Geschiebe- und Habitatsdynamik



Laufendes Revitalisierungsprojekt beim Zusammenfluss von Beverin und Inn (GR)

Bild: BAFU/Ex-Press, F. Bertschinger

Sediment- und Abflussdynamik bestimmen die Morphologie von Fließgewässern sowie ihre ökologische Funktionsfähigkeit. In der Schweiz ist die Sedimentdynamik vieler Fließgewässer stark beeinträchtigt. Der Mensch hat die Sedimentdynamik durch Stauanlagen, Verbauungen und Begradigungen stark verändert – mit zahlreichen ökologischen Folgen. So führen etwa viele der grossen Mittellandflüsse kaum noch Geschiebe. Andererseits gibt es Fließgewässer, welche einen Überschuss an Sedimenten aufweisen. Die Reaktivierung der Abfluss- und Sedimentdynamik und somit der ökologischen Funktionen ist eine Voraussetzung für erfolgreiche Gewässerrenaturierungen und ein wichtiges Ziel des revidierten Gewässerschutzgesetzes.

Im Rahmen des Forschungsprogramms «Wasserbau und Ökologie» wurde das interdisziplinäre Forschungsprojekt «Geschiebe- und Habitatsdynamik» durchgeführt. Es hat den menschlichen Einfluss auf die Sedimentdynamik in Fließgewässern erforscht sowie Massnahmen untersucht und weiterentwickelt, mit denen sie sich reaktivieren lässt. Am Projekt beteiligten sich Forschende sowie Fachleute aus Verwaltung und Interessensverbänden.

Die Sedimentdynamik in Schweizer Gewässern und die Folgen menschlicher Eingriffe werden beschrieben und Messmethoden dargestellt. Weitere Themen sind die Bedeutung und Einflussfaktoren der Feinsedimentdynamik, die Verbesserung der Geschiebekontinuität mit durchgängigen Geschiebesammlern in Wildbächen und die Dynamik und Biodiversität in Auen. Mit Sedimentumleitstollen und künstlichen Hochwasser lassen sich die Sedimentverfügbarkeit erhöhen und Geschiebedefizite mildern. Kiesschüttungen und eine induzierte Ufererosion können die Geschiebeverfügbarkeit verbessern. Die wichtigsten praxisrelevanten Resultate werden in einer Merkblatt-Sammlung vorgestellt.

Projektbeispiel 4: Materialressourcen Schweiz



Überbauung Richti auf der ehemaligen Industriebrache in Wallisellen (ZH)

Bild: Ex-Press, S. Zangger

Im Projekt «MatCH – Materialressourcen Schweiz» wurden die von der schweizerischen Volkswirtschaft ausgelösten Materialströme erfasst und mit einer vereinfachten Ökobilanz auf ihre Umweltrelevanz beurteilt. Um die Effizienz des Verbrauchs von Material- und Energieressourcen darzustellen, wurden die Material- und Energieströme in den Bereichen Bau, Mobilität sowie Produktion und Konsum ermittelt und dargestellt. Damit wurde eine Grundlage geschaffen, um die Material- und Energieeffizienz über die Zeit beurteilen und mittels Szenarien künftige Entwicklungen abschätzen zu können. Dominant sind mengenmässig Beton (46%), Nahrungsmittel und Tierfutter (11%) sowie Kies und Sand (7%). Die konsumierten Energieträger (Elektrizität, Treib- und Brennstoffe) liegen bei 17% des gesamten Konsum (Matasci et al. 2018).

Im Bereich Bau sind 12% des Materialflusses auf nicht erneuerbare Energie für Heizen, Kühlen, Lüften, Beleuchten, und Betreiben von Prozessen und 88% auf Baumaterialien zurückzuführen. Der Energieverbrauch verursacht jedoch 70% der CO₂-Emissionen und 56% der gesamten Umweltbelastung. Aus Umweltsicht lohnt es sich also, das

Bauwerk Schweiz auf einen tieferen Energiebedarf hin zu modernisieren (Gauch et al. 2016).

Im Bereich Mobilität werden sämtliche Materialflüsse von den Treibstoffen dominiert, deren Auswirkungen auf die Umwelt (Treibhauseffekt, gesamter Energieverbrauch, Gesamt-Umweltbelastung) bedeutend höher sind als die von der Herstellung der Verkehrsmittel. So wird die Gesamt-Umweltbelastung der Mobilität Schweiz zu 76% durch den Energieverbrauch verursacht. Materialien (insb. Metalle) tragen zu 24% der Gesamt-Umweltbelastung bei (Gauch et al. 2017).

Die in der Schweiz vorhandenen Materialien im Bereich Produktion und Konsum bestehen v. a. aus Möbeln und Geräten in Wohnhäusern, Büros und Industriegebäuden und die häufigsten Materialien sind Holz (30%), Stahl (14%) und Kunststoffe (9%).

2.4 Finanzierung der schweizerischen Umweltforschung

Die Ressortforschung steuert nur einen kleinen Anteil an die Finanzierung der Umweltforschung in der Schweiz bei. Um eine Übersicht über die wichtigsten Akteure zu erhalten, wurden die Finanzflüsse in der gesamten schweizerischen Umweltforschung für das Stichjahr 2016 geschätzt (Tab. 1) und mit den Finanzflüssen der Jahre 2012 (BAFU 2016a) sowie 2008 (BAFU 2012a) verglichen. Die Daten der Budgets öffentlicher Forschungsinstitutionen (Tab. 1, Durchführung) wurden im Rahmen der Erstellung eines Überblicks über sämtliche Forschungsgruppen aus dem Umweltbereich erhoben (Datenbank, vgl. Kap. 5.1). Die Kategorie «Hochschulbeiträge» wird indirekt als Differenz der Gesamtbeträge zwischen Durchführungs- und Finanzierungsseite hergeleitet. Die anderen finanziellen Daten der Förderinstitutionen (Tab. 1, Finanzierung) werden aus bestehenden Publikationen und Statistiken erhoben. Die

öffentliche Hand unterstützt die Umweltforschung an Hochschulen durch Beiträge im Rahmen des Schweizerischen Nationalfonds (SNF), der Innosuisse (ehemals Kommission für Technologie und Innovation KTI) und der Umwelttechnologieförderung sowie durch Aufträge der Ressortforschung der Bundesverwaltung.

Die Zahlen aus dem Jahr 2012 mussten zur besseren Vergleichbarkeit mit den Zahlen von 2016 leicht angepasst und korrigiert werden. Wesentlich verändert haben sich die Beiträge der EU-Rahmenprogramme, zu denen eine grössere Anzahl an Projekten sowie die Aufwendungen von privaten Organisationen und Stiftungen und der Forschungsinstitutionen der öffentlichen Hand einbezogen wurden (korrigierte Hochrechnung, analog der Stichjahre 2008 und 2016).

Die Investitionen aus der Privatwirtschaft für Umweltforschung sind seit 2008 marginal von 235,8 Millionen auf

Tabelle 1
Finanzierung und Durchführung der Forschung im Umweltbereich 2016

Akteure der Finanzierung	2008 (Mio. CHF)	2012 (Mio. CHF)	2016 (Mio. CHF)	Akteure der Durchführung	2008 (Mio. CHF)	2012 (Mio. CHF)	2016 (Mio. CHF)
SNF Projekte (Abteilungen I-III)	45,9	53,1	58,3	ETH Zürich und EPF Lausanne	127,4	186,1	215,2
SNF Programme (Abteilung IV)	9,2	24,1	24,3	Forschungsanstalten des ETH-Bereichs	157,9	139,5	142,2
SNF andere Programme	21,9	25,3	33,0	Kantonale Universitäten	121,5	152,6	197,9
Bund Ressortforschung	17	15,9	16,9	Fachhochschulen	49,1	78,3	81,7
Akademien	2,8	3,1	4,8	Forschungsstellen der öffentlichen Hand¹	8,1	16,3	27,6
EU-Rahmenprogramme	16,8	26,4	27,3	Akademien	2,8	3,1	4,8
COST	2,1	1,8	1,0	Private Organisationen ohne Erwerbszweck	9,2	12,6	17,3
EUREKA	0,9	0,8	0,8	Privatwirtschaft²	262	287,3	287,0
SBFI Raumfahrt	3,3	3,8	3,9				
Innosuisse (ehemals KTI)	4,3	7,8	5,8				
Hochschulbeiträge	378	475,8	558,8				
Privatwirtschaft²	235,8	237,9	238,8				
Total	738,0	875,8	973,7	Total	738,0	875,8	973,7

Quellen: Bundesamt für Statistik (BFS 2015, BFS 2017b), Schweizerischer Nationalfonds (SNF 2017), Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI 2017a,b,c,d), Kommission für Technologie und Innovation (KTI 2017), Akademie der Naturwissenschaften (SCNAT 2017) und eigene Erhebungen

¹ Museen, intramuros Forschung der Bundesämter und diverse Forschungsinstitutionen

² Zahlen für das Jahr 2015

238,8 Millionen Franken im Jahr 2015 gestiegen. Im gleichen Zeitraum stiegen die gesamten Investitionen der Privatwirtschaft für Forschung und Entwicklung von knapp 12 Milliarden auf 15,7 Milliarden Franken (BFS 2017a). Dies entspricht einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 3,4 Prozent. Die Investitionen in Umweltforschung steigen mit einem jährlichen Wachstum von 0,2 Prozent somit klar unterdurchschnittlich.

Weiterhin steigend sind die Beiträge des Schweizerischen Nationalfonds in allen Abteilungen. Lagen die Aufwendungen im Jahr 2008 noch bei 77 Millionen Franken stiegen sie im Jahr 2012 auf 102,5 Millionen Franken und betragen im Jahr 2016 bereits 115,6 Millionen Franken.

Ebenfalls steigend sind die Investitionen der Innosuisse (ehemals KT). Wurden 2008 noch 4,3 Millionen und 2012 7,8 Millionen Franken in die Umweltforschung investiert, stiegen die Beiträge im Jahr 2016 auf 11,6 Millionen Franken. Die Finanzierung der COST-Aktionen, EUREKA-Projekte und der Ressortforschung des Bundes blieb hingegen weitgehend konstant.

Der Vergleich der Jahre 2008, 2012 und 2016 zeigt bei den EU-Rahmenprogrammen, dass der Anstieg der europäischen Förderung für schweizerische Forschungsinstitutionen zwischen 2008 und 2012 von 16,8 Millionen auf 26,4 Millionen Franken, in den vier folgenden Jahren aber nicht weiter angestiegen ist. So lag dieser Betrag im Jahr 2016 bei 27,3 Millionen Franken. Dies obwohl das Budget des EU-Rahmenprogramms im selben Zeitraum von rund 52 Milliarden auf 80 Milliarden Euro gestiegen ist (EC 2007; EC 2011). Möglicher Grund dafür ist, dass die Schweiz erst seit 2017 vollständig an den EU-Forschungsrahmenprogrammen assoziiert ist.

Auf Seite der Durchführung sind in der Periode 2012 – 2016 die Aufwendungen der kantonalen Universitäten um 30 Prozent (+ 45,3 Millionen Franken) und im Bereich der ETH Zürich und Lausanne um 16 Prozent (+ 29,1 Millionen Franken) gestiegen. Die Aufwendungen der Forschungsstellen der öffentlichen Hand sowie diejenigen der privaten Organisationen ohne Erwerbszweck stiegen in der gleichen Zeitspanne um 69 bzw. 37 Prozent. In den restlichen Bereichen bewegen sich die Aufwände im selben Bereich wie im Jahr 2012.

Die Umweltforschungsmittel betragen im Jahr 2016 insgesamt rund 973,7 Millionen Franken. Obwohl der Anstieg der Umweltforschungsmittel zwar kleiner ist als zwischen 2008 und 2012 (+4,5 Prozent pro Jahr), setzt er sich mit 2,3 Prozent pro Jahr immerhin fort.

2.5 Herausforderungen und Handlungsbedarf für Politik und Forschung

Der Zustand der Umwelt in der Schweiz hat sich in den letzten Jahrzehnten dank gesetzlicher Vorgaben und technologischer Fortschritte in gewissen Bereichen verbessert. So sind beispielsweise Luft und Wasser sauberer geworden, und beim Entkoppeln des Wirtschaftswachstums von Energieverbrauch und Treibhausgasausstoss konnte die Schweiz erste Erfolge verbuchen. Dennoch stehen diesen Erfolgen der Schweizer Umweltpolitik eine Reihe ungelöster Probleme und grosser Herausforderungen gegenüber, wie der Bericht Umwelt Schweiz 2018 des Bundesrates detailliert aufzeigt (Bundesrat 2018).

Die natürlichen Ressourcen sind in der Schweiz nach wie vor unter Druck. Mit ihren aktuellen Konsum- und Produktionsmustern übersteigt der Ressourcenverbrauch in der Schweiz das naturverträgliche Mass. Gleichzeitig zeigt der zeitliche Verlauf der Umwelt-Fussabdrücke der Schweiz, dass die Gesamtumweltbelastung pro Person zwischen 1996 und 2015 vor allem dank Fortschritten in der Schweiz um 19 % abgenommen hat. Das wachstumsorientierte Wirtschafts- und Konsummuster führt jedoch dazu, dass nicht nur im Inland sondern weltweit natürliche Ressourcen und Ökosysteme übernutzt werden. Die inländische Umweltbelastung verlagert sich so immer mehr ins Ausland. Der ausländische Anteil der gesamten Umweltbelastung des Schweizer Konsums macht 2015 bereits 73 % der gesamten Umweltbelastung des Schweizer Konsums aus (BAFU 2018). Auch wenn die Treibhausgas-Emissionen im Inland zwischen 2000 und 2017 um 12 % zurückgegangen sind, wurde diese Reduktion durch Emissionen, die von importierten Gütern und Dienstleistungen im Ausland entstehen, teilweise wieder aufgehoben. Der Biodiversitäts-Fussabdruck, welcher das Artenverlustpotenzial infolge der Landnutzung misst, hat in der Schweiz zwar leicht abgenommen, erhöhte sich im ausländischen Anteil des Schweizer Konsums

jedoch um 9 % pro Person. Der Wasserfussabdruck ist in der betrachteten Periode gestiegen, wohingegen der Materialverbrauch pro Person leicht gesunken ist. Dennoch liegen die Umwelt-Fussabdrücke weit über dem verträglichen Mass. Weltweite Forschungsergebnisse zeigen, dass in verschiedenen Bereichen wie Klima oder Biodiversität die Belastbarkeitsgrenzen des Planeten deutlich überschritten sind (Rockström et al. 2009, Steffen et al. 2015). Damit verlässt die Menschheit den sogenannten «safe operating space», das heisst den Rahmen, der für die Entwicklung unsere Gesellschaft als vorteilhaft angesehen wird. Auch die Schweiz trägt zum Druck auf die globalen Umweltsysteme bei. Würden alle Länder so viele Ressourcen verbrauchen wie die Schweiz, wären dafür rund 3,1 Erden notwendig.

In diesem Rahmen bleibt der Druck auf die natürlichen Ressourcen im Inland trotz der erwähnten Fortschritte vorhanden. Der Bericht Umwelt 2018 zeigt, dass der Bodenverbrauch durch sich ausdehnende Siedlungs- und Verkehrsflächen, die Überdüngung von Ökosystemen mit Stickstoffverbindungen, der Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Böden und Gewässer sowie der Klimawandel zu den grössten Herausforderungen gehören. Zudem haben Umweltbelastungen negative Auswirkungen auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Bevölkerung, auf natürliche Lebensräume und auf die Artenvielfalt. Die grösste Umweltbelastung durch den Schweizerischen Konsum wird in den Bereichen Ernährung (28 %), gefolgt von Wohnen (24 %) und Mobilität (12 %) verursacht. Der Handlungsbedarf, um eine nachhaltige Ernährung und Mobilität und umweltverträgliches Wohnen zu erreichen, ist in diesen Bereichen gross.

Verschiedene globale Megatrends wie Bevölkerungswachstum und Migration, Globalisierung und Wirtschaftsentwicklung, technologischer Wandel und Digitalisierung, Klimawandel und Ressourcenübernutzung werden die Umweltbelastung und den Druck auf die Ökosysteme noch verstärken (EUA 2015). Als grösste Herausforderung nennt die EUA die Tatsache, dass umweltbezogene Einflussfaktoren, Entwicklungen und Auswirkungen zunehmend globalisiert sind und langfristige Megatrends den Zustand der Umwelt in Europa beeinflussen. Das World Economic Forum (WEF) nennt unter anderem den Biodiversitätsverlust, Naturkatastrophen, extreme Wetterereignisse, men-

schengemachte Umweltschäden und das Nichterreichen einer Anpassung bzw. einer Eindämmung des Klimawandels als bedeutende globale Risiken (WEF 2019). Dabei befinden sich drei Umweltrisiken (1) extreme Wetterereignisse, 2) das Nichterreichen einer Anpassung bzw. einer Eindämmung des Klimawandels, 3) Naturkatastrophen) in den Top fünf Risiken, was die Wahrscheinlichkeit und die Auswirkungen angeht. Der Weltbiodiversitätsrat IPBES fordert einen transformativen Wandel unserer Gesellschaften und unseres Umgangs mit der Natur, um unsere Lebensgrundlagen langfristig zu sichern (IPBES 2019).

Grundlegende Veränderungen in den Produktions- und Konsumsystemen sind somit erforderlich, um die Ursachen der ökologischen Probleme anzugehen. Auf globaler Ebene verabschiedete die internationale Staatengemeinschaft 2015 umfassende Ziele für eine nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals, SDG). Umweltrelevante Aspekte der nachhaltigen Entwicklung sind in allen 17 SDG der Agenda 2030 einbezogen. Die Umweltthemen Wasser, Energie, Landnutzung, nachhaltiges Produktions- und Konsumverhalten, Klima sowie Biodiversität und Ökosysteme stehen dabei im Vordergrund. Die Strategie Nachhaltige Entwicklung Schweiz 2016 (Bundesrat 2016) ist auf die SDG abgestimmt. Die Handlungsfelder in der Strategie Nachhaltige Entwicklung Schweiz sind alle eng mit dem Zustand der Umwelt verbunden.

Regulatorische und technische Normen sind die Grundvoraussetzung für die Bewältigung der aktuellen Umweltherausforderungen, mit punktuellen Massnahmen allein lassen sich die aktuellen Umweltherausforderungen nicht bewältigen. Auch die EUA kommt zum Schluss, dass wahrscheinlich weder Umweltmassnahmen allein noch wirtschafts- oder technologiebedingte Effizienzverbesserungen ausreichend sein werden, um die Umweltziele der Europäischen Union (EU) für das Jahr 2050 zu erreichen (EUA 2015).

Eine grundlegende Transition der Systeme Ernährung, Wohnen und Mobilität ist unter anderem nötig, um die Umweltauswirkungen in verträglichem Mass zu halten. Dafür muss gemeinsam darauf hinarbeitet werden, diese Systeme aktiv umzugestalten. Eine Transformation komplexer Systeme ist jedoch nur möglich mit Unterstüt-

zung aller beteiligten Akteure aus Politik, Wirtschaft, Forschung und Gesellschaft. Die Ressortforschung kann hier einen wichtigen Beitrag leisten, indem die verschiedenen Politikbereiche gemeinsam nach Lösungen suchen. Die inter- und transdisziplinäre Forschung bedingt einen Austausch zwischen allen Schlüsselakteuren, auch mit den nichtakademischen. Bereits beim Beginn der Forschungsprojekte sollen Überlegungen gemacht werden, über welche Kanäle das neu generierte Wissen an die betreffenden Zielgruppen vermittelt wird und wie es genutzt werden soll. Die Ressortforschung des BAFU richtet sich nach diesen Grundsätzen.

3 Prioritäre Forschungsthemen 2021 – 2024

3.1 Übersicht der prioritären Forschungsthemen

Im Folgenden werden die prioritären Forschungsthemen präsentiert, die in der Periode 2021 – 2024 bearbeitet werden sollen. Ein überwiegender Teil der Umweltprobleme kann nur mit sektorübergreifenden Ansätzen gelöst werden. Das Forschungs- und Innovationsförderungsgesetz (FIGG, SR 420.1) sieht ebenfalls vor, dass die Mehrjahresprogramme (Forschungskonzepte) ressortübergreifend erstellt werden. Deshalb wird in der Periode 2021 – 2024 ein besonderes Augenmerk auf die ressortübergreifenden Forschungsthemen gelegt, sei es zwischen den verschiedenen Umweltthemen, für die das BAFU zuständig ist, oder an Schnittstellen mit anderen Politikbereichen.

Im Hinblick auf die Identifizierung ressortübergreifender Forschungsthemen für die Erstellung der Forschungskonzepte 2021 – 2024 wurde bei den Bundesstellen eine Erhebung zu möglichen gemeinsamen Forschungsthemen durchgeführt, welche sich auf die Ziele und Handlungsfelder der Bundesstrategie «Nachhaltige Entwicklung» 2016 – 2019 (Bundesrat 2016) abstützen. Es konnten fünf zentrale Forschungsthemen identifiziert werden, welche für die Bundesstellen von hohem Interesse sind: (1) Sharing Society, (2) Nachhaltiges Verhalten, (3) Datensicherheit, (4) Smarte Regionen und (5) Gesundheit und Umwelt.

In einem Pilotprojekt wurden anschliessend die Forschungsfragen der interessierten Bundesstellen zum Thema «Sharing Society» identifiziert. Strukturen und Umsetzungsmöglichkeiten für die Durchführung gemeinsamer Forschungsaktivitäten werden für die BFI-Periode 2021 – 2024 abgeklärt. Basierend auf den Erfahrungen mit diesem Pilotprojekt sollen die weiteren vier ressortübergreifenden Forschungsthemen durch interessierte Bundesstellen bearbeitet werden (Kap. 3.2).

Auf Ebene des BAFU wurden ebenfalls ressortübergreifende Forschungsthemen identifiziert. Es handelt sich um folgende Themen: Mikroplastik, Kreislaufwirtschaft,

Grüne Chemie, negative Emissionstechnologien, indirekte Auswirkungen des Klimawandels, sozioökonomische Forschung (Kap. 3.3).

Für die Lösung verschiedener Umweltprobleme müssen aber auch weiterhin bereichsspezifische Massnahmen und Methoden entwickelt werden. Deshalb werden wiederum 18 für das BAFU spezifische Forschungsbereiche in den vier Schwerpunkten «Handeln für die Erhaltung und Gestaltung einer intakten Umwelt», «Immissionschutz», «Schutz und nachhaltige Nutzung von Ressourcen und Ökosystemen» und «Bewältigung Klimawandel und Gefahrenprävention» präsentiert (Kap. 3.4).

3.2 Ressortübergreifende Forschungsthemen zwischen Bundesstellen

Als Vorzeigemodell für das erfolgreiche Realisieren von ressortübergreifenden Forschungsarbeiten durch Zusammenarbeit mehrerer Bundesstellen, kann die Strategie Antibiotikaresistenzen StAR genannt werden, die der Bundesrat 2015 verabschiedet hat (Bundesrat 2015). Die Gesundheit von Mensch Tier und Umwelt sind eng miteinander verbunden und beeinflussen sich gegenseitig. Die Strategie basiert deshalb auf dem One-Health-Ansatz, der alle betroffenen Bereiche gleichermaßen einbezieht. Massnahmen wurden unter anderem auch im Handlungsfeld «Forschung und Entwicklung» formuliert. Im Umweltbereich liegen die Prioritäten beim Thema Abwasser: Abwasserreinigungsanlagen sollen zur Elimination von Mikroverunreinigungen (z. B. Antibiotika) in einer sogenannten «vierten Reinigungsstufe» ausgebaut werden. Dabei wird auch geprüft, inwiefern die Entfernung von antibiotikaresistenten Keimen weiter verbessert werden kann. Basierend auf der StAR, wurde das «NFP 72 Antimikrobielle Resistenz» mit folgenden Zielen lanciert: Verringerung der antimikrobiellen Resistenz und deren negativen Auswirkungen auf die Behandlung von Infektionskrankheiten. Die Ressortforschung des BAFU unterstützt das NFP 72 mit zusätzlichen Forschungsprojekten,

um weitere spezifische Forschungslücken zu schliessen, zum Beispiel zur Verbreitung und Persistenz von Antibiotikaresistenzen in der Umwelt, zur Identifizierung der Eintrittspfade von antibiotikaresistenten Organismen und zur Entwicklung von Methoden zu deren Überwachung.

Nachfolgend werden die fünf identifizierten Themen der ressortübergreifenden Forschung der Bundesstellen präsentiert.

3.2.1 Sharing Society

Das Thema Sharing Society ist am weitesten entwickelt, weil es als Pilotthema ausgewählt wurde und bereits seit 2019 bearbeitet wird.

Das Teilen von Ressourcen hat potenziell gewichtige und vielfältige gesellschaftliche, volkswirtschaftliche und ökologische Wirkungen. Sharing Society kann zu einer veränderten sozialen Absicherung und verändertem Wettbewerb führen und zu einer effizienteren Nutzung natürlicher Ressourcen beitragen. Die Schaffung neuer Konsummöglichkeiten kann jedoch auch zu erheblichen Rebound-Effekten (das Einsparpotenzial von Effizienzsteigerungen wird nicht oder nur teilweise verwirklicht) führen, welche durch günstigere Produkte und Dienstleistungen ausgelöst werden. Ebenso haben die Konzepte von Sharing Society einen Einfluss auf die Raumnutzung (z. B. veränderte Mobilität). Die Ausweitung der Sharing Economy wirft auch Regulierungsfragen auf (vgl. Bundesratsbericht «Rahmenbedingungen für die digitale Wirtschaft», TA-Swiss Studie «Sharing Economy – teilen statt besitzen»).

An einem Workshop im März 2019, an welchem Fachexperten der Bundesverwaltung teilgenommen haben, wurden folgende Forschungsfragen in den 3 Clustern «Verhalten», «Gesellschaft» und «Rahmenbedingungen» identifiziert.

Cluster «Verhalten»

- Welche Anreize begünstigen welche Sharing-Businessmodelle?
- Welche Anreize bringen Leute dazu, Sharing-Angebote zu nutzen? Bestehen Ausschlussmechanismen?
- Welches sind die Treiber und die Auswirkungen von Rebound-Effekten?

- Was sind die Treiber für nachhaltiges Verhalten im Umgang mit Sharing-Systemen?

Interesse an der Bearbeitung dieser Themen haben die Bundesstellen: ARE, ASTRA, BABS, BAFU, BLW, BSV, BWO und SBF.

Cluster «Gesellschaft»

- Wo liegen die Potenziale hinsichtlich Gesellschaft und Ressourceneffizienz von Sharing-Systemen?
- Wie können (periphere) Räume durch Sharing attraktiver, multifunktionaler werden und was sind die Auswirkungen auf die Infrastruktur?
- Sind Sharing-Systeme gerechter (Gewinner/Verlierer) als herkömmliche Systeme?
- Wer bezahlt für Infrastruktur und externe Kosten und wann braucht es diesbezüglich Regulative?
- Wie kann die Nachhaltigkeit von Sharing-Systemen beurteilt werden (regional – national – global)?
- Wie beeinflussen Sharing-Netzwerke das Bewusstsein im Umgang mit Ressourcen und wie kann dies gemessen werden?

Interesse an der Bearbeitung dieser Themen haben die Bundesstellen: ARE, BABS, BAFU, BFE, BLW, BSV, BWO.

Cluster «Rahmenbedingungen»

- Wie kann der Staat Experimentierräume schaffen / ermöglichen, um nachhaltige Lösungen zu erproben? Wie kann er zur Skalierung von erfolgversprechenden Nischen beitragen?
- Wie kann sichergestellt werden, dass bei digitalen Daten in Zusammenhang mit Sharing-Angeboten trotz offenem Zugang kein Missbrauch stattfindet?
- Welche Daten sind hier besonders schützenswert und wie wird die Datenhoheit geregelt?
- Welches Potenzial liegt in verknüpften Datenbanken für neue Sharing-Angebote?
- Soll und kann die Datenqualität standardmässig gesichert werden?
- Was sind die Rollen von Staat und Privaten in der Sharing Society?
- Wo sind Partnerschaften zwischen Privaten und Öffentlichkeit sinnvoll und wie können sie gefördert werden, damit nachhaltige Geschäftsmodelle entstehen und Interessenskonflikte vermieden werden?
- Welche Rahmenbedingungen sind nötig, um rasch auf neue Sharing-Modelle reagieren zu können?

- Wie sind Haftungsfragen zu regeln?
- Wie kann die soziale Verantwortung gewährleistet werden?
- Wie kann ein fairer/gleichberechtigter Wettbewerb zwischen «offiziellen» und «privaten» Anbietern unter Berücksichtigung von Regeln/Bewilligungen stattfinden?
- Welche Rahmenbedingungen braucht es, damit Sharing die Wohlfahrt (im Sinne der Nachhaltigkeit) der Schweizer Bevölkerung erhöht?

Interesse an der Bearbeitung dieser Themen haben die Bundesstellen: ARE, ASTRA, BABS, BAFU, BAV, BFE, BLV, BLW, BSV, BWO, SBF.

3.2.2 Nachhaltiges Verhalten

Das Thema «Nachhaltiges Verhalten» zeigt eine starke Überschneidung mit den sozio-ökonomischen Fragestellungen, die als ressortübergreifendes Forschungsthema innerhalb des BAFU identifiziert wurden (s. Kap. 3.3.6). Zu dieser Thematik gehören auch die Verhaltensökonomie, verhaltenslenkende Information und Kommunikation und das Thema Corporate Sustainable Responsibility. Im Hinblick auf die Erreichung der SDG wurde erkannt, dass das Verhalten jedes einzelnen wie auch der Gruppe und die Lenkung oder Beeinflussung dieses Verhaltens zentrale Elemente für eine Transformation der Gesellschaft in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung sind. Das nachhaltige Verhalten spielt zum Beispiel eine wichtige Rolle in den Handlungsebenen wie Wohnen, Mobilität und Ernährung.

Im Zentrum steht die Frage, wie erwünschte nachhaltige Verhaltensänderungen herbeigeführt werden können. Welche Massnahmen sind effizient? Wie können die verschiedenen Akteursgruppen erreicht werden? Welche Kultur- und Sprachformen und welche Kanäle sollen für die Kommunikation gewählt werden? Welche Umgebungsfaktoren sind mitentscheidend (finanzielle Situation, Bildungsstand, sprachliche oder kulturelle Barrieren).

3.2.3 Datensicherheit

Unter dem Thema Datensicherheit wird auch der Datenschutz im Allgemeinen verstanden. Dieses Querschnittsthema gewinnt mit der Anwendung von Informationstechnologien an Bedeutung. Ein besonderes Augenmerk liegt bei den Technologiefolgeabschätzungen. Hervorgehoben werden Fragen zur Cyberkriminalität, der Grundversor-

gung und Versorgungssicherheit beim Umgang mit Infrastrukturen und der Mobilität. Zunehmend wichtiger werden auch die Themen Missbrauch von Informationen, der Umgang mit Werten sowie die soziale Chancengleichheit und Aspekte der gesundheitlichen Gerechtigkeit. Zusätzlich werden Fragen zu Open Science thematisiert: z. B. Regulierungen im Bereich der Forschung und Sicherstellung eines freien Zugangs zu Forschungsergebnissen und Datenbanken.

3.2.4 Smarte Regionen

Das Thema «Smarte Regionen» umfasst die vier Unterthemen i) Kreislaufwirtschaft und Bioökonomie, ii) Verhältnis zwischen Stadt und Land im digitalen Zeitalter, iii) Nachhaltige Siedlungsentwicklung und iv) Nachhaltige Mobilität.

i) Kreislaufwirtschaft und Bioökonomie

Vor dem Hintergrund knapper Ressourcen und Rohstoffe gewinnt das Konzept der Kreislaufwirtschaft an Bedeutung. Durch das Schliessen von Energie- und Materialkreisläufen (Langlebigkeit der Produkte, Instandhaltung, Reparaturfähigkeit, Recyclingmöglichkeiten), sollen der Ressourceneinsatz, das Abfallaufkommen, die Emissionen und der Energieverbrauch verringert werden. Die Thematik spielt bei allen ressourcen- und rohstoffintensiven wirtschaftlichen Aktivitäten eine Rolle. Im internationalen Kontext setzt die Europäische Union ihren Aktionsplan für Kreislaufwirtschaft seit 2015 mit vielfältigen Massnahmen um.

Folgende Forschungsfragen sind bei diesem Thema relevant:

Wie hoch ist der ökologische Nutzen der Kreislaufwirtschaft und für welche Materialien? Wo liegt das ökologische Optimum der Kreislaufwirtschaft in Anbetracht des Transportbedarfs von Rohstoffen und der Effizienz von Recyclingprozessen? Welche Branchen und Produkte eignen sich am besten für Kreislaufwirtschaft, welche weniger? Wie verhalten sich Kosten und Nutzen der Kreislaufwirtschaft gegenüber einer Reduktion der Nutzung von Stoffen, bzw. Dematerialisierung? Was sind die Grenzen der Kreislaufwirtschaft bzw. welche Depotbewirtschaftung (Restmengen) ist im Rahmen der Kreislaufwirtschaft nötig? Welche ökonomischen, politischen und technischen Massnahmen fördern die Kreislaufwirt-

schaft? Welche gesetzlichen Regelungen verhindern die Kreislaufwirtschaft?

ii) Verhältnis zwischen Stadt und Land im digitalen Zeitalter

Die räumlichen Strukturen der Schweiz sowie das Verhältnis zwischen Stadt und Land und zwischen den verschiedenen Regionen steht im stetigen Wandel und wird durch die Digitalisierung beeinflusst. Was sind die jeweiligen Erwartungen dieser Gebiete an einander? Welche Dienstleistungen bieten sie an? Wie und wo werden in Zukunft die Service-Public-Dienstleistungen (Grundversorgung) z. B. im Gesundheitswesen gewährleistet? Wie werden sich veränderte Arbeitsformen auf die Wahl der Wohn- und Arbeitsorte auswirken? Welcher Einfluss haben veränderte Mobilitätsangebote auf das Verhalten (insb. das Freizeitverhalten) und die Umwelt? Fördert die Digitalisierung insgesamt einen schonenderen Umgang mit der Ressource Boden oder führt sie im Gegenteil zu einer stärkeren Zersplitterung z. B. in Form einer zunehmenden Zersiedelung?

iii) Nachhaltige Siedlungsentwicklung

Wie kann auf Ebene von Quartieren und Gemeinden eine nachhaltigere Siedlungsentwicklung, die vor Ort Dienstleistungen, Arbeit sowie Erholung- und Freizeitmöglichkeiten anbietet, die eine Reduzierung der motorisierten Mobilität und deren Emissionen leistet und zum sozialen Zusammenleben unterschiedlicher Bevölkerungsgruppe (soziale Gerechtigkeit, Alterung) beiträgt, gefördert werden? Wie können dazu Synergien mit den ökologischen Infrastrukturen, der Lebensmittelversorgung (z. B. Urban Farming, Urban Forestry) und der oben genannten Kreislaufwirtschaft erzielt werden? Wie können gleichzeitig das Verdichtungsziel und die Natur- und Landschaftsqualität dieser urbanisierten Gebiete gefördert werden?

iv) Nachhaltige Mobilität

Wie erreichen wir Netto-Null Emissionen im Bereich Verkehr bis 2050? Welche sauberen Antriebsenergien sind ökologisch sinnvoll? Im Fokus dieses Unterthemas stehen Untersuchungen der Möglichkeiten und Konsequenzen einer Dekarbonisierung (Ausstieg fossile Energieträger) des Verkehrs (inklusive Lebenszyklusanalysen, technologischem Fortschritt sowie die Betrachtung *aller* Umweltwirkungen und möglichen Trade-Offs).

3.2.5 Gesundheit und Umwelt

Die Gesundheit wird durch die Umwelt in vielfacher und komplexer Art beeinflusst. 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 beugt Krankheiten vor und fördert eine gesunde Entwicklung, gleichzeitig ist sie aber auch eine wichtige Voraussetzung für eine gute Lebensqualität.

Das bei weitem grösste Umweltproblem in Bezug auf negative gesundheitliche Auswirkungen, sowohl weltweit als auch in der Schweiz, ist immer noch die Luftbelastung mit Schadstoffen, vor allem aus dem Verkehr, aber auch aus der Industrie, aus Heizungen, aus der Landwirtschaft und aus der Ausdünstung von Chemikalien in Innenräumen. Bei verschiedenen weiteren Umweltproblemen bestehen Wissenslücken in Bezug auf mögliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit: mögliche Risiken aus Mehrfachrückständen von Pflanzenschutzmitteln in Lebensmitteln und Wasser, hormonaktive Substanzen in Gewässern, nichtionisierende Strahlung und Lärmbelastung, Nutzung von Organismen, Naturgefahren und Störfälle, sowie die Folgen des Klimawandels auf die Gesundheit von Mensch und Tier.

Es stellen sich zudem themenübergreifende Forschungsfragen bei der Exposition der Bevölkerung aufgrund der möglichen additiven oder synergistischen Wirkung von mehreren gleichzeitig auftretenden Umweltstressoren. Die gesundheitlichen Effekte bei der gleichzeitigen Einwirkung von chemischen (z. B. hormonaktive oder schwer abbaubare Stoffe, Luftschadstoffe), biologischen (z. B. GVO, Neobiota) und physikalischen Belastungen (z. B. Lärm, Erschütterungen, nichtionisierende Strahlung (NIS), Licht) sollen abgeschätzt und modelliert werden. Verfahren zur Risikoabschätzung und zum Monitoring der Bevölkerungsexposition über die Zeit sollen entwickelt und eine Schätzung der umweltbedingten Gesundheitskosten durchgeführt werden. Bei der Ernährung gibt es ebenso grundlegende Synergien zwischen Gesundheit und Planetenverträglichkeit, wie Arbeiten des NFP 69 und der EAT-Lancet-Kommission zeigen. Es stellt sich die Frage, wie diese Erkenntnisse in das Nachfrageverhalten von Konsumierenden und der öffentlichen Hand sowie in das

Angebotsverhalten von Gastronomie und Detailhandel angewandt werden können.

Auch ist der interdisziplinäre «One-Health»-Ansatz, welcher die Zusammenarbeit der öffentlichen Gesundheit, der Tiergesundheit, der Landwirtschaft und der Umwelt fördert und somit ressortübergreifende Massnahmen ermöglicht, relevant. In diesem Rahmen sollen auch die gesundheitsfördernden direkten und indirekten Einflüsse der Umwelt auf die Gesundheit von Mensch und Tier erforscht und quantifiziert werden. Beispielweise: Welche und wie natürliche und landschaftliche Elemente (Grüne Infrastruktur, Wald) tragen zum körperlichen und seelischen Wohlbefinden der Menschen bei? Welche gesundheitsfördernden Stadtgestaltungen sind wirksam?

3.3 Ressortübergreifende Forschungsthemen innerhalb des BAFU

3.3.1 Kreislaufwirtschaft im Bereich Wohnen und Bauen

Kreislaufwirtschaft wurde als ressortübergreifendes Forschungsthema von zahlreichen Bundesstellen identifiziert (s. Kap. 4.2.4). Für das BAFU besonders relevant sind die Fragen rund um die Reduktion sowie Verwertbarkeit der Abfälle im Bereich der Bauwirtschaft (inkl. Infrastrukturen), da es sich hier um den mengenmässig bei weitem grössten Abfallstrom handelt, der zudem in den meisten Fällen nicht einmal thermisch verwertet werden kann, sondern deponiert werden muss. Der Bedarf nach Primärrohstoffen in der Bauwirtschaft wie Sand, Kies, Mergel, Schotter und Ton wird grösstenteils aus Quellen innerhalb der Schweiz gedeckt, deren Gewinnung oft zu Interessenkonflikten mit dem Landschaftsschutz und den Anliegen der Gewässerrevitalisierung führt. Die Extraktion der importierten Primärrohstoffe ist wiederum mitunter mit erheblichen Umweltbelastungen in den Herkunftsländern verbunden (UNEP 2019). Mit dem einheimischen Rohstoff Holz steht ein umweltverträgliches Material für Bauen und Wohnen zur Verfügung. Die Ressourcenpolitik Holz des Bundes (BAFU, BFE, SECO 2017) hat zum Ziel, dass Holz aus Schweizer Wäldern nachhaltig und ressourceneffizient bereitgestellt, verarbeitet und verwertet wird. Fragen betreffend dessen Nutzung im Kreislauf sind sehr

relevant, da Holz immer mehr in seine Bestandteile zerlegt und in neuen Verbundwerkstoffen angewendet wird.

Folgende Forschungsfragen sind bei diesem Thema relevant:

Wie baut man «kreislaufwirtschaftstauglich»? Wie lässt sich Bauen mit «Null CO₂»-Emissionen realisieren? Wo gibt es Möglichkeiten für effiziente Kreisläufe mit gleichzeitiger Ausschleusung von Schadstoffen? Wie lässt sich nachhaltig rückbauen mit einer Wiederherstellung von Naturraum? Wie kann man das Baustofflager am besten nutzen, welche Massnahmen und Instrumente braucht es dafür? Welche Materialien lassen sich durch «kreislaufwirtschaftstauglichere» Materialien ersetzen? Wie lässt sich die Produkteverantwortlichkeit verbessern? Wie können baurechtliche Prozesse zur Steuerung des umweltgerechten Bauens optimiert werden? Welche gesetzlichen Vorgaben können zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft in der Baubranche beitragen? Welche Möglichkeiten hat der Staat, zur Skalierung erfolgsversprechender Ansätze beizutragen?

3.3.2 Grüne Chemie

Gemäss der Chemikalienstrategie der fünf am Bundesvollzug des Chemikalienrechts beteiligten Bundesstellen (BAFU, BAG, BLV, BLW, SECO 2017) soll die Anwendung der Grundsätze der «Grünen Chemie» (oder «Nachhaltigen Chemie») gefördert werden. Bei der Herstellung und Nutzung chemischer Substanzen und damit hergestellten Produkte sollen die Umwelt und Ressourcen geschont und weniger umweltgefährliche chemische Verbindungen eingesetzt werden. Dies umfasst bessere Synthesewege, katalytische und biotechnologische Verfahren, Ersatz von Lösungsmitteln, Substitution von Stoffen durch chemische Alternativen mit geringerem Schadpotential, Verbesserungen von Steuerung und Design von Anlagen und die Substitution durch nicht-chemische Alternativen. Gleichzeitig sollen die verwendeten Verbindungen wieder vollständig in den Stoffkreislauf zurückgeführt und Prozesse mit geringem Energieaufwand eingesetzt werden. Chemikalien müssen jedoch schon in der Forschung so konzipiert werden, dass sie während ihres gesamten Lebenszyklus keine schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt und die Gesundheit von Menschen hervorrufen. Dadurch können Ressourcen geschont, Abfälle reduziert, künftige Atlas-

ten und Störfälle vermieden, sowie Arbeitnehmer, Konsumenten und Umwelt besser geschützt werden.

Für den Erfolg der «Grünen Chemie» bestehen jedoch technische Herausforderungen, Investitionskosten in Forschung, Entwicklung und Anlagen und teilweise höhere Betriebskosten im Vergleich zu klassischen Methoden. Folgende Forschungsfragen sind bei diesem Thema relevant:

Welche Grundlagen und Prinzipien für die Planung von effizienten nachhaltigen Anlagen, sowie bei Design, Herstellung und Verwendung von effizienten, wirksamen, sicheren und umweltverträglichen chemischen Produkten müssen entwickelt werden? Welche Funktionen in welchen Anwendungen und Produkten können durch chemikalien-freie Alternativen ersetzt werden? Wie kann fossiler Kohlenstoff bei der Herstellung von Chemikalien, Treibstoffen und als Brennstoff für Wärme- und Stromerzeugung ersetzt werden?

Zudem stellen sich folgenden Fragen zu bestimmten Einzelthemen: Wie lassen sich Methoden für schnellere und umfassendere Toxizitätsmessungen von Chemikalien und Substanzgemischen entwickeln? Wie sollen Biozide konzipiert werden, damit sie ihre Toxizität nach der Anwendung auf die Zielorganismen verlieren? Wie lässt sich Grüne Chemie im Bereich Smart Farming verankern? Welche Potenziale ergeben sich bei der Kombination von traditionellen mit neuen Methoden, wie z. B. Landwirtschaftsroboter? Welche Potenziale bestehen bei sogenannten Bioraffinerien und der Verwendung von natürlichen Rohstoffen wie z. B. Holz als Grundstoff für die chemische Industrie? Welche Potenziale bestehen im Bereich der industriellen Symbiose, wenn mehrere Unternehmen ihre Rohstoffströme miteinander optimieren, für den Übergang zu einer Grünen Chemie?

3.3.3 Verschmutzung durch (Mikro-)Plastik

Mikroplastik ist definiert als kleine Kunststoffpartikel mit einem Durchmesser unter 5 mm. Die Hauptquellen von Mikroplastik sind der Abrieb von Reifen von Kraftfahrzeugen während der Fahrt, der Zerfall von Makroplastik, das Waschen von synthetischen Textilien und die Verwitterung von Farben. Mikroplastik wird unter den in der Umwelt herrschenden Bedingungen kaum oder nur

sehr langsam abgebaut und akkumuliert in bestimmten Umweltkompartimenten wie Böden, Gewässersedimenten und insbesondere in Ozeanen. Oberflächengewässer und Luft transportieren aus der Anthroposphäre freigesetztes Mikroplastik und selbst Organismen und Lebensmittel können damit belastet sein.

Folgende Forschungsfragen sind relevant:

Welche Arten von Mikroplastik finden sich in welchen Partikelgrößen und Konzentrationen in Umweltkompartimenten der Schweiz verteilt und welche Prozesse sind für das Verhalten in der Umwelt relevant? Über welche Pfade wird Mikroplastik von Organismen aufgenommen? Inwieweit können aufgrund des Vorkommens von Mikroplastik in Umweltkompartimenten Ökosysteme beeinträchtigt werden? Welche Partikel welcher Grösse und mit welchen Inhaltsstoffen haben welche Wirkung auf Organismen?

Welche Möglichkeiten der Substitution von Kunststoffen gibt es bereits, für welche Funktionalitäten und Anwendungen? Welche Ersatzmöglichkeiten sollen neu entwickelt werden? Wie unterscheiden sich die Kosten und Umweltauswirkungen von Produkten aus Kunststoffen und deren Ersatzprodukten, bzw. wie viel kostet eine Alternative zu Plastik im Hinblick auf ein Phase-out? Welche Massnahmen können auf der bestehenden gesetzlichen Basis getroffen werden und welche zusätzlichen rechtlichen Grundlagen wären allenfalls erforderlich, um die Emissionen von Mikroplastik in der Schweiz wirkungsvoll zu verringern?

3.3.4 Negative Emissionstechnologien (NET)

Mit dem Klimaübereinkommen von Paris hat sich die Weltgemeinschaft das Ziel gesetzt, die globale Erwärmung auf deutlich weniger als 2 °C, nach Möglichkeit weniger als 1,5 °C, zu reduzieren. In der langfristigen Klimastrategie bleibt die Emissionsminderung an der Quelle prioritär. Mit der Ratifizierung des Klimaübereinkommens von Paris im Oktober 2017 hat die Schweiz die Notwendigkeit anerkannt, ergänzend negative Emissionstechnologien (NET) aufzubauen, um bereits erfolgte Treibhausgasemissionen nachträglich aus der Atmosphäre zu entnehmen. Denn nach heutigem Stand des Wissens ist nur mit negativen Emissionen das bis Mitte des Jahrhunderts erforderliche Gleichgewicht zwischen Treibhausgasquellen und

Treibhausgasen zu erreichen («Netto-Null-Emissionen»). NET umfassen Massnahmen wie Aufforstung, Kohlenstoffspeicherung in Böden, zum Beispiel über Bio-kohle, biologisches Einfangen von CO₂ mit geologischer Speicherung oder CO₂-Abscheidung aus der Luft mit geologischer Speicherung. Je nach Technologie dienen verschiedene Reservoirs mit unterschiedlicher Kapazität als Speicher des aus der Atmosphäre entfernten Kohlenstoffs. Die negativen Emissionstechnologien sind weitgehend unerprobt – zumindest in der Grössenordnung, die benötigt wird, um klimawirksam zu sein. Es bestehen deshalb grosse Unsicherheiten bezüglich der Potenziale, der langfristigen Auswirkungen auf die Umwelt, den Kosten und der gesellschaftlichen Akzeptanz – und damit bezüglich ihrer möglichen Rolle innerhalb der zukünftigen Schweizer Klimapolitik.

Folgende Forschungsfragen sind bei diesem Thema relevant:

Welche theoretischen und realisierbaren Potenziale haben die einzelnen NET in der Schweiz? Welche Auslandsprojekte sind zielführend und wie müssten sie unter dem Pariser Übereinkommen und in der Schweizer Gesetzgebung regulatorisch aufgegleist sein? In welchem Zusammenhang stehen Kosten und Nutzen der einzelnen NET in der Schweiz? Was sind die Risiken für Umwelt und Gesellschaft? Welche Hürden stehen der erforderlichen Hochskalierung einzelner Technologien im Wege? Wie lässt sich eine dauerhafte positive Klimawirksamkeit der reversiblen natürlichen Senken wie Böden, Holz und Holzprodukte sicherstellen? Braucht es geologische CO₂-Speicher in der Schweiz und, falls ja, wie können sie geschaffen und sicher betrieben werden? Wo bestehen Synergien, wo Zielkonflikte mit anderen übergeordneten strategischen Interessen der Schweiz, insbesondere hinsichtlich einer nachhaltigen Entwicklung? Wie gelingt die Erforschung, Entwicklung und der Einbau in den klimapolitischen Massnahmenkatalog der Schweiz im Einklang mit den Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen? Welche Rolle sollen und können NET im Rahmen der Schweizer Klimapolitik spielen («Moral Hazard»-Problem)? Wie setzt sich ein in Hinsicht auf das Klimaziel 2050 der Schweiz optimiertes NET-Portfolio über die nächsten Jahrzehnte zusammen? Welche Akzeptanz ist für die verschiedenen NET vorhanden? Welche Gerech-

tigkeits- und Gouvernanzfragen sind zu beachten? Wie gelingt der Aufbau einer nationalen wie internationalen Gouvernanz? Welche NET sind für andere Treibhausgase als CO₂ verfügbar und was sind deren Potenziale, Kosten und Risiken in der Schweiz? Wie kann die Schweiz die Erforschung, Entwicklung und klimapolitische Umsetzung von NET auf internationaler Ebene im Sinne des Übereinkommens von Paris mitgestalten?

3.3.5 Indirekte Auswirkungen des globalen Klimawandels auf die Schweiz

Die international stark vernetzte Schweiz ist in erheblichem Masse indirekt von den Auswirkungen des Klimawandels im Ausland betroffen (SCNAT 2016; INFRAS 2018). Sie ist über viele Einflussbereiche exponiert, kann aber auch durch Investitionen im Klimaschutz und in Anpassungsmassnahmen helfen, die künftigen Risiken zu minimieren. In einer Studie wurden die relevanten internationalen Einflusskanäle und Wirkungsketten, über welche der Klimawandel indirekt Auswirkungen auf die Schweiz hat, qualitativ aufgezeigt. Indirekte Auswirkungen zeigen sich z. B. im Ausland über die Bereiche natürliche Ressourcen, biologische Vielfalt, Gesundheit von Mensch und Tier sowie Infrastruktur und somit in den Einflussbereichen der Schweizer Wirtschaftsleistung, Nahrungsmittelversorgung, Energieversorgung, Finanzdienstleistungen, Sicherheit, Migration und Entwicklungszusammenarbeit. Der Klimawandel verstärkt die Herausforderungen der Globalisierung. Staatliches Engagement ist in Gebieten mit grossen Klimarisiken gefordert, deren Priorisierung stellt somit eine Herausforderung für die Zukunft dar.

Folgende Forschungsfragen sind bei diesem Thema relevant:

Wie können die indirekten Einflüsse der Auswirkungen des Klimawandels im Ausland auf die Schweiz quantifiziert werden? Wie kann eine Relevanzeinschätzung oder Priorisierung der Einflussbereiche bzw. der Wirkungsketten und deren Risiken vorgenommen werden? Welche Indikatoren ermöglichen eine fundierte Priorisierung von Massnahmen im Bereich indirekte Auswirkungen? Welche ethischen Fragen stellen sich beim Umgang mit indirekten Auswirkungen? Welches ist der Einfluss des Klimawandels auf die nachhaltige Produktion von importierten Gütern? Mit welchen globalen Verlusten und Schäden durch indirekte

Auswirkungen ist in Zukunft zu rechnen? Welches sind die langfristigen Perspektiven für die Entwicklung der indirekten Auswirkungen und welche Kosten verursachen sie?

3.3.6 Sozioökonomische Forschung

Die erfolgreiche Transformation der Wirtschaft und Gesellschaft in eine dauerhaft nachhaltige Funktionsweise hängt von zahlreichen sozioökonomischen Wechselwirkungen ab. Ein wichtiger Aspekt ist dabei die Verbesserung der Entscheidungsgrundlagen zugunsten einer volkswirtschaftlich effizienten Umweltpolitik. Folgende Forschungsfragen sind bei diesem Thema relevant:

Welche Kosten entstehen bei Nichthandeln (cost of inaction)? Nutzen und volkswirtschaftliche Kosten unterschiedlicher Entwicklungspfade zeigen den Handlungsbedarf aus ökonomischer Sicht auf, zum Beispiel für ausgewählte Bereiche wie Klima, Biodiversität, Luftverschmutzung, Naturgefahren, Boden, Wald. Soziale und regionale Verteilungswirkungen sollen ebenfalls untersucht werden.

Welche Zielbilder und Zielpfade führen zu einer Konsum- und Wirtschaftsweise innerhalb der ökologischen Belastbarkeitsgrenzen des Planeten und zu qualitativ attraktiven Lebensräumen? Dabei werden die Akzeptanz / Resonanz bei Haushalten und wichtigen Stakeholdern aus Wirtschaft, Zivilgesellschaft und Gemeinwesen ermittelt (Visioning) und nachhaltige Geschäftsmodelle entwickelt

Wie kann das Verständnis der Dynamik technologischer, gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Veränderungsprozesse verbessert werden, um sie im Sinne der nachhaltigen Entwicklung gezielter und effizienter zu gestalten? Was sind die Voraussetzungen für eine Skalierung innovativer Nischenlösungen? Welche Akteure prägen am meisten die spezifischen Entscheidungsprozesse (Beispiel Ernährung: Handlungsmöglichkeiten der Haushalte hoch; Beispiel energetische Haussanierung: Einflussmöglichkeiten der Haushalte gering falls im Mietverhältnis). Welche Einstellungen und Motivationen weisen diese Akteure auf? Wie kann effektiv umweltbewusstes Verhalten gefördert und die Akzeptanz und die Wirkung von Massnahmen erhöht werden? Welche Rolle spielen dabei Kommunikationsmassnahmen und Kampagnen? Welche Rolle kann der Staat bei diesen Prozessen einnehmen, beispielsweise

um Lock-in-Situationen zu vermeiden bzw. zu überwinden (z. B. Zersiedelung und Mobilität)? Wie kann er seine Vorbildrolle, zum Beispiel bei der Beschaffung von Gütern und Dienstleistungen am besten wahrnehmen?

Nicht nur die Forschungsthematik soll sich der Transformation widmen. Die Forschung soll teilweise selber transformativen Charakter haben (z. B. Action research). Dabei sollen bewusst neue Formen des Wissenschaftsbetriebs erprobt werden, z. B. in Verbindung mit Kunst und Experimentieren.

3.4 Schwerpunkte, Forschungsbereiche und Forschungsthemen des BAFU

Im Folgenden werden für die 18 Forschungsbereiche des BAFU die aktuellen Forschungslücken sowie die Forschungsfragen aufgeführt, deren Beantwortung für die Erfüllung der anstehenden Aufgaben des Amtes dringlich und notwendig sind. Die beschriebenen Forschungsthemen zeigen den Forschungsbedarf des BAFU für die Jahre 2021 – 2024 auf.

Tabelle 2
Schwerpunkte und Forschungsbereiche der Umweltforschung für die Periode 2021 – 2024

Schwerpunkt I: Handeln für die Erhaltung und Gestaltung einer intakten Umwelt		
Umweltökonomie und Ressourceneffizienz (1)		
Umweltbeobachtung, Umweltkommunikation und Umweltbildung (2)		
Umweltrecht (3)		
Internationale Umweltpolitik (4)		
Schwerpunkt II: Immissionsschutz	Schwerpunkt III: Schutz und nachhaltige Nutzung von Ressourcen und Ökosystemen	Schwerpunkt IV: Bewältigung Klimawandel und Gefahrenprävention
Lärmbekämpfung und Ruheschutz (5)	Boden (9)	Chemikaliensicherheit (15)
Schutz vor nichtionisierender Strahlung (6)	Wasser (10)	Biosicherheit (16)
Altlasten (7)	Biodiversität (11)	Eindämmung und Bewältigung Klimawandel (17)
Luft (8)	Landschaft (12)	Umgang mit Naturgefahren und technischen Risiken (18)
	Wald und Holz (13)	
	Abfall- und Rohstoffmanagement (14)	

Forschungsbereich

1 Umweltökonomie und Ressourceneffizienz

*Rohrleitungen in einer Industrie*

Bild: Adobe Stock, Industrieblick

Ausgangslage und Problemstellung

Die Umweltauswirkungen des Schweizer Konsums übersteigen die Belastbarkeitsgrenzen des Planeten um das Dreifache. Drei Viertel der Umweltbelastung des Schweizer Konsums fällt dabei im Ausland an. Der globale Druck auf die natürlichen Ressourcen wird sich künftig noch verstärken, da die Weltbevölkerung und das Wirtschaftswachstum weiter zunehmen. Anstrengungen sind notwendig, um die Qualität der natürlichen Ressourcen zu erhalten und deren Verbrauch zu verringern. Damit Politik, Unternehmen und Privatpersonen ökologisch sinnvolle Entscheidungen treffen können, müssen methodische Grundlagen und aktuelle Daten für die Bewertung der Gesamt-Umweltbelastung von Produkten und Prozessen bereitgestellt werden.

Mit dem Bericht Grüne Wirtschaft hat der Bundesrat 2016 Massnahmen für eine ressourcenschonende, zukunftsfähige Schweiz formuliert. Im Vordergrund stehen das

Erarbeiten von Grundlagen, wirkungsvolle Kommunikation, die Sensibilisierung und der partnerschaftliche Dialog mit den relevanten Stakeholdern aus Wirtschaft, Wissenschaft, Gesellschaft und Verwaltung. Das NFP 73 «Nachhaltige Wirtschaft» hat zum Ziel, wissenschaftliche Erkenntnisse über eine nachhaltige Wirtschaft bis 2024 zu erarbeiten.

Der Umweltbericht 2018 (Bundesrat 2018) zeigt den Bedarf an Transformationsprozessen auf, hin zu einer nachhaltigen Konsum- und Wirtschaftsweise. Sozioökonomische Forschung ist gefragt, um die Hürden, die eine Transformation verhindern, zu verstehen und Lösungen zu entwickeln. Umweltökonomische Instrumente sollen weiterentwickelt werden und die Grundlagen für ökologische öffentliche Beschaffungen und für die Ausrichtung der Finanzströme an den planetaren Belastbarkeitsgrenzen und internationalen Umweltabkommen konkretisiert werden. Zur Stärkung der Ressourceneffizienz werden die Potenziale der Kreislaufwirtschaft untersucht.

Prioritäre Forschungsthemen 2021 – 2024

1 **Kosten der Umweltbelastung und des (Nicht-)Handelns**

- 1.1 Aufzeigen der externen Kosten der Umweltbelastung und Abschätzen der Kosten der Anpassung an Umweltveränderungen und des Nichthandelns (cost of inaction), Methodenentwicklung und Anwendung
- 1.2 Aufzeigen von wirtschaftlichen Potenzialen und Kosten der Transformation; Übergreifende Analyse der umweltbezogenen Herausforderungen und Risiken und Darlegung von Handlungsoptionen bzgl. ausgewählter Megatrends wie z. B. Digitalisierung
- 1.3 Aufzeigen, welche gesellschaftlichen Gruppen, Regionen, Generationen und Ökosysteme besonders von Umweltbelastungen betroffen sind
- 1.4 Entwicklung geeigneter Rahmenbedingungen, damit Unternehmen mit wirksamen Massnahmen ihre Ressourceneffizienzpotenziale besser ausschöpfen und ressourcenschonende Geschäfts- und Finanzierungsmodelle entwickeln können

2 **Kreislaufwirtschaft und Wege zu einem nachhaltigen Konsum**

- 2.1 Entwicklung und Optimierung von Massnahmen zum Einbezug von Nachhaltigkeitsaspekten in Konsum- und Beschaffungsentscheidungen, v. a. in den Bereichen Ernährung, Wohnen und Mobilität
- 2.2 Weiterentwicklung der methodischen Grundlagen für eine ökologische öffentliche Beschaffung und der Förderung von Innovation
- 2.3 Untersuchung der Kreislauffähigkeit von Systemen und Produktgruppen, ökologische Bewertung der Kreislaufwirtschaft und Erforschung geeigneter Rahmenbedingungen für deren Stärkung
- 2.4 Aufzeigen, unter welchen Voraussetzungen neue Geschäftsmodelle Umweltvorteile bringen
- 2.5 Erarbeitung, Aktualisierung und Validierung von Ökoinventardatensätzen zu Produkten und Prozessen
- 2.6 Weiterentwicklung von Methoden zur Bewertung von Ökoinventardaten für eine bessere Berücksichtigung von Biodiversität und Toxizität
- 2.7 Erarbeitung von auf Ökobilanzen (LCA) basierenden Instrumenten für fundierte Produktions-, Konsum- und Beschaffungsentscheidungen
- 2.8 Entwicklung und Prüfung von Methoden zur Bewertung von Umweltinnovationen

3 **Transformation zu einer ressourcenschonenden, zukunftsfähigen Schweiz**

- 3.1 Verbesserung der Grundlagen zu Verhaltensökonomie, Wertewandel, Wahrnehmung von Problemen und Akzeptanz von Massnahmen
- 3.2 Weiterentwicklung der Grundlagen für Zielwerte für eine ressourcenschonende Wirtschaft basierend auf planetaren Belastbarkeitsgrenzen
- 3.3 Identifikation der wesentlichen Weichenstellungen für private und öffentliche Investitionsentscheide, um Lock-in-Situationen in nicht-nachhaltigen Konsum- und Produktionsmustern zu vermeiden

4 **Nachhaltige Finanzen für ressourcenschonende Gesellschaft**

- 4.1 Entwicklung von Indikatoren und Kennzahlen für die Fortschrittmessung des Finanzsektors basierend auf wissenschaftlichen Grundlagen
- 4.2 Erarbeitung von methodischen Grundlagen und Tools für ökologische Transparenz von Finanzprodukten und -dienstleistungen
- 4.3 Untersuchung der Wirkungsmechanismen von Entscheidungen auf den Finanzmärkten und den Auswirkungen via Realwirtschaft auf die Ökosysteme

5 **Optimierung der umweltpolitischen Instrumente («smarte Regulierung»)**

- 5.1 Untersuchung der Mechanismen für die Erreichung von Umweltzielen mittels Brancheninitiativen der Privatwirtschaft im nicht-regulatorischen Bereich
- 5.2 Unterstützung freiwilliger Massnahmen durch Bereitstellung von Handlungswissen und Aufzeigen von Alternativen
- 5.3 Untersuchung der Nachverfolgbarkeit von Ressourcen und Produkten entlang der Wertschöpfungskette sowie Entwicklung von Methoden für eine transparente Berichterstattung
- 5.4 Methodenentwicklung für Regulierungsfolgeabschätzungen (ex-ante und ex-post) und für eine dynamische Regulierungsentwicklung
- 5.5 Nutzung verhaltensökonomischer Erkenntnisse für die Ausgestaltung und den Vollzug von Regulierungen
- 5.6 Entwicklung und Verbesserung von Ansätzen zur Abschätzung der Umweltauswirkungen des internationalen Handels und von Handelsabkommen

Forschungsbereich

2 Umweltbeobachtung, Umweltbildung und Umweltkommunikation



Schülerinnen kartieren invasive Neophyten zwischen Worb und Worblaufen (BE)

Bild: BAFU/Ex-Press, M. Forte

Ausgangslage und Problemstellung

Die Umweltbeobachtung liefert die erforderlichen Daten über den Zustand und die Entwicklung der Umwelt. Je umfassender und zuverlässiger diese Informationen sind, desto wirkungsvoller können Politik und Gesellschaft die Umweltpolitik gestalten und steuern. Eine der Herausforderungen besteht darin, die Auswirkungen globaler Megatrends auf die Umwelt in der Schweiz zu untersuchen. Zukunftsperspektiven über die Entwicklung des Zustands der Umwelt liefern zusätzliche Informationen für Entscheidungen von Verwaltung, Politik und Wirtschaft.

Die bisherige Forschung hat gezeigt, dass das Umweltwissen in der Schweiz im Allgemeinen hoch ist. Information allein reicht aber nicht aus, um Veränderungen zu bewirken und Wissen führt auch nicht automatisch zum Handeln. Damit die Konsum- und Wirtschaftsweise innerhalb der ökologischen Belastbarkeitsgrenzen bleibt und ein damit einhergehender nachhaltiger Wer-

tewandel in der Gesellschaft stattfinden kann, müssen wirtschaftliche und gesellschaftliche Transformationsprozesse mitgestaltet werden. Es stellen sich die Fragen, wie Umweltprobleme in der Gesellschaft wahrgenommen werden und welche Hemmnisse und Widerstände überwunden werden müssen, um ein umweltgerechtes Handeln zu fördern. Über alle Themen stellt sich zudem die Frage, wie die Akzeptanz von Umweltlösungen und eine gesellschaftliche Konsensbildung erreicht werden können. Eine adäquate Umweltkommunikation muss deshalb Einstellungen, Wissen und Verhalten adressieren, abgestimmt auf die Zielgruppen. Mit sozialwissenschaftlichen Ansätzen wird untersucht wie Umweltkommunikation als wirkungsvolles umweltpolitischen Instrument eingesetzt werden kann. Dabei stehen vor allem die neuen Medien im Zentrum des Interesses.

Der Erwerb von Kompetenzen für einen nachhaltigen Umgang mit natürlichen Ressourcen ist eines der Hauptziele der Umweltbildung. Das BAFU fördert deshalb die

Integration der Umweltbildung in alle Bildungsbereiche und auf allen Stufen des schweizerischen Bildungssystems, insbesondere in der Berufsbildung.

Prioritäre Forschungsthemen 2021 – 2024

1 Zukunftsperspektiven: Datenerhebung und datengestützte Modellierung

- 1.1 Untersuchung und Modellierung der quantitativen Ausprägungen der globalen Megatrends auf die Umwelt in der Schweiz
- 1.2 Modellierung von Trends und Zukunftsprognosen für verschiedene Umweltbereiche aus retrospektiven Daten, insbesondere auch Zeitreihen in räumlicher Auflösung
- 1.3 Entwicklung von Methoden zur Berücksichtigung ökologischer und regionaler Aspekte bei der Erstellung einer systemischen Gesamtsicht als Entscheidungsgrundlage für die Ausgestaltung von Massnahmen und deren Priorisierung
- 1.4 Optimierung von Messnetzen und -methoden, insbesondere bei der Kombination von Fernerkundung und In-situ-Messungen, Weiterentwicklung von Remote-sensing- Methoden zur Erkennung von Veränderungen, Analyse der Chancen und Risiken von neuen Umweltbeobachtungsmethoden
- 1.5 Entwicklung von Grundlagen für ein systematisches Langzeit-Monitoring von persistenten Schadstoffen und Schwermetallen in Organismen und Umweltmedien
- 1.6 Ermittlung der relevanten Faktoren zur Überprüfung der aktuell erfassten Indikatoren für die Umweltberichterstattung, Entwicklung eines Radarsystems für umweltrelevante Themen, die in Zukunft untersucht werden müssten
- 1.7 Weiterentwicklung des Umweltdatenkiosks und von Open Science: Analyse der Auswirkungen der Strategien für Open Access und Open Government Data auf die Ressortforschung im Umweltbereich

2 Vermittlung von Umweltinformationen, Kommunikation und Wertewandel

- 2.1 Beurteilung und Optimierung der Umweltberichterstattung nach Kanälen (Print, Online, Social Media) und Zielpublikum sowie Untersuchung, wie

relevante Zielgruppen identifiziert und erreicht werden können

- 2.2 Entwicklung von Methoden für die Aggregation und Verdichtung von Informationen für eine optimale Kommunikation von Umweltdaten
- 2.3 Entwicklung von Ansätzen, wie relevante nicht sichtbare, nicht greifbare, nicht spürbare Umweltauswirkungen, wie z. B. Biodiversitätsschwund oder Mikroverunreinigungen, vermittelt werden können
- 2.4 Wirksamkeitsanalysen von Kommunikationsmassnahmen (soziale Medien, Kampagnen, usw.) und Entwicklung eines Wirkungsmodells der Kommunikation bei komplexen Umweltthemen
- 2.5 Erfassung relevanter Bevölkerungsparameter (Wissen, Einstellung, Akzeptanz usw.) für eine zielgruppengerechte Kommunikation
- 2.6 Untersuchung, wie der Wertewandel für eine gesellschaftliche Transformation mitgestaltet werden kann

3 Förderung von Umweltkompetenzen bei Berufsleuten

- 3.1 Ermittlung der relevanten Faktoren für den Erwerb und die Anwendung von Umweltkompetenzen bei Berufsleuten
- 3.2 Messung der Wirksamkeit ausgewählter Massnahmen in umweltrelevanten beruflichen Wirkungsfeldern
- 3.3 Untersuchung eines möglichen Beitrags der Digitalisierung zur Förderung von Umweltkompetenzen

4 Digitale Transformation

- 4.1 Untersuchung der Chancen und Risiken der Digitalisierung in Bezug auf ihre Wirkung auf Umwelt und Ressourcen, Ermittlung der erforderlichen Rahmenbedingungen damit sich die Digitalisierung mehrheitlich positiv auf die Umwelt auswirken kann
- 4.2 Untersuchung der Potenziale der digitalen Transformation von Gesellschaft und Wirtschaft für die Umweltbeobachtung (Monitoring, Copernicus), den Vollzug der Umweltschutzgesetzgebung und die Umweltkommunikation

Forschungsbereich

3 Umweltrecht



Juristische Bücher in einer Anwaltskanzlei in Zürich

Bild: Ex-Press, U. Keller

Ausgangslage und Problemstellung

Der Schutz der Umwelt erfordert von allen Akteuren der Gesellschaft ein umweltverträgliches Verhalten und Handeln. Ziel des Umweltrechts ist es dieses zu fördern. Denn die ökologische Nachhaltigkeit kann nur erreicht werden, wenn die Umweltgesetzgebung klar, umsetzbar und gerecht ist. Neben ordnungspolitischen Instrumenten wie Gebote, Verbote oder Grenzwerte kommen auch ökonomische Instrumente, freiwillige, informelle Instrumente wie Vereinbarungen, Dialog und Kooperation sowie Umweltkommunikation und Umweltbildung zum Einsatz. Die optimale Ausgestaltung des verwendeten Instrumentenmixes ist zentral für den Erfolg der Umsetzung des Umweltrechts und der Umweltpolitik.

Im Bereich des primären Umweltrechts verfügt der Bund heute über elf Bundesgesetze und 72 Verordnungen. Mit der wissenschaftlichen Kommentierung des Umweltrechts werden fundierte und interdisziplinäre Grundlagen für die Rechtsanwendung sowie für die Rechtsprechung zur Verfügung gestellt, die von den Praktikern bei Bund, Kantonen, Gemeinden, Privatwirtschaft, Verbän-

den und Organisationen rege benützt werden. Gleichzeitig hilft die systematische wissenschaftliche Analyse des Umweltrechts, Schwachstellen und Lücken des bestehenden Rechts zu benennen. Diese können das materielle Recht betreffen, aber auch die Bestimmungen, welche den Vollzug, die Aufsicht und die Koordination mit anderen Rechtsgebieten sicherstellen. Damit bietet eine Kommentierung entsprechender Erlasse eine wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung des Umweltrechts.

Die Umsetzung des Umweltrechts obliegt zu einem Grossteil den Kantonen. Eine Koordination zwischen den Akteuren des Vollzugs und ein einfacher und einheitlicher Vollzug ist zentral für den Erfolg der Umweltpolitik. Auch der Vollzug des Umweltstrafrechts bedingt eine gute Zusammenarbeit der betroffenen Stellen, weshalb der Bundesrat eine Koordinationsgruppe zur Eindämmung der Umweltkriminalität eingesetzt hat. Die Vollzugsforschung schafft wichtige Grundlagen, um die Umsetzung der Umweltvorschriften zu verbessern.

Prioritäre Forschungsthemen 2021 – 2024

1 Kommentierung von Erlassen des Umweltrechts

- 1.1 Kommentierung des Bundesgesetzes über den Wald (WaG, SR 921.0)
- 1.2 Kommentierung des neuen Bundesgesetzes über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Gesetz, SR 641.71)
- 1.3 Aktualisierung der Kommentierung des Bundesgesetzes über den Umweltschutz (USG, SR 814.01)

2 Von der Kohärenz in die innovative Umweltrechtsetzung

- 2.1 Entwicklung innovativer und dynamischer Umweltschutzinstrumente durch Integration der Erfahrungen aus verschiedenen Umweltschutzbereichen (z. B. smart regulation)
- 2.2 Chancen und Risiken der Digitalisierung im Umweltschutz: Untersuchung, in welchen Bereichen des Umweltschutzes Bedarf für digitale Lösungen besteht und Erörterung der Möglichkeiten zur Vereinfachung des Umweltschutzes sowie von dessen Vollzug durch Digitalisierung, wie z. B. einfacher Datenaustausch und Zugang zu Umweltdaten oder automatisierte Sanktionen
- 2.3 Umweltgerechtigkeit: Evaluation, welche Ansätze des Environmental Justice-Konzepts der Europäischen Union und der Vereinigten Staaten stärker im schweizerischen Umweltschutz berücksichtigt werden sollten; Untersuchung, ob benachteiligte Personen stärker von Umweltauswirkungen betroffen sind und wie eine sozial vertretbare Regulierung ausgestaltet sein muss unter Berücksichtigung von intergenerationeller oder räumlicher Gerechtigkeit

3 Vollzug und Aufsicht

- 3.1 Umweltdelikte: Erarbeitung von Grundlagen für die Weiterentwicklung des Strafrechts in den einzelnen Umweltschutzgesetzen; Analyse der aktuellen Situation der Umweltdelikte in der Schweiz und Untersuchung des Nutzens bestehender Instrumente (wie z. B. Bussen) und möglicher neuer Massnahmen
- 3.2 Erarbeiten von Grundlagen für die Optimierung der Vollzugsprozesse mit Einbezug der Kantone, um den administrativen Aufwand für alle Betroffenen zu reduzieren (z. B. Evaluation der Berichterstattung der Kantone gegenüber dem Bund)

Forschungsbereich

4 Internationale Umweltpolitik



Palais des Nations, der zweiten Hauptsitz der Vereinten Nationen in Genf (UNOG)

Bild: Ex-Press, U. Keller

Ausgangslage und Problemstellung

Umweltprobleme kennen keine Grenzen. Der Konsum, die Luftverschmutzung oder der Klimawandel beispielsweise haben grenzüberschreitende Ursachen und Auswirkungen. Wissenschaftliche Kenntnisse sind notwendig, damit die Politik faktenbasiert die Umwelt weltweit schützen kann. Die Schweiz unterstützt deshalb die Stärkung der internationalen wissenschaftlichen Zusammenarbeit und Umweltgouvernanz. Internationale Umweltabkommen, wie das Klimaübereinkommen von Paris, die Biodiversitätskonventionen oder die Chemikalien- und Abfallkonventionen sind sehr wichtige Instrumente um Prozesse zur Verbesserung der Umweltqualität weltweit anzustossen. Die «Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung» ist ein zentraler Meilenstein für den Schutz der globalen Umwelt und die nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen. Umweltspezifische Aspekte der nachhaltigen Entwicklung sind in 11 von 17 Zielen der Agenda 2030, den sogenannten Sustainable Development Goals (SDG), enthalten. Im Fokus stehen dabei die Themen Klima, Biodiversität und Ökosysteme, Wasser, Energie sowie nachhaltiges Produktions- und Konsumverhalten.

Die Schweiz setzt sich für die Verbesserung der methodischen Grundlagen ein, sei es für die Ausgestaltung eines wirksamen Mechanismus zur Messung und Überprüfung der Umsetzung der auf internationaler Ebene beschlossenen und in Umweltabkommen vereinbarten Ziele oder für regelmässiges Monitoring und Berichterstattung zur Agenda 2030. Wissenschaftliche Grundlagen müssen für die Evaluation der weltweiten Kenntnisse über die Umwelt, die politischen Prozesse von regionalen und globalen Konventionen und das internationale Umweltmonitoring (Group on Earth Observations des Global Earth Observation System of Systems GEO-GEOSS) bereitgestellt werden.

Das BAFU engagiert sich dafür, dass ein holistisches Verständnis sowie kohärente Methoden und international abgestimmte Indikatoren für die Beurteilungen des Umweltzustands und deren Veränderung entwickelt werden. Synergien zwischen den wissenschaftlichen Plattformen für Klimawandel (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), Biodiversität und Ökosystemleistungen (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES), Erdbeob-

achtung (insbesondere durch das UNO Umweltprogramm UNEP sowie Group on Earth Observations – Global Earth Observation System of Systems, GEO-GEOSS) oder dem International Resource Panel (IRP) sollen genutzt werden. Zudem wird evaluiert, welcher Beitrag die Schweiz an die internationale Plattform Future Earth liefern kann und wie Future Earth die Wissensgemeinschaft in der in der Schweiz unterstützen kann (s. auch Kap. 5.3.1).

Das BAFU unterstützt die Arbeit der internationalen Organisationen und Institutionen in diesem Bereich, namentlich UNEP, IPCC, IPBES und GEO-GEOSS durch Subventionsbeiträge.

Prioritäre Forschungsthemen 2021 – 2024

1 Wissenschaftliche Grundlagen für die Umsetzung internationaler Prozesse und Abkommen

- 1.1 Wissenschaftlicher Beitrag zum Verständnis der anthropogenen Prozessen und Einflüssen in Bereichen wie: Klima (Karbonzyklus, negative Emissionen), Veränderung der Biodiversität und Ökosysteme, Chemikalien und Abfall
- 1.2 Identifizierung von gemeinsamen Zielen und Entwicklung von international anerkannten Indikatoren für regionale oder globale Umweltprobleme
- 1.3 Beitrag der Schweiz zu den wissenschaftlich orientierten Programmen (UNO Umweltprogramm UNEP, International Cooperative Programmes sowie European Monitoring and Evaluation Programme EMEP)
- 1.4 Unterstützung der internationalen Forschungsplattform Future Earth

2 Methoden zur Gewährleistung der ökologischen Integrität und Transparenz

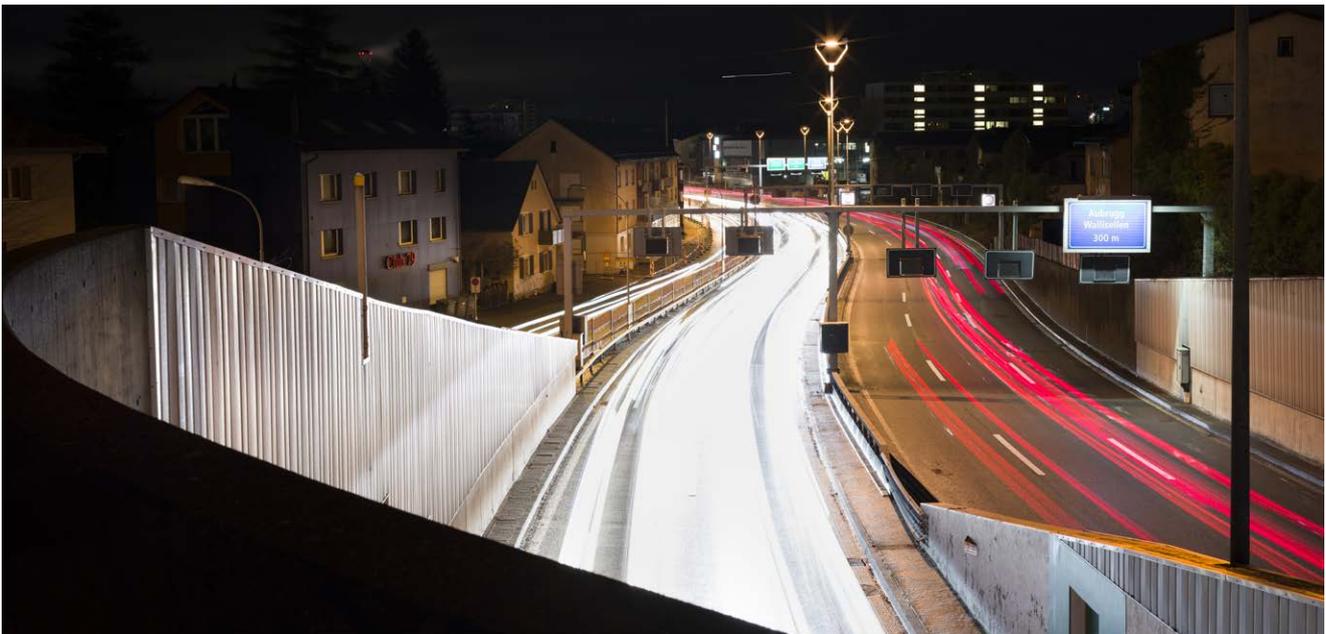
- 2.1 Entwicklung von international harmonisierten Methoden und Indikatoren zur Abschätzung des Zustands der Umwelt und zur Messung der Wirkungen von Massnahmen
- 2.2 Unterstützung von Synergien bei der Erarbeitung von Methoden im Rahmen der Arbeit des UNO Umweltprogramms UNEP, der wissenschaftlichen Plattformen für Klimawandel (IPCC), Biodiversität und Ökosystemleistungen (IPBES) sowie GEO-GEOSS
- 2.3 Entwicklung von Methoden und Instrumenten für die internationale Valorisierung von Ökosystemleistungen sowie von Leistungen für die Vorsorge und Lösung von Umweltproblemen (z. B. Import-Export von Gütern, Kapazitätsaufbau im Bereich Klima oder Biodiversität, Technologietransfer, Access and benefit sharing)
- 2.4 Schätzung der Kosten und Nutzen von internationalen Vereinbarungen in verschiedenen Umweltsektoren

3 Weiterentwicklung der internationalen Umweltgouvernanz

- 3.1 Entwicklung von Synergieszenarien und Kohärenz zwischen internationalen Abkommen
- 3.2 Beitrag zur Erhöhung der Transparenz bei der Messung, Berichterstattung und Überprüfung von Umweltzielen und Massnahmen

Forschungsbereich

5 Lärmbekämpfung und Ruheschutz



Lärmbelastete Wohnungen bei der Autobahn A1 zwischen Aubrugg und dem Schöneichtunnel, vor der Einhausung Schwamendingen (ZH)

Bild: Keystone, G. Bally

Ausgangslage und Problemstellung

Ruhe ist eine wertvolle Ressource für die Gesundheit und das Wohlbefinden der Bevölkerung. Ständiger Lärm ohne Rückzugsmöglichkeiten und Erholungsphasen, speziell auch in der Nacht, verringert die Lebensqualität, ist gesundheitsschädigend und verursacht hohe volkswirtschaftliche Kosten. Die wichtigste Lärmquelle ist der Strassenverkehr, gefolgt von Eisenbahn- und Flugverkehr. In der Schweiz ist tagsüber jede siebte Person an ihrem Wohnort übermässigem Strassenlärm ausgesetzt, in der Nacht jede achte Person. Die Verdichtung des Siedlungsraums, Mobilitätswachstum und die Entwicklung zu einer 24-Stunden-Gesellschaft verschärfen die Lärmproblematik. Die Nutzung von erneuerbaren Energien, z. B. durch Windturbinen oder Wärmepumpen, bringt zusätzliche Herausforderungen in Bezug auf die Begrenzung von Lärmemissionen.

Die Entwicklung innovativer, lärmarmen Technologien hilft unerwünschte Geräusche an der Quelle zu verringern. Die Berücksichtigung des Ruheschutzes bei der Gestaltung und Verdichtung von Siedlungsräumen und der Raum-

planung fördern eine qualitativ hochwertige Siedlungsentwicklung, verbessern die Klangqualität von urbanen Räumen und schaffen Aussenräume für Ruhe und Erholung für die Bevölkerung. Das BAFU unterstützt auch Untersuchungen zu den gesundheitlichen Auswirkungen von Lärmbelastungen und evaluiert Anreizsysteme sowie weitere Möglichkeiten zur Förderung von lärmarmem Verhalten. Mit dem Forschungsprogramm Eisenbahnlärm (Bundesgesetz über die Lärmsanierung der Eisenbahnen) werden Forschungsvorhaben im Bereich der emissionsbegrenzenden Massnahmen an Schienenfahrzeugen und an der Infrastruktur finanziert, damit zukünftige Angebots Erweiterungen im Bahnverkehr ohne wesentliche Lärmzunahmen realisiert werden können.

Erschütterungen werden häufig durch vorbeifahrende Züge ausgelöst. Rund 30 000 Menschen sind von solchen Schwingungen an ihrem Wohnort in der Nähe von Bahnlinien betroffen. Weitere Anstrengungen sind nötig, um Erschütterungen an der Quelle zu reduzieren, deren Ausbreitung zu verringern und Grundlagen für eine Verordnung zu diesem Thema zu erarbeiten.

Prioritäre Forschungsthemen 2021 – 2024

1 Emissionsbegrenzung an der Quelle

- 1.1 Forschung und Entwicklung von Technologien zur Emissionsbegrenzung bei Fahrzeugen und Flugzeugen, bei Bahnbahnen (lärmarme Beläge oder Schienen), Industrie- und Gewerbeanlagen, Waffensystemen, Geräten und Maschinen sowie Produktionsverfahren in der Industrie
- 1.2 Wirkungsanalyse von Massnahmen zur Begrenzung der Lärmemissionen an der Quelle
- 1.3 Entwicklung von technischen Massnahmen zur Lärmbegrenzung und Untersuchung der Schallentwicklung neuer Lärmquellen in den Bereichen der erneuerbaren Energien und der Gebäudetechnik
- 1.4 Entwicklung von Methoden für die In-situ-Messung von Lärmspitzenwerten, die durch Fahrzeuge verursacht werden, sowie deren Charakterisierung

2 Anreize zur Lärmverminderung

- 2.1 Weiterentwicklung von Anreizsystemen und der «community based social marketing»-Methode zur Förderung von lärmbewussten Kauf- oder Nutzungsverhalten, beispielsweise zu Gunsten von leisen Reifen, Fahrzeugen und Geräten

3 Auswirkungen von Lärm auf die Gesundheit und die Volkswirtschaft

- 3.1 Untersuchung gesundheitlicher Auswirkungen bei Strassen-, Bahn- und Fluglärm und weiteren Alltagslärmsituationen sowie Infraschall, u. a. durch Windkraftwerke (Dosis-Wirkungsbeziehungen, epidemiologische Untersuchungen, Krankheitsfälle und Medikamentenverbrauch) und Schätzung der dadurch verursachten Gesundheitskosten und verlorenen Lebensjahre bei einwandfreier Gesundheit (DALY-Methode)
- 3.2 Aktualisierung der wissenschaftlichen Grundlagen der Immissionsgrenzwerte
- 3.3 Untersuchung der kurz- und langfristigen Auswirkungen von Temporeduktionen bei Strassen sowie der Reduktion von Lärmspitzenwerten auf die Gesundheit der Bevölkerung
- 3.4 Untersuchung möglicher Massnahmen zur besseren Berücksichtigung des Ruheschutzes bei der Raumplanung und der Verdichtung der Siedlungsräume (Akustik, Materialeigenschaften)

4 Erschütterungen

- 4.1 Weiterentwicklung und Überprüfung der Wirksamkeit von Methoden und Technologien zur Erschütterungsbegrenzung an der Quelle (Eisenbahn, Tramverkehr)
- 4.2 Reduktion der Erschütterungsausbreitung sowie Entwicklung von Prognosemethoden für Erschütterungen und Körperschall
- 4.3 Erarbeitung von Grundlagen für eine Erschütterungsverordnung

Forschungsbereich

6 Schutz vor nichtionisierender Strahlung



Installation einer 5G Antenne in Bern

Bild: Keystone, P. Klaunzer

Ausgangslage und Problemstellung

Überall, wo Elektrizität erzeugt, transportiert und genutzt wird, entstehen niederfrequente elektrische und magnetische Felder. Mobil- und Rundfunksender sowie weitere Funkanwendungen erzeugen Strahlung im hochfrequenten Spektrum. In beiden Fällen handelt es sich um nichtionisierende Strahlung (NIS).

Die Wirkung nichtionisierender Strahlung auf den Menschen hängt von Intensität, Frequenz und teilweise der Modulation der Strahlung ab. Intensive Strahlung niedriger Frequenz kann Nervenimpulse und unwillkürliche Muskelkontraktionen auslösen. Intensive hochfrequente Strahlung kann zu einer Erwärmung des Körpergewebes führen. Auch eine schwache Strahlung kann Hirnströme verändern sowie die Durchblutung und den Stoffwechsel des Gehirns beeinflussen. Gestützt auf epidemiologische Untersuchungen hat die Weltgesundheitsorganisation (WHO) sowohl niederfrequente Magnetfelder als auch

hochfrequente Strahlung als möglicherweise kanzerogen für den Menschen klassiert. Erste Ergebnisse lassen überdies vermuten, dass bereits schwache Belastungen eine Rolle bei der Entstehung neurodegenerativer Erkrankungen spielen könnten. Auch übermässige künstliche Lichtemissionen (Lichtverschmutzung) können einen negativen Einfluss auf die nächtliche Landschaft, die Artenvielfalt und die menschliche Gesundheit haben.

Aufgrund des rasanten Ausbaus der mobilen Telekommunikation und der Elektrifizierung des Lebensraums wird die Grundbelastung von Mensch und Umwelt durch NIS weiter ansteigen. Angesichts der unklaren Risikolage kommt der vorsorglichen Minimierung von Emissionen und Immissionen durch die Optimierung bestehender Technologien und die Entwicklung von neuen, strahlungsarmen Technologien grosse Bedeutung zu. Um die Entwicklung der Strahlungsbelastung zu überwachen und mögliche gesundheitliche Auswirkungen zu erkennen, müssen verlässliche Daten im Rahmen eines NIS-Monitorings erho-

ben werden und der Bevölkerung zur Verfügung gestellt werden. Mit der Revision der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) vom 17. April 2019 und des Fernmeldegesetzes wurde die Grundlage für ein gesamtschweizerisches Monitoring der Mobilfunkstrahlung und von hoch- und niederfrequenten elektromagnetischen Feldern geschaffen.

Prioritäre Forschungsthemen 2021 – 2024

1 Auswirkungen von NIS auf die Gesundheit der Bevölkerung

- 1.1 Durchführung von prospektiven epidemiologischen Studien zu schwacher Hochfrequenzbelastung
- 1.2 Verbesserung des Verständnisses der biophysikalischen Wirkungsmechanismen schwacher NIS
- 1.3 Untersuchung der Dosis-Wirkungsbeziehungen und gesundheitlichen Relevanz etablierter Effekte bei schwacher Strahlung
- 1.4 Früherkennung potenzieller Gesundheitsrisiken von neuen Technologien und Identifikation und Charakterisierung besonders empfindlicher Bevölkerungsgruppen
- 1.5 Untersuchung synergistischer Wirkungen von NIS mit anderen Agenzien (z. B. Medikamente, Belastung durch Chemikalien, Lärm, Luftverschmutzung)
- 1.6 Auswertung des Monitorings internationaler Publikationen in der NIS-Forschung

2 NIS-Monitoring

- 2.1 Weiterentwicklung von Mess- und Simulationsmethoden für den Aufbau eines nationalen NIS-Monitoring zur Erhebung von Daten zur nichtionisierenden Strahlung in der Umwelt und zur Exposition der Bevölkerung
- 2.2 Untersuchungen, wie mobile Geräte in ein NIS-Monitoring integriert werden können
- 2.3 Technologiefolgenabschätzungen für NIS-relevante Innovationen

3 Störwirkung von künstlichem Licht in der Umwelt

- 3.1 Untersuchung der Störwirkung verschiedener umweltrelevanter Lichtquellen für den Menschen (Blendung, Belästigung, Gesundheit)
- 3.2 Untersuchung der Störwirkung für lichtempfindliche Tierarten und Ökosysteme

4 Technologien

- 4.1 Untersuchungen zur Ausgestaltung eines optimalen Mobilfunknetzes um Emissionen nach dem Vorsorgeprinzip zu minimieren (optimales Netzdesign)
- 4.2 Entwicklung von Technologien, welche eine geringere Lichtbelastung auf Mensch oder Umwelt verursachen

Forschungsbereich

7 Altlasten



Schrottplatz vor einer Weide

Bild: BAFU/C. Koch; J. Heinemann

Ausgangslage und Problemstellung

In den letzten hundert Jahren hat die Wirtschaftsentwicklung in der Schweiz Spuren in Boden und Untergrund hinterlassen. An vielen Standorten wurden Abfälle abgelagert, welche mittlerweile zu Altlasten geworden sind. Von Ablagerungs-, Betriebs- oder Unfallstandorten sowie Schiessplätzen können umweltgefährdende Stoffe in die Umwelt gelangen. Diese Schadstoffe stellen eine Bedrohung für Grundwasser, Oberflächengewässer, Boden und Luft dar, können die dort vorkommenden Lebewesen beeinträchtigen und akute oder chronische Erkrankungen bei Menschen auslösen. Die Substanzen können sehr mobil und langlebig sein oder aber innerhalb weniger Jahre von der Natur abgebaut werden. Insbesondere im dichtbesiedelten und industriell intensiv genutzten Schweizer Mittelland liegen viele belastete Standorte in der Nähe von empfindlichen Grundwasservorkommen. Dies ist die Hauptgefahr, die in der Schweiz von den Altlasten ausgeht. Die Gefährdung einer Altlast muss eingeschätzt werden, damit bei Bedarf die Sanierung oder Massnahmen zur Begrenzung der umwelt- und gesundheitlichen Auswirkungen eingeleitet werden können.

In der Schweiz sind rund 38 000 mit Abfällen belastete Standorte in den Katastern von Bund und Kantonen erfasst. Etwa 4 000 dieser Standorte gefährden Mensch oder Umwelt: sie gelten daher als Altlasten und müssen saniert werden. Davon wurden in den letzten Jahren rund 1 400 Standorte saniert.

Bei der Altlastenbearbeitung wird die Umweltbelastung untersucht und das Gefährdungspotenzial des belasteten Standorts abgeschätzt. Wichtig dabei ist der Einbezug von neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen zur Ausbreitung und Auswirkung von Schadstoffen. Ausgehend vom Schadstoff- und Freisetzungspotenzial werden die belasteten Standorte anschliessend überwacht oder saniert. Dadurch können Quellen von Belastungen gestoppt und die Gefahren langfristig und nachhaltig beseitigt werden.

Prioritäre Forschungsthemen 2021 – 2024

1 Untersuchungen von belasteten Standorten und anderen Bodenbelastungen

- 1.1 Untersuchungen zum langfristigen Verhalten und zur Gefährdungsabschätzung von Belastungen durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
- 1.2 Weiterentwicklung von Methoden zur Gefährdungsabschätzung von belasteten Standorten (Schadstoffpotenzial, Freisetzungspotenzial, Exposition der Ressourcen Boden, Wasser, Luft)
- 1.3 Untersuchungen zum Umweltverhalten und zur Ökotoxikologie von Schadstoffen sowie Risikobewertung von Schadstoffen in belasteten Sedimenten
- 1.4 Entwicklung von Methoden zur Abschätzung neu festgestellter Schadstoffbelastungen (Emerging Pollutants, wie z. B. perfluorierte Stoffe)
- 1.5 Erarbeitung von Grundlagen für die Anpassung von Konzentrationswerten an neue Erkenntnisse im Bereich der Human- und Umwelttoxikologie

2 Sanierungen und Überwachung

- 2.1 Weiterentwicklung von Massnahmen und Methoden zur Sanierung von belasteten Standorten, z. B. In-situ-Behandlungen, Bioremediation oder thermische Behandlung
- 2.2 Erarbeitung und Evaluation von Verfahren zur Sanierung von belasteten Standorten in Karstgebieten
- 2.3 Aufbau von Langzeitmesssystemen und In-situ-Analysen, Entwicklung von Passivsammlern
- 2.4 Erstellung eines Überblicks der Emissionen (CH₄, CO₂ usw.) aus alten, nicht sanierten Hauskehrtsdeponien und Abschätzung deren Klimarelevanz sowie Entwicklung von In-situ-Behandlungsmethoden
- 2.5 Entwicklung von Methoden zur Behandlung von Sickerwasser aus Deponien

Forschungsbereich

8 Luft



Partikelfilter auf einem Baustellengerät, NEAT-Baustelle in Amsteg (UR)

Bild: BAFU/Ex-press, E. Ammon

Ausgangslage und Problemstellung

Die Luftqualität in der Schweiz hat sich in den letzten 30 Jahren verbessert. Trotzdem werden die Immissionsgrenzwerte für Ozon, Feinstaub und Stickstoffdioxid (NO₂) teils noch überschritten, was nach wie vor ein Gesundheitsrisiko darstellt. Feinstaub, Stickstoffdioxid und Ozon können z. B. zu Herz-Kreislauf-Beschwerden oder zu Erkrankungen der Atmungsorgane führen. Feinstaub kann krebserregende Bestandteile enthalten. Rund 14 000 Spitaltage und etwa 2200 vorzeitige Todesfälle sind in der Schweiz jährlich als Folge der Luftbelastung zu beklagen. Sensible Gruppen wie Kinder sowie ältere und kranke Personen sind davon besonders betroffen. Die gesamten Gesundheitskosten der Luftverschmutzung in der Schweiz werden auf jährlich 6,5 Milliarden Franken beziffert (INFRAS, Ecoplan AG 2015).

Auch die Stickstoffeinträge aus der Luft sind immer noch zu hoch und führen zu einer Überdüngung und Versauerung von Ökosystemen. Dies führt wiederum zu einem Verlust von Biodiversität; insbesondere sensible, nährstoffarme Lebensräume werden beeinträchtigt oder gehen

verloren. Überschüssiger Stickstoff kann zudem als Nitrat ins Grundwasser ausgewaschen werden und die Produktion des klimaaktiven Lachgases in Böden erhöhen.

Auch wenn mit Ausnahme von Ammoniak die Emissionen von Stickoxiden, flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), Schwefeldioxid und primärem Feinstaub in den letzten Jahren weiter gesunken sind, wurden die Reduktionsziele gemäss Luftreinhaltekonzept, ausser bei Schwefeldioxid, bisher noch nicht erreicht. Zur Verbesserung der Luftqualität sind deshalb national und international weitere Massnahmen bei Verkehr, Industrie, Feuerungen, Heizungen und Landwirtschaft nötig. Die Forschungsarbeiten schaffen dafür die notwendigen Grundlagen. Die Auswirkungen von Luftschadstoffen auf die Gesundheit der Bevölkerung und die Ökosysteme sind weiter zu untersuchen und die Massnahmen zu deren Reduktion sowie die Methodik zur Messung der Luftschadstoffe weiter zu entwickeln. Auf internationaler Ebene engagiert sich das BAFU in den Gremien des Übereinkommens über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung (UNECE LRTAP Convention, SR 814.032) und seiner Zusatzprotokolle.

Prioritäre Forschungsthemen 2021 – 2024

1 Auswirkungen von Luftschadstoffen auf die Gesundheit der Bevölkerung und die Ökosysteme

- 1.1 Erarbeitung von Grundlagen für die Bestimmung von Immissionsgrenzwerten und kritischen Belastungswerten zum Schutz von Mensch und Umwelt
- 1.2 Untersuchung chronischer Wirkungen auf empfindliche Personen
- 1.3 Bewertung des Gesundheitsrisikos aufgrund von Kombinationswirkungen verschiedener Luftschadstoffe inklusive Feinstaubkomponenten und Bioaerosolen
- 1.4 Bewertung der kritischen Belastungsgrenzen im Zusammenhang mit Ökosystemleistungen
- 1.5 Beurteilung der chemischen und biologischen Erholung der Ökosysteme bei sinkenden Einträgen durch versauernde und eutrophierende Luftschadstoffe
- 1.6 Interaktionen von klima- und luftschadstoffbedingten Effekten auf die menschliche Gesundheit und die Ökosysteme

2 Erarbeitung von Grundlagen zur Weiterentwicklungen von Massnahmen zur Reduktion der Luftbelastung

- 2.1 Erarbeitung von Grundlagen sowie Entwicklung von Massnahmen zur Minderung der Emissionen aus Holzfeuerungen
- 2.2 Erforschung der Möglichkeiten zur Minderung von Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft in den Bereichen Stall, Güllelagerung und -ausbringung sowie Gülleverwertung und -behandlung
- 2.3 Wissenschaftliche Grundlagen für die Weiterentwicklung der Emissions- und Abgasvorschriften bei Fahrzeugen, Maschinen und Geräten, stationären Verbrennungsmotoren und Gasturbinen, mit Fokus auf Kaltstart, Brems- und Reifenabrieb sowie auf Methoden zur Emissions- bzw. Abgasmessung
- 2.4 Untersuchung von Abriebemissionen von Strassen- und Schienenverkehr sowie deren Minderungsmöglichkeiten
- 2.5 Potenzialabschätzung neuer Antriebsarten und Treibstoffen u. a. mittels Ökobilanzierung, inkl. Beurteilung der Kreislauffähigkeit von Autobatterien und deren korrekten Entsorgung

3 Weiterentwicklung der Methoden zur Messung und Modellierung von Luftschadstoffen (Emissionen und Immissionen)

- 3.1 Modellierung der Entstehung und Herkunft des troposphärischen Ozons und Feinstaubes in der Schweiz in Anbetracht der Reduktion der Vorläufer-substanzen (in den letzten 30 Jahren)
- 3.2 Weiterentwicklung und Verfeinerung der Modellierung von sekundären Luftschadstoffen
- 3.3 Untersuchung von Luftschadstoffquellen nach Emittentengruppen und Quellgebieten basierend auf Messungen und Modellierungen
- 3.4 Weiterentwicklung der Messmethoden von Spurengasen wie Ammoniak, NO₂, persistente organische Schadstoffe (POP), VOC sowie von Feinstaub und dessen Komponenten
- 3.5 Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Luftqualität (Emissionen, sekundäre Schadstoffe, Verfrachtung, Immissionen)

4 Schweizer Beitrag zur Forschung unter der Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung

- 4.1 Bereitstellung von wissenschaftlichen Daten für die Arbeitsprogramme zur Umsetzung der Konvention (Reduktion von Versauerung, Eutrophierung, bodenahem Ozon, Belastungen durch Schwermetalle, POP, Feinstaub und Russ)

Forschungsbereich

9 Boden



Unlängst wurde im solothurnischen Breitenbach der in der Schweiz äusserst seltene Bodentyp Terra Rossa entdeckt

Bild: BAFU/R. Stähli

Ausgangslage und Problemstellung

Der Boden erfüllt zahlreiche ökologische und ökonomische Funktionen und ist für Mensch und Umwelt von grundlegender Bedeutung. Er wirkt als Filter, Puffer oder Speicher von Nährstoffen und Schadstoffen und reguliert die natürlichen Wasser- und Stoffkreisläufe. Gleichzeitig ist der Boden der grösste terrestrische Kohlenstoffspeicher. Boden ist auch Lebensraum für Organismen und ein zentraler Pool für die biologische Vielfalt. Zudem liefert er Nahrungs- und Futtermittel sowie Rohstoffe wie Kies, Lehm und Sand und dient als Träger für die meisten menschlichen Tätigkeiten. Die zahlreichen Bodenfunktionen werden durch die standort- und nutzungsbedingten Bodeneigenschaften und den physikalisch-chemisch-biologischen Zustand des Bodens bestimmt und ermöglichen unterschiedliche Formen der Nutzung.

Sind eine oder mehrere dieser Funktionen geschädigt, dauert die Regeneration meist mehrere Jahrzehnte. Der heutige Umgang mit der endlichen Ressource Boden ist nicht nachhaltig. Die Treiber für den Bodenverbrauch und Qualitätsverlust sind die Siedlungsentwicklung, der Bau

von Verkehrsinfrastrukturen und eine nicht standortgerechte Landwirtschaft. Zudem werden die Böden durch Schadstoffeinträge, Erosion und Verdichtung beeinträchtigt. Um die Bodenfunktionen langfristig erhalten zu können, müssen die Zusammenhänge zwischen den Bodeneigenschaften, den Bodenbelastungen und den Bodenfunktionen besser verstanden werden. Die Forschungsprioritäten des BAFU orientieren sich an der Strategie Boden des Bundes und an den Empfehlungen des NFP 68 «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden». So sollen Grundlagen geschaffen werden, um die Bodenqualität besser in die Raumplanung zu integrieren, die Bodenbewirtschaftung auf die Bodenqualität auszurichten und die Klimarelevanz der Böden bei der Diskussion zur künftigen Nutzung der Böden zu berücksichtigen. Lücken bei der Bodenkartierung sollen geschlossen und die Kohärenz in der Bodenpolitik verbessert werden. Es sollen deshalb Grundlagen für politische Entscheidungsprozesse erarbeitet werden, die sowohl die ökologischen als auch die ökonomischen Funktionen des Bodens berücksichtigen und eine nachhaltige Nutzung der Ressource Boden in der Schweiz und international ermöglichen.

Prioritäre Forschungsthemen 2021 – 2024

1 Bodeneigenschaften und Bodenfunktionen

- 1.1 Entwicklung von Methoden für die standardisierte Erhebung der Bodeneigenschaften als Grundlage für eine schweizweite Kartierung, digitale Erweiterung der Kartierungsmethoden
- 1.2 Praxisorientierte Modellierung und Bewertung der Bodenfunktionen anhand der Bodeneigenschaften
- 1.3 Untersuchung der Rolle der Bodenfunktionen für die Gefahrenprävention, den Gewässerschutz, das Klima und die Land- und Waldwirtschaft

2 Bodenqualität und Bodenbiodiversität

- 2.1 Definition von Referenzwerten und Entwicklung von Indikatoren für die Bodenqualität, insbesondere die Bodenfruchtbarkeit und die Messung des Grades der Bodendegradation
- 2.2 Entwicklung von Kriterien und Entscheidungshilfen für den Einbezug von Bodenqualität in der Raumplanung
- 2.3 Erfassung und Beurteilung des organischen Kohlenstoffgehalts im Boden sowie Untersuchung von dessen Dynamik, auch im Hinblick auf CO₂-Sequestrierungspotenzial und Umsetzung von NET
- 2.4 Erarbeitung von Grundlagen für den Umgang mit landwirtschaftlich genutzten organischen Böden und Entwicklung nachhaltiger Bewirtschaftungsmethoden zur Verminderung der Treibhausgasemissionen
- 2.5 Erarbeitung von Grundlagen für gesellschaftspolitische Entscheide bei Moorböden, z. B. für die Identifizierung von Böden für Aufwertungen
- 2.6 Untersuchung der Auswirkungen von Terrainveränderungen auf die Bodenfruchtbarkeit
- 2.7 Verbesserung des Systemverständnisses der Bodenbiodiversität: Untersuchung der Rolle der verschiedenen Organismen für die Produktivität und andere Bodenfunktionen; Entwicklung von Referenzwerten für die Bodenbiodiversität
- 2.8 Untersuchung des Einflusses von Bodenbelastungen, insbesondere Verdichtung und Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, auf Bodenorganismen und Bodenfruchtbarkeit
- 2.9 Bodenmüdigkeit: Bestimmung der Grenzen der Bodenfruchtbarkeit und der Ernteerträge

3 Bodenbelastungen und alternative Nutzungsmethoden

- 3.1 Abschätzung und Validierung der Erosionsrisiken und Entwicklung von Massnahmen zu deren Vermeidung und der Vollzugsverstärkung
- 3.2 Entwicklung von Methoden zur Messung von Verdichtungen und Abschätzung der Verdichtungsgefährdung
- 3.3 Entwicklung von Methoden zur Erfassung und Beurteilung biologischer Belastungen (gentechnisch veränderte, krankheitserregende oder standortfremde und invasive Lebewesen)
- 3.4 Untersuchung des Umweltverhaltens (Transport und Abbau) von organischen Schadstoffen, Validierung der Modelle durch Feldmessungen sowie Gefährdungs- und Risikoabschätzung im Hinblick auf die Bodenfunktionen
- 3.5 Ermittlung von Belastungswerten für organische und anorganische Schadstoffe für die Aufnahme in gesetzliche Regulative und für den Vollzug
- 3.6 Entwicklung von Innovationen zur nachhaltigen Bodennutzung, Evaluation der Wirkung von entsprechenden Massnahmen
- 3.7 Erarbeitung von Synthesen zur Verbesserung des Systemverständnisses der Ressource Boden, insbesondere bei Mehrfachbelastungen

4 Vom Wissen zum Handeln zur Transformation

- 4.1 Entwicklung von Methoden zur Bestimmung von Ökosystemleistungen und die ökonomische Bewertung von Böden
- 4.2 Entwicklung von Methoden zur Berücksichtigung von Bodenfunktionen und Ökosystemleistungen bei bodenrelevanten Entscheidungen
- 4.3 Forschung anhand des DPSIR-Modells (Ursachen, Belastungen, Zustand, Auswirkungen, Massnahmen): Untersuchung psychologischer, sozialer und ethischer Aspekte, Beantwortung ökonomischer Fragestellungen sowie Untersuchung, wie die Kausalitäten des DPSIR-Modells die Entscheidungsfindung bei bodenrelevanten Themen unterstützen können
- 4.4 Abschätzung der ökologischen, ökonomischen und sozialen Auswirkungen von Bodennutzungsentscheiden im In- und Ausland (Landsysteme)

Forschungsbereich

10 Wasser



Abflussmessung in kleineren Flüssen mit Tracern (Uranin). Hier an der Mera in Soglio (GR)

Bild: BAFU

Ausgangslage und Problemstellung

Flüsse, Seen und Grundwasserleiter sind wichtige Ökosysteme mit grosser natürlicher Vielfalt. Trotz grosser Fortschritte im Gewässerschutz bestehen noch erhebliche Defizite. Sowohl bei der Struktur von Bächen und Flüssen als auch bei der Wasserqualität sind weiterhin grosse Anstrengungen nötig, um einen möglichst naturnahen Zustand zu erreichen. Nur so können diese für die Biodiversität in der Schweiz zentralen Lebensräume die künftigen Herausforderungen des Klimawandels bewältigen.

Eine integrale Wasserwirtschaft fördert die nachhaltige Bewirtschaftung der Gewässer, um ihre natürlichen Funktionen zu erhalten, um sie optimal für Stromproduktion, Wasserversorgung und Bewässerung nutzen zu können und Menschen, Umwelt und Infrastrukturen wirksam vor wasserbedingten Naturgefahren zu schützen. Dazu braucht es eine verbesserte Kenntnis des hydrologischen Gesamtsystems. Die Auswirkungen der Klimaänderung auf die Gewässer und die Wirkung anthropogener Beeinträchtigungen auf die Ökologie und Hydrologie der

Gewässer müssen besser verstanden werden. Es werden Modelle benötigt, um Wasser- und Stoffflüsse zu modellieren und zu prognostizieren.

Für die Revitalisierung der Gewässer und die Minderung negativer ökologischer und hydrologischer Auswirkungen der Wasserkraftnutzung müssen Methoden für die Wirkungskontrolle und ein Monitoring von Renaturierungsmassnahmen erarbeitet werden. Trotz effizienter gesetzgeberischer Instrumente und gutem Ausbaustandard der Kläranlagen sind viele Gewässer mit Nährstoffen und Pestiziden aus der Landwirtschaft oder mit Mikroverunreinigungen aus Haushalten, Gewerbe und Industrie belastet. Bereits in tiefen Konzentrationen können diese negativ auf Wasserlebewesen einwirken oder das Trinkwasser belasten. Die Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen müssen weiter optimiert werden. Kenntnislücken bei der Beurteilung von Stoffeinträgen und deren Effekten auf die Gewässer sollen geschlossen und die Methodik zur Beurteilung der Gewässerqualität vervollständigt werden.

Prioritäre Forschungsthemen 2021 – 2024

1 Hydrologisches Grundverständnis

- 1.1 Untersuchung der Auswirkungen der Klimaveränderung und sozioökonomischer Entwicklungen auf die Gewässer und die Wasserwirtschaft
- 1.2 Verbesserung des Verständnisses hydrologischer Prozesse: Abflussbildung mit dem Schwerpunkt der Entstehung von Niedrigwasser und Hochwasser, Grundwasserneubildung, Interaktion zwischen den verschiedenen Komponenten des Wasserkreislaufs, der Wasserqualität und der Gewässertemperatur
- 1.3 Erarbeitung von Grundlagen und Methoden besonders in den Bereichen Informationen und Daten über den Wasserverbrauch, Einsatzmöglichkeit von Fernerkundung in der Hydrologie, zur Gewinnung von Bodeninformationen für hydrologische Untersuchungsgebiete, für die hydrologische Statistik und für die Zustandsbeurteilung von Einzugsgebieten

2 Gewässermonitoring

- 2.1 Weiterentwicklung von Methoden für Abfluss- und Wasserstandsmonitoring
- 2.2 Optimierung der Methoden für das Monitoring der Wasserqualität sowie der nationalen Messnetze für Grundwasser und Oberflächengewässer

3 Hydrologische Vorhersage

- 3.1 Verbesserung der operationellen Abflussvorhersagen, u. a. durch Erstellung und Integration neuer Grundlagen- und Remotesensing-Daten, Wetterereignisse, Schneeeinformationen und Daten zur Gletscherschmelze
- 3.2 Entwicklung neuer Ansätze und Methoden für eine bessere Vorhersage von lokalen Ereignissen, z. B. für Kurzfristvorhersagen (Nowcasting) oder Sturzfluten
- 3.3 Weiterentwicklung der Vorhersagen für Niedrigwasser, Gewässertemperatur, Bodenfeuchte und Grundwasser

4 Sauberes Wasser/Umweltverhalten und Auswirkungen von Schadstoffen

- 4.1 Situationsanalysen und Modellabschätzungen von Schadstoffen im Wasser und Abwasser als Grundlage für die Entwicklung von Strategien zur Reduktion der Stoffeinträge in die Gewässer

- 4.2 Beurteilung von Stoffeinträgen und deren Auswirkungen aus diffusen und Punktquellen; Untersuchung der Auswirkungen von organischen Stoffeinträgen auf die Ökologie der Gewässer
- 4.3 Weiterentwicklung von Methoden und Indikatoren zur Beurteilung der stofflichen Verunreinigung und des biologischen Zustands von Gewässern und Sedimenten
- 4.4 Verfahrensoptimierung für die Elimination von Spurenstoffen aus dem Abwasser, insbesondere von Industrie und Gewerbe sowie Entwicklung von Methoden für Monitoring, Verbesserung der Ressourceneffizienz sowie Beurteilung der Wirkung von Massnahmen zur Elimination von Spurenstoffen im Abwasser
- 4.5 Untersuchung des Einflusses von Temperaturänderungen und Nährstoffeinträgen auf die Ökologie der Gewässer für die Definition von Grenzwerten
- 4.6 Situationsanalyse im planerischen Grundwasserschutz (Nutzungskonflikte, Defizite, Stoffeinträge, Wärmenutzung) als Grundlage für die Entwicklung von Strategien zur Sicherung der Trinkwasserressourcen vor deren Gefährdung durch menschliche Aktivitäten

5 Nachhaltige Nutzung von Wasser und Gewässern

- 5.1 Entwicklung von Methoden für die Wirkungskontrolle und das Monitoring von Revitalisierungsmassnahmen und von Massnahmen zur Sanierung im Bereich Wasserkraft
- 5.2 Untersuchung der Ursachen-Wirkungsbeziehung zwischen anthropogenen Einflüssen auf Gewässermorphologie, Geschiebehaushalt, Wasserführung sowie Schwall und Sunk und dem Vorkommen aquatischer und terrestrischer Organismen sowie ökologischer Prozesse
- 5.3 Untersuchung des Potenzials der Kälte- und Wärmenutzung in Gewässern und deren Auswirkung auf die aquatische Biodiversität, insbesondere auch im Zusammenhang mit dem Klimawandel

Forschungsbereich

11 Biodiversität



Griffelrose (*Rosa stylosa*) mit Wildbiene.

Bild: BAFU/C. Grosjean-Lomme

Ausgangslage und Problemstellung

Der Zustand der Biodiversität in der Schweiz ist unbefriedigend. Die Hälfte der Lebensräume und Arten sind bedroht und mit dem Rückgang der Artenvielfalt geht auch genetische Vielfalt verloren. Der weltweite Rückgang der Biodiversität bedroht zahlreiche Leistungen der Biodiversität für die Gesellschaft (Ökosystemleistungen), die einen hohen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Wert darstellen. Der andauernde Biodiversitätsverlust stellt somit eine Bedrohung der Existenzgrundlage des Menschen dar. Der Biodiversitätsverlust in der Schweiz folgt aus der Art und Weise, wie wir unsere Ansprüche an Ernährung, Wohnen und Mobilität befriedigen. Die grössten Belastungen für die Biodiversität ergeben sich daher aus der intensiven Landwirtschaft sowie der Ausdehnung der Siedlungs- und Verkehrsflächen, der intensiven Nutzung von Gewässern sowie dem Klimawandel.

Der Handlungsbedarf wurde auf nationaler und internationaler Ebene erkannt. Die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung der UNO anerkennt die Biodiversität als Fundament für eine nachhaltige Entwicklung. Die Biodiver-

sitätskonvention (CBD) verpflichtet die Schweiz, bis 2020 den Lebensraumverlust und das Aussterben von bedrohten Arten zu unterbinden. Mit der Strategie Biodiversität Schweiz SBS (BAFU 2012b) zeigt der Bund auf, wie der Biodiversitätsverlust gestoppt und Ökosystemleistungen erhalten werden sollen. Der Aktionsplan SBS (Bundesrat 2017) fördert Artenschutzmassnahmen, die Schaffung einer ökologischen Infrastruktur und schlägt eine Brücke und nutzt Synergien zwischen der Biodiversitätspolitik des Bundes und anderen Sektoralpolitiken (z. B. Landwirtschaft, Raumplanung, Verkehr). Zudem will er sensibilisieren und Wissen an Stakeholder und Bevölkerung vermitteln.

Die Forschung muss einen Beitrag leisten, damit die verschiedenen Massnahmen zur Erhaltung der Biodiversität effizient und effektiv umgesetzt werden können. Dafür sollen die Schweizer Institutionen der Wissenschaft im Bereich Biodiversität gestärkt werden. Dies insbesondere auch auf Basis inter- und transdisziplinärer Forschungsansätze und einem verstärkten Fokus auf praxisorientierte Fragestellungen. Zentral ist auch Transformationswissen, z. B. wie nachhaltiges Handeln und die Berücksichtigung

von Biodiversität und Ökosystemleistungen bei Entscheidungen erreicht werden können.

Prioritäre Forschungsthemen 2021 – 2024

1 Funktionalität und Veränderung von Ökosystemen

- 1.1 Untersuchung der Anpassungsfähigkeit von Arten und Ökosystemen an veränderte Lebensbedingungen (Klimawandel, Landnutzungsänderungen, Veränderung der Lebensraumqualität, z. B. durch Schadstoffe, Störungen und Zerstückelung)
- 1.2 Untersuchung der Resilienz von Ökosystemen und Bestimmung kritischer Schwellenwerte (tipping points)
- 1.3 Analyse und Bestimmung der wichtigsten Einflussgrößen für die langfristige Sicherstellung von Ökosystemleistungen in Zusammenhang mit Biodiversität

2 Förderung von genetischer Vielfalt, Arten und Lebensräumen

- 2.1 Untersuchungen zur Ökologie und zur genetischen Diversität von Arten
- 2.2 Untersuchungen zur Überlebensfähigkeit und zum Evolutionspotenzial von Populationen und Metapopulationen
- 2.3 Untersuchung des Bedarfs der Populationen bezüglich Lebensraumvernetzung, Entwicklungen von Entscheidungsgrundlagen zu Flächenbedarf, Qualität und Verteilung für den Wiederaufbau der ökologischen Infrastruktur
- 2.4 Identifizierung und Entwicklung von evidenzbasierten Fördermassnahmen für national prioritäre Arten
- 2.5 Entwicklung und Beurteilung evidenzbasierter Praktiken für die Bewirtschaftung von Schutz- und Vernetzungsgebieten, biodiversitätsrelevanten Wald-, Gewässer-, Landwirtschafts- und Siedlungsflächen sowie zur Eindämmung von invasiven gebietsfremden Pflanzen- und Tierarten
- 2.6 Optimierung der Monitoringmethoden für Arten und Lebensräume
- 2.7 Erfolgskontrollen von Massnahmen zur Förderung der Biodiversität

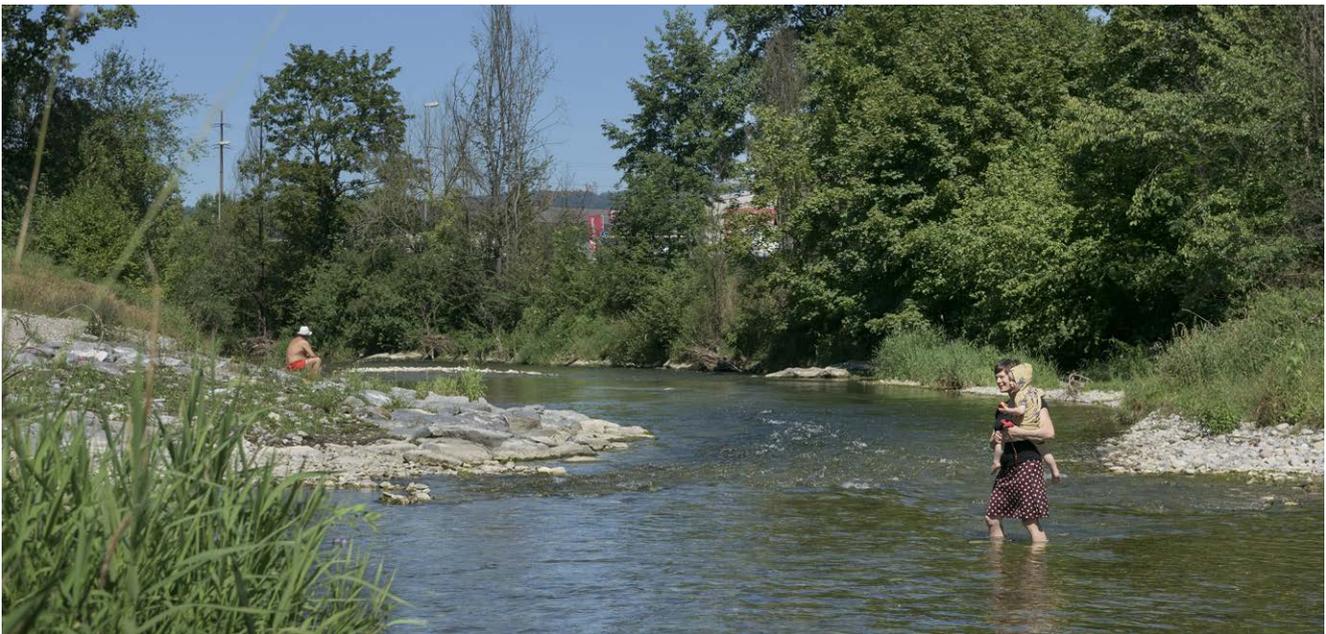
- 2.8 Untersuchungen zum Umgang mit Zielkonflikten, zum Beispiel mit der Landwirtschaft, mit der Gesundheit oder mit dem Freizeitverhalten der Bevölkerung, um die Biodiversität langfristig zu erhalten
- 2.9 Untersuchungen und Entwicklung von Methoden zum Monitoring von Naturwaldreservaten und Sonderwaldreservaten, für nachhaltiges Totholzmanagement und zur Förderung prioritärer Artengruppen (seltene Arten, Insekten, xylobionte Fauna) in Wäldern
- 2.10 Entwicklung von wirkungsvollen Massnahmen zur Förderung der Biodiversität in Siedlungsräumen
- 2.11 Identifikation der Einfuhrwege und Ausbreitung sowie Erarbeitung von Strategien und Methoden zur Kontrolle/Bekämpfung von gebietsfremden und krankheitsübertragende Arten

3 Vom Wissen zum Vollzug

- 3.1 Stärkung der Transformationsforschung, um Handlungswissen betreffend Biodiversität in die Praxis umzusetzen
- 3.2 Entwicklung von Methoden für Dialog und Wissenstransfer zwischen Akteuren sowie zur Motivation ausgewählter Zielgruppen für ein Engagement zu Gunsten der Biodiversität
- 3.3 Weiterentwicklung praxistauglicher Methoden für die Inwertsetzung und Berücksichtigung der Biodiversität und ihrer Ökosystemleistungen bei der Planung
- 3.4 Erarbeitung von Methoden zur Integration sozialer, politischer, ethischer, wirtschaftlicher, rechtlicher und psychologischer Dimensionen in die Entscheidungsfindung (partizipative Prozesse, Gouvernanz) bei biodiversitätsrelevanten Themen
- 3.5 Weiterentwicklung von Indikatoren zu Veränderungen von Zustand und Funktionalität der Biodiversität

Forschungsbereich

12 Landschaft



Eine Frau erfrischt sich am Mittwoch (24.08.16) im Murg Auen Park in Frauenfeld.

Bild: BAFU/Ex-Press, M. Forte

Ausgangslage und Problemstellung

Landschaft umfasst den gesamten Raum, wie die Menschen ihn wahrnehmen und erleben. Sie ist mit ihren natürlichen und kulturellen Werten sowohl räumliche Grundlage des Lebens (siehe Biodiversität) als auch Lebens-, Wohn-, Arbeits-, Erholungs-, Bewegungs-, Kultur- und Wirtschaftsraum für den Menschen. Aufgrund dieser vielfältigen Funktionen erbringt die Landschaft wichtige Leistungen für Wohlbefinden und Wohlfahrt: hochwertige Landschaften fördern Erholung und Gesundheit, stärken die Identität der Bevölkerung, tragen zu einem attraktiven Wirtschaftsstandort Schweiz bei und dienen einer funktionsfähigen Biodiversität. Landschaften sind dynamische Wirkungsgefüge und entwickeln sich aufgrund natürlicher Faktoren und durch die menschliche Nutzung und Gestaltung stetig weiter.

Die Raumentwicklung, die wesentlich von gesellschafts-, finanz- und wirtschaftspolitischen Interessen geprägt wird, beeinflusst die Landschaftsqualität in hohem Masse. Die Schweizer Landschaften sind seit Jahrzehnten einem immer schnelleren Wandel unterworfen: In der Folge

haben Zerschneidung und Zersiedelung der Landschaft zugenommen (BAFU, WSL 2017). Dabei gehen Kulturland, Freiflächen und Erholungsräume, aber auch regionaltypische Landschaftselemente und -strukturen sowie wertvolle Lebensräume für Tiere und Pflanzen verloren. Der Umweltzustandsbericht des Bundesrates von 2018 kommt zum Schluss: Trotz punktueller Verbesserungen wie der Renaturierung der Fliessgewässer und der Verlangsamung negativer Trends wie der Flächeninanspruchnahme pro Person, bleiben die Landschaftsqualitäten der Schweiz unter Druck (Bundesrat 2018). Dies beeinträchtigt die damit verbundenen Leistungen für Gesellschaft und Wirtschaft zunehmend. Die Herausforderungen bleiben daher auch in Zukunft sehr gross.

In der Strategie zur nachhaltigen Entwicklung 2016 – 2019 verpflichtet sich der Bundesrat, die Landschaft unter Wahrung ihres Charakters weiter zu entwickeln und ihre Leistungen dauerhaft zu sichern. Das Landschaftskonzept Schweiz (LKS) legt als Planungsinstrument des Bundes den Rahmen für eine kohärente und qualitätsbasierte Entwicklung der Schweizer Landschaften fest und formuliert behördenverbindliche Ziele. Durch die Überarbei-

tung 2018/19 wurde die Landschaftspolitik stärker mit der Raumplanung verknüpft. Zu den landschaftspolitischen Bestrebungen gehört auch eine qualitätsvolle Siedlungsentwicklung nach innen, welche die Chance bietet, Siedlungsräume hochwertiger zu gestalten.

Forschungsvorhaben, die von einer gesamtheitlichen Betrachtung des Themas Landschaft ausgehen, können einen bedeutenden Beitrag zur Erreichung dieser Ziele leisten. Damit landschaftliche Aspekte bei politischen und raumrelevanten Entscheiden künftig eine Rolle spielen, ist ihre Integration in die raumrelevanten Sektoralpolitiken unabdingbar.

Prioritäre Forschungsthemen 2021 – 2024

1 Landschaftsqualität verstehen und Qualitätsdiskurs fördern

- 1.1 Untersuchung der natürlichen, gesellschaftlichen und ökonomischen Prozesse, die Landschaftsqualität hervorbringen und unterstützen (z. B. im Hinblick auf Zersiedelung, Landnutzungsänderungen, Klimawandel, Energiewende und Digitalisierung) und Entwicklung zielführender Gestaltungs-, Entwicklungs- und Schutzkonzepte
- 1.2 Untersuchungen zur Methodik des Messens und Beurteilens der Qualität von Landschaft inklusive Baukultur, als wissensbasierte Entscheidungsgrundlagen für die Sicherung, Entwicklung und Förderung der Landschaftsqualität
- 1.3 Untersuchungen zur gesellschaftlichen Wahrnehmung und Bewertung der Landschaft im Zusammenhang mit landschaftsrelevanten Megatrends wie Digitalisierung, Klimawandel und demografischer Wandel
- 1.4 Unterstützung der Forschung in Parks von nationaler Bedeutung und in Weltnaturerbestätten

2 Landschaftsleistungen erkennen und dauerhaft sichern

- 2.1 Untersuchung der unterschiedlichen Ansprüche an die Landschaft, Bewertung des Wertes der Landschaft und ihrer Leistungen, Identifikation von Zielkonflikten und Erarbeitung von Strategien zur besseren Anerkennung und Sicherung der Ökosystem- und Landschaftsleistungen durch die vielfältigen Landschaftsakteure
- 2.2 Untersuchung der Potenziale einer hohen Landschaftsqualität für die Erbringung von Ökosystem- und Landschaftsleistungen, insbesondere in den Bereichen «Erholung und Gesundheit», «ästhetischer Genuss», «Identifikation und Vertrautheit» und «Standortattraktivität»
- 2.3 Untersuchung der wirtschaftlichen Effekte von Landschaftsqualität auf Marge und Absatz von Produkten, den Immobilienmarkt, die Regionalökonomie sowie den Wirtschaftsstandort Schweiz
- 2.4 Erarbeitung von methodischen Ansätzen und praxistauglichen Tools zur Erfassung und räumlichen Darstellung der unterschiedlichen Ökosystem- und Landschaftsleistungen zur Unterstützung raumrelevanter Entscheide

3 Landschaftswissen vernetzen, Vollzug stärken und qualitätsorientiert handeln (Gouvernanz)

- 3.1 Erarbeitung und zielgruppengerechtes Aufbereiten praxisrelevanter wissenschaftlicher Grundlagen für die landschaftsrelevanten Entscheide der vielfältigen Landschaftsakteure
- 3.2 Entwicklung von Visualisierungsinstrumenten, welche die gesellschaftliche Debatte zur Werterhaltung der landschaftsrelevanten Qualitäten, Planungen und Entscheiden unterstützen
- 3.3 Untersuchung und zielgruppengerechtes Aufzeigen der Wirkungen privater Entscheidungen auf die Landschaftsqualität

Forschungsbereich

13 Wald und Holz



Für Forschungszwecke nummerierte Fichten (*Picea abies*) im Waldreservat Leihubelwald in Giswil (OW)

Bild: BAFU/M. Bolliger

Ausgangslage und Problemstellung

Rund ein Drittel der Schweizer Landesfläche ist bewaldet, wobei der Wald in seiner Fläche und in seiner räumlichen Verteilung grundsätzlich erhalten werden soll (gemäss Bundesverfassung und Waldgesetzgebung). Der Wald schützt vor Naturgefahren, liefert Holz (als Bau-, Industriestoff und Energieträger; ist Lebensraum für Pflanzen und Tiere, speichert CO₂, bietet Erholungsraum und trägt zur Erhaltung von sauberem Trinkwasser und der landschaftlichen Vielfalt bei. Die Erwartungen an den Schweizer Wald sind entsprechend gross und vielfältig. Gleichzeitig sind die Leistungen, die der Wald erbringt, gefährdet, durch hohe Stickstoffeinträge, Schadorganismen, Sturmereignisse, den Klimawandel sowie durch den Druck auf die Waldfläche, um sie anders zu nutzen.

Mit der Waldpolitik 2020 (BAFU 2013) sorgt der Bundesrat für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung zur Sicherstellung aller Waldleistungen und fördert eine effiziente und innovative Wald- und Holzwirtschaft; sie ist mit den relevanten Politikbereichen (z.B. Biodiversitätsstrategie) abgestimmt. Die Ressourcenpolitik Holz des Bun-

des definiert die Ziele für eine nachhaltige Nutzung und ressourceneffiziente Verwertung der Ressource Holz aus einheimischen Wäldern (BAFU, BFE, SECO 2017). Im Rahmen des Aktionsplans Holz werden u. a. wissenschaftliche Grundlagen dazu erarbeitet. Mit dem Wald- und Holzforschungsfonds wird die Entwicklung innovativer Technologien für eine effizientere Waldbewirtschaftung und zur Verwendung des einheimischen Holzes gefördert.

Im 10-jährigen Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel» wurde der Einfluss des Klimawandels auf die Waldleistungen und Adaptationsmöglichkeiten der schweizerischen Wälder untersucht. Die Ergebnisse des Programms werden seit 2018 bei Bund und Kantonen umgesetzt, vor allem im Rahmen der Jungwaldpflege. Bestehende Wissenslücken werden durch ein langjähriges Projekt (30 – 50 Jahre) mit nationalen Testpflanzungen geschlossen, um weitere Empfehlungen zu resilienten Baumarten geben zu können. Im NFP 66 «Ressource Holz» wurden wissenschaftliche Grundlagen und praxisorientierte Lösungsansätze für eine bessere Bereitstellung und eine breitere Nutzung der Ressource Holz erarbeitet.

Prioritäre Forschungsthemen 2021 – 2024

1 Wald, Holz und Klimawandel

- 1.1 Entwicklung von Adaptationsstrategien und -instrumenten, wie z. B. die Förderung von klimatisch resilienten Baumarten bei der Waldverjüngung
- 1.2 Entwicklung von Massnahmen zur Optimierung der Klimaschutzleistung von Wald und Holz (Mitigation)
- 1.3 Untersuchung der genetischen Vielfalt in Bezug auf das Anpassungspotenzial verschiedener Genotypen und der Auswirkungen invasiver gebietsfremder Arten in Zusammenhang mit dem Klimawandel
- 1.4 Untersuchung der Auswirkungen von anthropogenen Belastungen und Klimawandel auf Schadorganismen und Schadereignisse
- 1.5 Untersuchung von Ausmass und Folgen der Verbissbelastung durch Wild (inkl. Einfluss Grossraubtiere) auf die Baumartenzusammensetzung, die Anpassungsfähigkeit der Wälder und die Sicherstellung aller Waldleistungen
- 1.6 Untersuchung von Klimaschutzeffekten der Waldbewirtschaftung und Holzverwendung

2 Holznutzung und Waldwirtschaft

- 2.1 Untersuchungen zur Effizienzsteigerung bei der Holzernte und zu den Auswirkungen der Holzernte auf die Nährstoffverfügbarkeit in Waldböden
- 2.2 Untersuchungen zur ressourceneffizienten Nutzung, Verwertung und Anwendung von Holz, insbesondere Lebenszyklusbetrachtungen, verdichtetes Bauen mit Holz, stoffliche, energetische und chemische Holzverwertung (insb. Bioprodukte), Holzhandelsregulierung und Deklarationspflicht, Brandschutz, Schallschutz und Holzschutz insbesondere im mehrgeschossigen Holzbau
- 2.3 Entwicklung innovativer Technologien zur Verarbeitung und Verwendung des einheimischen Holzes, insbesondere auch des Laubholzes
- 2.4 Entwicklungen von Strategien in neuen Bereichen wie Bioökonomie, Kaskadennutzung und Kreislaufwirtschaft von Holz
- 2.5 Überprüfung von Instrumenten (z. B. regulatorische Lücken oder Hindernisse) und Erarbeitung von Massnahmen zur Optimierung der Waldwirtschaft und der Holzverarbeitung
- 2.6 Weiterentwicklung von Indikatoren zur Verbesserung des waldökonomischen Monitorings und des Monitorings von Holz insbesondere vom Schweizer Holz

3 Waldschutz und Waldgesundheit

- 3.1 Untersuchung der abiotischen Gefahren (Klimaxtreme, Waldbrand, Trockenheit, Sturm, Spätfröste, Schneebruch, Schadstoffbelastungen) für einen verbesserten Waldschutz
- 3.2 Untersuchung der Auswirkung von Stickstoff- und Ozonbelastung auf Waldbestände und Holz
- 3.3 Untersuchung der Biologie, des Schadenspotenzials, der Ausbreitungsmechanismen, der Bekämpfungs-, Diagnostik- und Überwachungsmethoden von walddrelevanten Schadorganismen
- 3.4 Untersuchungen von Kombinationseffekten von biotischen und abiotischen Einwirkungen auf die Waldgesundheit

4 Sicherstellung der Waldleistungen

- 4.1 Entwicklung von Methoden und Durchführung einer Erhebung eines soziokulturellen Waldmonitorings
- 4.2 Umsetzung der geforderten Untersuchungen in der Strategie Freizeit und Erholung im Wald
- 4.3 Forschung zur Unterstützung einer Waldbewirtschaftungsform (Waldbau), welche die Leistungen des Waldökosystems garantiert
- 4.4 Erforschung eines Managements zur Sicherstellung von Ökosystemleistungen durch Bäume in Städten (urban forestry)
- 4.5 Monetäre Bewertung von Waldökosystemleistungen
- 4.6 Untersuchung des Einflusses des Waldes auf die menschliche Gesundheit

5 Entwicklung der Waldflächen

- 5.1 Analyse des Beitrags des Waldes an eine optimale Raum- und Flächennutzung (inkl. Siedlungs- und Landschaftsplanung)
- 5.2 Untersuchungen zu sektorenübergreifenden Entwicklungen auf den Wald und seine Leistungen sowie Analyse bestehender und möglicher neuer Instrumente und Massnahmen (z. B. Outlookstudie)
- 5.3 Untersuchung von Zielkonflikten und Synergien mit verschiedenen walddrelevanten Bereichen (z. B. Landwirtschaft, Klima und CO₂-Speicherung, Biodiversität, Raumplanung, Naturgefahren, Erholung, Holznutzung, Wasser) und den Einfluss von Entscheidungen anderer Politikbereiche auf den Wald

Forschungsbereich

14 Abfall- und Rohstoffmanagement



Entsorgung von Aluminiumdosen bei Gotthard Schnyder AG

Bild: BAFU/Ex-Press, E. Ammon

Ausgangslage und Problemstellung

Die Abfallwirtschaft der Schweiz ist ein gut funktionierendes Gesamtsystem, das in Zusammenarbeit mit allen öffentlichen und privaten Akteuren bedeutende Verbesserungen im Umweltschutz und in der Ressourcenpolitik erzielen konnte. Ein grosses Gewicht wird auf die stoffliche Verwertung gelegt und das Verursacherprinzip konnte weitgehend umgesetzt werden. Dennoch fallen in der Schweiz jährlich rund 80 bis 90 Millionen Tonnen Abfall an. Den grössten Anteil machen unverschmutzte Aushub- und Ausbruchmaterialien sowie Rückbaumaterialien aus. Mit rund 700 kg Siedlungsabfall pro Person und Jahr gehört die Schweiz im internationalen Vergleich zu den Spitzenreitern bezüglich Siedlungsabfallaufkommen. Ohne Entkopplung von Konsum und Abfallaufkommen werden die Abfallmengen weiter zunehmen. Angesichts der hohen Umweltbelastung durch den steigenden Konsum sollen Abfallvermeidungsstrategien und Konzepte zur Optimierung der Kreislaufwirtschaft entwickelt werden. Problematisch sind zudem Abfälle, die unsachgemäss entsorgt werden und in der Umwelt landen (Littering, Falschentsorgung z. B. via Abwasser und illegale Ablagerung).

Neben der Beibehaltung von hohen Standards einer umweltgerechten Abfallbehandlung und bei der Emissionsbegrenzung von Schadstoffen in Luft, Boden und Wasser, beinhalten die Ziele der zukünftigen Abfall- und Rohstoffpolitik die Vermeidung von Abfällen und die Schliessung noch offener Stoffkreisläufe durch Recycling oder Rückgewinnung von Wertstoffen bei gleichzeitiger Ausschleusung von Schadstoffen. Durch den vermehrten Einsatz von rezyklierten Materialien und Sekundärrohstoffen, insbesondere auch im Bausektor, können natürliche Primärressourcen der Erde nachhaltig geschont und das Abfallaufkommen gesenkt werden. Dies erfordert neue wissenschaftliche Grundlagen, z. B. über Stoffströme, Methoden zur Rückgewinnung von Rohstoffen oder Einsatzmöglichkeiten von Sekundärrohstoffen. Massnahmen zur nachhaltigen Nutzung von biogenen Abfällen oder zur Vermeidung von Abfällen, insbesondere von Lebensmittelabfällen, sollen entwickelt werden. Auch die Digitalisierung bietet in der Kreislaufwirtschaft neue Möglichkeiten. Die Potenziale im Bereich Abfall- und Rohstoffmanagement sollen deshalb untersucht werden.

Prioritäre Forschungsthemen 2021 – 2024

1 Abfallbehandlung und Recycling

- 1.1 Weiterentwicklung von Technologien zur Rückgewinnung von Wertstoffen aus Rückständen der Abfallverbrennung mit gleichzeitiger Auskopplung von Schadstoffen
- 1.2 Optimierung der Verwertung von separat gesammelten Abfällen
- 1.3 Erfassung von standardisierten Daten über die Belastung der Umweltkompartimente durch Kunststoffe. Forschung über die konkreten Auswirkungen von Makro- und insbesondere Mikroplastik auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit
- 1.4 Entwicklung von Verfahren zur optimalen Nutzung und Recycling von seltenen Metallen, inkl. Rückgewinnung aus Abfall und Verwertungsverfahren; insbesondere aus Elektronikschrott und Batterien
- 1.5 Entwicklung von Strategien, Massnahmen und Evaluation von Technologien zur Rückgewinnung von Phosphor und Stickstoff sowie Untersuchung der Rahmenbedingungen für die erfolgreiche Umsetzung; Entwicklung einer neuen Düngerkategorie für mineralische Recyclingdünger
- 1.6 Weiterentwicklung der Umweltanalytik im Bereich Abfall (z. B. Mikroplastik in Böden)
- 1.7 Entwicklung von Massnahmen für den umweltgerechten Umgang mit Asbest- oder quecksilberhaltigen Abfällen
- 1.8 Verfahrensentwicklung zur umweltverträglichen Entsorgung von speziellen Abfällen (z. B. Nanomaterialien, Carbonfaser-Verbundstoffe etc.)

2 Nachhaltige Nutzung von biogenen Abfällen

- 2.1 Entwicklung von Strategien und Massnahmen für die optimale stoffliche und energetische Nutzung von biogenen Abfällen, inkl. Lebensmittelabfällen
- 2.2 Weiterentwicklung von Technologien zur Rückgewinnung von Nährstoffen aus biogenen Abfällen

3 Verwendung von Recyclingbaustoffen und Deponien der Zukunft

- 3.1 Entwicklung von Strategien und Massnahmen für die Vermeidung von und den nachhaltigen Umgang mit Bauabfällen und Aushubmaterialien
- 3.2 Weiterentwicklung von Technologien zur Probenahme, Analyse und Aufbereitung von Bauabfällen

- 3.3 Entwicklung von Strategien und Massnahmen zur Weiterentwicklung des Standes der Technik von Abfallbehandlungsanlagen (z. B. Deponie der Zukunft)
- 3.4 Abschätzung des Potenzials zur Gewinnung nutzbarer Rohstoffe aus Deponien mit alten Siedlungsabfällen (Landfill Mining)
- 3.5 Bereitstellen von Kenntnissen für die Entwicklung von Strategien und Massnahmen zur Reduktion des Gefahrenpotenzials und Kostensenkung von Deponien

4 Ressourceneffizienz und nachhaltige Rohstoffnutzung

- 4.1 Erarbeitung von Strategien und Massnahmen zur Sicherstellung der Versorgung der Schweiz mit nichtenergetischen mineralischen Rohstoffen
- 4.2 Ermittlung der Potenziale der Digitalisierung in der Abfallwirtschaft im Hinblick auf eine Optimierung der Kreislaufwirtschaft insbesondere bei Bau und Mobilitätsinfrastruktur
- 4.3 Erarbeitung von Indikatoren im Bereich Abfall (inkl. illegal entsorgte Abfälle), Recycling und Ressourceneffizienz und Entwicklung von Methoden zur effizienten Erfassung von Stoffflüssen
- 4.4 Entwicklung von Strategien und Massnahmen zur Förderung der Akzeptanz und dem vermehrten Einsatz von Sekundärrohstoffen im Hoch- und Tiefbau
- 4.5 Untersuchung der Handlungsfelder und Instrumente zur Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen und in der Ernährung

5 Littering und Abfallvermeidung

- 5.1 Vergleichsstudien über die Wirksamkeit und Effizienz verschiedener Instrumente und Massnahmen zur Bekämpfung und Eindämmung des Litterings und von Falschentsorgungen
- 5.2 Erarbeitung von Grundlagen zur Entwicklung geeigneter Massnahmen für die Umsetzung der Abfallvermeidungsstrategie
- 5.3 Messung der Abfallmengen, die in die Umwelt gelangen, und Entwicklung international abgestimmter Messmethoden und Indikatoren

Forschungsbereich

15 Chemikalien



Unkrautbekämpfung bei den SBB

Bild: BAFU/Ex-Press, E. Ammon

Ausgangslage und Problemstellung

Rund 100 000 chemische Stoffe werden kommerziell genutzt. Davon haben einige Tausend gefährliche Eigenschaften und ein paar Hundert werden als besonders besorgniserregend beurteilt und müssen nach Möglichkeit durch weniger gefährliche Stoffe substituiert werden. Der Bund hat gemäss Bundesverfassung die Pflicht, die Umwelt und die Gesundheit von Menschen zu schützen. Um dieser Pflicht nachzukommen, hat der Gesetzgeber Anforderungen an den Umgang mit Chemikalien auf Gesetzes- und Verordnungsstufe geregelt. Für die Umsetzung der rechtlichen Anforderungen haben die fünf am Bundesvollzug des Chemikalienrechts beteiligten Bundesstellen eine gemeinsame Strategie Chemikaliensicherheit erarbeitet (BAG, BLV, BAFU, BLW und SECO, 2017). Über die Gewährleistung der Sicherheit im Umgang mit Chemikalien im engeren Sinne hinaus soll die Anwendung der Grundsätze der *Grünen Chemie* (oder der *nachhaltigen Chemie*) über den ganzen Lebenszyklus einer Chemikalie verbessert werden. Bei der Herstellung und Nutzung chemischer Stoffe und damit hergestellter Produkte sollen die Umwelt und Ressourcen geschont und weniger umwelt-

gefährliche chemische Verbindungen eingesetzt werden. Gleichzeitig sollen die verwendeten Verbindungen wieder vollständig in den Stoffkreislauf zurückgeführt und Prozesse mit geringem Energieaufwand eingesetzt werden.

Die gefährlichen Eigenschaften von Chemikalien und die Risiken beim Umgang mit chemischen Produkten müssen von den Herstellern abgeklärt und bewertet werden. Biozide und Pflanzenschutzmittel gelangen auch bei bestimmungsgemässer Verwendung in die Umwelt und unterliegen aus diesem Grund einem Zulassungsverfahren. Selbst wenn die Anforderungen für das Inverkehrbringen von Chemikalien erfüllt sind, können einzelne Stoffe ein Gefährdungspotenzial für die Umwelt und dadurch für die menschliche Gesundheit darstellen. Dies gilt insbesondere für persistente, bioakkumulierbare und toxische Stoffe, endokrine Disruptoren sowie Wirkstoffe, die bereits bei sehr tiefen Konzentrationen in der Umwelt schädliche Effekte auf Organismen zeigen.

Bei Industriechemikalien, Bioziden und Pflanzenschutzmitteln besteht generell ein Forschungsbedarf über die Einträge in die Umwelt, das Vorkommen in und die Ver-

teilung zwischen Umweltkompartimenten, die Exposition von Organismen, die zeitlichen Trends, die physikalisch-chemischen Eigenschaften sowie die ökotoxikologischen Auswirkungen. Noch relativ wenig bekannt ist die Kombinationswirkung mehrerer Stoffe auf Organismen oder Ökosysteme. Für Nanomaterialien bestehen Kenntnislücken bezüglich der langfristigen Auswirkungen in der Umwelt sowie bei den Prüf- und Analysemethoden. Als Grundlage für den nachhaltigen Einsatz von Bioziden ist ein ganzheitliches Konzept anzustreben, wobei es noch Wissenslücken bezüglich alternativer Bekämpfung- und Schutzmöglichkeiten gibt. Der «Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln» (Bundesrat, 2017) enthält mehrere Massnahmen zu Forschungsthemen, für die jeweils Agroscope und weitere in der landwirtschaftlichen Forschung tätige Institute zuständig sind. Darunter sind die Entwicklung von Alternativen zum chemischen Pflanzenschutz, die Weiterentwicklung des integrierten Pflanzenschutzes und die Weiterentwicklung der Risikobeurteilung für terrestrische Nichtzielorganismen.

Prioritäre Forschungsthemen 2021 – 2024

- 1 Eintrag in die Umwelt, Abbaubarkeit und Umweltverteilung von Industriechemikalien, Bioziden, Pflanzenschutzmitteln**
 - 1.1 Schliessen von Wissenslücken im Bereich Exposition und Umweltverhalten von Wirkstoffen von Bioziden und Pflanzenschutzmitteln (PSM), Untersuchung der Möglichkeiten der Risikominderung im Rahmen des Aktionsplans Pflanzenschutzmittel
 - 1.2 Untersuchung der Quellen und Trends der Emissionen und Immissionen von Quecksilber (Hg) in der Schweiz, Schliessen von Kenntnislücken zum Vorkommen von Hg in der Umwelt und zur Anreicherung in Nahrungsnetzen
 - 1.3 Untersuchung des Vorkommens von per- und polyfluorierten Stoffen in Produkten und in der Umwelt
 - 1.4 Ermittlung von Konzentrationen und zeitlichen Trends für persistente organische Schadstoffe (POP), Schwermetalle und ähnlich besorgniserregende Stoffe in Material- und Umweltproben sowie in Abfällen
- 2 Methodenentwicklung, Messung und Modellierung**
 - 2.1 Entwicklung von Messmethoden und Verbreitungsmodellen für Quecksilber (Hg)
 - 2.2 Entwicklung von Analysemethoden und Messungen des Vorkommens komplex zusammengesetzter Stoffe und Stoffgemische wie Chlorparaffine und polyfluorierte Alkylverbindungen in der Umwelt
 - 2.3 Modellierung der Quellstärke von ausgewählten Stoffen und Elementen
 - 2.4 Untersuchung von Transformationsprozessen von Stoffen in der Umwelt und in Materialien
 - 2.5 Untersuchung des Migrationsverhaltens von Stoffen und Nebenprodukte aus Materialien
 - 2.6 Entwicklung von Methoden zur Bestimmung der Eigenschaften von Nanomaterialien sowie des Verhaltens von Nanopartikeln in der Umwelt und in Entsorgungsanlagen
 - 2.7 Untersuchung des Vorkommens von Kältemitteln oder deren Abbauprodukte in der Umwelt einschliesslich der Analyse von Möglichkeiten der Emissionsminderung von Kältemitteln
 - 2.8 Weiterentwicklung bestehender Testmethoden für Chemikalien für deren Anwendung auf Nanomaterialien
- 3 Ökotoxikologische Auswirkungen von Industriechemikalien, Bioziden und Pflanzenschutzmitteln**
 - 3.1 Untersuchung der ökotoxikologischen Wirkung von PSM und Biozidprodukten resp. deren Wirkstoffen auf Organismen und Zellkulturen
 - 3.2 Untersuchung hormonaktiver Wirkungen bestimmter Stoffe
 - 3.3 Entwicklung von neuen und Weiterentwicklung von bestehenden ökotoxikologischen Testmethoden
 - 3.4 Weiterentwicklung von Strategien für die Risikobewertung von Industriechemikalien, Bioziden und PSM, inkl. der Berücksichtigung von kombinierten Effekten und Chemikalien ohne gesetzliche Grenzwerte
 - 3.5 Entwicklung von Grundlagen und Prinzipien für eine nachhaltige Chemie zur Planung, Herstellung und Verwendung von effizienten, wirksamen, sicheren und umweltverträglichen chemischen Produkten und Prozessen

Forschungsbereich

16 Biosicherheit



Ein Forscher führt Experimenten unter einer Laborkapelle durch

Bild: Ex-Press, H. Grasser

Ausgangslage und Problemstellung

In der Schweiz wird rege mit gentechnisch veränderten, pathogenen oder gebietsfremden Organismen geforscht. Neue Biotechnologien und die Verwendung von Organismen und biologischen Systemen weisen ein grosses und vielfältiges Anwendungspotenzial auf. Die technologische Entwicklung führt zu einer vermehrten Verwendung von gentechnisch veränderten Organismen (GVO), pathogenen Organismen und gebietsfremden Organismen (Neobiota). Seit 2012 entwickeln sich die neuen gentechnischen Verfahren, die zum Ziel haben bestimmte Merkmale in Organismen einzufügen oder synthetisch biologische Systeme aufzubauen («Synthetische Biologie»), rasant; so z. B. in der Pharmazie, in medizinischen und industriellen Bereichen oder bei der Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln. Eine unkontrollierte Verbreitung von solchen Organismen ist unerwünscht, weil damit die menschliche Gesundheit, die Umwelt und dabei die Biodiversität im Besonderen oder im Falle von GMO die gesellschaftlich erwünschte gentechnikfreie Produktion gefährdet werden können.

Die Herausforderung besteht darin, mögliche Risiken im Voraus zu erkennen, zu beurteilen und Massnahmen zur Begrenzung der Risiken zu ergreifen, um die Biosicherheit in einem sich ständig ändernden und multidimensionalen Kontext zu gewährleisten. Die rasante Entwicklung der Wissenschaft, der Technologien, die Vielfalt der gentechnisch veränderten, pathogenen und gebietsfremden Organismen sowie von allen Arten von biologisch aktivem Material stellt eine Herausforderung insbesondere an die Risikobewertung dar. Der internationale Warenaustausch und Verkehr begünstigen die Verbreitung von Organismen. Die Entwicklung hin zu einem geringeren Einsatz von Chemikalien wie Bioziden oder Pflanzenschutzmitteln in der Umwelt führt zur Entwicklung von Organismen (Bakterien, Viren, Insekten), die in der Schädlingsbekämpfung eingesetzt werden sollen. Dies kann zu einer Gefährdung der einheimischen Biodiversität führen. Zusätzlich kann der Klimawandel diese Entwicklung noch beschleunigen.

Aufgrund fehlender Langzeiterfahrungen und der Anwendung von biologischen Systemen und Organismen in immer mehr Bereichen ist es nicht möglich einzuschätzen, wie sich die zunehmende Verbreitung der Bio- und

Gentechnologie langfristig auf die Umwelt, die menschliche Gesundheit, die biologische Vielfalt und die Verkleinerung des Genpools der Wildpopulationen auswirken wird. Entsprechende Forschungsgrundlagen müssen deshalb weiterhin erarbeitet werden. Indikatoren und Methoden zur Überwachung und Kontrolle sowie Kriterien zur Evaluation der Risiken müssen entwickelt werden, um nachhaltig wirksame Bekämpfungs- und Kontrollmassnahmen ergreifen zu können. Die erforschten Grundlagen helfen, den Umweltrisiken in allen Sektoren besser Rechnung zu tragen und sie fallweise zu kontrollieren.

Prioritäre Forschungsthemen 2021 – 2024

1 Einfuhr, Ausbreitung und Einsatz von pathogenen und gebietsfremden Organismen

- 1.1 Entwicklungen von Kriterien und Risikoszenarien zur Bewertung der Umweltrisiken einer Freisetzung von pathogenen und gebietsfremden Organismen (Viren, Bakterien, Parasiten, Pilze)
- 1.2 Entwicklungen von Kriterien und Risikoszenarien zur Bewertung der Umweltrisiken von Organismen, die in der biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzt werden
- 1.3 Entwicklungen von Kriterien und Risikoszenarios zur Bewertung der Umweltrisiken von Organismen, die für die Bioremediation oder in der biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzt werden
- 1.4 Entwicklung von Methoden zum direkten Nachweis, Quantifizierung und Überwachung von pathogenen Organismen sowie gebietsfremden Organismen

2 Gentechnisch veränderte Organismen (GVO)

- 2.1 Weiterentwicklung von Methoden zur Überwachung (Monitoring) von unerwünscht freigesetzten GVO in der Umwelt
- 2.2 Entwicklung von Evaluationskriterien, neuen Standards und Risikoszenarien für die Risikobeurteilung von Organismen aus neuen gentechnischen Verfahren, Züchtungstechnologien sowie von synthetischen Organismen

- 2.3 Entwicklung von Kriterien zur Risikoevaluation von GVO für neue Verwendungen, ausserhalb des Nahrungsmittelbereichs (Gene Drive, Schädlingsbekämpfung, Bekämpfung von Invasiven) sowie deren Nachweismethodik

3 Früherkennung von neuen, potenziellen Risiken

- 3.1 Horizon Scanning: Evaluation der wissenschaftlichen Entwicklungen, auch in anderen Bereichen wie der Human und Tiermedizin (Gentherapien) um abzuschätzen, in welchen Bereichen neue Technologien und Anwendungen entstehen und welche Anwendungen eine Exposition der Umwelt bedeuten, um neue, potenzielle Risiken im Sinne einer Früherkennung zu identifizieren

Forschungsbereich

17 Eindämmung und Bewältigung Klimawandel



Klimaschutz Demonstration in Bern, 28. September 2019

Bild: Keystone, A. Anex

Ausgangslage und Problemstellung

Der globale Klimawandel betrifft die Schweiz überdurchschnittlich stark. Während die globale Durchschnittstemperatur seit 1850 um 1 °C zugenommen hat, hat sich das Klima in der Schweiz um 2 °C erwärmt. Verantwortlich für den weltweiten Temperaturanstieg sind die Treibhausgasemissionen. Die Auswirkungen des Klimawandels werden regional sehr verschieden ausfallen. Als Alpenland ist die Schweiz besonders von den negativen Folgen des Klimawandels betroffen. Neben der vordringlichen Begrenzung der Treibhausgasemissionen ist es zentral, dass sich Gesellschaft und Wirtschaft dem Klimawandel anpassen und die Anpassungsfähigkeit der natürlichen Systeme erhalten und gefördert wird.

Die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung der UNO fordert die Staaten auf, Klimaschutzmassnahmen in ihren nationalen Politiken einzubeziehen. Mit der Ratifizierung des Übereinkommens von Paris hat sich die

Schweiz erklärt, die Treibhausgasemissionen bis 2030 um 50 % gegenüber 1990 zu senken. Die weiteren Ziele des Übereinkommens von Paris betreffen die Steigerung der Fähigkeit zur Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels und die Vereinbarkeit der Finanzströme mit einer Entwicklung hin zu niedrigen Treibhausgasemissionen.

Kernstück der inländischen Umsetzung ist das CO₂-Gesetz. Der Aktionsplan des Bundesrates zur Anpassung an den Klimawandel zeigt auf, wie die Schweiz ihre Anpassungsziele erreichen will. Es sollen auch Grundlagen erarbeitet werden, wie Finanzflüsse hinsichtlich ihrer «Klimaverträglichkeit» beurteilt und optimiert werden können.

In der Schweiz stehen mit den Klimaszenarien CH2018 aktuellste Forschungsergebnisse auf lokaler Ebene vor. Das sozio-ökonomische System- und Handlungswissen hingegen ist für eine Anwendung in der Schweiz noch weiter zu entwickeln. Ähnliches gilt für den Umgang mit Unsicherheiten und die Untersuchung von Zielkonflikten und

Synergien sowie sektorenübergreifender Auswirkungen. Letztere werden im Rahmen des National Centre for Climate Service (NCCS) untersucht und koordiniert. Zunehmend wichtiger werden in den Klimamodellannahmen die Möglichkeiten, CO₂ aus der Atmosphäre zu entziehen. Vor einer Umsetzung als klimapolitische Massnahme müssen die Chancen und Risiken dieser sogenannten negativen Emissionstechnologien jedoch noch eingehend untersucht und eine nationale wie internationale Gouvernanz entwickelt werden.

Prioritäre Forschungsthemen 2021 – 2024

1 Eindämmung Klimawandel (Mitigation)

- 1.1 Wirkungsanalyse von bestehenden und zukünftigen Massnahmen zur Emissionsminderung in der Schweiz
- 1.2 Übertragung der Erkenntnisse der globalen Zukunftsszenarien des IPCC (Shared Socioeconomic Pathways (SSP) und Representative Concentration Pathways [RCP]) auf die Schweiz und Ableitung möglicher sozio-ökonomischer und gesellschaftlicher Veränderungen für die Schweiz
- 1.3 Entwicklung von gesellschaftspolitischen Szenarien für die Bestimmung des optimalen Massnahmenportfolios zur Eindämmung des Klimawandels
- 1.4 Entwicklung neuer Instrumente zur Eindämmung des Klimawandels nach 2030 basierend auf der Evaluation des bestehenden Instrumentariums
- 1.5 Untersuchung der Wirkung der Finanzflüsse auf den Klimawandel
- 1.6 Untersuchung von Synergien und Zielkonflikten der Klimapolitik mit anderen Bereichen (z. B. Land-, Wald- und Wasserwirtschaft, Naturgefahren, Biodiversität) und des Einflusses von Entscheidungen anderer Politikbereiche auf das Klima
- 1.7 Untersuchung der Potenziale, der Risiken, der Kosten sowie der ökologischen Auswirkungen von negativen Emissionstechnologien sowie ihrer möglichen Rolle in der zukünftigen Schweizer Klimapolitik
- 1.8 Analyse der öffentlichen Wahrnehmung und gesellschaftlichen Akzeptanz von negativen Emissionstechnologien

- 1.9 Erforschung der geeigneten Rahmenbedingungen und notwendigen nationalen und internationalen Regulierungen von negativen Emissionstechnologien (Gouvernanz)
- 1.10 Naturwissenschaftliche Untersuchungen und Weiterentwicklung von Methoden und Modellen zur Quantifizierung von Treibhausgasemissionen auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalen
- 1.11 Untersuchung von Fragen zur Ethik, Gouvernanz, Akzeptanz, sowie möglicher Auswirkungen von Forschungsprojekten zur Beeinflussung der Sonnenstrahlung (Solar Radiation Management, SRM)

2 Auswirkungen des Klimawandels (Impacts)

- 2.1 Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen
- 2.2 Untersuchung der Auswirkungen von kombinierten Effekten klimatischer Extremereignisse und deren Auswirkungen, sowie der gesamten Wirkungskette (z. B. vom auftauenden Permafrost zur Siedlungsplanung)
- 2.3 Analyse der indirekten Auswirkungen des globalen Klimawandels auf die Schweiz
- 2.4 Entwicklung von Methoden zum Umgang mit Unsicherheiten in der Rechtssetzung, der Politik und der Kommunikation

3 Bewältigung Klimawandel (Adaptation)

- 3.1 Ermittlung der ökonomischen Auswirkungen der Bewältigung des Klimawandels: Bestimmung der Folgekosten des Klimawandels, der Vermeidungskosten und der Anpassungskosten für verschiedene Absenkpfade und Anpassungsstrategien. Ermittlung der Kosten des Nichthandelns (cost of inaction)
- 3.2 Studien zur Anpassungskapazität und -fähigkeit und Resilienz der Gesellschaft (Hindernisse bezüglich Motivation, Wissen, Finanzen, politischem Willen)
- 3.3 Untersuchung der sektorspezifischen Auswirkungen und Erarbeitung von Grundlagen zur Anpassung an den Klimawandel auf kantonaler, regionaler und kommunaler Ebene, wissenschaftliche Evaluation der Projekte des Pilotprogramms «Anpassung an den Klimawandel»

Forschungsbereich

18 Umgang mit Naturgefahren und technischen Risiken



Bergsturz im Dorf Bondo (GR), 12. September 2017

Bild: Keystone, G. Ehrenzeller

Ausgangslage und Problemstellung

Die Schweiz hat aus vergangenen Natur- und Störfallereignissen gelernt. Der Umgang mit Naturgefahren und technischen Risiken ist auf hohem Niveau, doch er bleibt eine Daueraufgabe. Neue Herausforderungen kommen hinzu, weil der Klimawandel sowie die Siedlungsentwicklung und die zunehmende Nutzungsdichte die Risiken erhöhen. Aufwendige Schutzbauten alleine können die Schäden nicht verhindern. Raumplanerische Massnahmen und die Zusammenarbeit zwischen öffentlicher Hand und Privaten gewinnen deshalb an Bedeutung.

Der Schutz von Menschen und hohen Sachwerten vor Naturgefahren und Störfallrisiken erfordert ein integrales Risikomanagement, welches alle Naturgefahren berücksichtigt, alle relevanten Akteure beteiligt und alle Dimensionen der Nachhaltigkeit einbezieht. Mit geeigneten Massnahmen können künftige inakzeptable Risiken gemieden, bestehende Risiken auf ein akzeptables Mass

gemindert und akzeptable Risiken solidarisch getragen werden. Ein aktiver Risikodialog ist Voraussetzung für die Akzeptanz von Massnahmen und der verbleibenden Risiken. Das integrale Risikomanagement stützt sich auf umfassende Gefahren- und Risikogrundlagen. Dies fordert auch die Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT in der Strategie 2018 «Umgang mit Risiken aus Naturgefahren» (PLANAT 2018).

Um anpassungsfähig zu sein, müssen Veränderungen und Entwicklungen frühzeitig erfasst werden. Forschung zu Ablauf und Auswirkung von Gefahrenprozessen, zur Wirkung von Massnahmen und insbesondere zu gesellschaftlichen und ökonomischen Auswirkungen von Naturereignissen und Störfällen schliesst erkannte Lücken. Eine praxis- und umsetzungsorientierte Forschung soll den Umgang mit Naturgefahren und Störfallrisiken weiter verbessern, unter Berücksichtigung von Umweltaspekten, Klimaänderung und Siedlungsverdichtung. Ausserdem stellen sich Fragen im Bereich der risikobasierten Raum-

nutzung, der Risikowahrnehmung und -kommunikation, bezüglich der rechtlichen Aspekte sowie bei der Früherkennung von Chancen und Risiken zur Verbesserung der Gefahrenprävention.

Prioritäre Forschungsthemen 2021 – 2024

1 Gefahren und Risiken umfassend kennen

- 1.1 Erarbeitung von fehlenden Grundlagenkenntnissen (z. B. Seitenerosion bei Gewässern, Hangmuren, Steinschlag, Gleitschneelawinen, Tsunami, Interaktionen mit dem Klimawandel)
- 1.2 Methoden zur Erfassung von Gefahrenprozessen, indirekten Schäden, Feststoff- und Schwemmholtztransport sowie zur Abschätzung künftiger Naturgefahren und Extremereignisse als Folge des Klimawandels
- 1.3 Entwicklung einer Methodik für Risikoübersichten auf unterschiedlichen räumlichen Skalen
- 1.4 Untersuchung des Einflusses des Klimawandels auf die Risikolandschaft in der Schweiz sowie Analyse von Kombination und Ketten von verschiedenen Prozessen mit unerwarteten Folgen
- 1.5 Erarbeitung von Grundlagen zur Quantifizierung der Verletzbarkeit und Risiken für Infrastruktursysteme bei Erdbeben und gravitativen Naturgefahren

2 Ereignisse frühzeitig erkennen

- 2.1 Untersuchung der Niederschlagsschwellenwerte und vertiefte Analyse der Disposition zu Hangprozessen
- 2.2 Verbesserung der Extremwertstatistiken
- 2.3 Verbesserung der Vorhersage und Früherkennung von Naturgefahren

3 Massnahmen ganzheitlich und überlastbar planen

- 3.1 Entwicklung von Methoden zur Evaluation von Handlungsoptionen im integralen Risikomanagement
- 3.2 Entwicklung von neuen Instrumenten für eine risikobasierte Raumnutzung und deren praktische Umsetzung in der Raumplanung
- 3.3 Analyse ökologischer Aspekte bei der Realisierung von Schutzmassnahmen; Wald-Wild-Problematisierung in Bezug auf die Schutzfunktion des Waldes

- 3.4 Entwicklung von Methoden zur Beurteilung bestehender Schutzbauten und von robusten Schutzsystemen, Erarbeitung von Modellen für dynamische Einwirkungen

4 Risikodialog und gesellschaftliche Auswirkungen

- 4.1 Untersuchung der sozialwissenschaftlichen Komponente in der Risikowahrnehmung und -kommunikation, Erforschung der Akzeptanz von Massnahmen
- 4.2 Kosten-Nutzen-Analyse von Massnahmen im integralen Risikomanagement und Entwicklung von Methoden zur Quantifizierung der indirekten, volkswirtschaftlichen Schäden nach Erdbeben und gravitativen Naturgefahren
- 4.3 Integration von organisatorischen und menschlichen Faktoren in die Risikoermittlung und -beurteilung

5 Erdbebenvorsorge

- 5.1 Erarbeitung von Grundlagen zur Analyse und Ertüchtigung von kulturhistorischen Bauten
- 5.2 Entwicklung von Methoden zur Berücksichtigung von durch natürliche Erdbeben induzierten Ereignissen in Gefährdungs- und Risikoanalysen
- 5.3 Optimierung der Anforderungen an die Erdbebensicherheit in Baunormen
- 5.4 Neue Technologien zur Erfassung der Schäden und Bestimmung der Resttragfähigkeit von Gebäuden nach Erdbeben

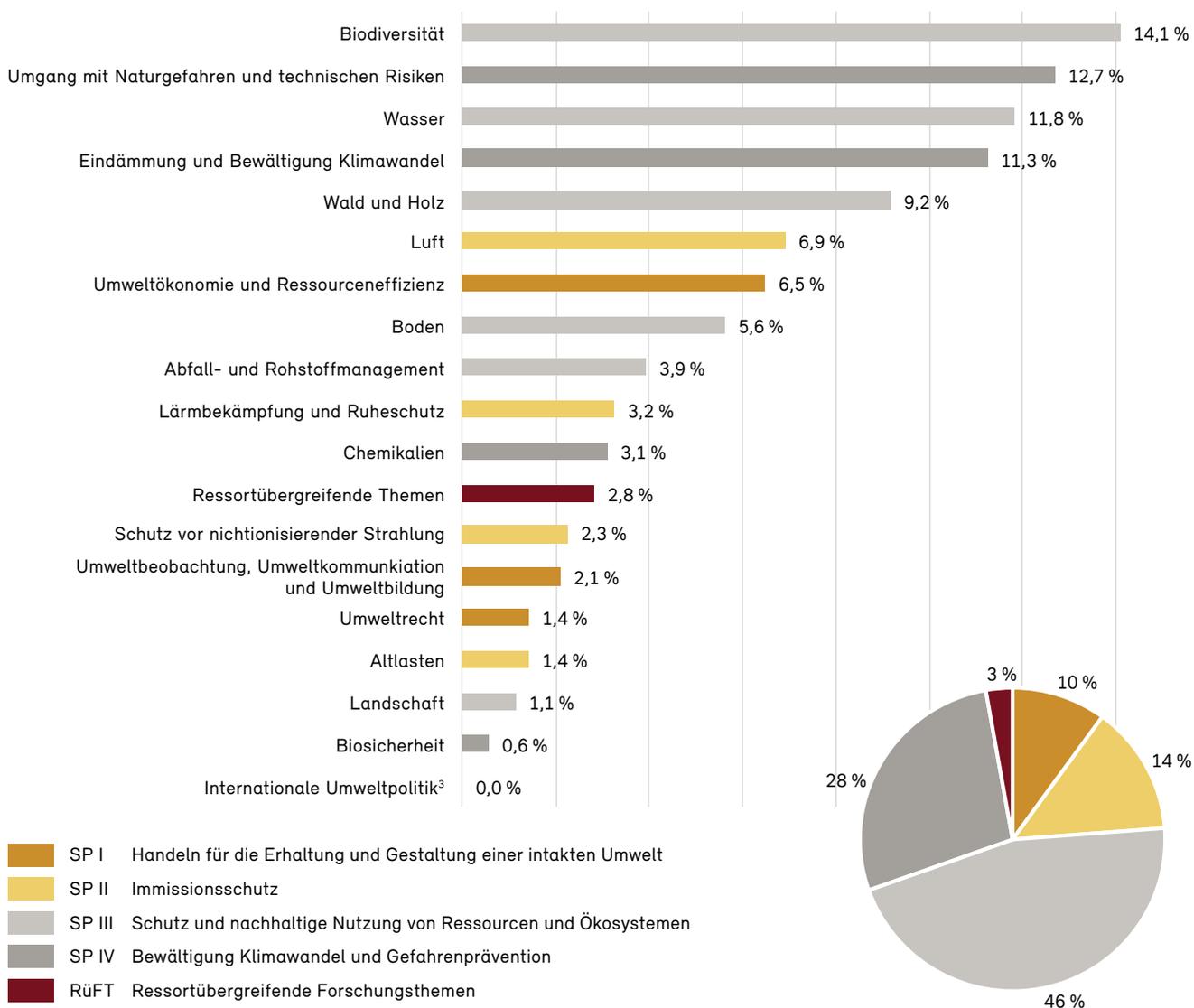
6 Störfallvorsorge

- 6.1 Störfallvorsorge für neue, potenziell gefährliche Stoffe und Analyse von Risikoermittlungsmethoden
- 6.2 Entwicklung von Methoden zur Ermittlung der Verschmutzungsrisiken der Gewässer bei Störfällen
- 6.3 Erarbeiten von Grundlagen für Objektschutzmassnahmen zur Reduktion der Verletzbarkeit von Personen infolge von Störfällen

4 Finanzierung 2021 – 2024

Der Finanzbedarf für die Ressortforschung des BAFU 2021 – 2024 wurde auf Basis der in den Forschungsbe-
reichen definierten prioritären Forschungsthemen abge-
schätzt und lassen auf einen globalen Bedarf von ca.
71 Millionen schliessen. Die vorgesehene Aufteilung der
Ressortforschungsmittel auf die einzelnen Forschungs-
bereiche ist in Abbildung 2 ersichtlich.

Abbildung 2
Finanzbedarf 2021 – 2024 pro Forschungsbereich



³ Finanzierung durch andere Kredite

5 Akteure und Schnittstellen

5.1 Beschreibung der wichtigsten Akteure im Hoch- und Fachhochschulbereich

Die Forschungslandschaft im Umweltbereich ist breit gefächert und entwickelt sich äusserst dynamisch. Ihre Tätigkeiten decken ein breites Spektrum an Themen aus Natur-, Ingenieur-, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften ab. An Hochschulen, Institutionen des ETH-Bereichs, Fachhochschulen und zahlreichen privaten und öffentlichen Instituten wird Umweltforschung in den verschiedenen Fachbereichen und in allen Phasen der Innovationskette vorangetrieben. In einer Datenbank erfasst das BAFU über 1000 Forschungsgruppen der Schweizerischen Umweltforschung und ermöglicht somit einen umfassenden und aktuellen Überblick über die schweize-

rische Umweltforschung (www.bafu.admin.ch/forschungsgruppen). Tabelle 2 zeigt die Forschungsinstitutionen im Hochschul- und Fachhochschulbereich mit den meisten Forschungsgruppen im Umweltbereich.

5.2 Schnittstellen mit anderen Förderinstrumenten im Umweltbereich

Die verschiedenen Instrumente des Bundes zur Förderung von Innovationen ergänzen sich gegenseitig (s. Abb. 3). Der Schweizerische Nationalfonds (SNF) fördert insbesondere Grundlagen- und teilweise anwendungsorientierte Forschung. Projekte zur Entwicklung von Technologien an Hochschulen und Fachhochschulen in Zusammen-

Tabelle 2

Die 22 wichtigsten Institutionen für die Umweltforschung im Hochschul- und Fachhochschulbereich

Forschungsinstitution	Webseite	Anzahl umweltbezogener Forschungsgruppen
Eidg. Technische Hochschule Zürich (ETHZ)	www.ethz.ch	131
Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)	www.epfl.ch	89
Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Eawag)	www.eawag.ch	72
Universität de Lausanne	www.unil.ch	70
Universität Zürich	www.uzh.ch	67
Universität Bern	www.unibe.ch	61
Université de Genève	www.unige.ch	49
Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO)	www.hes-so.ch	44
Agroscope	www.agroscope.ch	43
Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW)	www.zhaw.ch	42
Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA)	www.empa.ch	39
Université de Neuchâtel	www.unine.ch	38
Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)	www.wsl.ch	38
Université de Fribourg	www.unifr.ch	30
Fachhochschule Ostschweiz (FHO)	www.fho.ch	24
Berner Fachhochschule (BFH)	www.bfh.ch	23
Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL)	www.fibl.org	21
Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI)	www.supsi.ch	20
Universität Basel	www.unibas.ch	19
Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW)	www.fhnw.ch	18
Paul Scherrer Institut (PSI)	www.psi.ch	17

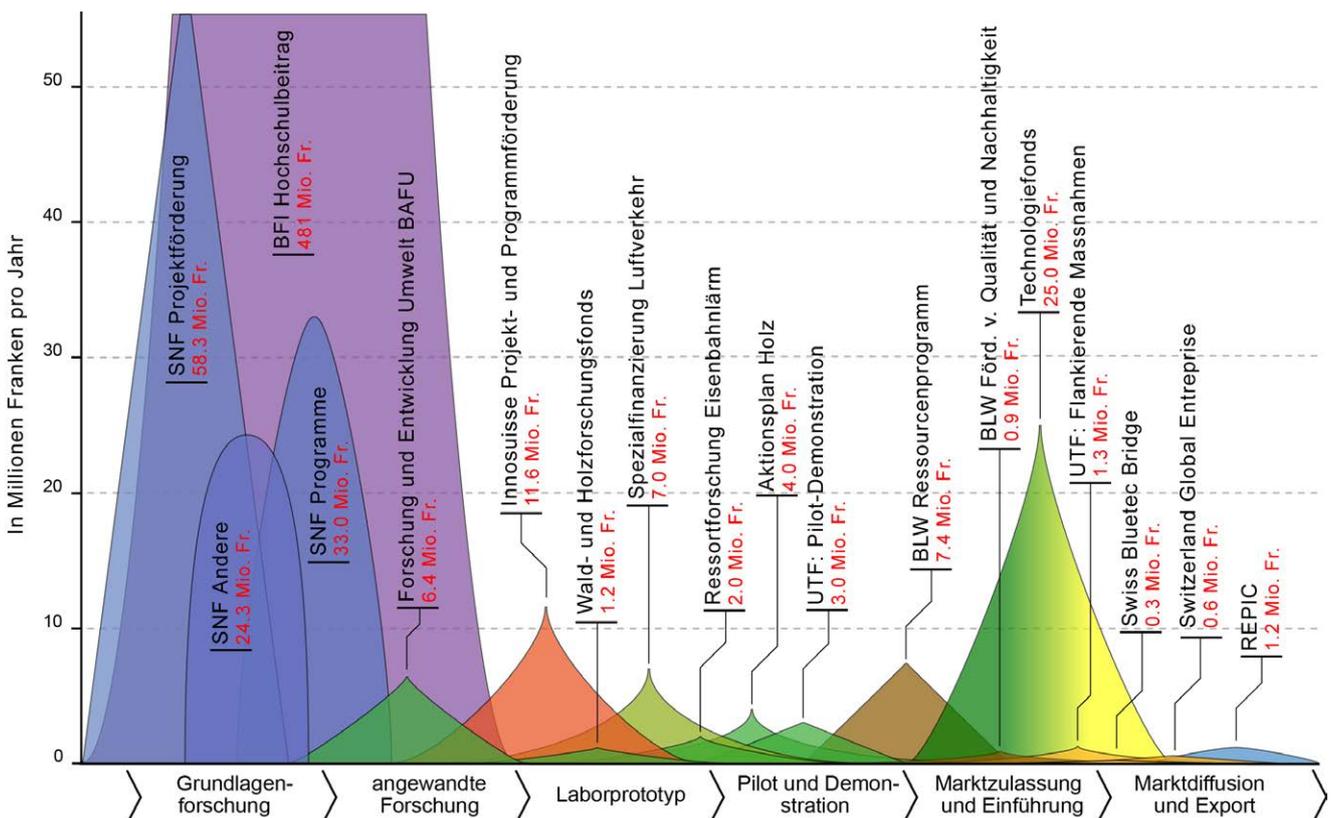
arbeit mit Industriepartnern in der frühen Phase der Entwicklung, namentlich in der Phase der Entwicklung von Laborprototypen, werden von Innosuisse unterstützt. Weitere Instrumente des Bundes, wie die Umwelttechnologieförderung, der Wald- und Holzforschungsfonds, der Aktionsplan Holz, die Ressortforschung Eisenbahnlärm oder der Technologiefonds sorgen in weiter fortgeschrittenen Phasen der Innovationskette dafür, dass neue Technologien und Lösungen für einen besseren Umweltschutz und eine effizientere Ressourcennutzung zur Anwendung kommen.

5.2.1 Schnittstellen zum Schweizerischen Nationalfonds

Der Schweizerische Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (SNF) ist die wichtigste Institution zur Förderung der Grundlagenforschung in der Schweiz. Den grössten Beitrag zur Umweltforschung erbringen die Abteilungen II (Mathematik, Natur- und Ingenieurwissenschaften), III (Biologie und Medizin) und IV (Programme). Im Auftrag des Bundes unterstützt der SNF verschiedene Arten von Programmen, unter anderem Nationale Forschungsschwerpunkte (NFS) und Nationale Forschungsprogramme (NFP). Während NFP anwendungsorientierte Ergebnisse zur Lösung dringender Probleme liefern, fördern NFS Forschungsnetzwerke, welche langfristig angelegte Forschungsvorhaben zu Themen von strategischer Bedeutung für die Schweiz umsetzen.

Abbildung 3
Innovationsförderung im Umweltbereich

Die Grafik zeigt die Höhe der Förderbeiträge des Bundes, mit welchen im Jahr 2016 Projekte im Bereich Umwelt unterstützt wurden. Die horizontale Achse zeigt den Bereich der Innovationskette, in dem sie wirken. Beim SNF und bei Innosuisse (die Zahlen sind aus dem Jahr 2016) machen die Beiträge an Projekte im Umweltbereich nur einen Bruchteil ihrer Gesamtförderung aus.



Seit 2013 wurden keine NFS unterstützt, die sich mit umweltrelevanten Themen befassen. Hingegen wurden in den letzten Jahren durch den Nationalfonds mehrere NFP unterstützt, die umweltrelevante Themen bearbeiten:

Im **NFP 66 «Ressource Holz»** wurden wissenschaftliche Grundlagen und praxisorientierte Lösungsansätze für eine bessere Bereitstellung und eine breitere Verwertung und Anwendung der Ressource Holz erarbeitet: Vertieftes Verständnis holzbasierter Stoffflüsse, neue Erkenntnisse und Technologien zur Verwendung von Holz als Baustein für chemische Produkte und zur Erzeugung neuartiger Verbundstoffe, technische Weiterentwicklungen bei der Energiegewinnung mit Holz und bei dessen Verwendung als Konstruktionsmaterial für Tragwerke und Gebäude. Das NFP 66 verfügte über einen Finanzrahmen von CHF 18 Millionen. Die Forschungsdauer reichte von 2012 – 2016. Der Wissenstransfer wurde bis 2018 unterstützt.

Das **NFP 68 «Ressource Boden»** erarbeitete zwischen 2012 – 2018 Grundlagen für eine nachhaltige Nutzung der Ressource Boden (Rahmenkredit CHF 13 Millionen). Es ist nach dem NFP 22 «Nutzung des Bodens in der Schweiz» (1985 bis 1990) das zweite Nationale Forschungsprogramm, das sich diesem Thema widmet. Seit dem NFP 22 wurden vor allem in der Landwirtschaftspolitik gewisse Fortschritte gemacht. In der Raumplanung wurden verschiedene wichtige Massnahmen jedoch erst in jüngster Zeit eingeleitet oder haben noch nicht die gewünschte Wirkung erzielt. Das NFP 68 zeigt auf, wie vernachlässigte Aufgaben, etwa die Bodenkartierung, angepackt werden können und welcher Nutzen sich daraus ergibt. Es hat Instrumente und Strategien entwickelt, die es erlauben, die nachhaltige Bewirtschaftung der Ressource Boden voranzutreiben. Das NFP 68 unterstreicht aber auch die Verantwortung der Schweiz für die Bodennutzung im Ausland.

Im **NFP 69 «Gesunde Ernährung und nachhaltige Lebensmittelproduktion»** wurden die Grundlagen erarbeitet, wie in der Schweiz eine gesunde Ernährung gefördert werden kann und wie qualitativ hochwertige und sichere Lebensmittel in ausreichender Menge und zu erschwinglichen Preisen bei möglichst effizientem Ressourceneinsatz und geringer Umweltbelastung angeboten werden können (Dauer: 2013 – 2018, Rahmenkredit: 13 Millionen Franken).

Vor dem Hintergrund seiner «Energiestrategie 2050» hat der Bundesrat zwei Nationale Forschungsprogramme lanciert, die sich mit der Energieproblematik beschäftigen. Das **NFP 70 «Energiewende»** befasst sich mit den naturwissenschaftlich-technologischen Aspekten der Energiewende und der damit zusammenhängenden Umstellung auf ein neues Energiesystem der Schweiz (Dauer: 2013 – 2020, Rahmenkredit: 37 Millionen Franken). Umweltrelevant sind darin beispielsweise das Projekt «Methan für Transport und Mobilität», sowie das Folgeprojekt daraus: «Carbon Flows in the Energy Transition», das sowohl vom Schweizerischen Nationalfonds als auch von der Ressortforschung (BAFU, BFE) unterstützt wurde. Das NFP 70 arbeitet eng mit dem NFP71 «Steuerung des Energieverbrauchs» zusammen, dass spezifisch die sozioökonomische und regulatorische Seite des Prozesses hin zur Energiewende begleitet.

Im **NFP 71 «Steuerung des Energieverbrauchs»** wurden die sozialen, ökonomischen und regulatorischen Seiten der Energiewende untersucht. Dabei wurde insbesondere erforscht, wie private und öffentliche Akteure veranlasst werden können, Energie effizient zu nutzen. Das NFP 71 (Dauer: 2014 – 2018, Rahmenkredit: 8 Millionen Franken) arbeitete eng mit dem technisch orientierten NFP 70 «Energiewende» zusammen.

Das **NFP 72 «Antimikrobielle Resistenz: ein One-Health Ansatz»** hat zum Ziel, einen Beitrag zu Verringerung der antimikrobiellen Resistenz und deren negativen Auswirkungen auf die Behandlung von Infektionskrankheiten zu leisten. Die Thematik ist u. a. auch für die Bereiche Biodiversität, Biosicherheit, Boden und Wasser relevant. Es sollen potenzielle Reservoirs und Übertragungsmechanismen identifiziert, Schnelldiagnostiktechniken entwickelt, neuartige antimikrobielle Therapieansätze erforscht sowie Umsetzungsmassnahmen und -empfehlungen im Bereich öffentliche Gesundheit vorgeschlagen werden. Aufgrund der Mobilität der Resistenzgene zwischen Mensch, Tier und Umwelt strebt das NFP einen ganzheitlichen, interdisziplinären Ansatz gemäss dem sogenannten «One-Health-Konzept» an (Dauer: 2017 – 2021, Rahmenkredit: 20 Millionen Franken).

Das **NFP 73 «Nachhaltige Wirtschaft: ressourcenschonend, zukunftsfähig, innovativ»** hat zum Ziel wissen-

schaftliche Erkenntnisse über eine nachhaltige Wirtschaft mit schonender Nutzung natürlicher Ressourcen, mehr Wohlfahrt und erhöhter Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandortes Schweiz zu erarbeiten. Dabei werden sämtliche natürliche Ressourcen und alle Stufen der Wertschöpfungskette betrachtet (Dauer: 2017 – 2022, Rahmenkredit: 20 Millionen Franken).

Im **NFP 77 «Digitale Transformation»** werden die Wirkungszusammenhänge sowie die konkreten Auswirkungen der digitalen Transformation in der Schweiz untersucht. Die drei Schwerpunkte des Programmes sind 1) Bildung und Lernen, 2) Ethik, Vertrauenswürdigkeit und Governance sowie 3) Wirtschaft und Arbeitsmarkt (Dauer: 2020 – 2025, Rahmenkredit: 30 Millionen Franken).

5.2.2 Schnittstellen zu Innosuisse

Innosuisse ist die Schweizerische Agentur für Innovationsförderung. Mit einem Budget von rund 200 Millionen Franken pro Jahr spielt Innosuisse eine wichtige Rolle bei der Finanzierung der marktorientierten Forschung und Entwicklung. Sie unterstützt Projekte, die von wissenschaftlichen Institutionen in Zusammenarbeit mit Unternehmen durchgeführt werden und zu marktfähigen Innovationen führen. Der Aufbau von Jungunternehmen und der Wissens- und Technologietransfer werden ebenfalls unterstützt. Zudem übernimmt Innosuisse Verantwortung für europäische Innovationsprogramme.

Innosuisse fördert Projekte in den fünf übergeordneten Themen ICT, Life Sciences, Engineering, Energy & Environment sowie Social Sciences and Business Management. Im Jahr 2016 wurden umweltrelevante Projekte im Umfang von 5,8 Millionen Franken gefördert (vgl. Kap. 2.4). Gemäss dem gesetzlich verankerten Grundsatz, wonach Innosuisse insbesondere Vorhaben fördert, die einen Beitrag zur nachhaltigen Ressourcennutzung leisten, wird die Nachhaltigkeit der Innovationsvorhaben bei der Beurteilung der eingereichten Gesuche geprüft. In der Periode 2021 – 2024 wird Innosuisse diese Prüfung weiter optimieren und auf die SDG ausrichten (Innosuisse 2019). In der Beitragsperiode 2021 – 2024 sollen zudem Themenbereiche mit branchenübergreifender Bedeutung finanziert werden, wie beispielsweise Herausforderungen im Zusammenhang mit der Energiewende und anderen Nachhaltigkeitsfragen (Klima, Wasser und andere natür-

liche Ressourcen). Ein besonderes Augenmerk soll auch auf die «systemische» Innovation gelegt werden, um Systeme nachhaltig zu verändern (z. B. integriertes Mobilitätsmanagement, Kreislaufwirtschaft).

Die Koordination mit der Ressortforschung des BAFU ist durch die Einsitznahme von Innosuisse in den beiden Expertenkommissionen des BAFU, dem Beratenden Organ für Umweltforschung sowie der Koordinationsgruppe für Umwelttechnologie gewährleistet. Zudem findet ein Austausch über die von Innosuisse geförderten Projekte im Umweltbereich statt. Dank dieser Zusammenarbeit werden Doppelspurigkeiten vermieden und Synergien sowohl auf fachlicher Ebene als auch zwischen den verschiedenen Finanzierungsinstrumenten genutzt.

5.2.3 Schnittstellen zu den Akademien der Wissenschaft

In mehreren Themenbereichen arbeitet das BAFU mit den Akademien der Wissenschaft zusammen, z. B. mit der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT) und der Schweizerischen Akademie für Geistes- und Sozialwissenschaften (SAGW). Eine enge Zusammenarbeit besteht insbesondere mit dem Forum für Klima und globale Umweltveränderungen (ProClim), mit dem Forum Biodiversität Schweiz und mit der Schweizerischen Akademischen Gesellschaft für Umweltforschung und Ökologie (SAGUF), welche sich für die Förderung von Umwelt- und Nachhaltigkeitsforschung in der Schweiz einsetzt. Zudem wird der Austausch mit dem Netzwerk für transdisziplinäre Forschung (td-net) gefördert. Die Initiative für Nachhaltigkeitsforschung der SCNAT treibt die Wissenschaft zur nachhaltigen Entwicklung und zur Agenda 2030 voran. Damit unterstützt sie die Bearbeitung gesellschaftlich prioritärer Fragen und gestaltet die öffentliche Debatte zur nachhaltigen Entwicklung mit.

5.2.4 Schnittstellen zu anderen Bundesämtern

Um die Transformation zu einer nachhaltigen Gesellschaft voranzutreiben, ist es unerlässlich, dass die verschiedenen Politikbereiche an einem Strang ziehen. Eine bundesämterübergreifende Arbeitsgruppe treibt deshalb die Identifizierung von ressortübergreifenden Forschungsthemen voran, mit dem Ziel gemeinsame Projekte, Ausschreibungen und Forschungsprogramme zu lancieren (s. Kap. 3.2).

Viele der dringenden Fragen im Umweltbereich weisen Überschneidungen zu den Kompetenzbereichen anderer Bundesstellen auf, z. B. in den Bereichen Energie, Klimatologie, Landwirtschaft, Gesundheit, Mobilität, Fernmeldewesen oder Raumplanung. Bei einem beträchtlichen Teil der Forschungsprojekte geht es daher um ressortübergreifende Fragestellungen. Deshalb müssen bei thematischen Überschneidungen unterschiedlicher Politikbereiche weitere Bundesstellen einbezogen werden. Eine koordinierte, ressortübergreifende Forschung kann bei der Identifizierung von Synergien und Zielkonflikten hilfreich sein.

Die Zusammenarbeit zwischen den Bundesstellen ist angesichts des grossen Koordinationsbedarfs und der zunehmenden Überschneidungen zwischen den einzelnen Themenbereichen unerlässlich. In vielen Bereichen ist die Zusammenarbeit bereits heute gut etabliert. Je nach Komplexität eines Projekts erfolgt die Koordination in der Ressortforschung durch informelle Absprachen, gegenseitige Einsitznahme in Begleitgruppen bis hin zur Finanzierung von Projekten und Ausschreibung von gemeinsamen Forschungsprogrammen. Die Koordination wird unterstützt durch die Vertretung der Bundesstellen BFE, BLW, BAG, BLV, SBFI und Innosuisse als Beobachter im Beratenden Organ für Umweltforschung (OFU) des BAFU. Das BAFU sitzt ausserdem als Beobachter in der Energieforschungskommission (CORE) des BFE ein.

MeteoSchweiz: Klimawandel und Naturgefahren

Das Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz) ist zuständig für die Bereitstellung und Weiterentwicklung meteorologischer und klimatologischer Grundlagen, die für viele Fragestellungen in Zusammenhang mit dem Klimawandel und Naturgefahren ressortübergreifend benötigt werden. MeteoSchweiz ist auf diesen Themen eng mit dem BAFU verbunden.

Die Koordination und Zusammenarbeit bezüglich Klimadienstleistungen erfolgt über das National Centre for Climate Services (NCCS), dem Netzwerk des Bundes für Klimadienstleistungen. Das NCCS koordiniert die gemeinsame Entwicklung und Bereitstellung von Klimadienstleistungen zur klimakompatiblen Entscheidungsfindung, um Risiken zu minimieren, Chancen zu maximieren und Kosten zu optimieren. Sektorale bzw. sektorenübergrei-

fenden Themenschwerpunkte sind z. B. Schweizer Klimaszenarien CH2018, Hydrologische Grundlagen zum Klimawandel, Schadorganismen an Kulturpflanzen, Waldfunktionen und Klimawandel, Klimawandel und Bevölkerungsschutz, Gesundheit des Menschen, Tiergesundheit und Lebensmittelsicherheit. Dem NCCS sind derzeit acht Verwaltungseinheiten des Bundes angeschlossen – MeteoSchweiz, BAFU, BABS, BLW, BAG, BLV sowie ETH Zürich und Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL). Weitere Partner sind Agroscope, das Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), die Universität Bern und ProClim – Forum for Climate and Global Change.

Bezüglich Naturgefahren ist für die Koordination und die Zusammenarbeit der Lenkungsausschuss Intervention Naturgefahren (LAINAT) massgebend (mit den Partnern BABS und nationalen Alarmzentrale (NAZ), BAFU, MeteoSchweiz, WSL und Schnee- und Lawinenforschung (SLF), ETH Zürich – Erdbebendienst SED). Der LAINAT koordiniert die Vorhersage- und Warntätigkeit der Bundesstellen für die verschiedenen Naturgefahren und sorgt für eine kontinuierliche Weiterentwicklung. Infolge des Klimawandels ergeben sich neue Herausforderungen durch Stürme, Hitze, Hochwasser, Trockenheit und Massenbewegungen, die häufiger und grösser respektive intensiver werden können. Zudem soll das meteorologische Warnsystem weiter verbessert werden, um Warnungen örtlich präziser auszugeben und künftig auch auf mögliche Auswirkungen fokussieren zu können.

swisstopo: Enge Zusammenarbeit beim Umweltmonitoring

Das Bundesamt für Landestopografie swisstopo ist das Kompetenzzentrum des Bundes für Geoinformationen und Georessourcen. In dieser Rolle als «Geodatenbroker» stellt swisstopo die Veröffentlichung aller raum- und grundstückbezogenen rechtlichen Informationen aus einer Hand für die gesamte Bundesverwaltung und Partnerorganisationen sicher. Diesbezüglich besteht eine enge Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt BAFU für verschiedene raumbezogene Aufgaben. swisstopo sichert im Katastrophenfall rasche Geodatenbereitstellung zu (Rapid Mapping). Mittels airborne-LIDAR (light detection and ranging) ermöglicht swisstopo ein Oberflächenmodell der Schweiz mit allen natürlichen und künstli-

chen Elementen in Form einer klassifizierten Punktwolke. Im Rahmen der Umsetzung des Aktionsplans «Grüne Wirtschaft» folgte unter der Federführung von swisstopo ein Monitoring der Rohstoffe in der Schweiz. Weitere Tätigkeiten im Umweltmonitoring sind die Gletscherbeobachtungen oder das Sammeln von Bodenbewegungen mit InSAR-Daten. Für die Nutzung von Georessourcen (Energie, Wasser, Rohstoffe) oder für die Planung unterirdischer Infrastrukturen erstellt swisstopo geologische 3D-Modelle des Schweizer Untergrundes. Mit 20 Partnern leitet swisstopo das internationale Mont-Terri-Forschungsprojekt für die Tiefenlagerung von radioaktiven Abfällen und CO₂-Lagerung (Gewässerschutz).

METAS: Zuverlässige Umweltmessungen

Das Eidgenössische Institut für Metrologie (METAS) ist das Kompetenzzentrum des Bundes für alle Fragen des Messens, für Messmittel und Messverfahren. Als nationales Metrologieinstitut der Schweiz hat es den Auftrag, dafür zu sorgen, dass in der Schweiz mit der Genauigkeit gemessen werden kann, wie es für die Belange der Wirtschaft, Forschung und Verwaltung erforderlich ist.

Gerade im Umweltbereich sind zuverlässige Messungen unabdingbar. Um der globalen Nachfrage nach hoher Datenqualität gerecht zu werden, sind eine bessere Vergleichbarkeit von Messergebnissen, kleinere Messunsicherheiten und eine grössere Anzahl von stabilen Standards und Referenzmaterialien gefragt. Das METAS forscht in enger Zusammenarbeit mit europäischen Partnerinstituten, um die erforderlichen messtechnischen Grundlagen für den Umweltbereich zeitgerecht bereit zu stellen. Der Fokus liegt auf der Entwicklung von neuen Messmethoden und Bereitstellung international anerkannter Referenzwerte. Folgende Themenfelder mit Anforderungen an die Metrologie wurden identifiziert:

- Emission und Immission einer Vielzahl von Luftschadstoffen; Bestimmung von Spurengasen und Feinstaub, chemische und physikalische Eigenschaften von Luftpartikeln
- Verlässliche Prognostizierung des Klimawandels auf der Basis der essentiellen Klimavariablen
- Emissionskontrolle und -minderung grosser Emittenten und neuer Stoffe
- Emission und Immission nichtionisierender Strahlung wie Elektromog, Licht, Laser und Schall
- Bestimmung und Steuerung der Stoffflüsse von festen, flüssigen, gasförmigen oder radioaktiven Substanzen in der Umwelt

BLV: Nachhaltige Ernährung und Artenschutz

Der Tätigkeitsbereich des Bundesamtes für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) deckt den grössten Teil der Lebensmittelkette ab. Die erarbeiteten Strategien und Prozesse beispielsweise in den Bereichen Lebensmittelsicherheit, Ernährung und Tierhaltung haben Auswirkungen auf die Gesundheit von Mensch und Tier und auf die Umwelt. Um breit abgestützte Antworten auf die komplexen Fragen zu erarbeiten, hat die Zusammenarbeit mit dem BAG, dem BLW und dem BAFU einen besonderen Stellenwert. Diese Ämter sind die wichtigsten Partner in amtsübergreifenden Strategien wie der *Strategie Lebensmittelkette* (BLW, BLV 2015), der *Non-Communicable Diseases* (nicht übertragbare Krankheiten) *NCD-Strategie* (BAG, GDK 2016) oder die *Strategie Antibiotikaresistenzen Schweiz* StAR (Bundesrat 2015). Es ist dem BLV ein Anliegen, die sich bietenden Möglichkeiten zur Zusammenarbeit mit den involvierten Ämtern wahrzunehmen.

Auf den identifizierten Forschungsschwerpunkten 2021 – 2024 sind die folgenden besonders umweltrelevant:

Lebensmittel und Ernährung

- Risiken entlang der Lebensmittelkette werden unter anderem in einem erweiterten One-health-Ansatz untersucht.
- Untersuchung zur Antibiotikaresistenz von Bakterien
- Untersuchungen zu hormonaktiven und kanzerogenen Stoffen als teilweise persistente Umweltkontaminanten werden durchgeführt. Dazu werden Monitoring von Kontaminanten und essentiellen Inhaltsstoffen (Vitamine und Spurenelemente) in Lebensmitteln sowie Biomonitoring in Humanproben gefördert. Im Rahmen von Untersuchungen zu Verpackungskontaminanten und dem Übergang von unerwünschten Stoffen von der Verpackung in Lebensmittel werden auch Nanomaterialien berücksichtigt
- Monitoringprojekte wie das Humanbiomonitoring werden weitergeführt, Grundlagen zu Zusammenhängen

zwischen Ernährung und Risikofaktoren bzw. Krankheiten werden beschafft.

- Methoden und Strategien zur Überprüfung von Herkunft und Echtheit von Lebensmittel und Gebrauchsgegenständen werden gefördert
- Die Forschung im Bereich Ernährung soll hauptsächlich dazu dienen, die Ziele der Schweizer Ernährungsstrategie 2017 – 2024 zu unterstützen und die Umsetzung der Massnahmen zu überprüfen

Früherkennung und Prävention von Tierseuchen und Zoonosen

- Frühwarnsysteme: Effiziente Werkzeuge zur Früherkennung von neu- und wiederauftretenden Tierseuchen und Zoonosen
- Erforschen der Rolle und Reservoirfunktion von Wildtieren

Artenschutz

- Das BLV wird auch in Zukunft Projekte finanziell unterstützen, welche den Handel von Wildtieren und -pflanzen mit der Schweiz und dessen Nachhaltigkeit betreffen, insbesondere der Vollzug des CITES Abkommens.

5.3 Internationale Forschungszusammenarbeit

5.3.1 Future Earth

Eine wichtige internationale Forschungsplattform wurde 2012 an der UNO-Konferenz über Nachhaltige Entwicklung unter dem Namen Future Earth lanciert. Future Earth hat zum Ziel, Wissen und Unterstützung bereit zu stellen, um die Transformation der Gesellschaft zu einer nachhaltigen Welt auf globaler, nationaler, regionaler, und lokaler Ebene zu beschleunigen. Die Plattform möchte ebenfalls sicherstellen, dass das Wissen in Zusammenarbeit mit der Gesellschaft und den Nutzenden der Wissenschaft generiert wird. Sie ist offen für Wissenschaftlerinnen aus allen Disziplinen. Es sollen Strategien entwickelt werden, mit denen die globalen Umweltrisiken reduziert und gleichzeitig die Ziele für eine nachhaltige Entwicklung (SDG) erreicht werden können. Die Forschungsplattform wird von einer internationalen Wissenschafts- und Technologieallianz getragen, unter anderem dem International Scientific Council for Science (ISC), der UNESCO, der

UNEP und der World Meteorological Organization (Future Earth 2019).

Die Schweiz wird im Programm Future Earth durch die Initiative für Nachhaltigkeitsforschung der SCNAT vertreten.

5.3.2 UN Sustainable Development Solutions Network SDSN

Das internationale Netzwerk SDSN (UN Sustainable Development Solutions Network) mobilisiert weltweit wissenschaftliche und technische Experten und bringt Expertisen zusammen, um praktische Lösungen für die nachhaltige Entwicklung sowie für die Erreichung der SDG und der Ziele des Pariser Klimaübereinkommens zu fördern. SDSN Schweiz vereint Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft um Partnerschaften aufzubauen und die Transformation zu einer nachhaltigen Gesellschaft zu beschleunigen.

5.3.3 Europäische Forschungsrahmenprogramme Horizon 2020 und Horizon Europe

Seit dem 1. Januar 2017 ist die Schweiz vollständig am EU-Forschungsrahmenprogramm «Horizon 2020» assoziiert. Horizon 2020 umfasst drei Pfeiler, nach denen die europäische Forschungstätigkeit strukturiert wird: «Wissenschaftsexzellenz», «Führende Rolle der Industrie» und «Gesellschaftliche Herausforderungen». Der Pfeiler «Gesellschaftliche Herausforderungen» baut auf den politischen Prioritäten der Strategie Europa 2020 auf und richtet sich nach Problemfeldern, deren Lösung das Wissen aus unterschiedlichen Forschungsdisziplinen erfordert. Die Aktionsfelder sind «Gesundheit», «Ernährungs- und Lebensmittelsicherheit», «sichere, saubere und effiziente Energie», «intelligenter, umweltfreundlicher und integrierter Verkehr», «Klimaschutz, Umwelt, Ressourceneffizienz und Rohstoffe», «integrative und innovative Gesellschaften» sowie «sichere Gesellschaften».

Das Instrument ERA-NET (European Research Area Networks) hat zum Ziel, nationale und regionale Forschungs- und Innovationsprogramme zu koordinieren und den europäischen Forschungsraum sowie bestimmte europäische Industriezweige zu stärken. Für den Umweltbereich beteiligt die Schweiz sich an den ERA-NET Biodiversa3 (Conservation and sustainable management of biodiversity), ACT (Accelerating CCS technologies as a new

low-carbon energy vector), CORE (Organic Cofund, Coordination of European Transnational Research in Organic Food and Farming Systems), ENSCC (ERA-NET COFUND Smart Cities and Communities), EN SGplusRegSys (A European joint programming initiative to develop integrated, regional, smart energy systems enabling regions and local communities to realize their high sustainable energy ambitions), ERA-Planet (The European network for observing our changing planet) sowie ForestValue (ForestValue – Innovating forest-based bioeconomy).

Die Europäische Kommission hat am 7. Juni 2018 ihren Vorschlag für das nächste EU-Rahmenprogramm für Forschung und Innovation «Horizon Europe» veröffentlicht. Es stehen rund 100 Milliarden Euro für die Jahre 2021 – 2027 zur Verfügung. Die Themen orientieren sich an den SDG sowie an Zielen (Missionen), die erreicht werden sollen wie z. B. Plastik-freie Ozeane, 100 klimaneutrale Städte usw. Gegliedert wird das Programm in die drei Pfeiler: Open Science, Global Challenges und Open Innovation.

6 Organisation und Qualitätssicherung

6.1 Interne Organisation

Die Planung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten der Ressortforschung des BAFU erfolgt nach einem standardisierten Verfahren. Die fachlichen Kompetenzen für die Ermittlung des Stands der Forschung sowie für die Initiierung und Begleitung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten liegen in erster Linie bei den Fachabteilungen. Zur Unterstützung der Fachabteilungen wurden amtsintern klare Kriterien zur Definition von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten und Vorgaben für die Beschreibung der geplanten Projekte formuliert, so dass eine transparente und nachvollziehbare Entscheidungsfindung ermöglicht wird (Tab. 3).

Tabelle 3

Kriterien zur Definition der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im BAFU

Kriterium	Beschreibung
F1	Entwicklung von Methoden
F2	Erkennung von Problemen, Mechanismen und Verhaltensweisen; Erfolgskontrolle von Massnahmen
F3	Festlegung von Grenz- oder Zielwerten
F4	Ausarbeitung von wissenschaftlichen Grundlagen für technische, ökonomische, soziale, politische, juristische, organisatorische und strukturelle Lösungen sowie Synthesearbeiten von Forschungsergebnissen

Im Rahmen des jährlichen Planungsprozesses des Amtes werden neue Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten durch die Abteilungen des BAFU geplant und durch die Sektion Innovation in Zusammenarbeit mit der amtsinternen Koordinationskommission Umweltforschung, in der alle Abteilungen sowie die Sektion Finanzen & Controlling vertreten sind, geprüft. Definitiv bewilligt werden die beantragten Aktivitäten durch die Direktion des BAFU.

Alle Projekte werden von Fachpersonen des Amtes begleitet. Ein internes Reporting erfolgt zwei Mal jährlich. Bei Projektabschluss wird ein Bericht mit den erzielten Ergeb-

nissen eingereicht, der von der Direktion genehmigt wird. Zur Gewährleistung der Transparenz und Information der Öffentlichkeit werden die wichtigsten Informationen zu Hintergrund, Zielen und Ergebnissen der einzelnen Forschungsvorhaben in der Forschungsdatenbank ARAMIS (www.aramis.admin.ch) des Bundes publiziert. Zusätzlich werden die Ergebnisse je nach Zielpublikum und Thema auf der Website des BAFU, in den Publikationsreihen des BAFU (Umwelt-Zustand, Umwelt-Vollzug, Umwelt-Wissen) oder in Merkblättern, Artikeln in wissenschaftlichen oder branchenspezifischen Fachzeitschriften sowie im BAFU-Magazin «die Umwelt» veröffentlicht.

6.2 Beratung durch das wissenschaftliche Begleitorgan OFU

Gemäss den Richtlinien zur Qualitätssicherung in der Ressortforschung des Bundes müssen in jedem Politikbereich unabhängige Fachexperten in einer wissenschaftlichen Begleitkommission für die Erstellung der Forschungskonzepte beigezogen werden. Als externe wissenschaftliche Begleitkommission für das BAFU fungiert das Beratende Organ für Umweltforschung (OFU), das Mitglieder aus Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung umfasst. Dank der vielseitigen Expertise der Mitglieder des OFU werden alle Themenbereiche des BAFU abdeckt und die Vernetzung mit den wichtigsten Institutionen der Umweltforschung sichergestellt.

Gemäss Mandat vom 8. März 2013 nimmt das OFU in Übereinstimmung mit den oben genannten Richtlinien hauptsächlich die folgenden Aufgaben wahr:

- Beratung des BAFU bei der Erarbeitung der vierjährigen Forschungskonzepte, insbesondere
 - bei der Erstellung eines Überblicks über den aktuellen Stand der Forschung
 - bei der Identifizierung von forschungsrelevanten Umweltproblemen und gesellschaftlichen Herausforderungen sowie der Feststellung von Forschungslücken

- bei der strategischen Prioritätensetzung in Bezug auf Forschungsthemen und Mitteleinsatz
- bei der Beurteilung der wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Relevanz, der Angemessenheit des Ansatzes sowie des potenziellen Nutzens der Forschungsvorhaben, die im Rahmen der Ressortforschung des BAFU durchgeführt werden sollen
- Förderung des Austauschs mit Forschungsinstitutionen, finanzierenden Institutionen und Nutzenden der Forschungsergebnisse

Für die Erarbeitung der prioritären Forschungsthemen des vorliegenden Forschungskonzepts wurden die OFU-Mitglieder in die vorbereitenden Diskussionen mit den Fachabteilungen einbezogen. Die ressortübergreifenden Forschungsthemen wurden im Rahmen einer zweitägigen Retraite des OFU diskutiert. Die aktuelle Liste der Mitglieder ist unter folgendem Link einsehbar und regelmässig aktualisiert: www.bafu.admin.ch > Thema > Bildung, Forschung, Innovation > Umweltforschung

6.3 Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung der Forschung des BAFU orientiert sich an den Richtlinien für die Qualitätssicherung der Ressortforschung des Bundes, welche vom interdepartementalen Koordinationsausschuss für die Ressortforschung des Bundes erlassen wurden (KoorA-RF 2014).

Das Qualitätssicherungskonzept des Bundes wird durch drei Bereiche definiert: das Forschungsmanagement, die Berichterstattung (Reporting) und die Wirksamkeitsüberprüfung (Evaluation). Der Bereich Forschungsmanagement beinhaltet die strategische Planung, in Übereinstimmung mit dem Forschungskonzept Umwelt, das Verfahren zur Vergabe von Mandaten, die Forschungsbegleitung, die Projektinformation in ARAMIS und die Veröffentlichung der Resultate. Die Berichterstattung bezeichnet sowohl die zentralen Informationen zu Händen des Bundesrates und des Koordinationsausschusses für Ressortforschung als auch die projektbezogenen Berichte und öffentlichen Publikationen. Evaluationen können auf der Ebene einzelner Forschungsprojekte, der Forschungsprogramme oder der Forschung des Politikbereichs im Allgemeinen erfolgen.

Im BAFU ist die Sektion Innovation zuständig für die Durchführung der vom Bund definierten Qualitätssicherung der Forschungsprojekte. Die Federführung projektbezogener Aufgaben, wie z. B. die Vergabe von Mandaten, die Projektbegleitung und die Evaluation der einzelnen Forschungsprojekte liegt bei den Fachabteilungen des BAFU. Die Verantwortung für das übergeordnete Forschungsmanagement sowie die übergeordnete Berichterstattung und Evaluation obliegt der Sektion Innovation.

Die Richtlinien für die Qualitätssicherung der Ressortforschung werden sowohl beim internen Forschungsmanagement als auch bei der externen Beratung umgesetzt. In der Initialisierungsphase von Forschungsprojekten muss der Beitrag des Projektes zur BAFU-Strategie und den sektoriellen Leistungsstrategien sowie der Bezug zum Forschungskonzept Umwelt aufgezeigt werden. Diese Informationen unterstützen die Direktion bei der Prioritätensetzung zur Vergabe der jährlichen Finanzmittel.

Anhang

A1 Forschung der Bundesverwaltung: allgemeine Informationen

Definition der Forschung der Bundesverwaltung

Die «Forschung der Bundesverwaltung» kann jede Art von wissenschaftlicher Forschung beinhalten, deren Resultate die Bundesverwaltung zur Erfüllung ihrer Aufgaben benötigt (Vollzugsarbeit) und die sie initiiert, weil die entsprechende Forschung im Kontext des Verwaltungshandelns im öffentlichen Interesse liegt, wie z.B. das Verfügbarmachen von wissenschaftlichen Grundlagen für die Politikentwicklung und -ausgestaltung in den verschiedenen Politikbereichen (Kap. A3). Die Forschung der Bundesverwaltung liegt damit an der Schnittstelle zwischen der wissenschaftlichen Forschung und der Politik bzw. Praxis. Es handelt sich sowohl um «Forschung in der Politik», welche die wissenschaftliche und technische Dimension in die politische Diskussion einbringt, als auch um «Forschung für die Politik», welche die Grundlagen für die Formulierung der Ziele in den Politikbereichen bereitstellt. Sie wird legitimiert durch das Forschungs- und Innovationsförderungsgesetz FIFG (SR 420.1), welches als Rahmengesetz für die Forschung der Bundesverwaltung dient, und durch die spezialgesetzlichen Bestimmungen (Siehe unter). Sie steht im Einklang mit den Strategien der Bundesstellen und kann folgende Massnahmen umfassen:

- die Erteilung von *Forschungsaufträgen* (Auftragsforschung);
- den Betrieb bundeseigener Forschungsanstalten (*Forschung intra-muros*);
- die Durchführung eigener Forschungsprogramme, namentlich in Zusammenarbeit mit Hochschulforschungsstätten, Forschungsförderungsinstitutionen wie dem Schweizerischen Nationalfonds (SNF), der Innosuisse oder weiteren Förderorganisationen;
- *Beiträge* an Hochschulforschungsstätten für die Durchführung von Forschungsprojekten und -programmen;
- *Beiträge* von Bundesstellen an internationale Institutionen und Organisationen für Forschungsprojekte oder -programme.

Nicht zur Forschung der Bundesverwaltung gehören die Beiträge des Bundes an Forschungsorgane gemäss FIFG Art. 4 namentlich die Forschungsförderungsinstitutionen (Schweizerischer Nationalfonds, Akademien), die Innosuisse, die Hochschulforschungsstätten (ETH-Bereich; Hochschulen und weitere Institutionen des Hochschulbereichs; Forschungsinfrastrukturen, -institutionen und Technologiekompetenzzentren nach FIFG Art. 15) sowie Beiträge an internationale wissenschaftliche Institutionen und Organisationen zur Strukturfinanzierung.

In der Praxis beruht die Forschung der Bundesverwaltung auf den fünf Hauptprinzipien der Gesetzmässigkeit, Zweckmässigkeit, Wirksamkeit, Wirtschaftlichkeit und Einhaltung der wissenschaftlichen Qualitätsstandards. Die Hauptverantwortung liegt bei den einzelnen Bundesstellen, welche die Forschung entweder selber durchführen, in Auftrag geben oder Beiträge leisten.

Gesetzlicher Auftrag

Rahmengesetz

Das Engagement des Bundes in der Forschung und Forschungsförderung wird durch Art. 64 der Bundesverfassung (SR 101) legitimiert, indem der Bund die wissenschaftliche Forschung und die Innovation fördert, bzw. Forschungsstätten errichten, übernehmen oder betreiben kann.

Mit der Totalrevision des FIFG vom 14. Dezember 2012 ist dieses zu einem Rahmengesetz für die Forschung der Bundesverwaltung (im FIFG wird der Begriff «Ressortforschung» verwendet) ausgearbeitet worden: Die Bundesverwaltung ist ein Forschungsorgan, soweit sie für die Erfüllung ihrer Aufgaben Forschung betreibt oder Aufgaben der Forschungs- und Innovationsförderung wahrnimmt (Art. 4 Bst. d). Der Bund fördert die Forschung und die Innovation nach FIFG sowie nach Spezialgesetzen durch eigene Forschung, einschliesslich der Errichtung und des Betriebs bundeseigener Forschungsanstalten (Art. 7 Abs.1 Bst. e). Die Zweckbestimmung und die Massnahmen der Forschung der Bundesverwaltung (Siehe oben) sowie Vorgaben wie beispielsweise zum Einwer-

ben von Drittmitteln oder zu Overheadbeiträgen werden in Art. 16 dargelegt. Die Einrichtung von bundeseigenen Forschungsanstalten ist in Art. 17 geregelt. Ein wichtiger Aspekt der Forschung der Bundesverwaltung ist deren Koordination. Hierzu wird vom Bundesrat ein interdepartementaler Koordinationsausschuss (KoorA-RF) eingesetzt, der insbesondere Aufgaben im Bereich des koordinierten Vorgehens bei der Erstellung der Mehrjahresprogramme wahrnimmt und Richtlinien zur Qualitätssicherung erlässt (Art. 42). Die Mehrjahresprogramme der Forschung der Bundesverwaltung ein Koordinations- und Planungsinstrument werden in Form von ressortübergreifenden Forschungskonzepten erarbeitet, in welchen die bestehenden Forschungsschwerpunkte der Hochschulen, die im Auftrag des Bundes durchgeführten Förderprogramme des SNF sowie die Tätigkeit der Innosuisse berücksichtigt werden (Art. 45).

Spezialgesetzliche Grundlagen

Neben der Verankerung im FIGG ist die Forschung der Bundesverwaltung auf über 55 *spezialgesetzliche Bestimmungen* (www.ressortforschung.admin.ch) abgestützt. In diesen werden einerseits direkte Evaluations-, Erhebungs-, oder Prüfungsaufträge formuliert, welche die entsprechenden wissenschaftlichen Arbeiten voraussetzen (Forschung für den Vollzug). Andererseits werden mit spezialgesetzlichen «Kann»-Bestimmungen die rechtlichen Voraussetzungen geschaffen, dass der Bund in spezifischen Bereichen Forschung mit Beiträgen (Subvention) unterstützen kann. In den Spezialgesetzen werden die Fördergrundsätze nach Vorgabe des Subventionsgesetzes (SuG) präzisiert. Darüber hinaus setzt selbst dort, wo kein expliziter gesetzlicher Auftrag zur Forschung besteht, die Anwendung und Umsetzung geltenden Rechts oft Fachwissen voraus, welches aktuell sein soll und daher mittels Forschung erarbeitet werden muss (z. B. beim Erlass von Richtlinien und Verordnungen). Deshalb sind Forschungsverpflichtungen auch oft Teil der Leistungsvereinbarung nach NFB oder sie werden in departementalen Organisationsverordnungen für die verschiedenen Ämter festgelegt.

Verpflichtungen aus internationalen Vereinbarungen und parlamentarischen Aufträgen

Neben den spezialgesetzlichen Bestimmungen enthalten oder implizieren auch über 90 *internationale Verträ-*

ge, Konventionen oder Mitgliedschaften Verpflichtungen zur Forschung oder zu nationalen Forschungsanstrengungen in den jeweils relevanten Themenfeldern. Aber auch in Fällen, wo keine expliziten Forschungsverpflichtungen aus Verträgen existieren, ist die in Auftrag gegebene Forschung für einige Ämter zentral, um notwendige internationale Kontakte aufrecht erhalten zu können. Die Forschung der Bundesverwaltung ermöglicht so einen Austausch auf der Basis von Fachwissen, dem die eigenen aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisse zu Grunde liegen.

Vom Parlament selber werden durch parlamentarische Initiativen, Motionen, Postulate, Interpellationen oder Anfragen Aufträge zur Erarbeitung von Erlassens-Entwürfen, von Prüfungsberichten und von Auskünften erteilt, deren Behandlung Aktivitäten in der Forschung der Bundesverwaltung nach sich ziehen kann.

Koordination der Forschung der Bundesverwaltung

Gliederung der Forschung der Bundesverwaltung in Politikbereiche

Die Forschung der Bundesverwaltung wird im Interesse der guten Koordination und Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Bundesstellen nach politischen Bereichen gegliedert. Die Politikbereiche, für die eine strategische Forschungsplanung zu erstellen ist (FIGG Art. 45 Abs. 3), werden vom Bundesrat im Rahmen der jeweiligen Botschaft über die Förderung von Bildung, Forschung und Innovation festgelegt (FIGG Art. 46 Abs. 1 Bst. d). Dazu erarbeiten die betroffenen Bundesstellen unter der Leitung einer federführenden Bundesstelle und unter gezieltem Einbezug externer Expertise (in der Regel eine wissenschaftliche Begleitkommission/-gruppe) vierjährige Forschungskonzepte. Die Erstellung der Forschungskonzepte erfolgt nach den Grundsätzen des KoorA-RF.¹ Die Forschungskonzepte sind prägnante und umfassende Strategiedokumente. Sie dienen der Information von interessierten und betroffenen Forschungsakteuren inner- und ausserhalb des Bundes sowie der öffentlichen Hand generell, unterstützen die Koordination der Forschung und stellen ein Instrument der Planung und Legitimierung der Forschungstätigkeit des Bundes dar. Seit der BFI-Periode 2004–2007 werden für die folgenden 11 Politikbereiche Forschungskonzepte erstellt: 1. Gesundheit (Federfüh-

10. Sport und Bewegung (BASPO) und 11. Nachhaltiger Verkehr (ASTRA, BAV).

Interdepartementaler Koordinationsausschuss für die Forschung der Bundesverwaltung

Einsitz in den Interdepartementaler Koordination Ausschuss für die Forschung der Bundesverwaltung (KoorA-RF) nehmen Mitglieder der Direktionen/ Geschäftsleitungen der Bundesämter mit eigener Forschung und der Eidg. Finanzverwaltung sowie Vertreter des SNF, der Innosuisse und des Rats der Eidgenössischen Technischen Hochschulen (ETH-Rat). Der Ausschuss wird durch ein Geschäftsleitungsmitglied des Staatssekretariates für Bildung, Forschung und Innovation SBFI präsiert.

Gestützt auf das FIGG hat der KoorA-RF namentlich die Aufgaben der Koordination der Forschungskonzepte sowie der Erarbeitung von Richtlinien für die Qualitätssicherung (KoorA-RF 2014). Des Weiteren stellt der KoorA-RF die strategische Koordination der Forschung der Bundesverwaltung sicher, ist eine aktive Plattform für den Austausch guter Praxen in der Qualitätssicherung, erhebt jährlich den Forschungsaufwand und den Budgetrahmen der Forschungsaktivitäten der Bundesverwaltung für die Berichterstattung an den Bundesrat (Informationsnotiz), nimmt Aufgaben wahr bei der Auswahl von Nationalen Forschungsprogrammen (NFP) und Nationalen Forschungsschwerpunkten (NFS), koordiniert zwischen der Forschung der Bundesverwaltung und den anderen Instrumenten der Programmforschung und kann Evaluationen initiieren zu übergeordneten Themen im Bereich der Forschung der Bundesverwaltung.

Die ämter- und departementsübergreifende Steuerung der finanziellen Ressourcen der Forschung der Bundesverwaltung fällt allerdings *nicht* in den Aufgabenbereich des KoorA-RF. Eine entsprechende Empfehlung der Geschäftsprüfungskommission des Nationalrates GPK-N zur Steuerung der Ressourcen in der Forschung der Bundesverwaltung wurde im Jahr 2006 durch den Bundesrat

abgelehnt (*BBI 2007 847*). Diese Steuerung muss in letzter Verantwortung durch das Parlament über die Genehmigung der jeweiligen betroffenen Kredite der Ämter erfolgen und kann mit dem heutigen Verfahren vom Parlament im Rahmen der jährlichen Budgetentscheide effizient wahrgenommen werden.

Arbeitsgruppe und Sekretariat des KoorA-RF

Die Erarbeitung von Grundlagen, Richtlinien und Berichten betreffend die Forschung der Bundesverwaltung sowie die Vorbereitung der Sitzungen und Beschlüsse des KoorA-RF erfolgen in einer Arbeitsgruppe, in welche die Forschungsverantwortlichen der Bundesämter Einsitz nehmen. Die Arbeitsgruppe wird durch das Sekretariat des KoorA-RF geleitet, welches am SBFI angesiedelt ist. Das Sekretariat wiederum sichert den Informationsfluss unter den im KoorA-RF vertretenen Bundesämtern und betreut die Geschäfte. Es ist zuständig für die Website www.ressortforschung.admin.ch, welche Kurzinformationen zu Schwerpunkten der Forschung in den *Politikbereichen*, die aktuellen Forschungskonzepte, Links zu den Forschungsseiten der Bundesämter und die Dokumentation über die *rechtliche Abstützung* der Forschung abbildet. Die Sites enthalten auch standardisierte und jährlich von den in den Politikbereichen federführenden Ämtern aktualisierte *Fact Sheets*, welche die Öffentlichkeit über erfolgreich verlaufene Forschungstätigkeiten («success stories») sowie über die finanziellen Ressourcen informieren.

Datenbank ARAMIS

Das Informationssystem ARAMIS (www.aramis.admin.ch) enthält Informationen über Forschungsprojekte und Evaluationen, die der Bund selber durchführt oder finanziert. Die Ziele und Aufgaben des Systems werden in der ARAMIS-Verordnung (SR 420.171) beschrieben: (1) Schaffung von Transparenz hinsichtlich der Finanzflüsse im Bereich der Forschung und Innovation, (2) inhaltliche Koordination der vom Bund finanzierten oder durchgeführten Projekte, (3) Datenbeschaffung für die Statistik des Bundesamtes für Statistik (BFS) im Bereich «Forschung und Entwicklung in der Bundesverwaltung», (4) Planung und Steuerung auf dem Gebiet der Forschungs- und Innovationsförderung und (5) Unterstützung des Projektmanagements.

Das Informationssystem funktioniert als eine einfache Datenbankanwendung, in welcher alle Forschungsvorhaben und Wirksamkeitsüberprüfungen/Evaluationen der Bundesverwaltung als einzelne oder miteinander verknüpfte Projekte abgebildet werden. ARAMIS dient daher als ein Pfeiler in der Qualitätssicherung der Forschung der Bundesverwaltung und ist entsprechend in den Richtlinien des KoorA-RF über die Qualitätssicherung verankert. Für die Unterstützung der Forschungs-koordination und -planung sowie für einen effizienten Mitteleinsatz werden auf der Basis von ARAMIS jährlich detaillierte Informationen über die Art der Forschung (intramuros, Forschungsaufträge und -beiträge), die Auftragsnehmer sowie die Aufwände der Ämter im Rahmen der Forschungskonzepte zuhanden des Bundesrates und des KoorA-RF zusammengestellt. Damit wird garantiert, dass diese im Hinblick auf die Finanzplanung über die Mittelentwicklung und -verwendung bei den einzelnen Ämtern informiert sind.

Ziele in der Periode 2021 – 2024

Für den KoorA-RF stehen in der Periode 2021 – 2024 folgende übergeordneten Ziele im Vordergrund:

(1) Die Forschungskonzepte für die 11 Politikbereiche wurden nach den Grundsätzen des KoorA-RF ausgearbeitet. Sie richten sich nach den Vorgaben im FIG (3. Abschnitt: Forschungs- und innovationspolitische Planung) und in den Qualitätssicherungsrichtlinien für die Forschung der Bundesverwaltung. Die Forschung der Bundesverwaltung wird, wenn sachlich möglich oder erforderlich, an die allgemeine Forschungs- und Innovationsförderung angeknüpft. Die in den Politikbereichen aufgegriffenen Forschungsthemen sind häufig fachbereichsübergreifend und betreffen die Zuständigkeit von verschiedenen Fachämtern und Departementen. Die Gliederung der Forschung der Bundesverwaltung in 11 Politikbereiche wird daher im KoorA-RF auf eine Anpassung hin überprüft.

(2) Im Hinblick auf Erstellung von *ressortübergreifenden* Forschungskonzepten 2021 – 2024 sind in der Periode 2017 – 2020 verschiedene Aktivitäten zur Identifizierung von ressortübergreifenden Forschungsthemen erfolgt: bei den Bundesstellen wurde eine Erhebung zu möglichen politikübergreifenden Forschungsthemen durchgeführt, welche sich auf die neun Handlungsfelder der Bundes-

strategie «Nachhaltige Entwicklung» 2016 – 2019 abstützen. Es konnten 5 zentrale Forschungsthemen identifiziert werden, welche für die Bundesstellen von hohem Interesse sind und bei welchen ein Forschungsbedarf seitens Bund besteht: (1) Nachhaltiges Verhalten, (2) Sharing Society, (3) Datensicherheit, (4) Smarte Regionen und (5) Gesundheit und Umwelt. In Rahmen eines Pilotprojekts werden die Forschungsfragen der interessierten Bundesstellen beim Forschungsthema «Sharing Society» identifiziert (insb. zu den Themenbereichen Politikgestaltung, Chancen und Risiken, Rebound-Effekte, Datenhandhabung, Verhaltensänderung, Auswirkungen auf den Ressourcenverbrauch, Nachhaltigkeit, Geschäftsmodelle) und die Umsetzungsmöglichkeiten bspw. im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprogramms der Bundesstellen abgeklärt. Basierend auf den Erfahrungen mit dem Piloten sollen die weiteren 4 ressortübergreifenden Forschungsthemen in der BFI-Periode 2021 – 2024 gestaffelt durch die Bundesstellen, welche einen expliziten Forschungsbedarf für ihre Aufgabenerfüllung ausweisen, bearbeitet werden.

(3) Mit der Ausgestaltung des FIG im Jahr 2012 als Rahmengesetz für die Forschung der Bundesverwaltung (im FIG wird der Begriff «Ressortforschung» verwendet) wurde erwartet, dass die Rahmenregelung es erlauben würde, alle heutigen Spezialgesetze für die Forschung der Bundesverwaltung systematisch zu überprüfen bzw. allfällige neu geplante Spezialgesetze bezüglich Bestimmungen über die Forschung gemäss der Rahmenregelung des FIG auszugestalten (Vereinfachung und verbesserte Kohärenz der Legiferierung). Die Umsetzung dieser Vorgabe wurde im Rahmen eines Expertenmandats untersucht: rein quantitativ sind keine grossen Anpassungen in den Spezialgesetzen erfolgt. Im Gutachten wird die Erarbeitung eines gemeinsamen Verständnisses im KoorA-RF von Art. 16 f. FIG und das Bereitstellen von Vorgaben zur Bereinigung der Spezialgesetzgebung durch die zuständigen Departemente empfohlen. Im KoorA-RF sollen daher einerseits ein gemeinsames Verständnis bei der Auslegung der gesetzlichen Bestimmungen im Rahmengesetz FIG erreicht werden und andererseits Unterstützung bei der Anpassung der Spezialgesetzgebung bei anstehenden Gesetzesrevisionen in Bezug auf Artikel betreffend die Forschung der Bundesverwaltung angeboten werden.

(4) Zur Verbesserung der Vertretung der Interessen der Bundesverwaltung bei NFP und zu deren besserer Nutzung durch die Bundesverwaltung ist das Pflichtenheft mit den Aufgaben und Funktionen der Vertreter/innen des Bundes in den Leitungsgruppen der NFP angepasst worden. Bei Bedarf können mehrere Bundesvertretungen aus verschiedenen Bundesstellen in die Leitungsgruppen Einsitz nehmen. SBFI und SNF achten bei der Vorbereitung und Durchführung der NFP themenspezifisch auf eine ausgewogene Förderung anwendungs- und grundlagenorientierter Forschung. Die von den Bundesstellen zur Verfügung gestellte Expertise wird von Beginn der NFP an systematisch genutzt.

A2 Erarbeitung von gemeinsamen ressortübergreifende Forschungsthemen

Das Forschungs- und Innovationsförderungsgesetz (FIGG) sieht vor, dass die Mehrjahresprogramme (Forschungskonzepte) ressortübergreifend erstellt werden. In den bisherigen Forschungskonzepten wurde kurz die Koordination zwischen den Bundesstellen im Forschungsbereich und die thematischen Schnittstellen zwischen den Politikbereichen der Ressortforschung beschrieben.

Im Jahr 2017 wurde eine Arbeitsgruppe im Rahmen des Koordinationsausschusses gegründet, in dem die Bundesstellen ARE, BAG, BAFU, BFE, BLV, BLW, BSV und SBFI vertreten sind, um gemeinsame «ressortübergreifende Forschungsthemen» im Hinblick auf die Erstellung der Forschungskonzepte und der BFI-Botschaft zu identifizieren. Nach einem Plausibilisierungstest zur Identifizierung von gemeinsamen Forschungsthemen auf Basis der «Strategie für nachhaltige Entwicklung» wurde von November 2017 bis Januar 2018 bei allen im Koordinationsausschuss Ressortforschung vertretenen Bundesstellen eine Umfrage durchgeführt. Auf der Basis der neun Handlungsfelder der «Strategie nachhaltige Entwicklung» des Bundes wurden rund 240 Themen von 17 Bundesstellen aufgeführt, welche zu gemeinsamen Forschungsprojekten führen könnten.

Die Arbeitsgruppe des Koordinationsausschusses für Ressortforschung hat die Themenvorschläge in Themenfeldern kondensiert und fünf, für den Menschen zentrale

Handlungsebenen (Ernährung, Wohnen, Freizeit, Arbeit, Sicherheit), zugeordnet. Anlässlich eines Workshops im Juli 2018 bei dem 21 Bundesstellen (ARE, ARMASUISSE, ASTRA, BABS, BAFU, BAG, BAKOM, BASPO, BAV, BAZL, BFE, BFS, BK, BLV, BLW, BSV, BWO, EDA/DEZA, METEOCH, SBFI, SECO) teilgenommen haben, wurden die Forschungsthemen weiter präzisiert und das Interesse beziehungsweise die Bereitschaft für die Weiterentwicklung der Forschungsthemen abgeklärt. Es konnten fünf zentrale Forschungsthemen identifiziert werden, welche für die Bundesverwaltung von hohem Interesse sind und bei denen Forschungsbedarf seitens des Bundes besteht: (1) Nachhaltiges Verhalten, (2) Sharing Society, (3) Datensicherheit, (4) Smarte Regionen und (5) Gesundheit und Umwelt.

Die Präferenzen bei den 5 vorgeschlagenen ressortübergreifenden Forschungsthemen wurden im Rahmen einer Umfrage bei den teilnehmenden Bundesstellen abgeklärt. In der Erhebung wurde «Sharing Society» als geeignetes Forschungsthema für ein Pilotprojekt der ressortübergreifenden Forschungszusammenarbeit ausgewählt. Basierend auf den Erfahrungen mit diesem Pilotprojekt sollen die weiteren vier ressortübergreifenden Forschungsthemen in der BFI-Periode 2021 – 2024 gestaffelt durch die Bundesstellen, welche einen expliziten Forschungsbedarf für ihre Aufgabenerfüllung ausweisen, bearbeitet werden.

Für die Finanzierung der ressortübergreifenden Forschungsthemen sind verschiedene Möglichkeiten denkbar, wie beispielsweise die Finanzierung über die Amtsbudgets, einen Bundesratsantrag oder die Lancierung eines nationalen Forschungsprogramms. Die Finanzierungsart wird abhängig von den identifizierten Forschungsfragestellungen durch die Programm- und Fachexperten bestimmt.

Literatur

BAFU, 2012a. Forschungskonzept Umwelt für die Jahre 2013 – 2016. Schwerpunkte, Forschungsbereiche und prioritäre Forschungsthemen. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Umwelt-Wissen 1609. 70 S.

BAFU, 2012b. Strategie Biodiversität Schweiz. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Umwelt-Diverses UD-1060-D. 89 S.

BAFU, 2013. Waldpolitik 2020. Visionen, Ziele und Massnahmen für eine nachhaltige Bewirtschaftung des Schweizer Waldes. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Umwelt-Diverses UD-1067-D. 66 S.

BAFU, 2016a. Forschungskonzept Umwelt für die Jahre 2017 – 2020. Schwerpunkte, Forschungsbereiche und prioritäre Forschungsthemen. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Umwelt-Wissen 1609. 70 S.

BAFU, 2016b. Strategie des BAFU 2030. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. 20 S.

BAFU, 2018. Umwelt-Fussabücke der Schweiz. Zeitlicher Verlauf 1996 – 2015. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Umwelt-Zustand UZ-1811-D. 131 S.

BAFU, BAG, BLV, BLW and SECO, 2017. Strategie Chemikaliensicherheit für den departementsübergreifenden Vollzug des Chemikalienrechts. Bundesamt für Gesundheit BAG, Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Staatssekretariat für Wirtschaft SECO, Bern. 25 S.

BAFU, BFE and SECO, 2017. Ressourcenpolitik Holz – Strategie, Ziele und Aktionsplan Holz. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bundesamt für Energie BFE, Staatssekretariat für Wirtschaft SECO, Bern. Umwelt-Diverse UD-1102-D. 44 S.

BAFU and WSL, 2017. Wandel der Landschaft. Erkenntnisse aus dem Monitoringprogramm Landschaftsbeobachtung Schweiz (LABES). Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Bern. Umwelt-Zustand UZ-1641-D. 74 S.

BAG and GDK, 2016. Nationale Strategie Prävention nichtübertragbarer Krankheiten (NCD-Strategie) 2017 – 2024. Bundesamt für Gesundheit BAG, Schweizerische Konferenz der kantonalen Gesundheitsdirektoren und -direktoren GDK, Bern. 63 S.

BFS, 2015. Forschung und Entwicklung (F+E)-Aufwendungen des Bundes. Bundesamt für Statistik BFS. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/aktuell/neue-veroeffentlichungen.assetdetail.8086333.html>

BFS, 2017a. Forschung und Entwicklung (F+E)-Aufwendungen der Privatwirtschaft 1995 – 2015. Bundesamt für Statistik BFS. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken/tabellen.assetdetail.3662421.html>

BFS, 2017b. Forschung und Entwicklung (F+E)-Aufwendungen der Privatwirtschaft 2015. Bundesamt für Statistik, Neuenburg. 1149-1500. 85 S.

BLW and BLV, 2015. Strategie Lebensmittelkette. Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV, Bern. 8 S.

Bundesrat, 2015. Strategie Antibiotikaresistenzen Schweiz. Schweizerischer Bundesrat, Bern. 78 S.

Bundesrat, 2016. Strategie Nachhaltige Entwicklung 2016-2019. Schweizerischer Bundesrat, Bern. 76 S.

Bundesrat, 2017. Aktionsplan Strategie Biodiversität Schweiz. Schweizerischer Bundesrat, Bern. 50 S.

Bundesrat, 2018. Umwelt Schweiz 2018. Schweizerischer Bundesrat, Bern. Umwelt-Wissen UI-1813-D. 202 S.

EC, 2007. RP7 in Kürze. Wie man sich am 7. Rahmenprogramm für Forschung der EU beteiligen kann. Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, Luxemburg. KI-77-07-031-DE-C. 32 S.

EC, 2011. Breakdown of the Horizon 2020 budget. European Commission EC, 2 S.

EUA, 2015. Die Umwelt in Europa: Zustand und Ausblick 2015 – Synthesebericht. Europäische Umweltagentur (EUA), Kopenhagen. 208 S.

Future Earth, 2019. Annual report 2018-19. Future Earth. 86 S.

Gauch, M., C. Matasci, I. Hincapié and R. Hörler, 2017. Material- und Energieressourcen sowie Umweltauswirkungen der Mobilität Schweiz. EMPA – Materials Science & Technology, St. Gallen. Projekt MatCH «Materialressourcen Schweiz» 94 S.

Gauch, M., C. Matasci, I. Hincapié, R. Hörler and H. Böni, 2016. Material- und Energieressourcen sowie Umweltauswirkungen der baulichen Infrastruktur der Schweiz. EMPA – Materials Science & Technology, St. Gallen. Projekt MatCH «Materialressourcen Schweiz» 79 S.

INFRAS, 2018. Auswirkungen des Klimawandels im Ausland – Risiken und Chancen für die Schweiz. Bundesamt für Umwelt BAFU, Zürich. 151 S.

INFRAS and Ecoplan AG, 2015. Externe Effekte des Verkehrs 2015. Aktualisierung der Berechnungen von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten des Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehrs 2010 bis 2015. Bundesamt für Raumentwicklung ARE, Zürich / Bern. 185 S.

Innosuisse, 2019. Spitzenplatz. Mehrjahresprogramm 2021 – 2024. Innosuisse – Schweizerische Agentur für Innovationsförderung, Bern. 40 S.

IPBES, 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Paris. Report of the Plenary of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on the work of its seventh session IPBES/7/10/Add.1. 45 S.

KoorA-RF, 2014. Qualitätssicherung in der Ressortforschung des Bundes. Richtlinien. Interdepartementalen Koordinationsausschuss für die Ressortforschung des Bundes, Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF, Bern. 29 S.

KTI, 2017. Bewilligte F&E-Projekte KTI 2016 im Umweltbereich. Kommission für Technologie und Innovation KTI (Innosuisse). unveröffentlicht.

Matasci, C., M. Gauch and H. Böni, 2018. Material- und Energieressourcen von Produktion und Konsum in der Schweiz. EMPA – Materials Science & Technology, St. Gallen. Projekt MatCH «Materialressourcen Schweiz» 84 S.

PLANAT, 2018. Umgang mit Risiken aus Naturgefahren. Strategie 2018. Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, c/o Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. 30 S.

Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, A. Persson, F. S. Chapin, E. F. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. J. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. de Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sorlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen and J. A. Foley, 2009. A safe operating space for humanity. *Nature* 461(7263): 472 – 475. 10.1038/461472a

SBFI, 2017a. COST Projekte 2016. Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation SBFI. unveröffentlicht.

SBFI, 2017b. EUREKA Projekte im Umweltbereich 2016. Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation SBFI. unveröffentlicht.

SBFI, 2017c. FP7 & H2020 Projekte. Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation SBFI. unveröffentlicht.

SBFI, 2017d. Umweltrelevante Projekte des Bereichs Raumfahrt im Jahr 2016. Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation SBFI. unveröffentlicht.

SCNAT, 2016. Brennpunkt Klima Schweiz. Grundlagen, Folgen und Perspektiven. Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT), Bern. swiss academies reports 5. 218 S.

SCNAT, 2017. Jahresbericht SCNAT 2016. Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT), Bern. 17 S.

SNF, 2017. Bewilligte Beiträge 2016. Schweizerisches Nationalfonds. unveröffentlicht.

Steffen, W., K. Richardson, J. Rockström, S. E. Cornell, I. Fetzer, E. M. Bennett, R. Biggs, S. R. Carpenter, W. de Vries, C. A. de Wit, C. Folke, D. Gerten, J. Heinke, G. M. Mace, L. M. Persson, V. Ramanathan, B. Reyers and S. Sörlin, 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347(6223): 10.1126/science.1259855

UNEP, 2019. Sand and Sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources. United Nations Environmental Programme UNEP, Geneva. 56 S.

WEF, 2019. The Global Risks Report 2019. 14th Edition. World Economic Forum WEF, Geneva. ISBN: 978-1-944835-15-6. 107 S.