

> Biotechnologie in der Schweiz: Zwischen Risiko und Innovation

Stand der Biosicherheit in Forschung und Landwirtschaft



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

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

Autorin

Lucienne Rey, Texterey, Bern

Begleitung BAFU

Bernadette Guenot (Sektion Biotechnologie),

Brigitte Kast (Sektion Biotechnologie),

Robert Stark (Abteilung Kommunikation)

Gestaltung

Anamorph, Marcel Schneeberger, Naoko Iyoda, Zürich

Zitierung

Rey L. 2016: Biotechnologie in der Schweiz: Zwischen Risiko und Innovation. Bundesamt für Umwelt, Bern.

Umwelt-Zustand Nr. 1613: 30S.

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uz-1613-d

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.

Titelfoto

GVO im Labor: Die Modellpflanze *Arabidopsis thaliana* wird in der Grundlagenforschung gentechnisch verändert, um Prozesse auf molekularer Ebene zu untersuchen. Quelle: Bernadette Guenot/BAFU

> Inhalt

Abstracts		5
Vorwort		7
<hr/>		
1	Die Risiken des Unsichtbaren	8
1.1	Wissenschaftliche Spurensuche	8
1.2	Schwer zu erschliessender Mikrokosmos	9
1.3	Krankheitserreger im Dienst der Gesundheit	11
1.4	Zweischneidige Wirkung	12
1.5	Instrumente für die Herausforderungen der Gegenwart	12
<hr/>		
2	Fortschritt und Sicherheit	14
2.1	Gesetzlicher Rahmen für die Arbeit mit Mikroorganismen	14
2.2	Zuständigkeiten und Zusammenarbeit der Behörden	14
2.3	Kenngrossen und Modelle für die Beschreibung eines Zustandes	15
<hr/>		
3	Forschung im Blickpunkt	16
3.1	Innovation als Treibkraft	16
3.2	Zunehmende Forschungstätigkeiten	17
3.3	Trotz intensiver Forschung kaum Zwischenfälle	19
<hr/>		
4	GV-Pflanzen in der Landwirtschaft	20
4.1	Mit Lebensmitteln wird auch die Zubereitung importiert	20
4.2	Freilandversuche mit GV-Pflanzen	21
4.3	Bewährtes Monitoring	23
4.4	Sicherheit von GV-Pflanzen unter der Lupe	24
<hr/>		
5	Gesetzliche Leitplanken für die Biosicherheit	26
5.1	Nach Risiko abgestufte Klassen	26
5.2	Gentechnisch veränderte Organismen im Fokus	27
<hr/>		
Verwendete Quellen		28

> Abstracts

The use of diverse organisms, ranging from pathogenic bacteria to transgenic mice, is essential for advances in biotechnology. However, the handling of potentially harmful organisms requires the implementation of safety measures to prevent them from escaping or proliferating uncontrollably in the environment. This report discusses the status of biosafety in Switzerland and identifies the measures taken by the concerned authorities to ensure the protection of human beings, animals and the environment.

Keywords:

Biosafety, use of organisms, research, contained systems, experimental releases, pathogens, GMOs

Die Verwendung verschiedenster Organismen, von krankheitserregenden Bakterien bis hin zu transgenen Mäusen, ist für den biotechnologischen Fortschritt unentbehrlich. Jedoch gilt es, Sicherheitsmassnahmen zu treffen, um beim Umgang mit potentiell schädlichen Organismen sicherzustellen, dass diese nicht entweichen oder sich unkontrolliert in der Umwelt vermehren können. Der vorliegende Bericht beleuchtet den Stand der Biosicherheit in der Schweiz und zeigt dabei insbesondere auf, welche Massnahmen die betroffenen Behörden treffen, um den Schutz von Mensch, Tier und Umwelt zu gewährleisten.

Schlüsselwörter:

Biosicherheit, Umgang mit Organismen, Forschung, geschlossenes System, Freisetzungsversuche, Pathogene, GVO

L'utilisation de divers organismes, de la bactérie pathogène à la souris transgénique est un instrument indispensable pour le progrès dans le domaine de la biotechnologie. Le maniement d'organismes potentiellement nuisibles nécessite toutefois la mise en place de mesures de sécurité afin qu'ils ne puissent pas s'échapper ou se multiplier de manière incontrôlée dans l'environnement. Le présent rapport met en évidence l'état de la biosécurité en Suisse et démontre en particulier les mesures que prennent les autorités concernées afin de garantir la protection de l'être humain, des animaux et de l'environnement.

Mots-clés:

Biosécurité, utilisation d'organismes, recherche, milieux confinés, disséminations expérimentales, agents pathogènes, OGM

L'impiego di svariati organismi, come batteri patogeni o topi geneticamente modificati, è imprescindibile per il progresso della biotecnologia. Tuttavia, l'utilizzo di organismi potenzialmente pericolosi implica l'adozione di misure di sicurezza al fine di poter impedire la fuoriuscita o la proliferazione incontrollata di tali organismi nell'ambiente. Il presente rapporto illustra lo stato della biosicurezza in Svizzera e indica in modo particolare quali misure le autorità competenti adottano per garantire la protezione dell'uomo, degli animali e dell'ambiente.

Parole chiave:

Biosicurezza, utilizzazione di organismi, ricerca, sistema chiuso, emissioni sperimentali, patogeni, OGM

> Wir haben eine Kultur der Biosicherheit entwickelt

Die Biotechnologie kann als Synthese von Wissenschaft und Ingenieurwesen bezeichnet werden, deren Ziel es ist, Stoffe mittels biologischer Systeme umzuwandeln. Sie spielt eine wichtige Rolle in unserem Land. Der Forschungsplatz Schweiz geniesst internationales Ansehen, und die enge Verbindung zwischen Industrie und Wissenschaft sorgt dafür, dass neue Ideen rasch in industrielle Verfahren einfließen. Diese Verflechtung ist ein wichtiger Trumpf, denn Wissenschaft und Innovation sind Triebfedern des Wohlstands und der Lebensqualität einer jeden Gesellschaft.

Doch die Arbeit mit lebenden Organismen birgt auch Risiken, denn im Unterschied zu anderen Produkten gilt für Organismen die «Regel der drei V»: Organismen können sich vermehren, sich vermischen und sich verändern. Aufgrund ihrer Eigenheiten und ihrer Entwicklung im Zusammenspiel mit der Umwelt sind die Risiken bei jeder Anwendung spezifisch. Deshalb erweist sich die Beurteilung der Risiken für die Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt als komplex.

Anwendungsbeispiele der Gentechnik finden sich in der Erforschung von Krankheitserregern oder in der Entwicklung von Modellorganismen, die dem Verständnis organischer Prozesse dienen, die aber nicht in die Umwelt freigesetzt werden. Andere Anwendungen zielen darauf ab, Organismen zu entwickeln, mit deren Hilfe ein geschädigtes Ökosystem wiederhergestellt werden kann.

Gesetzliche Regelungen und technische Massnahmen, die verhindern, dass pathogene, schädliche gebietsfremde oder gentechnisch veränderte Organismen in die Umwelt entweichen, fallen in den Bereich der Biosicherheit. Anhand historischer Beispiele verdeutlicht dieser Bericht, wie die Grundsätze und Methoden sich im Lauf der Zeit parallel zur fulminanten Entwicklung der Kenntnisse und Anwendungen auf dem Gebiet der Biotechnologie verändert haben. Zudem geben ausgewählte Indikatoren Auskunft über den aktuellen Stand der Biosicherheit in der Schweiz.

In den vergangenen 20 Jahren etablierte sich hierzulande dank der stetigen Sensibilisierung auf die Risiken, die von bestimmten Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten ausgehen, eine eigentliche «Kultur der Biosicherheit». Ihr ist es zu verdanken, dass trotz der regen Forschungstätigkeit praktisch keine gravierenden unkontrollierten Freisetzungen aus Labors und Entwicklungsstätten von Hochschulen und privaten Betrieben zu verzeichnen sind. Diese positiven Ergebnisse beruhen nicht zuletzt auf den gemeinsamen Anstrengungen aller zuständigen Stellen der Bundesverwaltung und der Kantone, die im Rahmen ihrer Kompetenzen gleichsam als Hüterinnen der Biosicherheit in der Schweiz fungieren.



Gérard Poffet
Vizedirektor des BAFU bis März 2016

1 Die Risiken des Unsichtbaren

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts stiess die Wissenschaft dank leistungsstarker Mikroskope in bisher verborgene Dimensionen vor: Keime wurden sichtbar und als Urheber schlimmer Erkrankungen offenkundig. Heute können Forschende sogar Vorgänge im Innern von lebenden Zellen beobachten, und die Gentechnik gestattet es ihnen, Veränderungen an der Erbsubstanz von Mikroorganismen, Pflanzen und Labortieren vorzunehmen. Wegen der Forschung an hoch ansteckenden Keimen und aufgrund der Arbeit mit gentechnisch veränderten Organismen wurden Massnahmen zur Biosicherheit erforderlich.

Als am 1. April 1793 der «Stadt- und Kreisphysikus» Christian Friedrich Kaiser (1749–1794) aus Calw (Baden-Württemberg) den Klein-Enzshof im Schwarzwald erreichte, bot sich ihm eine bedrückende Szene. In zwei Betten lagen vier Verstorbene, während in einem anderen Zimmer eine Siebenjährige noch mit dem Tod rang. Von den dreizehn Menschen, die ursprünglich auf dem Hof lebten, sollten schliesslich sechs sterben. Der Hausherr selber «war am Ersticken, er gab zu verstehen: dass seine Augen gänzlich verdunkelt seyen». In seiner Ratlosigkeit griff der «Hofmedicus» auf bewährte Therapien zurück und versuchte, mit Aderlässen, Klistieren aus Essigwasser und lauen Bädern das Leiden zu lindern. Dessen Ursache allerdings wusste er klar zu benennen: Ein «Blunzen» – also eine süddeutsche Blutwurst –, den die Hofgemeinschaft vier Tage zuvor verzehrt hatte, war die Quelle des Übels (Abb. 1). Zwar schloss der Arzt eine vorsätzliche Vergiftung

durch eine «boshafte Vermischung der Speise mit Nieswurz, Schierling oder Belladonna» nicht aus. Doch der Verdacht, der Blunzen sei «seiner Natur nach schädlich» geworden, überwog. Ein Chirurg, den der erkrankte Landwirt als erstes konsultiert hatte, sprach von einer «epidemischen Krankheit», da erst kurz zuvor in Tübingen und Stuttgart ähnliche Fälle aufgetreten waren. Eine erste solche Vergiftung ist für das Jahr 1789 belegt.

Tatsächlich litt Mitteleuropa im Winter 1788/89 unter lang anhaltendem grimmigem Frost, und im darauf folgenden Sommer brachte ein kühler Sommer schlechte Ernten. In den folgenden Jahren wiederum zogen marodierende Truppen Napoleons durch die Gegend. Lebensmittel waren knapp, und so gelangten mitunter auch Esswaren auf den Teller, die nicht über alle Zweifel erhaben waren. Dass die Blutwurst auf dem Klein-Enzshof säuerlich gerochen hatte, war jedenfalls einem Tagelöhner aufgefallen, der nur wenig davon ass und entsprechend kaum Symptome entwickelte.



Abb. 1 Schlecht gewordene Fleischwaren wie beispielsweise Blutwürste führten im 18. Jhd immer wieder zu teilweise tödlichen Vergiftungen. Quelle: Johannes Lietz/Flickr.

1.1 Wissenschaftliche Spurensuche

Es sollte fast dreissig Jahre dauern, bis sich der Arzt und Schriftsteller Justinus Kerner (1786–1862) systematisch mit Krankheitsfällen auseinandersetzte, die von schlecht gewordenen Wurstwaren hervorgerufen worden waren. An Katzen, Kaninchen, Eulen und anderen bedauernswerten Tieren führte er insgesamt 27 meist tödlich endende Versuche durch, die er in seinem 1822 erschienenen Werk «Das Fettgift oder die Fettsäure und ihre Wirkung auf den thierischen Organismus» minutiös dokumentierte. Auch 24 Krankengeschichten von Patienten, die der Oberamtsarzt Kerner teilweise persönlich behandelt hatte, werden ausführlich geschildert.

Bis der tatsächliche Ursprung des rätselhaften «Fettgiftes» ermittelt wurde, verstrichen allerdings weitere fünfzig Jahre und es brauchte dazu die Vorarbeiten von Louis Pasteur (1822–1895), Robert Koch (1843–1910) und vielen weiteren

Wissenschaftlern. Pasteur beschäftigte sich Mitte der 1850er-Jahre intensiv mit dem Phänomen der Gärung von Bier und war überzeugt, diese werde von lebenden Mikroorganismen verursacht. Andere Chemiker dagegen, etwa Justus Liebig (1803–1873), gingen von einem abiotischen Charakter der Gärung aus. Im Jahr 1876 schliesslich gelang es dem Mediziner Robert Koch als Erstem, ein Bakterium in der Kultur zu züchten und seine Rolle bei der Entstehung einer Pathologie zu entschlüsseln – und zwar den Milzbranderreger (*Bacillus anthracis*).

Ausgehend von den Grundlagen, die die neue Wissenschaftsdisziplin der Bakteriologie geschaffen hatte, war es schliesslich der belgische Professor Émile Pierre Marie van Ermengem (1851–1932), der in einem 1897 veröffentlichten Manuskript die Ursache der mittlerweile Botulismus genannten Krankheit beschrieb; den Namen hatte man ihr in Anlehnung an «Botulus», der lateinischen Bezeichnung für Wurst, gegeben. Van Ermengem verfolgte dazu die Krankengeschichten von 34 Mitgliedern des Musikvereins von Ellezelles, einer Gemeinde in Wallonien: Sie waren schwer erkrankt, nachdem sie an einer Trauerfeier rohen Schinken gegessen hatten. Drei von ihnen starben, mindestens zehn schwebten in Lebensgefahr. Van Ermengem stellte die typischen Symptome des Botulismus fest, insbesondere Übelkeit und Erbrechen. Später kamen Lähmungen hinzu, die sich zunächst vor allem an den Augen manifestierten: Die Erkrankten konnten ihre Lider nicht mehr bewegen, sahen doppelt oder wie durch einen Nebelschleier, und die Pupillen passten sich nicht mehr den Lichtverhältnissen an. Es folgten Schwierigkeiten beim Sprechen, Schlucklähmung und Atemnot, und bei den Fällen mit tödlichem Ausgang «trat im letzten Stadium ein comatöser Zustand oder leichtes Delirium auf». Van Ermengem studierte den Krankheitsverlauf, analysierte die Obduktionsprotokolle und experimentierte mit den Resten des verdorbenen Schinkens an Versuchstieren: Er fütterte einige direkt mit dem Schinken, gab anderen vom Fleisch ihrer am Schinken verendeten Vorgänger zu essen oder spritzte ihnen deren Urin ein. So wies er nach, dass es sich beim Krankheitserreger nicht um einen im eigentlichen Sinn ansteckenden Keim, sondern um ein «toxicogenes» Bakterium handelt, das ein starkes Gift erzeugt. Auch gelang es ihm, den Erreger in der Kultur zu züchten und zu zeigen, dass er nur im sauerstoffarmen (d. h. anaeroben) Milieu und am besten bei einer Temperatur um 20 Grad gedeiht. «Die konservierten Nahrungsmittel, welche hauptsächlich der Anaerobiose ausgesetzt sind, dürfen niemals in rohem Zustande, sondern stets gehörig gekocht genossen werden», folgerte der Wissenschaftler.

Heute weiss man: Das Botulinum-Toxin, produziert vom Bodenbakterium *Clostridium botulinum*, ist eines der stärksten Gifte überhaupt. Und die Forschung hat uns auch sein nützliches Potenzial erschlossen. In geringen Dosen wirkt es



Abb. 1.1 Das Botulinum-Toxin wird heutzutage in der Schönheitsindustrie zur Bekämpfung von Falten vermarktet. Quelle: Sergiy Palamarchuk/Dreamstime.

nämlich nicht lähmend, sondern bloss entspannend, sodass es etwa in der medizinischen Behandlung von Muskelkrämpfen bei Spastikern Verwendung findet; wenige Milliardstel eines Gramms reichen für den therapeutischen Effekt. Auch Störungen im Gleichgewicht des Augenmuskels, die zum Schielen führen (Strabismus), und Lidkrämpfe werden mit dem Toxin behandelt. Am bekanntesten ist freilich sein Einsatz für die Bewahrung jugendlicher Gesichtszüge: Die Schönheitsindustrie nutzt die lähmende Wirkung des Gifts, um die Mimik stillzulegen und so die Falten zu glätten (Abb. 1.1).

1.2 Schwer zu erschliessender Mikrokosmos

Die wenigsten Bakterien entfalten so drastische Auswirkungen wie das *Clostridium botulinum*. In der Menschheitsgeschichte kommt sogar gerade den unauffälligen Mikroorganismen eine besondere Bedeutung zu: Dank Hefepilzen und Milchsäurebakterien, die natürlicherweise in der Luft vorkommen, entstand Sauerteig. Er ermöglichte es unseren Vorfahren, statt der schon länger bekannten Getreidefladen luftiges und geschmacksintensiveres Brot zu backen. Die Wissenschaft vermutet, dass Sauerteigbrote an mehreren Orten auf der Welt unabhängig voneinander «erfunden» wurden. Das bisher älteste entdeckte man 1976 im Kanton Bern, bei einer archäologischen Ausgrabung in einer jungsteinzeitlichen Siedlung nahe von Twann: Es konnte in die Zeit um 3500 vor Christus datiert werden. Das Deutsche Wörterbuch der Gebrüder Grimm (1785–1863 und 1786–1859) bringt das Wort «Brot» etymologisch in einen Zusammenhang mit «brauen»:

Den Menschen scheint die Ähnlichkeit der Vorgänge bei der Gärung von Bier und beim Aufgehen von Hefeteig schon früh aufgefallen zu sein, ohne dass sie vermutlich die Zusammenhänge vollständig begriffen.

Zum ersten Mal wurden Mikroorganismen im 17. Jahrhundert beobachtet, und zwar unter den Linsen, die der niederländische Naturforscher und Linsenschleifer Antoni van Leeuwenhoek (1632–1723) selber angefertigt hatte (Abb. 1.2.1). Die wissenschaftliche Gemeinschaft allerdings nahm seine Entdeckung der von ihm «animalcules» genannten Kleinstlebewesen nicht ernst. Überhaupt fiel es den Forschenden zunächst schwer, die durch das Mikroskop ermöglichten Beobachtungen in plausible wissenschaftliche Theorien zu übersetzen – und zwar selbst dann, wenn ein dramatisches Ereignis eine grosse Anzahl Naturwissenschaftler auf den Plan rief. So befassten sich viele Botaniker mit einem rätselhaften Phänomen, das zunächst in den 1770er-Jahren in England und Hannover das Kraut von Kartoffelpflanzen welken und teilweise ihre Knollen faulen liess. Zwischen 1845 und 1849 kam es zum traurigen Höhepunkt, bei dem in Irland in mehreren aufeinander folgenden Jahren praktisch die ganze Kartoffelernte zerstört wurde. Die Folgen waren verheerend, denn die Knolle war das

dominierende Grundnahrungsmittel der Inselbewohner. Die Bevölkerungszahl fiel von rund 8,4 Millionen im Jahr 1844 auf 6,6 Millionen im Jahr 1851. Rund eine Million Menschen starben den Hungertod oder fielen in geschwächtem Zustand dem Typhus oder anderen Krankheiten zum Opfer. Unzählige Familien entflohen den desolaten Zuständen in die Vereinigten Staaten von Amerika (Abb. 1.2.2).

Über die Ursache der zerstörten Ernten indes waren sich die Gelehrten uneins. Zum Austragungsort des Disputs wurde die 1844 gegründete Zeitschrift «The Gardener's Chronicle and Agricultural Gazette». Deren Gründer und Chefredaktor, der Botaniker John Lindley (1799–1865), vertrat die These, die verregneten Sommer seien schuld an der Katastrophe, weil die Kartoffeln das Übermass an Feuchtigkeit nicht vertragen und verfaulten. So hielt ein im August 1845 in der «Gardener's Chronicle» publizierter Artikel fest: «The Potatoes have been compelled to absorb an unusual quantity of water; the lowness of temperature has prevented their digesting it, and the absence of sunlight has rendered it impossible for them to get rid of it by perspiration. Under these circumstances it necessarily stagnated in their interior; and the inevitable result of that was rot...». Die Gegenthese vertrat ein Amateurbiologe, der Vikar

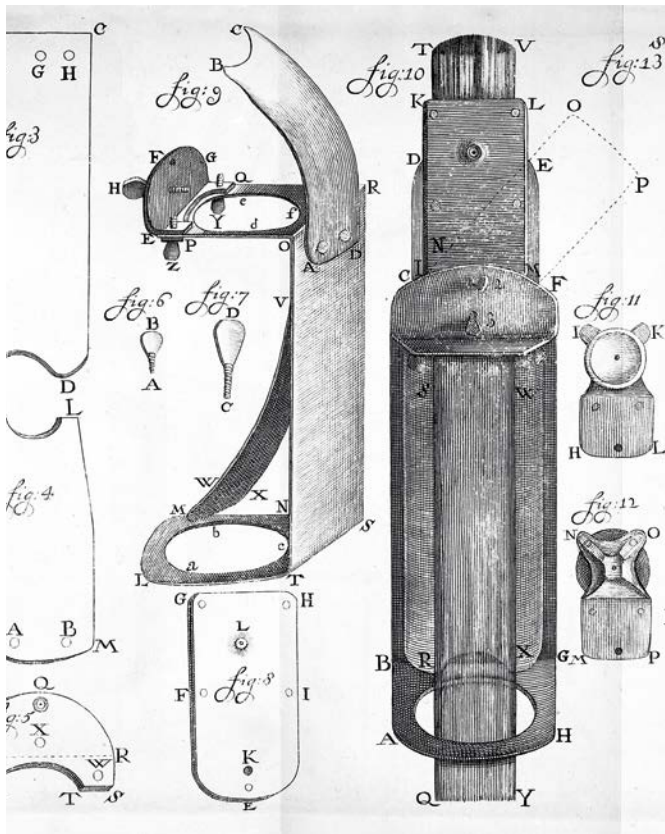


Abb. 1.2.1 Pionierarbeit: Aufbau eines Mikroskops von A. Leeuwenhoek. Quelle: Antoni van Leeuwenhoek/Wellcome Library, London.



Abb. 1.2.2 Die verheerende Hungersnot in der Mitte des 19. Jhds trieb viele Iren zur Auswanderung in die USA. Quelle: U.S. National Institutes of Health/Flickr.

Reverend Miles Joseph Berkeley (1803–1889). Auch er beugte sich über das rätselhafte Leiden des Nachtschattengewächses und machte unter dem Mikroskop auf befallenen Kartoffeln einen ähnlichen schimmeligen Belag aus, wie er ihn von angefaulten Zwiebeln kannte. Daraus zog er den Schluss, dass ein Pilz die Kartoffeln zerstöre. In der Öffentlichkeit indes setzte sich die These Lindleys durch. Zwar bestritt auch dieser nicht, dass die angefaulten Kartoffeln von Pilz befallen waren: «That the spawn of fungi is present in large quantity in diseased Potatoes is undoubted. (...) But it does not appear to us, that their being the original cause of the disease has been well established». Mit anderen Worten: Aus Sicht von Lindley und seinen Co-Autoren ging die durch Feuchtigkeit hervorgerufene Fäulnis dem Pilzbefall voraus.

Erst knappe 20 Jahre später erkannte ein deutscher Forscher die Zusammenhänge. Heinrich Anton de Bary (1831–1888), ein in seinem Entdeckungsdrang von seinen Eltern schon früh geförderter Spross einer adeligen Hugenottenfamilie, analysierte bereits als Jugendlicher Algen und einzellige Lebewesen unter dem Mikroskop. In seiner Habilitationsarbeit von 1853 behandelte er «Untersuchungen über die Brandpilze und die durch sie verursachten Krankheiten der Pflanzen mit Rücksicht auf das Getreide und andere Nutzpflanzen». Dabei knüpfte er an den aktuellen Stand der wissenschaftlichen Diskussion an und befand, es sei nun zu entscheiden, «...ob Brandpilze Parasiten seien, oder Producte krankhafter Zustände, mit anderen Worten, ob sie, bei den mit ihrem Auftreten einhergehenden Störungen im Pflanzenleben, als Ursache oder als Wirkung anzusehen sind». Sein Fazit aus dem Literaturstudium und den eigenen Beobachtungen lässt keinen Raum für Zweifel: «Es ist gezeigt worden, dass die Brandpilze nicht aus dem Zellinhalt, oder dem Secret kranker Zellen entstehen, dass sie nicht Folge, sondern Ursache pathologischer Prozesse sind; dadurch wurde, wie ich denke, gerade der wichtigste und bis jetzt streitigste hierhergehörige Teil der Pflanzenpathologie erörtert». Eine Folgerung, die de Bary 1861 nach eingehender Untersuchung auch für den (heute unter dem Namen *Phytophthora infestans* bekannten) Erreger der Kartoffelfäulnis als zutreffend erachtet: «Es ist (...) somit nachgewiesen, dass die Erkrankung der Kartoffelknolle in ganz derselben Weise durch das Eindringen des Pilzes unmittelbar erzeugt und durch sein Weiterwachsen verbreitet wird, wie die Bräunung des Krautes». Dass sich während Jahren irrige Entstehungstheorien der Kraut- und Knollenfäule zu halten vermochten, begründet der Botaniker nicht zuletzt mit der «Schwierigkeit, die stets mikroskopisch kleinen Sporen dieser Gewächse in ihrer Verbreitung, Keimung und Weiterentwicklung zu verfolgen», beziehungsweise damit, unzutreffende Beobachtungen seien «grosstentheils durch die Unvollkommenheit der Instrumente verschuldet worden, mit welchen man untersucht hat».

1.3 Krankheitserreger im Dienst der Gesundheit

Die Weiterentwicklung der Mikroskope war es denn auch, die die Erforschung von Krankheitserregern aller Art weiterbrachte. Ab den 1870er-Jahren begannen der Physiker Ernst Abbe und der Mechaniker Carl Zeiss in Jena leistungsfähige Mikroskope mit über 1000-facher Vergrößerung herzustellen. Mit Zeiss-Mikroskopen arbeitete beispielsweise auch Robert Koch, der die Erreger von Tuberkulose (1882) und Cholera (1883) entdeckte.

Die ersten Impfstoffe, die aufgrund bakteriologischer Kenntnisse entwickelt wurden, entstanden allerdings im Labor von Louis Pasteur (Abb. 1.3). 1881 erzeugte er ein Serum gegen Milzbrand und 1885 eines gegen Tollwut. Die Tollwutimpfung sicherte Pasteur wissenschaftlichen Ruhm: Denn mit dem neuen Präparat liess sich die Krankheit nicht nur bei Gesunden vorbeugen, sondern es erwies sich selbst dann als wirkungsvoll, wenn es Personen verabreicht wurde, nachdem diese von einem erkrankten Tier gebissen worden waren. Die Menschen reisten alsbald in Scharen nach Paris, um sich behandeln zu lassen: Die Statistik von Pasteurs Labor weist für den Zeitraum von November 1885 bis Dezember

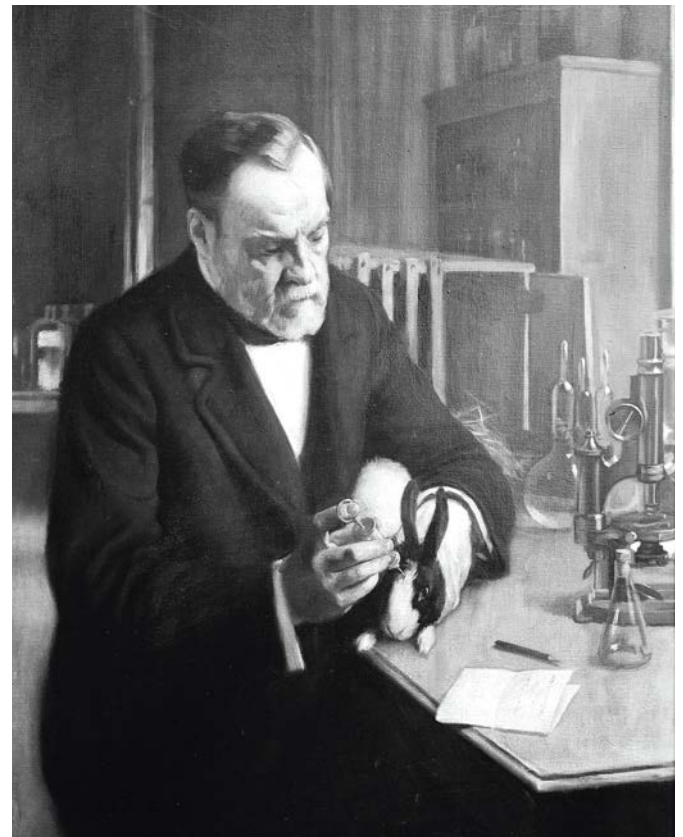


Abb. 1.3 Louis Pasteur, Entwickler des Impfstoffes gegen Tollwut. Quelle: Ernest Board/Wellcome Library, London.

1886 insgesamt 2682 Personen aus, die nach dem Biss eines tollwütigen Tiers mit dem Serum behandelt wurden; nur 31 von ihnen starben. Pasteur und seine Mitarbeiter nahmen somit einer Krankheit, die zuvor fast unweigerlich zum Tod geführt hatte, viel von ihrem Schrecken. Weil die Impfung später auch vorbeugend auf Tiere angewandt wurde, gelang es, Mitteleuropa weitgehend von der gefährlichen Infektionskrankheit zu befreien.

1.4 Zweischneidige Wirkung

Die Forschenden, die in ihren Laboratorien mit Mikroorganismen hantierten, trieb der Wissensdurst – und das Bedürfnis, schwere Krankheiten zu besiegen. Doch ehrenhafte Absichten allein reichen nicht immer, um auch tatsächlich Gutes zu bewirken. Dies belegt das sogenannte «Lübecker Impfunglück»: Im Jahr 1930 wurde in Deutschland erstmals ein Impfstoff gegen Tuberkulose (Abb. 1.4) angewandt, mit dem zuvor in Frankreich und zahlreichen anderen Ländern rund 150 000 Kinder erfolgreich immunisiert worden waren. Der Leiter des Lübecker Gesundheitsamtes Ernst Altstätter und der Direktor des Städtischen Krankenhauses Georg Dyker entschlossen sich, die Impfkultur aus dem Pasteur-Institut zu beziehen und im eigenen Labor als Schluckimpfung aufzubereiten. Sie impften über 250 Säuglinge, von denen bald darauf mehr als 200 an Tuberkulose erkrankten. 73 Babys starben. Im Nachhinein stellte sich heraus, dass das Serum in einem Labor hergerichtet worden war, in welchem zugleich mit ansteckenden Tuberkulosekulturen experimentiert wurde; auf eine strikte räumliche Trennung der verschiedenen Kulturen



Abb. 1.4 *Mycobacterium tuberculosis*, der bakterielle Erreger der Tuberkulose. Quelle: Microbe World/Flickr.

hatte man offensichtlich zu wenig geachtet, sodass die ansteckenden Bazillen auf die Impfkulturen übergreifen konnten.

Dabei waren sich die Fachleute schon früh der Gefahren bewusst, die der Umgang mit Krankheitserregern nach sich zieht. So trat in der Schweiz am 2. Juli 1886 das «Bundesgesetz betreffend Massnahmen gegen gemeingefährliche Epidemien» in Kraft, gefolgt vom «Bundesratsbeschluss über die Anwendung des Bundesgesetzes betreffend Massnahmen gegen gemeingefährliche Epidemien und andere übertragbare Krankheiten» im April 1887. Am 30. Juni 1900 folgte die durch den Bundesrat erlassene «Verordnung betreffend Pestlaboratorien». Mit pestverdächtigem Material durften fortan einzig Einrichtungen arbeiten, die über eine durch die kantonale Sanitätsbehörde im Einverständnis mit dem Eidgenössischen Departement des Innern erteilte Ermächtigung verfügten. Artikel 2 der Verordnung definierte die Anforderungen an Bau und Ausstattung solcher Labors und forderte unter anderem, der dafür bestimmte «helle Arbeitsraum» müsse mit einem besonderen Schlüssel sicher abschliessbar sein und dürfe «keine Nebenausgänge und Verbindungsthüren nach anderen Räumen haben, die nicht dem gleichen Zwecke dienen».

Mit Gesetzen und technischen Vorkehrungen begegnete man also der zwiespältigen Situation, dass die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit Mikroorganismen für den medizinischen Fortschritt unabdingbar ist – genau diese Forschung an Bakterien und Viren ihrerseits aber Risiken mit sich bringt.

1.5 Instrumente für die Herausforderungen der Gegenwart

Im Jahr 1971 gelang es erstmals, dank der neu entdeckten Restriktionsenzyme die Erbsubstanz eines Virus' zu verändern. Damit war die Basis für die Gentechnik gelegt. Diese gestattet es dem Menschen, vitale Vorgänge nicht nur unter dem Mikroskop zu betrachten, sondern aktiv in sie einzugreifen.

Forschende selbst waren es, die sich für einen vorsichtigen und gewissenhaften Umgang mit dem neuen Instrument stark machten: 1975 berief der US-amerikanische Molekularbiologe und Biochemiker Paul Berg, dem fünf Jahre später der Nobelpreis für Chemie verliehen werden sollte, eine Konferenz ein, um den weiteren Umgang mit der neuen Technik zu diskutieren. Unter anderem erörterten die rund 140 Teilnehmenden verschiedene Typen von Sicherheitsvorkehrungen. Angeregt wurde etwa die Verwendung der bereits seit langem erprobten Schutzkleidung. Aber auch biologische Massnahmen wurden beschlossen, die darin bestanden, nur mit abgeschwächten Bakterienstämmen oder mit gentechnisch veränderten Vektoren zu arbeiten, die ausserhalb des Labors keine Überlebenschance hatten. Die Konferenz, die vom



Abb. 1.5 Zur Bekämpfung des Maiszünslers, eines bedeutenden landwirtschaftlichen Schädlings, werden Gene für das Bt-Toxin in Pflanzen eingeschleust. Quelle: Keith Weller/Wikipedia.

24.–27. Februar 1975 im südlichen Kalifornien stattfand, ging als «Asilomar-Konferenz über rekombinante DNA-Moleküle» in die Wissenschaftsgeschichte ein.

Seither hat sich die Gentechnik als molekularbiologisches Instrument der Forschung etabliert und gelangt auch in der pharmazeutischen Industrie zur Anwendung. So werden beispielsweise gentechnisch veränderte Mikroorganismen genutzt, um therapeutische Wirkstoffe wie etwa Insulin oder Medikamente gegen Krebs, Multiple Sklerose und andere schwere Leiden herzustellen; die Website der forschenden Pharma-Unternehmungen in Deutschland nennt derzeit 177 zugelassene Heilmittel, die gentechnisch hergestellt werden. In der medizinischen Forschung spielt die Gentechnik auch eine wichtige Rolle, um Versuchstiere mit Modellkrankheiten zu entwickeln, an denen sich der Verlauf der Pathologie untersuchen und neuartige Therapien testen lassen.

Im Unterschied zu medizinischen Anwendungen der Gentechnik, die mehrheitlich akzeptiert sind, stossen jene in der Landwirtschaft oder gar bei der Produktion von Lebensmitteln in der Schweiz auf Ablehnung: So haben Bevölkerungsumfragen in den Jahren 2011 und 2015 gezeigt, dass über die Hälfte (51 %) der Befragten der Ansicht sind, in der Medizin und Forschung gehe von der Gentechnik eine «eher hohe» oder «sehr hohe» Gefahr aus. Für den Einsatz von Gentechnik in der Landwirtschaft ergab ein Vergleich mit den vorherigen Umfragen von 2009 und 2012, dass der Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen nie zuvor so deutlich abgelehnt wurde wie 2015.

Während also die Pflanzenwissenschaft darauf setzt, dank gentechnischer Methoden Nutzpflanzen zu entwickeln,

die beispielsweise unter schwierigen Umweltbedingungen wie salzigen Böden oder spärlichem Niederschlag gedeihen, steht die Öffentlichkeit den Freilandversuchen mit den neuartigen Gewächsen äusserst skeptisch gegenüber – insbesondere, wenn sie mit artfremden Genen ausgestattet wurden. Zahlreiche transgene Pflanzen, die heute global angepflanzt werden, tragen Gene des Bodenbakteriums *Bacillus thuringiensis* in sich; dieser Mikroorganismus produziert ein Gift, das auf weit verbreitete Insektenschädlinge wie den Maiszünsler (Abb. 1.5) tödlich wirkt. Das Toxin wird auch im biologischen Landbau seit Jahren angewendet – allerdings als Präparat, das gespritzt wird. Die sogenannten Bt-Pflanzen aber stellen das Mittel zur Schädlingsbekämpfung gleich selber her. Auch Resistenzen gegen mikrobielle Landwirtschaftsschädlinge können mittels gentechnischer Methoden in landwirtschaftlich genutzte Pflanzensorten eingebracht werden, zum Beispiel durch das Einführen von Resistenzgenen aus nahe verwandten Wildsorten. So wird heute beispielsweise an fäulnisresistenten Kartoffeln geforscht. Denn noch immer sorgt der pilzähnliche Krankheitserreger *Phytophthora infestans*, der Mitte des 19. Jahrhunderts für die verheerende Hungersnot in Irland verantwortlich war, insbesondere in feuchten Jahren für erhebliche Ernteaufälle und kann im biologischen Landbau einzig mit anorganischen Kupferpräparaten bekämpft werden, die für Gesundheit und Umwelt nicht unbedenklich sind.

Neben der Landwirtschaft hegen auch noch andere Branchen Erwartungen an die vielseitigen Möglichkeiten der Gentechnik. So gibt es Bakterien, die selbst in schwermetallhaltigem Milieu gedeihen und die sogar hoch giftige Substanzen in weniger toxische oder gar harmlose Formen umwandeln können. Diese Mechanismen macht sich die sogenannte Bioremediation zunutze, um belastete Böden oder verschmutztes Wasser zu reinigen. Dank gentechnischer Eingriffe könnten theoretisch bestimmte Mikroorganismen in die Lage versetzt werden, Schadstoffe effizienter und schneller abzubauen.

2 Fortschritt und Sicherheit

Die menschliche Gesundheit und eine möglichst intakte Umwelt stellen hohe Schutzziele dar. Um sie nicht durch krank machende, gentechnisch veränderte oder gebietsfremde Organismen zu gefährden, hat die Schweiz eine Reihe von Gesetzen und Verordnungen erlassen. Für deren Vollzug sind verschiedene Bundesämter zuständig. Die zentrale Meldestelle für Versuche mit potenziell heiklen Organismen ist beim BAFU angesiedelt, das denn auch für den vorliegenden thematischen Bericht zur Biosicherheit verantwortlich ist.

Die Arbeit mit Mikroorganismen und die Anwendungen der Gentechnologie eröffnen Optionen, um anstehende Herausforderungen zu bewältigen. Wenn dabei aber mit hoch ansteckenden und gefährlichen Keimen experimentiert wird oder durch menschliche Eingriffe veränderte Organismen zum Einsatz kommen, sollen diese nicht unkontrolliert in die Umwelt entweichen. Die Prinzipien der Biosicherheit gewährleisten dies dank entsprechenden technischen und organisatorischen Massnahmen.

2.1 Gesetzlicher Rahmen für die Arbeit mit Mikroorganismen

In der Schweiz setzen eine Reihe von auf der Verfassung basierenden Gesetzen und Verordnungen den Rahmen für die Arbeit mit Krankheitserregern und gentechnisch veränderten Organismen (Abb. 2.1). Grundsätzliche Prinzipien halten das Gentechnikgesetz (GTG) und das Umweltschutzgesetz (USG) fest. Für die praktische Arbeit mit krank machenden (pathogenen), gentechnisch veränderten oder gebietsfremden Organismen sind die Freisetzungsverordnung (FrSV) und die Einschliessungsverordnung (ESV) relevant.

Diese vier Regelwerke setzen zwei elementare Grundsätze um: Je gefährlicher ein Organismus, je riskanter eine Tätigkeit und je gewichtiger ein Schutzziel, das es zu bewahren gilt, desto strenger sind die Vorschriften, die erfüllt werden müssen. Der zweite Leitsatz besagt, dass bei der Arbeit mit krank machenden oder gentechnisch veränderten Organismen ein stufenweises Vorgehen zu befolgen ist: Erst, wenn Studien unter Sicherheitsvorkehrungen im geschlossenen System ausreichende Informationen über den betreffenden Organismus erbracht haben, können Analysen im Freiland stattfinden. Und nur, wenn diese mit ausreichend umfangreichen Daten die Sicherheit des untersuchten Organismus' belegt haben, wird es allenfalls möglich, ihn als Produkt zu verwerten, oder in

der Sprache der Juristen ausgedrückt: die Inverkehrbringung zuzulassen (sogenanntes Stufenprinzip).

2.2 Zuständigkeiten und Zusammenarbeit der Behörden

Die Biosicherheit setzt sich also mit der sicheren Handhabung potentiell gefährlicher oder neuartiger Organismen auseinander. Mit anderen Worten: Ihre Prinzipien gelangen immer dann zur Anwendung, wenn Menschen willentlich und bewusst mit solchen Organismen arbeiten. Freilich treten pathogene Keime und Viren auch in der Natur auf; sie sind dann aber nicht mehr Gegenstand der Biosicherheit, sondern fallen beispielsweise unter die Gesundheitsvorsorge, wo

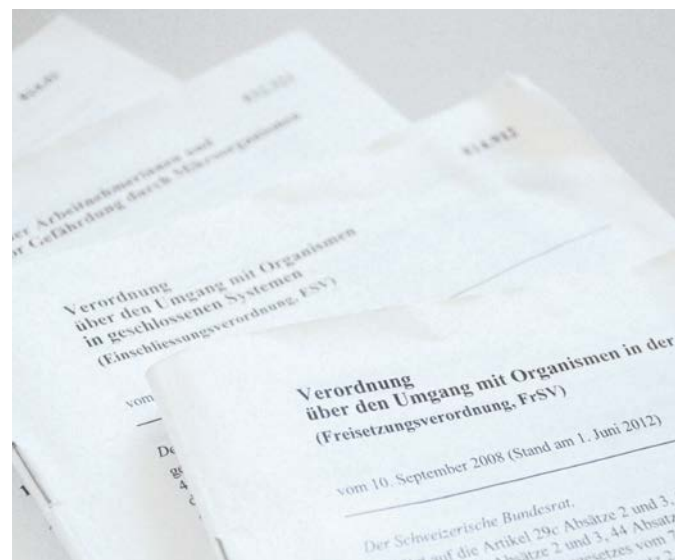


Abb. 2.1 Seit 2012 fällt auch die Verwendung gebietsfremder Organismen wie dem Maiswurzelbohrer unter die ESV.
Quelle: Bernadette Guenot/BAFU.

Regelungen wie etwa das Epidemiengesetz greifen. Für dessen Vollzug ist das Bundesamt für Gesundheit (BAG) zuständig.

Einschliessungs- und Freisetzungsverordnung äussern sich auch zum Umgang mit gebietsfremden Organismen (Abb. 2.2). Denn auch sie können die Umwelt und teilweise die Gesundheit der Menschen gefährden. Allerdings geht der vorliegende Bericht nur punktuell auf die Biosicherheit bei gebietsfremden Organismen ein, da bisher nur wenige Daten zu ihrer Verwendung vorliegen.

2.3 Kenngrössen und Modelle für die Beschreibung eines Zustandes

Um einen Sachverhalt wissenschaftlich präzise zu erfassen und seine Veränderungen über längere Zeit zu verfolgen, braucht es passende Kenngrössen; die Fachwelt spricht hier von Indikatoren. Die Luftqualität etwa lässt sich anhand der Konzentration bestimmter Schadstoffe wie Schwefeldioxid, Kohlendioxid, Ozon und Feinstaub bestimmen. Aufgrund wissenschaftlicher Abklärungen definieren Politik und Verwaltung Grenzwerte, die angeben, wie stark die gemessenen Schadstoffkonzentrationen vom Normwert abweichen dürfen. Wird der Grenzwert überschritten, müssen Massnahmen ergriffen werden, damit die Belastung wieder in den zulässigen Bereich fällt.

Auch um den Stand der Biosicherheit zu ermitteln, braucht es Kenngrössen. Während aber Schadstoffkonzentrationen unmittelbare Rückschlüsse auf die Qualität von Luft, Wasser und Boden zulassen, bedarf es bei der Biosicherheit indirekter Hinweisgrössen wie beispielsweise der Anzahl gemeldeter Versuche mit pathogenen oder gentechnisch veränderten Organismen oder der Publikationen über entsprechende Forschungsarbeiten. Hinzu kommt, dass bei der Interpretation solcher Indikatoren der Ermessungsspielraum beträchtlich ist: Denn eine Zunahme von Versuchen mit pathogenen oder gentechnisch veränderten Organismen kann zwar als Hinweis darauf gedeutet werden, dass das Risiko ihrer Freisetzung wegen der schieren Mengenausweitung ansteigt. Ebenso zulässig ist aber die Folgerung, dass dank der zahlreichen Forschungsarbeiten das Wissen über die untersuchten Organismen steigt und somit auch der Umgang mit ihnen sicherer wird. Zudem treffen Forscher Massnahmen, um das Entweichen der verwendeten Organismen zu verhindern, weshalb man von einer erhöhten Forschungstätigkeit nicht direkt auf ein erhöhtes Risiko für die Umwelt schliessen kann. Im Folgenden wird deshalb auf eine Bewertung der vorgestellten Indikatoren verzichtet.

Um die verschiedenen Indikatoren zu einem Gesamtbild zu fügen, bauen Berichte über den Zustand der Umwelt oft auf dem international etablierten DPSIR-Modell der europäischen



Abb. 2.2 Seit 2012 fällt auch die Verwendung gebietsfremder Organismen wie dem Maiswurzelbohrer unter die ESV.
Quelle: Bernadette Guenot/BAFU.

Umweltagentur auf: Dieses unterscheidet zwischen treibenden Kräften (*Drivers*), Belastungen (*Pressures*), dem aktuellen Zustand (*State*), den Auswirkungen (*Impact*) und den erforderlichen Massnahmen (*Responses*). Auch der hier vorliegende Bericht folgt in seinem Aufbau dem DPSIR-Modell.

Dabei unterscheidet der Bericht zwei Tätigkeitsbereiche, die zwar miteinander verknüpft sind, aber von jeweils verschiedenen Kräften vorangetrieben werden beziehungsweise andersartige Auswirkungen nach sich ziehen. Einerseits werden Indikatoren mit generellem Bezug zur Verwendung von Organismen in der Forschung, hauptsächlich im Labor, vorgestellt (Abb. 3). Andererseits werden Indikatoren aus dem Bereich der grünen Gentechnik, also der Verwendung gentechnisch veränderter Pflanzen insbesondere zu landwirtschaftlichen Zwecken, thematisiert (Abb. 4).

3 Forschung im Blickpunkt

Mit pathogenen und gentechnisch veränderten Organismen wird in erster Linie im Labor gearbeitet. Aus den Aktivitäten im wissenschaftlichen Versuchsraum lassen sich daher verschiedene Indikatoren ableiten, die Rückschlüsse auf die Biosicherheit gestatten.

Für den technischen Fortschritt ist die Forschung mit krankheitsregenden oder gentechnisch veränderten Organismen unabdingbar: Die potentiellen Impfstoffe gegen Ebola beispielsweise hätten ohne genaue Kenntnis dieses hoch ansteckenden und oft letalen Virus' sowie modernen Methoden der Gentechnik nicht entwickelt werden können. Aber auch Industrie und Landwirtschaft profitieren vom biotechnologischen Fortschritt.

3.1 Innovation als Treibkraft

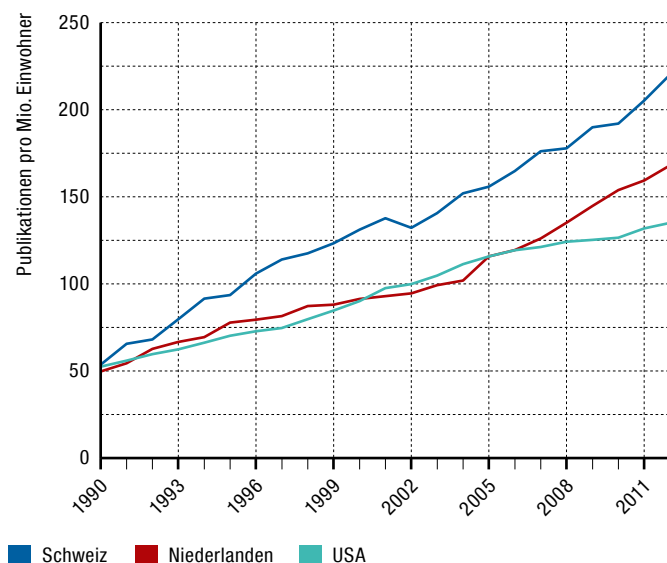
Wissenschaftliche Veröffentlichungen sind ein verlässlicher Gradmesser für die Forschungsaktivität. Die Auszählung der Artikel, die von Schweizer Forschungsinstitutionen in der internationalen Referenzdatenbank Medline aufgeführt

sind, lässt somit Rückschlüsse auf die Forschungsintensität in den hiesigen Universitäten zu. In einer von der Akademie der Naturwissenschaften SCNAT durchgeführten Indikatorenstudie wurde deshalb Medline gezielt nach ausgewählten Schlüsselwörtern aus der Gentechnik durchsucht. Um die Forschungsaktivitäten in der Schweiz gewichten zu können, wurden sie mit jenen der Niederlande – ein hinsichtlich der Grösse und Finanzkraft vergleichbares Land – und den USA als führende Wissenschaftsnation verglichen. Dazu wurde die Anzahl der Publikationen mit der Bevölkerungszahl der jeweiligen Staaten in Beziehung gesetzt (Abb. 3.1.1).

Im Jahr 2008 haben die hiesigen öffentlich finanzierten Forschungsinstitute etwa viermal so viele Publikationen zur Gentechnik veröffentlicht wie noch 1990. Es zeigt sich ausserdem, dass 1990 die Werte für Publikationen aus öffentlichen

Abb. 3.1.1 > Forschungsinteresse

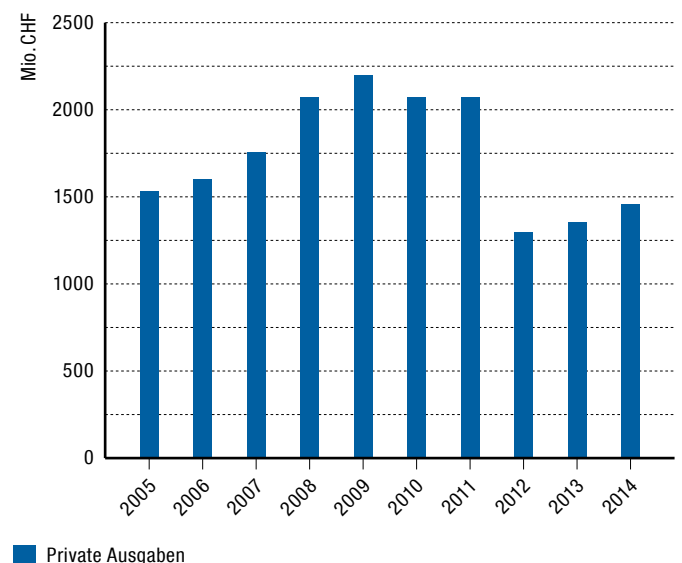
Anzahl Publikationen aus öffentlichen Forschungsinstituten der Schweiz, der Niederlande und der USA im Bereich der Genforschung.



Quelle: Akademie der Naturwissenschaften Schweiz SCNAT.

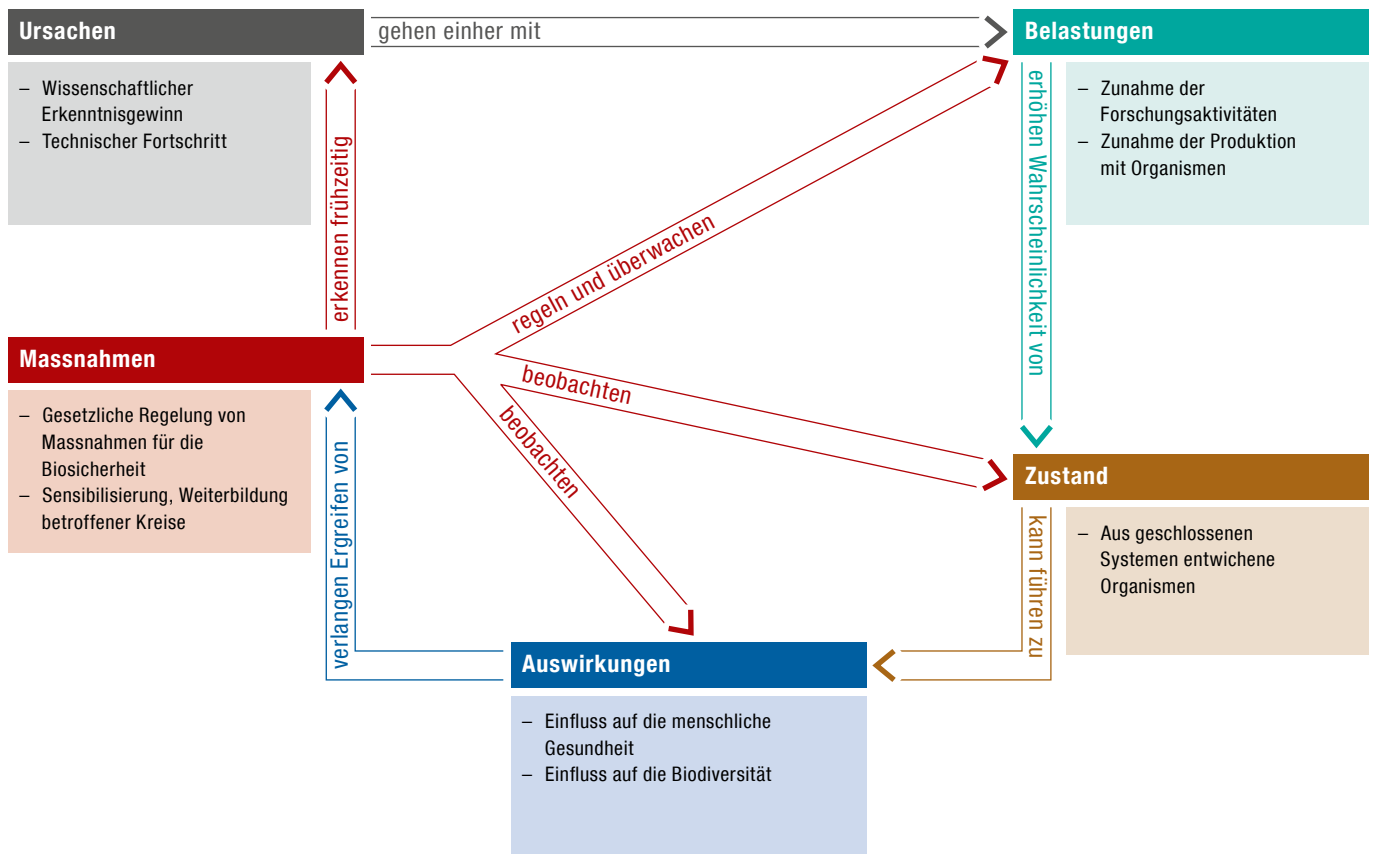
Abb. 3.1.2 > Forschungsausgaben im privaten Sektor

Ausgaben der privaten Biotech-Unternehmen für Forschung und Entwicklung.



Quelle: Swiss Biotech Report SBR.

Abb. 3 > Forschung im Blickpunkt



Quelle: Bundesamt für Umwelt BAFU.

Forschungsinstitutionen in den drei Ländern bezogen auf die Einwohnerzahl nahe beieinander lagen, in der Schweiz aber stärker angestiegen sind als in den Niederlanden und den USA. Die Forschung mit gentechnisch veränderten Organismen hat sich also in allen drei Staaten kontinuierlich intensiviert und zeichnet sich in der Schweiz durch besondere Dynamik aus.

Die Höhe der Beträge, die in wissenschaftliche Projekte zur Biotechnologie fliessen, dient als weiterer Indikator für die Forschungsintensität auf diesem Gebiet. Als Kenngrössen werden einerseits die Ausgaben der privaten Biotech-Branche für Forschung und Entwicklung (Abb. 3.1.2) und andererseits die Investitionen der öffentlichen Hand in die Biotech-Forschung und in Gentechnik-Projekte (Abb. 3.1.3) beigezogen.

2009 bis 2011 waren die Ausgaben der privaten Biotech-Firmen relativ konstant. Der Einbruch im Jahr 2012 ist auf die Schliessung des Standorts von Merck Serono in Genf zurückzuführen. Auch die Beträge, die der Schweizerische Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (SNF) an Projekte im Bereich Genforschung vergeben hat, sind kontinuierlich angewachsen. Zwischen 2004 und 2013 nahmen

sie von jährlich 31 auf 139 Millionen Schweizer Franken um mehr als das Vierfache zu.

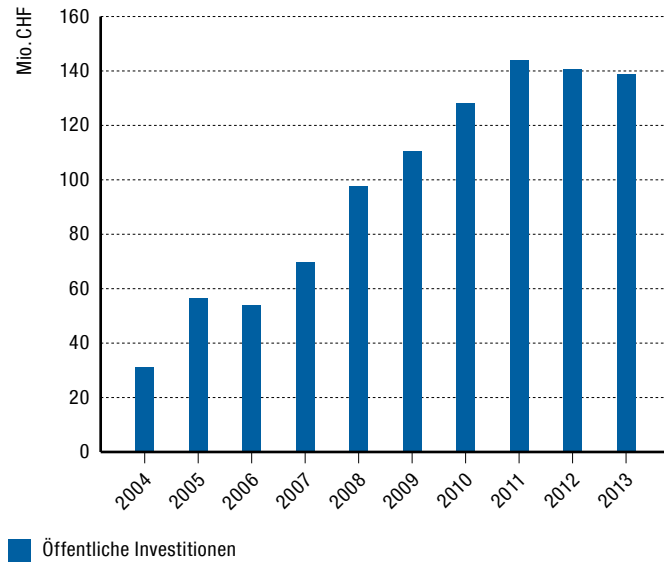
Die hohen Investitionen in Forschung und Entwicklung bezeugen, dass das Klima für wissenschaftliche Innovationen in der Schweiz günstig ist. Sowohl die Publikationstätigkeit als auch der Fluss der Forschungsgelder sprechen dafür, dass die Schweiz als Standort für die Forschung attraktiv ist und gerade auf dem Gebiet der Genforschung rege gearbeitet wird. Eine bedeutende Forschungstätigkeit bringt aber auch eine entsprechend erhöhte Verwendung von Organismen mit sich.

3.2 Zunehmende Forschungstätigkeiten

In der Tat hat sich im Laufe der letzten Jahre eine Zunahme der unter Verwendung von Organismen durchgeführten Tätigkeiten abgezeichnet (Abb. 3.2). Forschungsarbeiten mit krankmachenden und mit gentechnisch veränderten Organismen müssen der Einschliessungsverordnung (ESV) zufolge seit 1999, Arbeiten mit gewissen gebietsfremden Organismen seit

Abb. 3.1.3 > Investition öffentlicher Gelder

Investitionen des SNF in Projekte mit Bezug zur Genforschung.



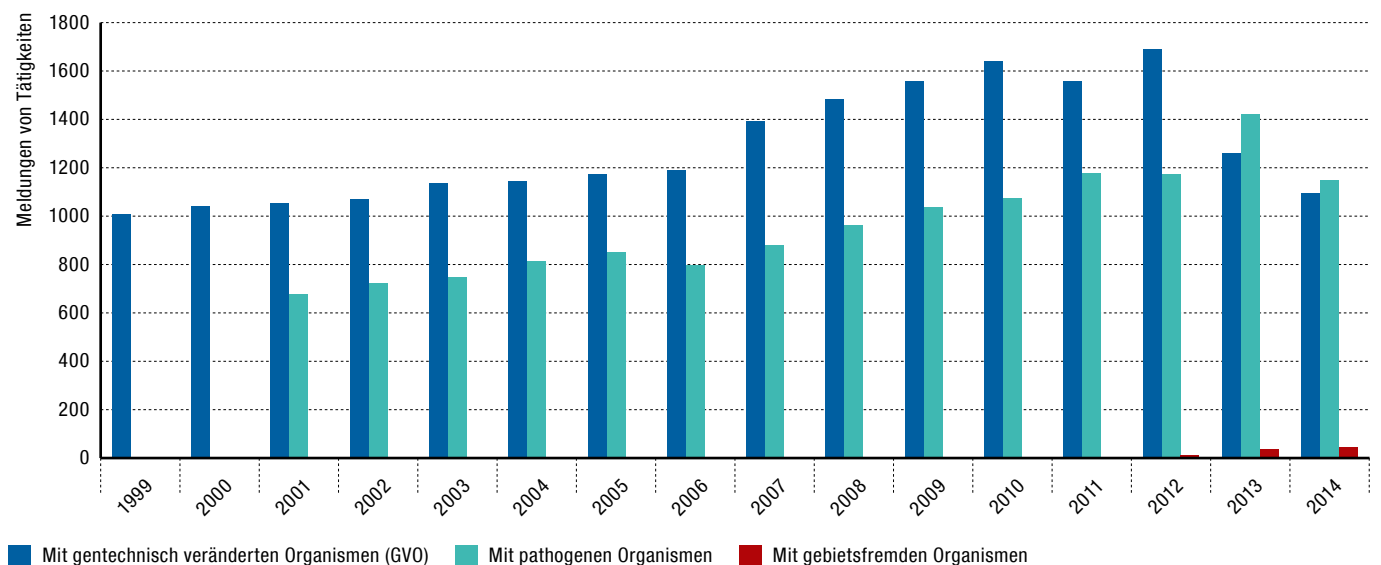
Quelle: Akademie der Naturwissenschaften Schweiz SCNAT.

2012 beim Bund gemeldet werden. Tätigkeiten mit mässigem bis hohem Risiko (Klassen 3 und 4) sind dabei bewilligungspflichtig. Die elektronische Datenbank Ecogen umfasst alle Meldungen und Bewilligungen nach ESV, die seit 1999 eingereicht wurden.

Seit 1999 hat die Anzahl an Versuchen mit gentechnisch veränderten Organismen um mehr als die Hälfte zugenommen. In den darauf folgenden Jahren verharren die Zahlen relativ konstant auf hohem Niveau. Die Abweichung nach unten im Jahr 2013 ist darauf zurückzuführen, dass Mitte 2012 mit einer Revision der ESV sogenannte Globalmeldungen eingeführt wurden: Statt dass für jedes einzelne Projekt eine Meldung eingereicht werden muss, reicht es nun aus, für relativ risikoarme Tätigkeiten der Klasse 1 mit gentechnisch veränderten Organismen pro Forschungseinrichtung eine einzige Meldung vorzulegen. Die Meldungen mit pathogenen Organismen werden erst seit 2001 separat ausgewiesen. Seither hat die Anzahl an Versuchen stetig zugenommen und ist bis im Jahr 2013 auf das Doppelte angewachsen. Daten zu Forschungsarbeiten mit gebietsfremden Organismen wiederum liegen erst ab 2012 vor, da sie zuvor nicht meldepflichtig waren; von 2012 bis 2014 haben sie von 7 auf 35 zugenommen.

Abb. 3.2 > Forschungstätigkeiten in geschlossenen Systemen

Anzahl Tätigkeiten mit pathogenen, gentechnisch veränderten oder gebietsfremden Organismen, die in der Schweiz in geschlossenen Systemen durchgeführt wurden. Ab 2012 werden neu alle Klasse-1-Meldungen in Globalmeldungen zusammengefasst.



Quelle: Bundesamt für Umwelt BAFU.

3.3 Trotz intensiver Forschung kaum Zwischenfälle

Die Forschung mit krank machenden und mit gentechnisch veränderten Organismen nimmt zu, weltweit wie auch in der Schweiz. Trotzdem kommt es kaum je zu Zwischenfällen, die für die Umwelt oder die menschliche Gesundheit gefährlich sein könnten. Das zeigt, dass die Massnahmen der Biosicherheit greifen – und erinnert uns zugleich daran, dass sie unabdingbar sind (Abb. 3.3).

Nach den verheerenden Ausbrüchen 2001 in England diagnostizierten Tierärzte Anfang August 2007 erneut auf einem Hof bei Wanborough in Südengland an 60 Rindern die Maul- und Klauenseuche (MKS) – eine hoch ansteckende und meldepflichtige Viruskrankheit, die Paarhufer wie Rinder, Schafe, Ziegen und Schweine befällt. Sie stellt für die Landwirtschaft eine existenzielle Bedrohung dar. Daher muss nach EU-Recht der gesamte Bestand eines Betriebs, auf dem die MKS nachgewiesen wurde, getötet und sicher entsorgt werden, und es werden Sperrbezirke für Tiertransporte eingerichtet. Die englische Regierung verhängte denn auch sogleich ein umfassendes Exportverbot für Tiere, Fleisch und Milchprodukte – und machte sich fieberhaft auf die Suche nach der Quelle des Virus'. Einen Monat später waren sich die Fachleute aus dem Agrarministerium so gut wie sicher: Der Erreger war aus einer staatlichen Forschungseinrichtung in der Nähe des betroffenen Landwirtschaftsbetriebs entwichen. Auf dem Gelände forschten auch verschiedene private Firmen, unter anderem an Impfstoffen für Tiere. Mit hoher Wahrscheinlichkeit kam das Virus durch undichte Abwasserrohre frei und drang aufgrund eines Hochwassers in den Boden; zuvor hatten die Vorkehrungen zur Inaktivierung des Erregers versagt.

Auch in Belgien war es die Kanalisation, die einem krankheitserregenden Virus als Austrittspforte diente: Im September 2014 war einer Fachkraft des Pharmaunternehmens GlaxoSmithKline bei der Reinigung eines Tanks ein Versehen unterlaufen, sodass Wasser, das mit dem Erreger der Kinderlähmung belastet war, in die Kläranlage geriet – und von dort in die Laan, ein Flüsschen in Wallonisch-Brabant. Das Pharmaunternehmen wie auch die Behörden beruhigten die Bevölkerung: Die Viren seien nur in geringer Konzentration in die Umwelt gelangt, überdies seien die meisten Menschen in Belgien gegen Kinderlähmung geimpft. Trotzdem wurde den Anwohnerinnen und Anwohnern empfohlen, sich vorerst vom Wasser des Flusses fernzuhalten.

Die beiden Beispiele zeigen, dass es in erster Linie spektakuläre Laborpannen mit gefährlichen Erregern sind, die überhaupt aufgedeckt werden. Solche Zwischenfälle treten relativ selten auf – zum Glück, und nicht zuletzt dank der strengen Vorkehrungen der Biosicherheit. Denn je bedrohlicher die Mikroorganismen sind, an denen geforscht wird,



Abb. 3.3 Massnahmen wie das Tragen von persönlicher Schutzausrüstung beugen dem Entweichen von Organismen aus Labors vor. *Quelle: Stefan Bohrer/Ex-Press.*

desto umfassender sind die Vorsichtsmassnahmen, die getroffen werden müssen. Mithin sinkt das Risiko, dass solche Erreger in die Umwelt entweichen oder Mitarbeitende des Labors gefährden.

Zwar sind die Sicherheitsmassnahmen, die für vergleichsweise harmlose Organismen wie der in der Pflanzenforschung häufig verwendete Modellpflanze *Arabidopsis thaliana* gelten, auf das niedrigere Risiko abgestimmt und lassen sich in der täglichen Praxis mit relativ geringem Aufwand umsetzen. Untersuchungen des BAFU in den Jahren 2011 und 2012 sowie stichprobenartige Kontrollen der kantonalen Behörden in den darauffolgenden Jahren haben jedoch aufgezeigt, dass in der Umgebung von Forschungslaboratorien und -gewächshäusern nur vereinzelt gentechnisch veränderte *Arabidopsis* nachgewiesen werden können.

Es ist nicht zuletzt der ausdauernden Sensibilisierung für die von der Laborarbeit ausgehenden Risiken zu verdanken, dass sich hierzulande eine eigentliche «Kultur der Biosicherheit» etablieren konnte, die dazu geführt hat, dass es trotz der intensiven Forschungstätigkeit nur selten zu Pannen und in den letzten Jahren nie zu schwerwiegenden Zwischenfällen gekommen ist.

4 GV-Pflanzen in der Landwirtschaft

Während die Forschung mit gentechnisch veränderten Organismen im Labor weitgehend unbestritten ist, stossen gentechnisch veränderte Pflanzen in der Landwirtschaft auf Vorbehalte in der Öffentlichkeit. Das Moratorium für den kommerziellen Anbau von transgenen Pflanzen ist Ausdruck dieses Misstrauens. Im Folgenden werden Indikatoren beleuchtet, die spezifisch auf die Erforschung und praktische Anwendung dieser sogenannten «grünen Gentechnik» eingehen.

Die Landwirtschaft stellt ein mögliches Einfallstor für Organismen dar, die es von Gesetzes wegen zu überwachen und in Schranken zu halten gilt. Relevant sind dabei insbesondere gentechnisch veränderte Pflanzen (GV-Pflanzen). In der Schweiz verhindert zwar das bis 2017 geltende Moratorium für den kommerziellen Anbau von GV-Pflanzen, dass solche zu anderen als Forschungszwecken in die Umwelt freigesetzt werden. Indes vermag die Schweiz ihren Bedarf nach landwirtschaftlichen Produkten selber nicht vollständig zu decken und ist auf den Import angewiesen – teilweise auch aus Ländern, die GV-Pflanzen zulassen.

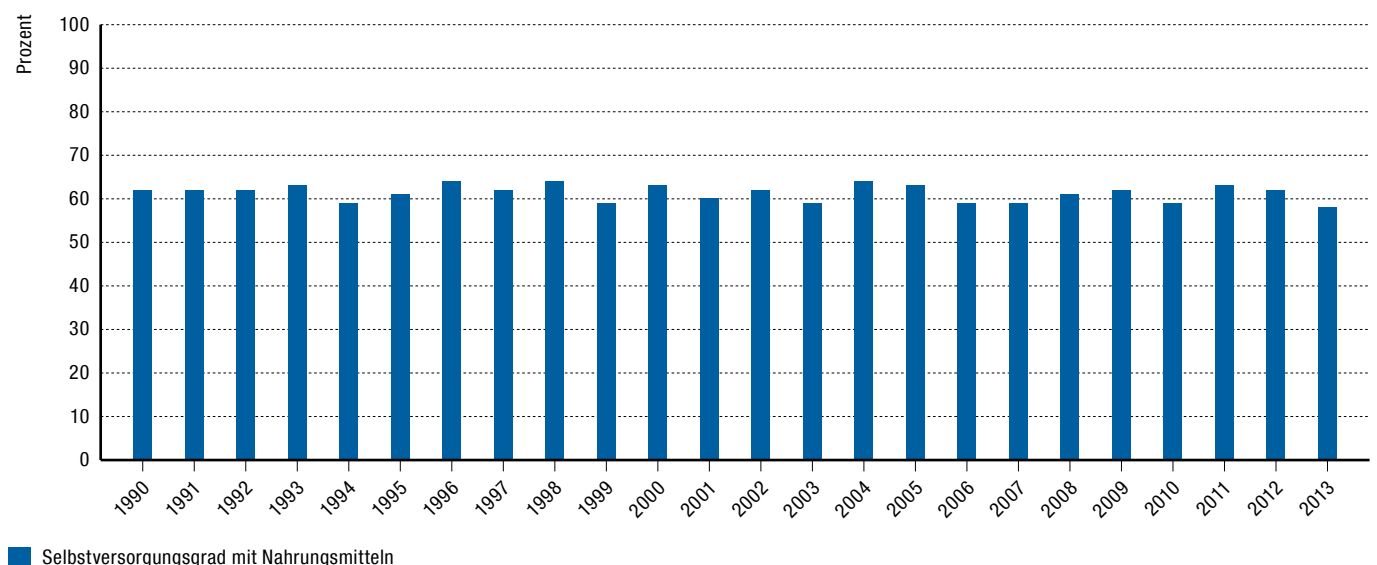
4.1 Mit Lebensmitteln wird auch die Zubereitung importiert

Die Schweiz ist keine Insel: Selbst wenn sie Massnahmen ergreift, um die Menschen und die Umwelt vorsorglich vor problematischen Organismen zu schützen, könnten solche unbeabsichtigt über importierte Güter eingeführt werden. Im Fokus stehen hier vor allem landwirtschaftliche Erzeugnisse, weil in zahlreichen Ländern, aus denen die Schweiz Lebensmittel bezieht, andere Produktionsstandards gelten als hierzulande. So gesehen bemisst sich am Selbstversorgungsgrad der Schweiz zugleich ihr Risiko, unerwünschte GV-Pflanzen einzuführen.

Die neuesten Daten des Bundesamtes für Statistik weisen für die Schweiz einen knapp 60-prozentigen Selbstver-

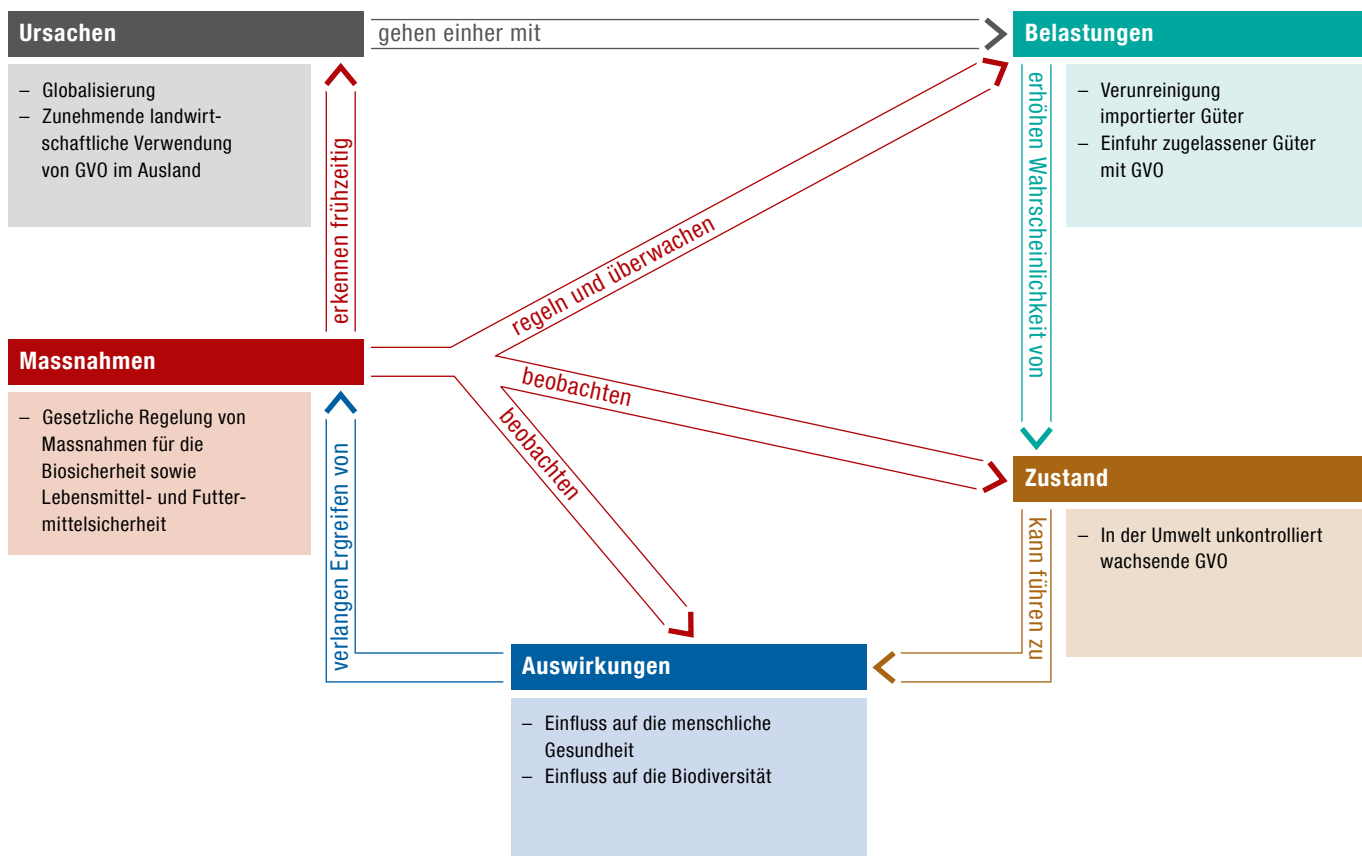
Abb. 4.1.1 > Selbstversorgungsgrad

Brutto-Selbstversorgungsgrad der Schweiz bei Nahrungsmitteln.



Quelle: Bundesamt für Statistik BFS/Schweizer Bauernverband SBV.

Abb. 4 > GV-Pflanzen in der Landwirtschaft



Quelle: Bundesamt für Umwelt BAFU.

sorgungsgrad aus (Abb. 4.1.1). Der seit einem Jahrzehnt relativ konstante Grad an Selbstversorgung kann als Indiz dafür gedeutet werden, dass auch künftig Risiken, die von allenfalls mit GV-Produkten verunreinigten Importen für die Biosicherheit ausgehen, bestehen werden.

Der Blick auf die Schweiz offenbart freilich nur die eine Seite der Medaille. Es gilt nämlich, auch den Aktivitäten in den anderen Ländern Rechnung zu tragen. Denn je mehr der Anbau von GV-Pflanzen im Ausland zunimmt, desto eher dürften solche Gewächse oder aus ihnen gewonnene Produkte unbeabsichtigt, beispielsweise als Verunreinigung von Importgütern, auch in die Schweiz gelangen.

Global betrachtet hat sich in den vergangenen 18 Jahren die Fläche mit Kulturen von GV-Pflanzen um den Faktor 100 ausgeweitet, nämlich von 1,7 Millionen ha im Jahr 1996 auf gut 181 Millionen ha im Jahr 2014 (Abb. 4.1.2). Neben den Vereinigten Staaten setzen insbesondere Schwellenländer auf GV-Pflanzen. 2014 haben denn auch die USA, Brasilien, Argentinien, Indien und Kanada am meisten GV-Pflanzen angebaut. In Europa dagegen blieben die Kulturen von GV-

Pflanzen auch im Jahr 2014 auf weniger als 0,5 Millionen ha beschränkt.

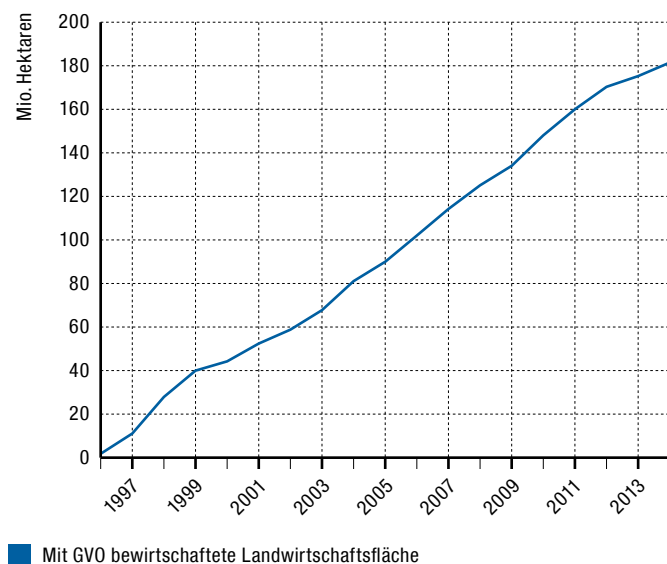
Allerdings zeigen regelmässige Kontrollen durch das Bundesamt für Landwirtschaft, dass nur ein Bruchteil der überprüften Futtermittel Anlass zu Beanstandungen gab. Vier gentechnisch veränderte Mais- und Sojasorten sind in der Schweiz zur Verwendung als Futtermittel zugelassen, müssen jedoch entsprechend deklariert werden. Verunreinigungen durch bestimmte GVO in Futtermitteln werden bis zu 0,9% toleriert. Bei den zwischen 2001 und 2013 durch das Bundesamt für Landwirtschaft überprüften Futtermitteln schwankte der Anteil von nicht korrekt gekennzeichneten oder zu stark verunreinigten Futtermitteln zwischen 0 und 2% (Abb. 4.1.3).

4.2 Freilandversuche mit GV-Pflanzen

Gentechnisch veränderte Nutzpflanzen müssen sich früher oder später auch im Freien bewähren. Nicht nur landwirtschaftlich interessante Eigenschaften wie Ertrag oder Krankheitsre-

Abb. 4.1.2 > Weltweiter Anbau von GVO

Weltweit mit GVO bewirtschaftete Landwirtschaftsfläche in Millionen Hektaren.



Quelle: International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications ISAAA.

Abb. 4.1.3 > Beanstandete Futtermittel

Anteil von Futtermittelproben, die anlässlich von Kontrollen des BLW bezüglich GVO beanstandet wurden (GVO-Gehalt falsch/nicht deklariert oder übersteigt die gesetzlich festgelegte Toleranz).



Quelle: Bundesamt für Landwirtschaft BLW.

sistenzen, sondern auch zahlreiche Fragen der Biosicherheit, wie etwa jene nach den Interaktionen mit Bodenlebewesen oder Wildpflanzen, lassen sich nur unter realen Anbaubedingungen beantworten.

Ein erstes Experiment mit GV-Pflanzen wurde in den Jahren 1991 und 1992 durchgeführt. Diese Untersuchungen der Forschungsanstalt Agroscope mit virusresistenten Kartoffeln erregte in der Öffentlichkeit kaum Aufsehen; sie fanden auf relativ kleinen Parzellen von insgesamt weniger als 100 Quadratmetern statt. Die Freisetzungsverordnung, die heute ein vom Bundesamt für Umwelt geleitetes Bewilligungsverfahren für die versuchsweise Freisetzung von GVO vorsieht, war damals noch nicht in Kraft getreten. Die verantwortlichen Forscherinnen und Forscher holten jedoch die Genehmigung der Schweizerischen Kommission für biologische Sicherheit und der Koordinationsstelle der Bewilligungsverfahren für die Anwendung von rDNS-Organismen (KOBAGO) ein. Diese Versuche figurieren nicht im Zeithorizont, der von den Erhebungen der Versuchsflächen abgedeckt wird (Abb. 4.2).

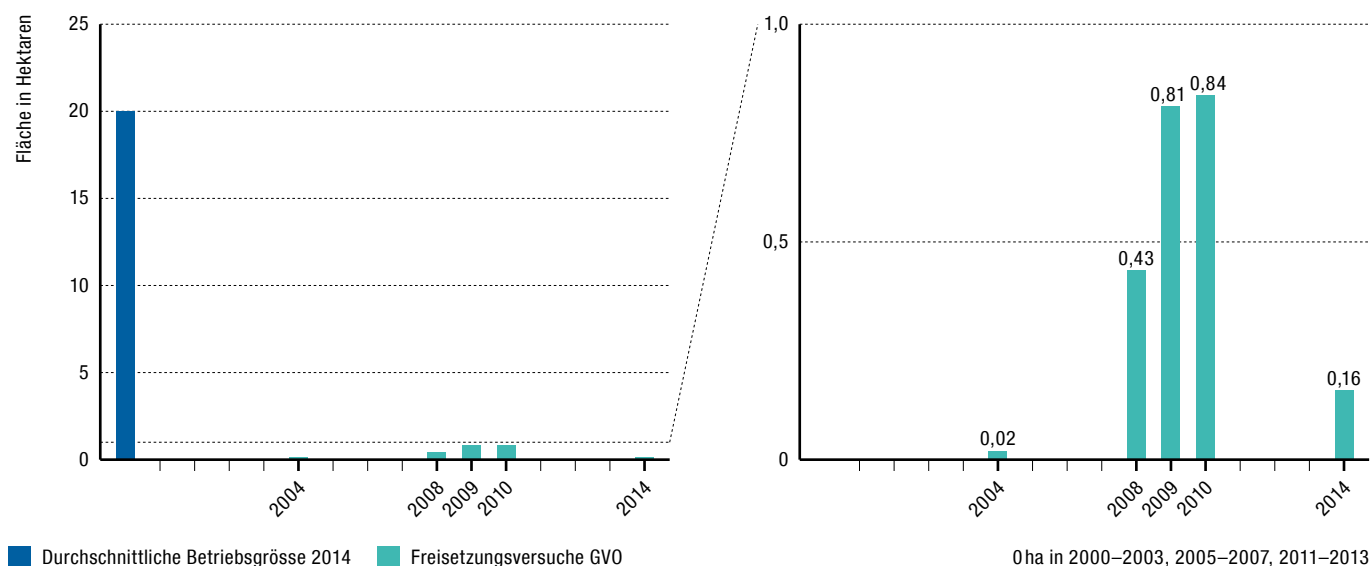
Im Jahr 2004 fand in der Schweiz erstmals ein vom BAFU bewilligter Freisetzungversuch mit transgenem Weizen statt, der gegen die Schädlingskrankheit Stinkbrand resistent gemacht worden war. Für das Experiment war eine Fläche von 84,5 Quadratmetern vorgesehen. Der Versuch wurde allerdings in der Öffentlichkeit äusserst kontrovers diskutiert.

Ab dem Jahr 2005 untersagte es ein Moratorium, GV-Pflanzen zu kommerziellen Zwecken anzubauen. Der Forschung blieb es allerdings gestattet, GV-Pflanzen zu Forschungszwecken freizusetzen. Der hohe administrative und finanzielle Aufwand sowie die Vorbehalte der Öffentlichkeit dürften jedoch mit ein Grund dafür gewesen sein, dass die Wissenschaft bis zum Jahr 2007 von weiteren Freilandversuchen mit GV-Pflanzen absah.

Denn im Juni 2006 erfolgte mit der öffentlichen Ausschreibung der Startschuss für das nationale Forschungsprogramm «Nutzen und Risiken der Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen» (NFP 59). Im Juni 2007 konnten die Forschungsarbeiten beginnen, sodass es im darauf folgenden Sommer möglich war, gegen Mehltau resistenten transgenen Weizen auszubringen. Die Flächen, die zwischen 2008 bis 2010 für Freilandversuche mit GV-Pflanzen genutzt wurden, sind auf das NFP 59 zurückzuführen, das im Juni 2012 zum Abschluss gelangte. In den letzten beiden Jahren seiner Laufzeit, die der Auswertung der Versuche vorbehalten waren, fanden wie auch 2013 keine Freilandversuche mehr statt. Im Anschluss an einen Parlamentsbeschluss zugunsten einer finanziellen Unterstützung der Forschung auf dem Gebiet der grünen Biotechnologie wurde 2014 eine sogenannte Protected Site auf dem Gelände von Agroscope Reckenholz eingerichtet. Die Eröffnung dieses geschützten Versuchsstandorts läutete

Abb. 4.2 > Freisetzungsversuche mit GVO

Schweizweit für Freisetzungsversuche mit GVO verwendete Fläche in Hektaren. Als Vergleichsgrösse dient die Grösse eines durchschnittlichen landwirtschaftlichen Betriebs im Jahr 2014.



Quelle: Bundesamt für Umwelt BAFU, Bundesamt für Statistik BFS.

die Wiederaufnahme der Freilandversuche mit Mehltau-resistentem Weizen im Jahr 2014 ein. Ab dem Jahr 2015 findet ein mehrjähriger Freilandversuch mit GV-Kartoffeln statt, die gegen Knollenfäule widerstandsfähig sein sollen. Sämtliche erteilten Bewilligungen wurden an die Auflage geknüpft, dass die das Versuchsfeld umgebenden Flächen überwacht werden müssen. Damit soll überprüft werden, ob die Massnahmen zur Verhinderung einer unbeabsichtigten Freisetzung von GV-Pflanzen greifen.

4.3 Bewährtes Monitoring

Seit einigen Jahren überprüfen Bund und Kantone stichprobenartig, ob sich an bestimmten Standorten GV-Pflanzen nachweisen lassen. Für Raps (*Brassica napus*), eine häufig angepflanzte Kulturpflanze (Abb. 4.3), liegen erste Zahlen vor. Sie belegen, dass die ausgearbeiteten Monitoring-Methoden eine solide Basis liefern, um die Entwicklung der biologischen Sicherheit in der Schweiz zu begleiten.

Im Jahr 2011 veröffentlichten die Umweltbundesämter Deutschlands, Österreichs und der Schweiz einen methodischen Bericht zum Monitoring von gentechnisch veränderten Organismen. Das Grundsatzpapier formuliert Eckpunkte und Anforderungen einer Überwachung insbesondere gentechnisch

veränderter Pflanzen. Im Zentrum stehen dabei gezielte Analysen von Standorten, bei denen ein Auftreten von GV-Pflanzen erwartet werden kann («site-by-site evaluation», beziehungsweise Kontrolle von «hotspots»). Von besonderer Bedeutung ist dabei der Raps – zum einen, weil Raps sich im Gegensatz zu anderen Kulturpflanzen wie beispielsweise dem Mais unter den klimatischen Bedingungen in der Schweiz vermehren könnte. Zum anderen kann Weizen, der aus Nordamerika in die Schweiz eingeführt wird, mit Samen gentechnisch veränderten Rapses verunreinigt sein. Dieser könnte somit unbeabsichtigt in die Umwelt gelangen, wo eine Auskreuzung mit verwandten Pflanzen wie der Wildrübse (*Brassica rapa*) nicht völlig auszuschliessen ist.

Die mögliche Verbreitung von GV-Raps beziehungsweise seinen Samen wird im Rahmen eines allgemeinen Überwachungsprogramms untersucht. Im Jahr 2014 kontrollierte das Kantonale Laboratorium Basel-Stadt im Auftrag des BAFU an 30 zufällig ausgewählten Standorten 1066 Pflanzen und stiess dabei auf keine einzige GV-Rapspflanze. Ergänzend dazu fand eine risikobasierte Untersuchung sogenannter «Hotspots» statt, indem insbesondere Getreideumschlagplätze wie Rangierbahnhöfe und ausgewählte Futtermittelfirmen unter die Lupe genommen wurden. Auch dort erwiesen sich die meisten Standorte als frei von GV-Pflanzen – mit Ausnahme vom Hafen Kleinhüningen und dem Bahnhof St. Johann, wo



Abb. 4.3 Raps steht im Zentrum des Monitorings von GV-Pflanzen in der Schweiz. Quelle: Markus Bolliger/BAFU.

bereits 2012 GV-Pflanzen nachgewiesen worden waren. In Kleinhüningen erwiesen sich im April 2014 von 1414 Rapspflanzen 43 als gentechnisch verändert, im Bahnhof St. Johann eine von 50. An beiden Standorten finden Getreideumlagerungen statt, und es ist damit zu rechnen, dass dort immer wieder GV-Raps gefunden werden wird; indes können die Pflanzen situativ erfolgreich bekämpft werden, sodass sich im Oktober beide Standorte als frei von GV-Raps erwiesen. Die stetige, durch die Kantone veranlasste Bekämpfung an allen verunreinigten Standorten stellt also sicher, dass aus den noch im Boden vorhandenen GV-Pflanzensamen keine neuen überdauernden Populationen entstehen können.

Bei zwei grösseren Getreideimporteuren wurde schliesslich analysiert, ob mit kanadischem Weizen auch Samen von GV-Raps in die Schweiz gelangen. Dabei wurden aus Weizenreinigungsmüllproben Raps-Samenproben und zusätzlich die daraus angezogenen Keimlinge auf gentechnische Veränderungen getestet; bei der einen Mühle konnte die Verunreinigung des Weizens durch GV-Raps auf 0,005 % geschätzt werden. Das liegt weit unter dem Grenzwert von 0,5 %, der gemäss Art. 6a der Verordnung über gentechnisch veränderte Lebensmittel toleriert wird. Die Ergebnisse der Analyse bestätigen aber den Verdacht, dass kanadischer Weizen eine eindeutige Eintragsquelle von GV-Raps in die Schweiz darstellt.

Weil erst vor wenigen Jahren mit dem Monitoring von GV-Pflanzen begonnen wurde, lassen die Zahlen noch keine Aussagen auf Trends für die Biosicherheit zu; allerdings belegen die Ergebnisse, dass die entwickelten Methoden verlässliche Zahlen liefern und gerade mit Blick auf das im Jahr 2017



Abb. 4.4 Vogelnetze verhindern die Verschleppung von GV-Weizen auf der Protected Site von Agroscope in Zürich, Reckenholz. Quelle: Bernadette Guenot/BAFU.

auslaufende Moratorium für das Verbot eines Anbaus von GV-Pflanzen eine gute Basis für die Analyse der längerfristigen Entwicklungen legen.

4.4 Sicherheit von GV-Pflanzen unter der Lupe

Das nationale Forschungsprogramm «Nutzen und Risiken gentechnisch veränderter Pflanzen» (NFP 59) hat sich eingehend mit transgenen Pflanzen und ihren möglichen Verwendungen in der Landwirtschaft beschäftigt. Im Rahmen dieses NFP 59 wurden insgesamt 33 Untersuchungen durchgeführt; drei davon waren Meta-Analysen, die den aktuellen internationalen Kenntnisstand bündelten. Diese drei Übersichtsstudien rückten insbesondere die langfristigen Folgen von GV-Pflanzen auf die Umwelt und die Gesundheit der Menschen in den Vordergrund. Sie konnten dabei auf Literatur zurückgreifen, welche die 15 Jahre währenden internationalen Erfahrungen mit dem Anbau von gut 40 verschiedenen GV-Pflanzen auswertet. Von den 30 übrigen Untersuchungen des NFP 59 befassten sich deren 11 mit möglichen Umweltrisiken von GV-Pflanzen.

In Übereinstimmung mit den Meta-Analysen brachten auch die empirischen Studien (Abb. 4.4) vier negative Auswirkungen von GV-Pflanzen zutage: Eine erhöhte Widerstandsfähigkeit von Organismen, die mit der gentechnischen Veränderung an der Pflanze bekämpft werden sollen (mit anderen Worten: Resistenzen bei den sogenannten Zielorganismen); unbeabsichtigte Schädigungen bei Pflanzen oder Tieren, auf welche der gentechnische Eingriff an der Pflanze

gar nicht abzielt; negative Auswirkungen auf die Biodiversität; Entstehung unerwünschter Unkräuter. Allerdings handelt es sich bei all diesen Folgen um Erscheinungen, die auch in der konventionellen Landwirtschaft auftreten können, wenn sie nicht fachgerecht betrieben und beispielsweise die Fruchtfolge vernachlässigt wird.

Die Forscherinnen und Forscher des NFP 59 ermittelten aber auch Facetten von untersuchten GV-Pflanzen, die sich für die Umwelt günstig auswirken könnten. So kann es der Einsatz transgener Gewächse ermöglichen, weniger giftige Pflanzenschutzmittel zu verwenden; dadurch ging etwa in Indien und China die Zahl der Pestizidvergiftungen bei Landwirten zurück. Vorteilhaft ist auch, dass Bt-Pflanzen, die den Verletzungen durch ihre Frassfeinde entgehen, dadurch gegen Krankheiten widerstandsfähiger bleiben und auch seltener unter Pilzbefall leiden. Dies wiederum hat zur Folge, dass sie weniger durch nervenschädigende oder krebserregende Pilztoxine belastet sind. Wenn es dank der Gentechnik gelingt, Obstbäume zu züchten, die gegen Feuerbrand und Schorf resistent sind, könnte fortan auf den Einsatz des Antibiotikums Streptomycin theoretisch verzichtet und jener von Fungiziden stark reduziert werden. Dies könnte einerseits dem Entstehen von Antibiotika-Resistenzen entgegenwirken und andererseits die Belastung der Umwelt und der Gesundheit durch Fungizide verringern. Dennoch bleiben zahlreiche – namentlich ökologische oder im Zusammenhang mit dem Schutz des GVO-freien Anbaus stehende – Aspekte zu klären, bevor ein Anbau dieser Obstbäume in der Umwelt in Betracht gezogen werden kann.

5 Gesetzliche Leitplanken für die Biosicherheit

Im Lauf der letzten 30 Jahre entstand ein umfassendes Regelwerk, das auf die Erhöhung der Biosicherheit abzielt. Frühe Gesetze, die auf den Schutz der Gesundheit der Arbeitnehmenden und der breiten Bevölkerung abzielen, wurden in den letzten Jahrzehnten ergänzt durch Erlasse zum Schutz der Umwelt.

5.1 Nach Risiko abgestufte Klassen

Die im August 1999 erlassene Einschliessungsverordnung (ESV) stellt sicher, dass pathogene Keime von Mensch und Umwelt isoliert bleiben. Unter die ESV fällt auch die Arbeit mit gewissen gebietsfremden wie auch mit gentechnisch veränderten Organismen.

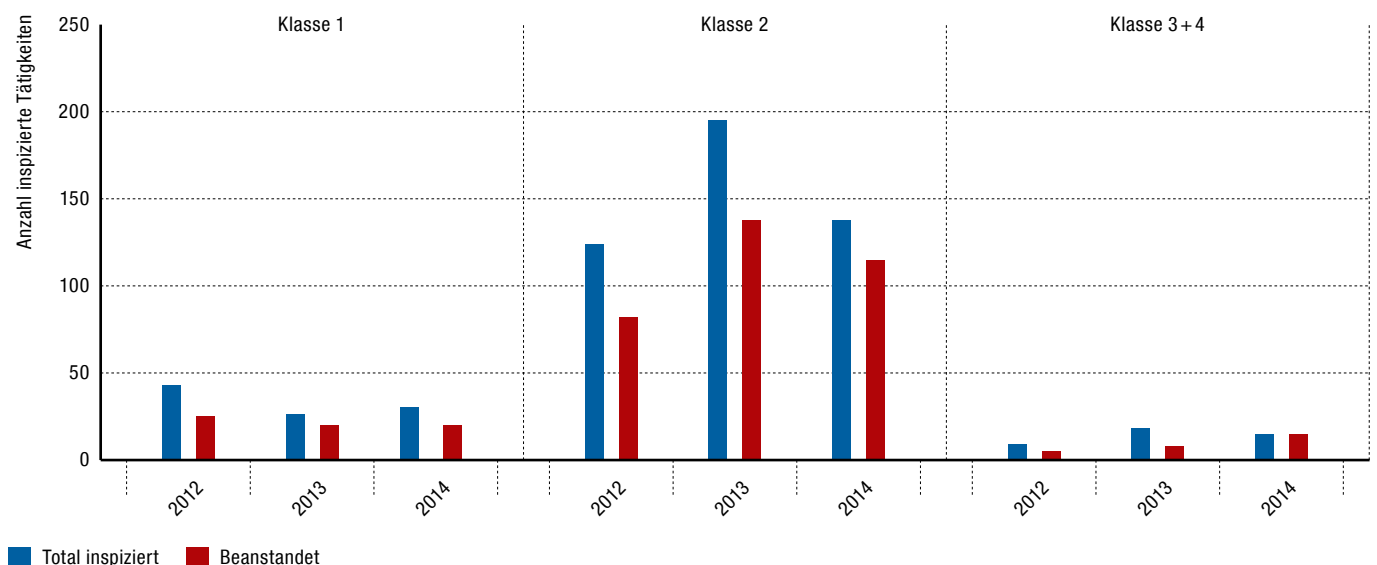
Bei den Tätigkeiten werden vier verschiedene Risikoklassen unterschieden: Tätigkeiten der Klassen 1 mit GVO und alle Tätigkeiten der Klasse 2 müssen gemeldet werden, risikoreichere Tätigkeiten der Klassen 3 und 4 bedürfen einer Bewilligung des Bundes. Betriebe, die eine Tätigkeit ausüben, die in Klasse 3 und 4 nach ESV fällt, sind zudem der Störfallverordnung (StfV) unterstellt und müssen die darin vor-

geschriebenen Massnahmen berücksichtigen. Die meisten der entsprechenden Betriebe befinden sich im Raum Lausanne/Genf sowie in den Universitätszentren von Zürich, Basel und Bern.

Das Vorhandensein gesetzlicher Grundlagen alleine garantiert deren Umsetzung jedoch nicht. So obliegt es den Kantonen, stichprobenweise zu überwachen, ob die Institutionen ihre Sorgfaltspflicht und Einschliessungspflicht wahrnehmen und Sicherheitsmassnahmen ESV-konform anwenden. Die Kantone gehen dabei risikoorientiert vor und überprüfen in erster Linie die zahlreichen Tätigkeiten der Klasse 2 sowie die selteneren Tätigkeiten der Klasse 3 und 4 (Abb. 5.1). Sie sind verpflichtet, dem Bund jährlich über ihre Inspektions-tätigkeit Bericht zu erstatten. Der Anteil beanstandeter

Abb. 5.1 > Kantonale Inspektionen

Anzahl stichprobenmässig durch die Kantone inspizierte Tätigkeiten, davon Anzahl beanstandete Tätigkeiten.



Quelle: Bundesamt für Umwelt BAFU.

Tätigkeiten widerspiegelt die Umsetzung der Biosicherheit im Betriebsalltag, wobei allerdings auch vereinzelte oder geringfügige Beanstandungen einbezogen werden. Weil die Datenreihe noch kurz ist, lassen die Zahlen kaum weiterführende Interpretationen zu.

Des Weiteren setzt der Bund auf die Aus- und Weiterbildung von Personal, das im Labor arbeitet oder Freisetzungsexperimente durchführt oder überprüft. Denn die ESV verlangt ausdrücklich, dass für den Umgang mit krank machenden und gentechnisch veränderten Organismen sogenannte Biosicherheitsbeauftragte bestimmt werden, die im Betrieb als zentrale Ansprechperson dienen und den Kolleginnen und Kollegen wie auch der Geschäftsleitung gegenüber Auskunft auf alle Fragen der Biosicherheit geben können. Für diese anspruchsvolle Tätigkeit bietet das BAFU in Zusammenarbeit mit weiteren involvierten Behörden sowie ausgewiesenen Experten Ausbildungsgänge an, die zur fachgerechten Ausübung von Tätigkeiten der verschiedenen Risikoklassen beziehungsweise Biosicherheitsstufen befähigen.

Gewissermassen das «Freiland-Pendant» zur ESV stellt die ebenfalls 1999 in Kraft getretene Freisetzungsverordnung (FrSV) dar. Ihr Zweckartikel sieht den Schutz von Menschen, Tieren und Umwelt vor Gefährdungen und Beeinträchtigungen durch den Umgang mit Organismen und deren Stoffwechselprodukten vor. Sie will mit Blick auf GV-Organismen nicht zuletzt auch die Wahlfreiheit von Konsumentinnen und Konsumenten gewährleisten und die Produktion von Erzeugnissen ohne GVO sicherstellen. Sie sieht eine Bewilligungspflicht für die Verwendung von GVO, Krankheitserregern und gewissen gebietsfremden Organismen in der Umwelt vor, sei es für versuchsweise Freisetzungen oder für Inverkehrbringen.

5.2 Gentechnisch veränderte Organismen im Fokus

Im Jahr 1993 wurde die Genschutzinitiative eingereicht, die mit einem neuen Verfassungsartikel 24^{decies} den Schutz von Leben und Umwelt vor Genmanipulation festgeschrieben hätte. Sie wurde im Juni 1998 von der Stimmbevölkerung verworfen. Doch die 1997 eingereichte Genlex-Motion verpflichtete den Bundesrat, Gesetze im Bereich der ausserhumanen Gentechnologie auf allfällige Lücken zu überprüfen. Nach ausführlichen parlamentarischen Debatten trat schliesslich am 21. März 2003 das Gentechnikgesetz (GTG) in Kraft. Im November 2005 hiessen die Schweizer Stimmbürgerinnen und -bürger ausserdem die Volksinitiative «Für Lebensmittel aus gentechnikfreier Landwirtschaft» gut, die es für die Dauer von 5 Jahren untersagte, gentechnisch veränderte Pflanzen und Tiere einzuführen und in Verkehr zu bringen. Seither wurde dieses Moratorium zweimal verlängert; es behält derzeit seine Gültigkeit bis 2017.

Als gewichtiges Argument für das Moratorium wurde geltend gemacht, es seien noch viele Risiken von GV-Organismen ungeklärt. Um Antworten auf offene Fragen wie etwa über die Wahrscheinlichkeit von Auskreuzungen transgener Pflanzen auf Wildformen zu finden, lancierte der Nationalfonds im Jahr 2006 das Nationale Forschungsprogramm «Nutzen und Risiken der Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen» (NFP59) (s. dazu auch Kapitel 4.4).

Eine der Forschungsarbeiten im Rahmen des NFP59 setzte sich mit den Möglichkeiten einer Koexistenz von GV-Pflanzen mit herkömmlichen Kulturen auseinander. Die Forschenden kamen zum Schluss, auch in der kleinräumigen Schweiz sei ein Nebeneinander verschiedener Anbausysteme grundsätzlich möglich. Im Januar 2013 wurde denn auch ein Entwurf für die sogenannte Koexistenzverordnung in die Vernehmlassung gegeben. Als wichtiges Ziel hält sie die Warenflusstrennung fest, die den Konsumentinnen und Konsumenten die Wahlfreiheit bei der Kaufentscheidung von landwirtschaftlichen Erzeugnissen sichern soll.

Die Schweiz kann sich nicht von globalen Handelströmen abschotten, und auch die Wissenschaft ist auf internationale Kooperation angewiesen. Wenn GVO über die Schweizer Grenze gelangen, greift die im Jahr 2005 in Kraft getretene Cartagena-Verordnung (CartV). Die CartV setzt das internationale Cartagena-Protokoll für Biosicherheit in Schweizer Recht um. Das Protokoll ist ein Zusatz zur Biodiversitätskonvention (CBD), die das Ziel verfolgt, die Artenvielfalt von Pflanzen, Tieren und anderen Lebewesen zu erhalten und zu fördern. Die CartV legt fest, welche Angaben vorhanden sein müssen, damit die erforderlichen Sicherheitsprüfungen durchgeführt werden können. Die dafür zuständige Behörde ist das BAFU, das sich bei Bedarf auch mit anderen betroffenen Ämtern abspricht.

Der heute bestehende rechtliche Rahmen reguliert also auf umfassende Weise den Umgang mit pathogenen wie auch mit gentechnisch veränderten und gebietsfremden Organismen. Das gesetzliche Regelwerk der Schweiz ist gleichermaßen pragmatisch und effizient: Obwohl hierzulande rege mit potentiell gefährlichen Erregern geforscht wird, sind keine Vorfälle bekannt, die zu einer Gefährdung von Menschen, Tieren oder der Umwelt geführt haben.

> Verwendete Quellen

Bericht UNIVOX Landwirtschaft 2009, 2012, 2015, Schlussberichte einer repräsentativen persönlichen Bevölkerungsbefragung im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft, gfs-zürich.

Bundesamt für Statistik (BFS), Wahrnehmung von Umweltqualität und Umweltverhalten, Ergebnisse der Omnibus-Erhebungen 2011 und 2015.

Collet G. F. et al., 1993: Pommes de terre transgéniques au champ. Contrôle de la résistance contre les virus PVY de la pomme de terre Bintje transformée génétiquement. In: Revue suisse d'agriculture. 25 (6): p. 373–381.

CUSSTR – Commission universitaire pour la santé et la sécurité au travail romande, 2005: Biologische Risiken und Gefahren.

de Bary, A., 1861: Die gegenwärtig herrschende Kartoffelkrankheit, ihre Ursache und ihre Verhütung. Eine pflanzenphysiologische Untersuchung in allgemein verständlicher Form vorgestellt. Leipzig: Förster'sche Buchhandlung.

de Bary A., 1853: Untersuchung über Brandpilze und die durch sie verursachten Krankheiten der Pflanzen, mit Rücksicht auf das Getreide und andere Nutzpflanzen. Berlin: G. W. F. Müller. S. 20, 34, 133.

Mokyr J., Irish Potato Famine. In: Britannica online Encyclopedia, www.britannica.com/event/Irish-Potato-Famine; update 21. Nov. 2014; abgefragt am 23.09.2015.

Ermengem E. van, 1897: Über einen neuen anaëroben Bacillus und seine Beziehung zum Botulismus. Leipzig: Veit & Co., Zeitschrift für Hygiene (26): S.1–59.

Juhnke S. D., 2004: Untersuchungen zum Mechanismus der Chromatengiftung in *Ralstonia metallidurans*. Halle: Martin Luther-Universität.

Kane R., Lindley J., Playfair L., 1845: The Gardener's Chronicle and Agricultural Gazette, 1845, Saturday, November 15. S. 767.

Kerner J., 1822: Das Fettgift oder die Fettsäure und ihre Wirkung auf den thierischen Organismus, ein Beytrag zur Untersuchung des in verdorbenen Würsten giftig wirkenden Stoffes. Stuttgart, Tübingen: Cotta'sche Buchhandlung.

Luca S., Mihaescu T. 2013: History of BCG Vaccine. MEDICA – a Journal of Clinical Medicine. 8 (1): S. 53–58.

Pasteur Vallery-Radot L., 1933: Maladies virulentes, virus-vaccins et prophylaxie de la rage. Paris: Masson.

Singh B. R., 2009: Botulinum Toxins: the Good, Bad and the Ugly. [earthzine.org](http://earthzine.org/2009/02/10/botulinum-toxins-the-good-bad-and-the-ugly/). <http://earthzine.org/2009/02/10/botulinum-toxins-the-good-bad-and-the-ugly/>

Société des Nations, 1925: Protocole concernant la prohibition d'emploi à la guerre de gaz asphyxiants, toxiques ou similaires et de moyens bactériologiques.

The Gardener's Chronicle and Agricultural Gazette, 1845, Saturday, August 23. S. 575.

Währen M., 1984: Brote und Getreidebrei von Twann aus dem 4. Jahrtausend vor Christus. Archäologie der Schweiz (7), 1: S. 2–6.

Weingart O. G., 2009: Botulinum Neurotoxin (Botox) – Gift und Schönheit. Poster. Labor Spiez, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.