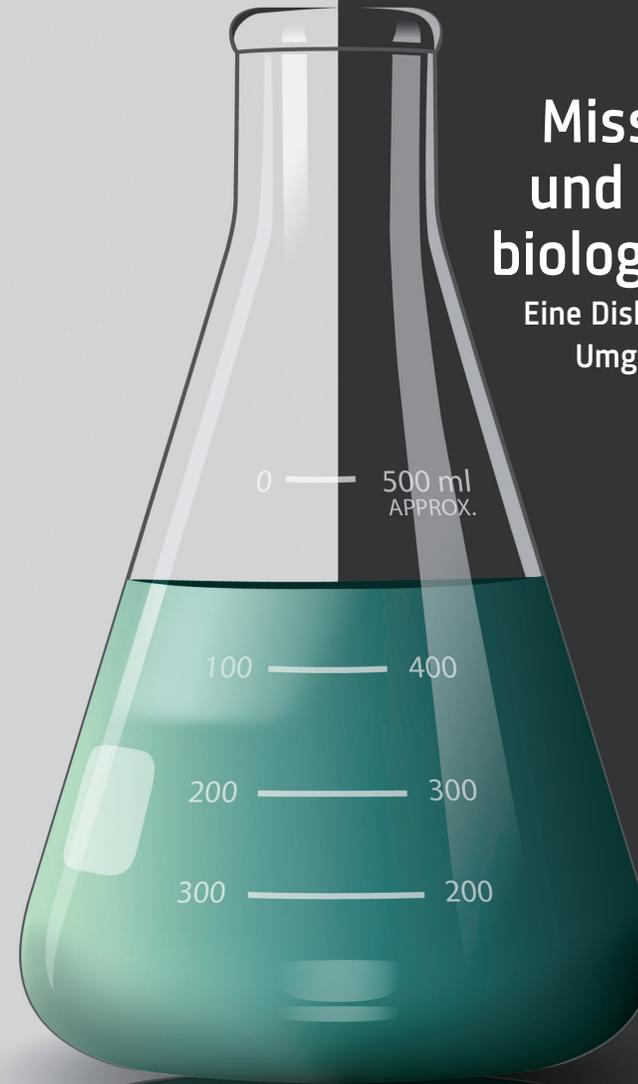


Missbrauchspotenzial und Biosecurity in der biologischen Forschung

Eine Diskussionsgrundlage zur Frage des
Umgangs mit dem Dual Use-Dilemma
in der wissenschaftlichen Praxis



sc | nat 

Swiss Academy of Sciences
Akademie der Naturwissenschaften
Accademia di scienze naturali
Académie des sciences naturelles

300 — 500

Herausgeber

Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT)
Forum Genforschung
Haus der Akademien
Laupenstrasse 7, Postfach, 3001 Bern
+41 (0)31 306 93 36
geneticresearch@scnat.ch www.geneticresearch.ch

Autorinnen

Franziska Oeschger, Ursula Jenal

Gutachter

Dominique Bélin (Universität Genf), Thomas Binz (Bundesamt für Gesundheit),
Anna Deplazes Zemp (Universität Zürich), Sabrina Engel-Glatzer (Universität
Basel), Stéphane Karlen (EPF Lausanne), Cédric Invernizzi (Labor Spiez),
Patrick Matthias (Friedrich Miescher Institut), Véronique Planchamp
(Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen
Forschung), Marcus Thelen (Universität der italienischen Schweiz), Volker Thiel
(Universität Bern), Daniela Thurnherr (Universität Basel), Werner Wunderli
(ehemals: Nationales Influenza-Zentrum, Genf) sowie die Mitglieder des Forum
Genforschung

Abbildungen und Gestaltung

Natascha Jankovski

Übersetzung

CVB International

Sprachliche Bearbeitung

Lucienne Rey, texterey

Die in dieser Veröffentlichung enthaltenen Zitate sind Aussagen von Teilnehmern
an den im Frühjahr 2016 veranstalteten Workshops «Addressing the misuse
potential of biological research».²¹

Dieses Projekt wurde vom Bundesamt für Gesundheit finanziert.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Gesundheit BAG

1. Auflage, 2017

Die Broschüre kann kostenlos beim Forum Genforschung bezogen werden oder
unter www.geneticresearch.ch
© Akademien der Wissenschaften Schweiz, 2017

Zitervorschlag:

Akademien der Wissenschaften Schweiz (2017) Missbrauchspotenzial und
Biosecurity in der biologischen Forschung. Swiss Academies Report 12 (3).

ISSN (print): 2297-1564
ISSN (online): 2297-1572

Missbrauchspotenzial und Biosecurity in der biologischen Forschung

Eine Diskussionsgrundlage zur Frage des
Umgangs mit dem Dual Use-Dilemma
in der wissenschaftlichen Praxis

Inhalt	3
Einleitung	5
Warum sollte man über das Missbrauchspotenzial der biologischen Forschung diskutieren?	5
Ist «Biokriminalität» bereits Realität oder nur ein Hype?	6
Welche Strategien werden auf internationaler Ebene betrachtet?	8
Was wird mit diesem Dokument bezweckt?	10
Definitionen	11
Sechs Gesichtspunkte, die berücksichtigt werden müssen	13
1. Sich des Missbrauchspotenzials der Life-Science-Forschung bewusst sein	13
2. Das Missbrauchspotenzial einschätzen	17
3. Sichere Strategien entwerfen und umsetzen	20
4. Mit unerwarteten Ergebnissen sorgsam umgehen	23
5. Ergebnisse verantwortungsvoll kommunizieren	25
6. Ausbilden und beaufsichtigen	28
Beispiele	30
1. Genome Editing in Wildtierpopulationen	30
2. Verbesserte Wirkstoffverabreichung mittels vernebelten Mikro- und Nanopartikeln	31
3. Mauspocken-Viren mit unerwarteter Letalität	32
4. Übertragbarkeit des Vogelgrippevirus zwischen Säugetieren	32
Anhang	34
1. Verhaltensregeln und Richtlinien	34
2. Schweizerische Rechtsvorschriften zur Begrenzung von Biorisiken im Bereich der Life-Science-Forschung	35
Referenzen	36
Wie dieses Dokument entstand	38

Einleitung

Warum sollte man über das Missbrauchspotenzial der biologischen Forschung diskutieren?

Die Life-Science-Forschung legt die Grundlage für Kenntnisse und Technologien, die der Gesundheit von Menschen und Tieren, der Umwelt und dem nachhaltigen Umgang mit Ökosystemen signifikant zugutekommen. Gewisse Entdeckungen aus dem Gebiet der Life-Sciences können jedoch den Menschen und die Umwelt gefährden, wenn sie unsachgemäss oder mit schädigender Absicht genutzt werden. Diese Problematik ist unter dem Begriff «Dual Use-Dilemma» (Dilemma des doppelten Verwendungszwecks) bekannt, das für alle Formen der Innovation gelten dürfte.

Die Besorgnis um den Bioterrorismus sowie die neuesten technologischen Fortschritte in der Gensynthese und im Genome Editing haben dem Thema des Dual Use in der biologischen Forschung beträchtliches öffentliches Interesse beschert. Dieses Missbrauchspotenzial wird im Zusammenhang mit der Erforschung von Krankheitserregern, die den Menschen befallen können, augenfällig. Ein weniger offenkundiges Missbrauchspotenzial besteht allerdings auch bei Forschungstätigkeiten an tierischen oder pflanzlichen Pathogenen und sogar bei Forschungen, die gar nicht mit Krankheitserregern arbeiten. In der Tat ist es nötig, das Bewusstsein dafür zu schärfen, dass ein solches Missbrauchspotenzial grundsätzlich in allen Forschungsgebieten besteht, die auf biologisches Material zurückgreifen bzw. neue Technologien entwickeln und anwenden.

Die Life-Science-Forschung kann aber auch so missbraucht werden, dass sie zwar nicht die menschliche Gesundheit und Sicherheit, die Umwelt oder die nationale Sicherheit gefährdet, aber das Wohlbefinden und die Würde einzelner Individuen oder bestimmter Gruppen bedroht. So können genetische Information und andere Gesundheitsdaten in einer Art verwendet werden, die für bestimmte Personen diskriminierend ist oder gewisse Bevölkerungsgruppen stigmatisiert. Ein weiteres Beispiel ist die Verwendung bzw. der Missbrauch von Wirkstoffen oder Neurotechnologien durch Sportler, die sich damit bei Wettkämpfen unlautere Vorteile verschaffen wollen. Dessen sollte man sich stets bewusst sein und alle Quellen möglichen Missbrauchs der Life-Science-Forschung sorgfältig analysieren (einige weitere Informationen sind in den Referenzen¹⁻⁴ zu finden). Dieses Dokument konzentriert sich jedoch insbesondere auf die Notwendigkeit,

die mit der Life-Science-Forschung verbundenen *Sicherheitsrisiken*^a zu erörtern, und zwar insbesondere aufgrund der jüngeren geschichtlichen Entwicklungen im Bezug auf biologische Waffen und den sogenannten Bioterrorismus.

Ist «Biokriminalität» bereits Realität oder nur ein Hype?

Einfache biologischen Waffen wurden während Jahrhunderten eingesetzt. So verteilten die britischen Militärbehörden während des Siebenjährigen Kriegs in Nordamerika (der sogenannte French and Indian War von 1754–1767) mit Pockenviren verseuchte Decken an die amerikanischen Ureinwohner, um diese bewusst mit der Krankheit zu infizieren.⁵ Während des 2. Weltkriegs und in den darauf folgenden Jahren entwickelten verschiedene Länder gross angelegte biologische Waffenprogramme.⁶ Im Jahre 1972 verabschiedete die internationale Gemeinschaft die Biowaffenkonvention, die den Unterzeichnerstaaten die Entwicklung, die Produktion, den Besitz und die Verwendung biologischer Waffen untersagt. Die Attacken mit Milzbrandern (Anthrax), die 2001 in den USA eine Woche nach dem 11. September verübt wurden, führten dazu, dass sich der Schwerpunkt des Interesses von staatlichen Biowaffenprogrammen auf den Bioterrorismus verlagerte. Bisher sind nur sehr wenige gesicherte Fälle bekannt, in denen Terroristen Interesse für biologische Agenzien bekundet haben, und noch seltener ist es vorgekommen, dass sie tatsächlich versucht haben, solche zu erwerben. Ein ausführlicher Bericht über biologische Waffen im 20. Jahrhundert verzeichnet etwa 30 Fälle von Verwendung oder Erwerb biologischer Agenzien durch nichtstaatliche Akteure für illegale Zwecke.⁷ Für acht dieser Fälle sind terroristische Gruppen verantwortlich, und es ist nur ein Fall von Bioterror bekannt, bei dem es tatsächlich zur Schädigung der Bevölkerung kam (siehe auch in der nachfolgenden Liste). Die restlichen Fälle wurden von Einzeltätern mit herkömmlichen kriminellen Motiven wie Erpressung oder Rache («Biokriminalität») verübt. Die bisher am häufigsten für Bioterrorismus und Biokriminalität verwendeten biologischen Agenzien sind Milzbrand-Stämme, HI-Viren sowie Ricin und Botulinumtoxin. Dabei haben sich die Verbrecher und Terroristen die biologischen Agenzien auf unterschiedlichen Wegen beschafft, etwa über legale Lieferanten, natürliche Quellen, Eigenfertigung oder Diebstahl.

a Streng genommen wird der Begriff «Risiko» numerisch als eine Kombination der Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines Schadens und seines Schadensausmasses definiert. In diesem Dokument wird der Begriff «Risiko» jedoch in einem breiteren und umgangssprachlichen Sinne verwendet, um das Potenzial negativer Folgen zu bezeichnen. Wir wollen damit allerdings nicht andeuten, dass dieses Potenzial quantifiziert werden kann oder sollte.

Der entsprechende Bericht kommt zum Ergebnis, dass bioterroristische Angriffe Ereignisse mit geringer Wahrscheinlichkeit sind, die jedoch schwerwiegende Auswirkungen haben können, wenn sie verübt werden.

Ausgewählte Ereignisse mit Biosecurity-Hintergrund:

- 1925 Das **Genfer Protokoll** verbietet die Anwendung chemischer und biologischer Waffen im Rahmen von internationalen bewaffneten Konflikten.
- 1972 Die **Biowaffenkonvention** untersagt die Entwicklung, die Produktion und den Besitz biologischer Waffen.
- 1984 Anhänger des Gurus Bhagwan Shree **Rajneesh** verbreiten vorsätzlich Salmonellen in Salatbars in Oregon und verursachen eine Lebensmittelvergiftung bei mehr als 700 Personen.
- 1993 Mitglieder der japanischen Sekte **Aum Shinrikyo** setzen Milzbrandsporen in Tokyo frei, durch die glücklicherweise niemand geschädigt wird.
- 2001 Der Versand von Briefen mit **Milzbrandsporen** an Medienstellen und Senatoren geht für fünf Personen tödlich aus, infiziert 17 weitere Personen und verstärkt die Angst vor Bioterrorismus.
- 2002 Forscher berichten, dass es ihnen gelungen sei, **Polioviren de novo** aus chemisch synthetisierten Oligonukleotiden zu rekonstruieren⁸, und zeigen damit, dass Pathogene aus handelsüblichen Synthesebausteinen erzeugt werden können.
- 2005 Das für die **Grippepandemie von 1918** verantwortliche Influenza-Virus wird mit Erfolg rekonstruiert^{9, 10}, und wirft Fragen über die Sicherheit und den wissenschaftlichen Wert solcher Experimente vor dem Hintergrund ihres möglichen Missbrauchs auf.
- 2012 Zwei unabhängige Forschungsgruppen berichten über **funktionserweiternde Experimente mit H5N1 (gain-of-function experiments)** und lösen eine intensive internationale Debatte aus.^{11, 12}

Welche Strategien werden auf internationaler Ebene betrachtet?

Seit den Attacken mit Milzbrandregenern in den USA im Jahr 2001 ist die Verhütung von Bioterrorismus zu einem wichtigen Anliegen für Regierungsstellen in aller Welt geworden.¹³ Diese erwägen denn auch, die Überwachung biowissenschaftliche Forschung zu verschärfen. Die vorgeschlagenen Massnahmen reichen von rechtsverbindlichen, staatlich geführten «Top-down» Ansätzen wie zum Beispiel internationale Abkommen und nationale Gesetze bis hin zu «Bottom-up» Selbstregulierungsinitiativen. Selbstregulierung bedeutet nicht, dass einzelne Wissenschaftler selbst entscheiden, welche Verfahren sie befolgen, sondern dass sich die wissenschaftliche Gemeinschaft auf gewisse Kontrollen und Überwachungsmechanismen im Bezug auf Forschungstätigkeiten einigt.¹⁴ Diese Kontrollmechanismen können zum Beispiel die Form von Richtlinien, Normen und Verhaltenskodizes annehmen.

In den USA fordert die Regierungspolitik seit 2014 von allen Institutionen, die staatliche Fördergelder für die Life-Science-Forschung erhalten, das Missbrauchspotenzial aller entsprechenden Projekte zu überprüfen.¹⁵ Die Verantwortung für diese Überprüfung und für die Planung geeigneter Schutzmassnahmen wird an institutionelle Überwachungsorgane wie zum Beispiel den Biosicherheitsausschuss übertragen. In Europa haben viele Länder damit begonnen, ihren Bedarf an Gesetzen zum Schutz vor Missbrauch («Biosecurity») zu ermitteln, um die Forschung entsprechend einer «Top-down» Strategie besser überwachen zu können. Dänemark ist das erste Land, das solche Vorschriften tatsächlich umsetzt. Die dänischen Vorschriften sehen vor, dass jede Institution oder jedes Unternehmen, das über bestimmte biologische Materialien oder Ausrüstung und Technologien verfügt, die in einer Liste der kontrollpflichtigen Güter aufgeführt sind, eine entsprechende Lizenz bei der dänischen Biosicherheitsbehörde beantragen muss. Die Institution bzw. das Unternehmen muss ausserdem bestimmte Regelungen zur Wahrung der Biosecurity befolgen, zu denen beispielsweise gehört, dass ein Inventar geführt und Inspektionen gewährt werden.¹⁶ In der Schweiz initiierte das Bundesamt für Umwelt (BAFU) kürzlich ein Rechtsgutachten, das aufzeigt, welche Regulierungslücken die schweizerischen Rechtsvorschriften aufweisen und das Lösungsvorschläge formuliert.¹⁷

Im Gegensatz zu diesen Regulierungsmassnahmen auf staatlicher Ebene haben verschiedene Expertengremien in Europa und in den USA wiederholt «Bottom-up» Ansätze vorgeschlagen, welche die einzelnen Forschenden und die Forschungsinstitutionen für die Risiken sensibilisieren und dadurch sogar einen besseren Schutz als staatliche Vorkehrungen bieten könnten. Verhaltenskodizes wurden

als eine effiziente Massnahme empfohlen, um ein verantwortungsvolles Verhalten zu fördern.^{18–20} Verschiedene nationale und internationale Institutionen haben spezifische Kodizes im Bezug auf die «Biosecurity» entwickelt, während andere die Anforderungen zur Vermeidung eines möglichen Missbrauchs in umfassenderen Verhaltenskodizes integriert haben (siehe Anhang 1). Als Quintessenz lassen sich aus diesen Verhaltenskodizes die folgenden allgemeinen Regeln ableiten:

- Sich des Missbrauchspotenzial der eigenen Forschung bewusst sein und dieses regelmässig abschätzen
- Keine Forschungen unternehmen, deren Schadenspotenzial im Vergleich zum möglichen Nutzen unverhältnismässig hoch ist
- Forschungspläne und/oder Publikationen ändern, um deren Risiken zu reduzieren
- Über Risiken informieren und diese dokumentieren
- Richtlinien und sichere Verhaltensweisen kennen und anwenden
- Wachsam sein und Bedenken äussern (auch bezüglich der Forschung Dritter)
- Sicherheitsrelevantes Material und Daten schützen
- Andere schulen und als Vorbild dienen

Was wird mit diesem Dokument bezweckt?

Das vorliegende Dokument soll als Diskussionshilfe über den möglichen Missbrauch von Forschungsarbeiten für alle in der Forschung tätigen Personen dienen, die mit biologischen Materialien arbeiten, und zwar ungeachtet ihres Hintergrundes, ihres Fachgebietes oder ihrer spezifischen Rolle. Das Dokument entstand als Resultat dreier Workshops mit Wissenschaftlern aus Schweizer Hochschulen und Universitäten über die Möglichkeiten zur Begrenzung des Missbrauchspotenzials biologischer Forschung (siehe auch S. 38).²¹ Dabei äusserten Forschende den Wunsch nach einer Grundlage, um mit Kollegen, Betreuern, Studierenden und Angestellten die Risiken eines möglichen Missbrauchs der Life-Science-Forschung zu diskutieren.

Dank ihrer Kompetenz und ihres Wissens sind Naturwissenschaftler in der Lage, das Missbrauchspotenzial der Life-Science-Forschung abzuschätzen. Im Allgemeinen sind sie bestrebt, ihre Arbeit sicher, gewissenhaft und mit Integrität durchzuführen. Dennoch birgt selbst eine in der besten Absicht durchgeführte wissenschaftliche Arbeit ein Potenzial für Missbrauch durch andere. Daher ist es notwendig, die möglichen Risiken zu identifizieren, darüber zu diskutieren und entsprechende Folgenabschätzungen durchzuführen.

Das vorliegende Dokument bietet in der Life-Science-Forschung tätigen Personen eine Grundlage, um ihr Engagement für eine verantwortungsvolle Forschung zu stärken und andere dazu zu motivieren, es ihnen gleich zu tun – im Sinne eines «Bottom-up»-Ansatzes. Es legt einen Schwerpunkt auf sechs Gesichtspunkte, die beim Entwurf von wissenschaftlichen Projekten, bei ihrer Durchführung und bei der Kommunikation darüber berücksichtigt werden sollten. Jeder Gesichtspunkt wird anhand von Beispielen aus tatsächlichen Forschungsprojekten veranschaulicht. Diese Beispiele können auch als Material für weitere Diskussionen dienen. Ergänzend werden Stellungnahmen von Life-Science-Forschenden anlässlich der oben genannten Workshops angeführt.

Definitionen

Biokriminalität:^b Androhung oder Verwendung von biologischen Agenzien durch Individuen oder Gruppen, motiviert durch klassische kriminelle Motive wie Mord, Erpressung oder Rache.

Biologisches Risiko:^c Kombination der Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines Schadens mit dem Schadensausmass, wenn es sich bei der Schadensquelle um einen biologischen Wirkstoff oder ein biologisches Toxin handelt.

Hinweis: Bei der Schadensquelle kann es sich um eine unbeabsichtigte Exposition, irrtümliche Freisetzung oder Verlust, Diebstahl, Abzweigung, unberechtigten Zugriff oder vorsätzliche ungenehmigte Freisetzung handeln.

Biosafety:^c Eindämmungsmassnahmen, Technologien und Verfahren, welche einen unbeabsichtigten Kontakt mit biologischen Agenzien und Toxinen bzw. deren versehentliche Freisetzung verhindern sollen.

Biosecurity:^c Schutz, Kontrolle und Rechenschaft über biologische Agenzien und Toxine in Laboratorien, um deren Verlust, Diebstahl, Missbrauch, Abzweigung, unberechtigten Zugriff oder vorsätzliche ungenehmigte Freisetzung zu verhindern.

Hinweis: Der Begriff Biosecurity hat je nach Kontext unterschiedliche Bedeutungen und wird vielfach in Bezug auf die Vermeidung des Imports von Pflanzen- oder Tierkrankheiten in ein bestimmtes Land verwendet. Im Zusammenhang mit der Verhinderung von Missbrauch biologischer Forschung wird deshalb im Englischen manchmal der Begriff «laboratory biosecurity» verwendet.

Bioterrorismus:^b Androhung oder Verwendung von biologischen Agenzien durch Individuen oder Gruppen, angeregt durch politische, religiöse, ökologische oder andere ideologische Motive.

^b Definition von W. S. Carus in «Bioterrorismus and biocrimes»⁷ (übersetzt)

^c Definition des Europäischen Komitees für Normung²² (übersetzt)

Dual use research (Forschung mit doppeltem Verwendungszweck):^d Forschung, die für legitime Zwecke durchgeführt wird und Wissen, Informationen, Technologien und/oder Produkte erzeugt, die sowohl für lautere als auch für unlautere Zwecke genutzt werden können.

Dual use research of concern (DURC, Besorgniserregende Forschung mit doppeltem Verwendungszweck):^d Forschung, von der auf der Grundlage des gegenwärtigen Kenntnisstands vernünftigerweise anzunehmen ist, dass sie Wissen, Informationen, Produkte oder Technologien erzeugt, deren direkter Missbrauch eine Bedrohung mit weitreichenden potenziellen Konsequenzen für die öffentliche Gesundheit und Sicherheit, Nutzpflanzen und andere Pflanzen, Tiere, die Umwelt, Materialien oder die nationale Sicherheit darstellt.

^d Definition aus der «United States government policy for institutional oversight of life sciences DURC»⁵ (übersetzt)

Sechs Gesichtspunkte, die berücksichtigt werden sollten

1. Sich des Missbrauchspotenzials der Life-Science-Forschung bewusst sein

Die Life-Science-Forschung birgt sowohl ungeheuren Nutzen für die Gesellschaft und die Umwelt als auch gewisse Risiken. Bei diesen Risiken handelt es sich nicht nur um unbeabsichtigten Kontakt mit oder eine durch Unfall verursachte Freisetzung von biologischem Material, sondern auch um den *vorsätzlichen Missbrauch* solcher Materialien oder damit verbundenen Daten, Wissen und Technologien aus der Forschung. Wenn sie in die Hände von Menschen mit Missbrauchsabsichten geraten, können diese Materialien, Daten oder Technologien die menschliche, tierische oder pflanzliche Gesundheit, die Landwirtschaft oder die Umwelt akut bedrohen.

In den vielversprechendsten Forschungsanstrengungen oder Technologien steckt oftmals auch ein besonders grosses Schadenspotenzial. So könnten zum Beispiel die Genome Editing-Technologien wie CRISPR/Cas9 viele Forschungs- und Industriebereiche revolutionieren, zu denen unter anderem die Entwicklung von Therapeutika, die Verbesserung von Nutzpflanzen und die Bekämpfung krankheitsübertragender Insekten zählen. Ausgerechnet die Vorteile eines für die Forschung so leistungsfähigen Tools wie die CRISPR/Cas9-Methode, nämlich ihre Einfachheit, Wirksamkeit und ihr günstiger Preis, erleichtern auch deren Missbrauch, wenn sie in die Hände jener gelangen, die sie für schädliche Zwecke verwenden wollen (Abb. 1).

Praktisch alle Technologien können für schädliche Zwecke missbraucht werden – man denke nur an ein einfaches Küchenmesser. Die Universalität dieses «*Dual use-Dilemmas*» darf jedoch nicht als Rechtfertigung dienen, es einfach zu ignorieren. In der Life-Science-Forschung wird das Missbrauchspotenzial wissenschaftlicher Erkenntnisse im Zusammenhang mit gefährlichen biologischen Materialien wie hoch pathogenen Organismen und Toxinen besonders deutlich. Es sei jedoch hervorgehoben, dass Technologien oder Wissen, die Gefahren für die menschliche Gesundheit mit sich bringen, auch von der Forschung über nicht-menschliche Pathogene oder von Forschungsvorhaben ohne Verwendung von Pathogenen ausgehen können. Beispiele hierfür sind u. a. die Erforschung

von Vektoren zur Übertragung von genetischem Material (Abb. 2), von Substanzen und Technologien, welche die Gehirnleistung steigern, von Zellgiften zur Krebsbehandlung oder von sogenannten «Gene Drives» zur Reduzierung von Insektenpopulationen (Abb. 1). Des Weiteren beschränkt sich die mögliche Bedrohung nicht auf die menschliche Gesundheit, sondern betrifft auch die tierische und pflanzliche Gesundheit, die Landwirtschaft und die Umwelt.

Stimmen aus der Wissenschaft:

Was zählt, ist das Bewusstsein [...]. Wenn das Bewusstsein der wissenschaftlichen Gemeinschaft geweckt ist, kommt auch die Selbstregulierung in Gange; wenn jeder einzelne sich dessen bewusst ist, dass etwas schief gehen kann, werden Fragen aufgeworfen wie: Hast du auch über die Folgen deiner Forschung nachgedacht? Wir sollten eine solche Haltung anstreben.

Es kann nicht schaden, über diese Fragen nachzudenken – wir tragen schliesslich eine Verantwortung gegenüber der Gesellschaft und sind der Glaubwürdigkeit der Forschung verpflichtet.

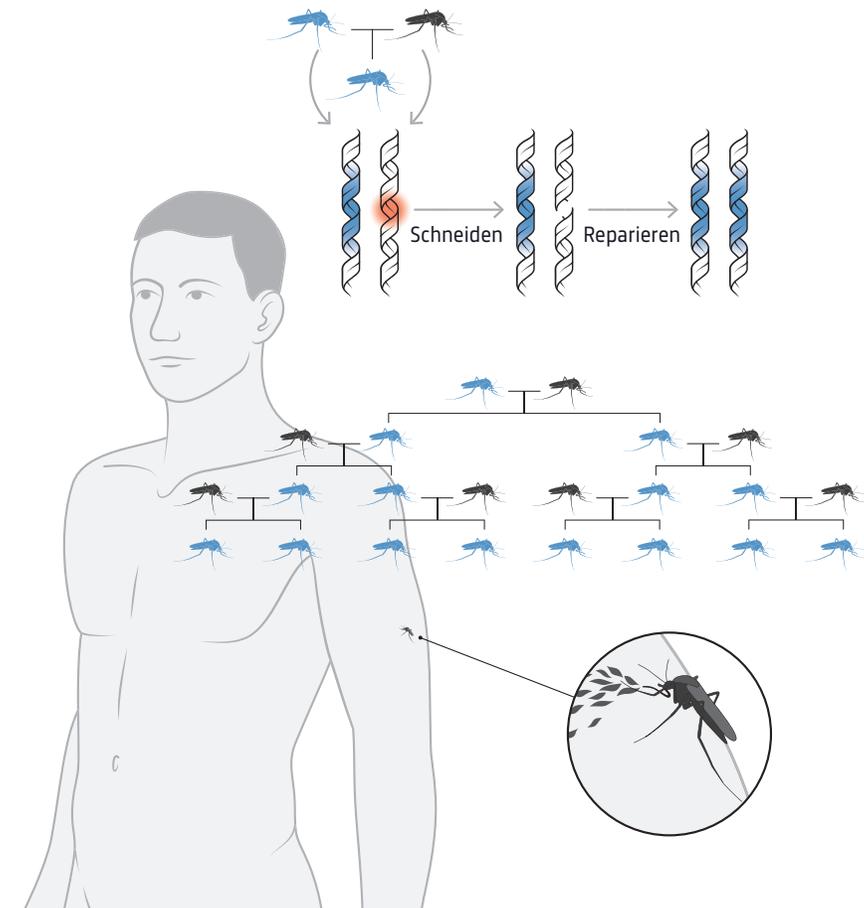


Abb. 1. Gene Drives, eine auf CRISPR/Cas9 basierende Technologie, verwandeln die heterozygoten Träger einer genetischen Modifikation in Homozygoten (blau). Dadurch können sich genetische Veränderungen in einer Population viel schneller verbreiten, als dies über die einfache genetische Vererbung der Fall wäre. Auf Mücken angewandt könnten Gene Drives Krankheiten wie beispielsweise Malaria bekämpfen. Es wird aber auch befürchtet, dass sie missbraucht werden könnten, um absichtlich Krankheiten oder Toxine auf den Menschen zu übertragen. Für weitere Informationen siehe Beispiel 1 auf S. 30 (Abb. angepasst von Oye et al 2014).²³

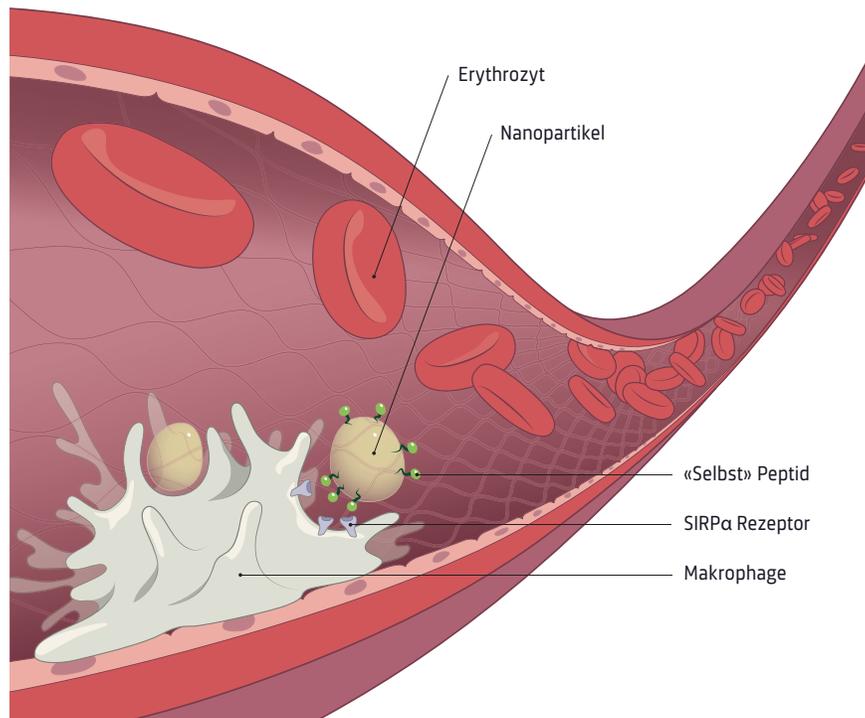


Abb. 2. Wird ein «Selbst» Peptid an konventionelle Nanocarrier angebracht, werden diese vom Immunsystem (Makrophagen) nicht mehr als Fremdkörper wahrgenommen und in viel geringerer Masse eliminiert. Folglich können die Nanocarriers ihre Fracht effizienter transportieren. Eine verbesserte Effizienz der Frachtlieferung könnte dazu führen, dass Medikamente in geringeren Dosen oder weniger häufig eingenommen werden müssen, was wiederum Komfort und Sicherheit erhöht. Dasselbe Verfahren könnte jedoch auch zur Verabreichung von Toxinen oder Pathogenen missbraucht werden. Für weitere Informationen siehe Beispiel 2 auf S. 31.

2. Das Missbrauchspotenzial einschätzen

Es ist nicht einfach, das Missbrauchspotenzial von Forschung zu beurteilen. Die Quantifizierung von Risiken erfordert Kenntnisse über Wahrscheinlichkeit und Konsequenzen eines Missbrauchs sowie detaillierte Informationen über die potenziellen Täter und deren Absichten. Forscher sind nur selten im Besitz solcher Informationen, und selbst Sicherheitsexperten sind sich häufig in ihrer Beurteilung nicht einig. So wurden zum Beispiel in einer vor Kurzem durchgeführten Studie Fachleute angefragt, die Wahrscheinlichkeit eines Grossangriffs mit biologischen Waffen in den kommenden zehn Jahren zu beziffern – ihre Schätzungen rangierten zwischen 0 und 100 Prozent.²⁴ Trotz dieser Schwierigkeiten sollen Anstrengungen unternommen werden, um das Missbrauchspotenzial von Forschungsvorhaben zu identifizieren und abzuschätzen. Tatsächlich führen manche Beobachter an, dass anhaltende Reflexion und klare, offene Diskussionen am besten vor möglichen Schäden schützen.²⁵

Zahlreiche in den Life-Sciences verwendete Materialien und Technologien können für böswillige Zwecke missbraucht werden. Aber gewisse Arten der Forschung bergen ein grösseres Gefährdungspotenzial als andere. Forschungen, die Wissen, Produkte oder Technologien erzeugen, die *direkt* missbraucht werden können, um eine *signifikante Bedrohung* darzustellen, wurden mit dem Begriff «*Dual use research of concern*» (DURC, auf Deutsch vielleicht «besorgniserregende Forschung mit doppeltem Verwendungszweck») bezeichnet. In diesem Zusammenhang schlug die Akademie der Wissenschaften der USA (NAS) sieben Kategorien von «*besorgniserregenden Experimenten (experiments of concern)*» vor, mit denen jene Arten von Forschung identifiziert werden können, deren Missbrauch signifikante Risiken mit sich bringen kann (Kasten 1).²⁶ Die sieben Kategorien beschränken sich auf mikrobiologische Bedrohungen, und die NAS gibt offen an, dass mit der Zeit ein breiteres Spektrum an Experimenten einbezogen werden sollte, da die medizinische, veterinärmedizinische und landwirtschaftliche Forschung fortschreitet. Diese Liste kann als Ausgangspunkt dienen, um Forschungsprojekte zu identifizieren, deren Risiken besonders sorgfältig zu überprüfen und zu handhaben sind. Sie sollte jedoch keinesfalls als vollständig angesehen werden. Des Weiteren ist nicht jedes Experiment, das in eine dieser sieben Kategorien fällt, automatisch mit einer DURC gleichzusetzen. Kurz gefasst: Diese Liste kann individuelle, projektbezogene Risikoanalysen nicht ersetzen.

Eine mögliche Vorgehensweise, um das Missbrauchspotenzial eines gegebenen biologischen Forschungsprojektes einzuschätzen, wird in Abb. 3 dargestellt.

Kasten 1. Sieben Kategorien von besorgniserregenden Experimenten

Aus dem «Fink report» 2004 der Akademie der Wissenschaften der USA²⁶

Die sieben vorgeschlagenen Kategorien umfassen Experimente:

- 1) die aufzeigen können, wie ein Impfstoff unwirksam gemacht werden kann.
- 2) die Resistenz gegenüber Antibiotika und antivirale Mittel mit therapeutischem Nutzen erzeugen können.
- 3) die die Virulenz eines Pathogens steigern oder Virulenz bei einem nicht pathogenen Keim erzeugen können.
- 4) die die Übertragbarkeit eines Pathogens steigern können.
- 5) die das Wirtsspektrum eines Pathogens verändern können.
- 6) die die Umgehung von Modalitäten zu Diagnose/Nachweis ermöglichen können.
- 7) die die Umwandlung zur Waffe eines biologischen Wirkstoffs oder eines biologischen Toxins ermöglichen können.

Bei besonders besorgniserregenden Forschungsvorhaben kann es gerechtfertigt sein, die Experimente vorübergehend auszusetzen, um eine gründliche Risikobewertung, Erörterung der Ergebnisse und Umsetzung von Massnahmen zur Risikominderung zu ermöglichen.

Stimmen aus der Wissenschaft:

Man kann kaum nachweisen, dass [die eigene Forschungsarbeit kein Missbrauchspotenzial hat], aber jeder Wissenschaftler sollte sich trotzdem diese Frage stellen und die Vor- und Nachteile abwägen [...] Selbst wenn die Frage nicht endgültig beantwortet werden kann, lohnt es sich doch, diesen Möglichkeiten nachzugehen.



Abb. 3. Ein mögliches Verfahren zur Risikobewertung. Das vorgeschlagene Verfahren beruht auf dem Leitfaden «Laboratory Biosafety and Biosecurity Risk Assessment Technical Guidance Document» der Forschungseinrichtung Sandia National Laboratories und der Internationalen Vereinigung von Biosicherheitsgesellschaften (International Federation of Biosafety Associations).²⁷ Wenn die Autoren von Gütern sprechen, meinen sie damit nicht nur biologische Materialien, Ausrüstung oder heikle Information, die für eine biologische Bedrohung missbraucht werden könnten, sondern auch alle anderen Güter, die einen hohen Wert für ihren Besitzer haben und aus diesem Grunde zu schützen sind.

3. Sichere Strategien entwerfen und umsetzen

Bei der Konzeption ihrer Forschungsprojekte sollten Wissenschaftler die sicherste Herangehensweise wählen, um eine gegebene wissenschaftliche Fragestellung zu beantworten oder ein gewünschtes Ergebnis zu erreichen – und zwar sowohl in Bezug auf die Biosafety als auch auf die Biosecurity. In diesem Zusammenhang bezieht sich der Begriff *Biosafety* auf Massnahmen, die dazu dienen, eine unbeabsichtigte Gefährdung durch biologische Materialien oder deren versehentliche Freisetzung zu verhindern. Im Unterschied dazu bezeichnet der Ausdruck *Biosecurity* Massnahmen, die den unberechtigten Zugriff, den Diebstahl oder Missbrauch von biologischen Materialien vereiteln oder deren beabsichtigte Freisetzung verhindern sollen. Die beiden Massnahmenbündel zielen zwar auf unterschiedliche Risiken ab, ergänzen sich aber und überschneiden sich in gewissen Bereichen. Insgesamt betrachtet, können wirkungsvolle Biosafety-Praktiken als eine Grundlage für die Biosecurity betrachtet werden (Abb. 4). Das *Biorisiko-Management* umfasst sowohl die Biosafety als auch die Biosecurity. Es fördert eine verantwortungsvolle und sichere Arbeitsweise in Institutionen, in denen biologisches Material verwendet wird. Das Biorisiko-Management involviert direkt jene Personen, welche sich in ihrem Tagesgeschäft mit biologischen Materialien und entsprechenden Methoden befassen.^{28, 29}

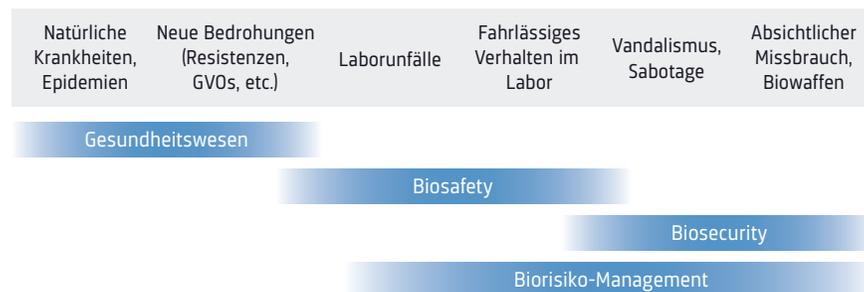


Abb. 4. Spektrum der biologischen Risiken und ihrer Kontrolle. (Abb. angepasst von Stroot and Jenal 2011)²⁸

In der Schweiz unterliegen Life-Science-Forschende bestimmten Gesetzen und Regelungen, die für ihre Arbeit gelten. Die schweizerische Gesetzgebung befasst sich hauptsächlich mit den *Biosafety-Aspekten* von Forschung (siehe Anhang 2). Dänemark hat dagegen als eines der ersten Länder bereits ein umfassendes Regelwerk für die *Biosecurity* erstellt.³⁰ Im Hinblick auf diese Gesetzeslücken sollen

beim Entwurf einer Biorisiko-Management-Strategie für ein Projekt immer auch Massnahmen in Betracht gezogen werden, die über die legalen Anforderungen hinausgehen.

Der Entwurf einer sichereren Forschung könnte zum Beispiel bedeuten, dass andere Organismen oder andere Stämme von Organismen, wie beispielsweise abgeschwächte Stämme oder Impfstämme, ausgewählt werden. Eine solche Strategie könnte das Schadenspotenzial sowohl von *unbeabsichtigten* als auch von *beabsichtigten* Freisetzen verringern und somit einige – wenn auch nicht alle – Bedenken im Bezug auf die Biosecurity ausräumen (siehe auch Beispiel 4, S. 32).

Es ist praktisch unmöglich, Forschungsprojekte ohne Missbrauchspotenzial zu entwerfen. In Fällen, bei denen ein hohes Missbrauchsrisiko bestehen bleibt, sollten die Wissenschaftler die Implementierung spezifischer Schutzmassnahmen zur Minderung der Risiken erwägen. Es kann sich beispielsweise um die folgenden Schutzmassnahmen handeln, ohne auf diese beschränkt zu sein: Einführung zusätzlicher Sicherheitsmassnahmen bei Erfassung, Lagerung und Versand von biologischen Materialien; Übertragung der Verantwortung für biologische Materialien ausschliesslich an bestimmtes Personal und bestimmte Mitarbeitende; regelmässige Kontrolle der Inventarien; sowie Verbesserung der IT-Sicherheit für die Datenspeicherung und den elektronischen Kommunikationsverkehr (siehe auch Kasten 2).

Stimmen aus der Wissenschaft:

Auf die Biosafety wird gut geachtet, aber der Biosecurity ist sich hier niemand bewusst. Ich habe noch nie von irgendeiner Diskussion über Biosecurity gehört, und zwar egal auf welcher Ebene.

Ich meine, [dass die Vorstellung, man könne Forschung sicher gestalten] ein Wunschdenken ist, was nicht bedeutet, dass sie unnützlich ist.

Wir wenden Biosicherheitsstufen 3 und 4 an, was zum Beispiel bedeutet, dass keiner ohne Chipkarte hereinkommen kann. Oder die Fenster sind kugelsicher. Dies stellt eine Zugangskontrolle dar und dient sowohl der Biosafety als auch der Biosecurity.

Kasten 2. Massnahmen zum Schutz vor Missbrauch

Die folgenden Massnahmen sollten bei der Erstellung einer Biosecurity-Strategie berücksichtigt werden. Viele von ihnen betreffen sowohl die Biosafety als auch die Biosecurity.

- Inventar über wertvolles biologisches Material wie Organismen, Patienten- und RNA-/DNA-Proben
- Physische Sicherung der Arbeitsgeräte und des biologischen Materials
- IT-Sicherung von Computern, Daten, Zugangscodes usw.
- Sicherung von Transporten
- Zugangskontrolle
- Personalmanagement
- Reaktion und Berichterstattung bei Vorfällen
- Entwicklung und Pflege von Richtlinien und Prozessen im Bezug auf die Biosecurity
- Bewertung und Überprüfung
- Ausbildung und Schulung
- Interne Audits
- Externe Kontrollen

4. Mit unerwarteten Ergebnissen sorgsam umgehen

Eine Forschungsarbeit kann unerwartete Wendungen nehmen und zu nicht vorhersehbaren Ergebnissen führen (Abb. 5). Diese Unvorhersehbarkeit kann sogar als ein wesentliches Merkmal der Forschung angesehen werden. Entsprechend sollten an wissenschaftlichen Projekten beteiligte Forschende ein waches Auge für unerwartete Entdeckungen haben, die verstärkte Biosafety- und/oder Biosecurity-Massnahmen erfordern könnten.

Unerwartete Beobachtungen sollten in jedem Fall ernst genommen und mit Vorsicht behandelt werden. Wenn Forschende unerwartete Entdeckungen machen, die Konsequenzen für die Biosecurity haben könnten, sollten sie darüber nachdenken, wie sie ihre Kollegen sowie die wissenschaftliche Gemeinschaft auf eine sichere Art und Weise informieren können (siehe Gesichtspunkt 5, S. 25 für weitere Informationen über sichere Kommunikation).

Vor dem Hintergrund dieser natürlichen Unvorhersehbarkeit sollten die möglichen Folgen eines Forschungsprojektes nicht nur während der Anlaufphase, sondern auch über seinen gesamten Verlauf und sogar nach seiner Beendigung geprüft werden (siehe Gesichtspunkt 2, S. 17). Die Strategien im Bezug auf die Biosafety und Biosecurity sollten entsprechend angepasst werden.

Stimmen aus der Wissenschaft:

Forschung ist nicht vorhersehbar. Das gilt besonders für die grundlegende, von Neugier getriebene Forschung, die völlig unerwartete Richtungen einschlagen kann. Daher besteht in jedem Fall ein gewisses Risiko, dass die eigene Forschung zu unerwarteten Ergebnissen führen kann.

Wenn du etwas Aussergewöhnliches entdeckst, [das ein Missbrauchspotenzial mit sich bringt], solltest du es nicht einfach verwerfen, sondern derart damit umgehen, dass niemand es wiederholen wird, der nicht weiss, dass es gefährlich sein könnte. Ein solches Verhalten gehört auch zur Forschungsethik.

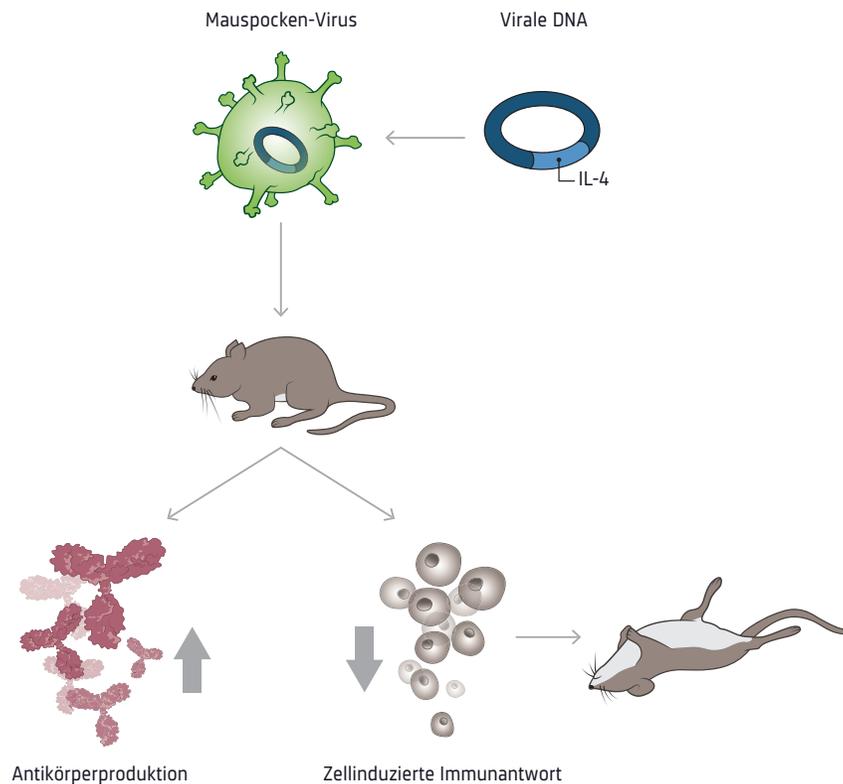


Abb. 5. In der Absicht ein Empfängnisverhütungsmittel für Mäuse zur Schädlingsbekämpfung zu entwickeln, versuchten australische Forscher die Antikörperbildung zu steigern. Dazu infizierten sie Mäuse mit Viren, denen sie zuvor das Gen für den Immunregulator Interleukin-4 (IL-4) eingesetzt hatten. Unerwarteterweise unterdrückte das IL-4 exprimierende Mauspocken-Virus vollständig die zellinduzierte Immunantwort bei den Mäusen und erwies sich als durchgehend letal. Die Forschenden hatten unbeabsichtigt einen virulenteren Mauspocken-Virus geschaffen, und es kamen Bedenken auf, dass diese Forschungsergebnisse auch auf menschliche Pockenviren angewandt werden könnten. Für weitere Informationen siehe Beispiel 3, S. 32.

5. Ergebnisse verantwortungsvoll kommunizieren

Ein Missbrauchspotenzial besteht nicht nur bei gefährlichen biologischen Materialien, sondern auch bei den *Informationen* darüber, wie diese Materialien hergestellt werden können. Dazu gehören zum Beispiel methodische Protokolle oder Genomsequenzen von Pathogenen. Es wurde bereits viel darüber diskutiert, ob der Zugang zu Protokollen und Daten, die das Reproduzieren von besonders besorgniserregenden Forschungsergebnissen ermöglichen, beschränkt werden sollte (Abb. 6).³¹ Manche argumentieren, dass es in bestimmten Fällen angezeigt ist, der Öffentlichkeit detaillierte Angaben und Informationen vorzuenthalten und diese nur begrenzten wissenschaftlichen Kreisen offenzulegen. Andere wenden ein, dass solche Strategien zu kompliziert seien und sich nicht dazu eignen, einem Missbrauch vorzubeugen. Ferner warnen sie vor Massnahmen, die die wissenschaftliche Freiheit einschränken. Zudem bestünde die Gefahr, dass die Transparenz gemindert und die Reproduzierbarkeit erschwert würden. Damit würden zwei Säulen des wissenschaftlichen Systems gefährdet und der Austausch von Wissen und die Selbstkorrektur gehemmt. Beschränkungen könnten zudem den wissenschaftlichen Fortschritt in Bereichen behindern, wo dieser dringend erforderlich ist (für eine ethische Diskussion über wissenschaftliche Freiheit und Biosecurity siehe ³²).

Die Überlegungen, wie wissenschaftliche Ergebnisse auf verantwortungsvolle Weise kommuniziert werden können, sollten in einem frühen Stadium ange stellt werden, idealerweise gleich zu Beginn eines Forschungsprojektes. Diese Überlegungen sollten sich nicht allein auf den Umgang mit Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften beschränken, sondern auch die Kommunikation im Rahmen von wissenschaftlichen Meetings und gegenüber der breiten Öffentlichkeit mit einschliessen.

Eine mögliche Strategie zur Kommunikation über wissenschaftliche Ergebnisse mit Missbrauchspotenzial lässt sich beispielhaft anhand der Entdeckung eines neuen Botulinumtoxin-Typs durch US-amerikanische Wissenschaftler im Jahre 2013 verdeutlichen. Da die Forschenden geltend machten, dass bislang bekannte Antitoxine gegen den neuen Toxin-Typ wirkungslos seien, kamen sie mit den Herausgebern der Zeitschrift und den US-Behörden überein, gewisse genetische Informationen so lange von der Publikation auszunehmen, bis geeignete Gegenmassnahmen entwickelt sein würden.^{33, 34}

Gesamthaft betrachtet, könnten die Strategien bei der Kommunikation über Forschung mit Missbrauchspotenzial folgende Massnahmen umfassen (siehe auch ³⁵):

- Bewusste Sensibilisierung über das Missbrauchspotenzial einer Forschungsarbeit, indem die relevanten Publikationen mit Kontextinformationen ergänzt werden
- Modifizierung des Inhalts einer Veröffentlichung, indem besonders besorgniserregende Informationen zurückgehalten und nur die restlichen wissenschaftlichen Ergebnisse veröffentlicht werden
- Verzögerung einer offenen Kommunikation bis zu einem Zeitpunkt, wenn den Informationen nicht mehr das ursprüngliche Gefährdungsrisiko anhaftet (siehe obiges Beispiel)
- Stärkung der informellen Kommunikationsnetzwerke, damit besonders besorgniserregende Informationen nur innerhalb spezifischer wissenschaftlicher Gemeinschaften ausgetauscht werden

Stimmen aus der Wissenschaft:

Zurzeit gibt es keine Grenzen für Publikationen – wenn etwas veröffentlichungsfähig ist, so wird dies auch geschehen. Sollten wir das, was wir veröffentlichen, begrenzen oder nicht? Darüber müssen die Wissenschaftler untereinander diskutieren.

Ich bin der Meinung, dass in der Zukunft die Information unser wichtigstes Instrument in Kampf gegen natürliche Bedrohungen wie Infektionskrankheiten sein wird. Der Wert einer Publikation geht weit über das Risiko hinaus. Sie versetzt die wissenschaftliche Gemeinschaft nämlich in die Lage, gemeinsam über die potenziellen Bedrohungen nachzudenken. Wir sollten unsere klügsten Köpfe nicht von diesen Fragen ausschliessen, da wir sonst unsere Chancen für eine Bekämpfung von zukünftigen Bedrohungen einschränken würden.

Die Kommunikation sollte nicht eingeschränkt werden, aber es ist wichtig, dass die Betroffenen sich damit auseinandersetzen und dass Forscher sich zum Beispiel bei der Vorbereitung von Pressemitteilungen [...] beraten lassen. [Es ist sicherzustellen,] dass verrückte Leute nicht durch [veröffentlichte Forschungsergebnisse] auf verrückte Ideen gebracht werden.

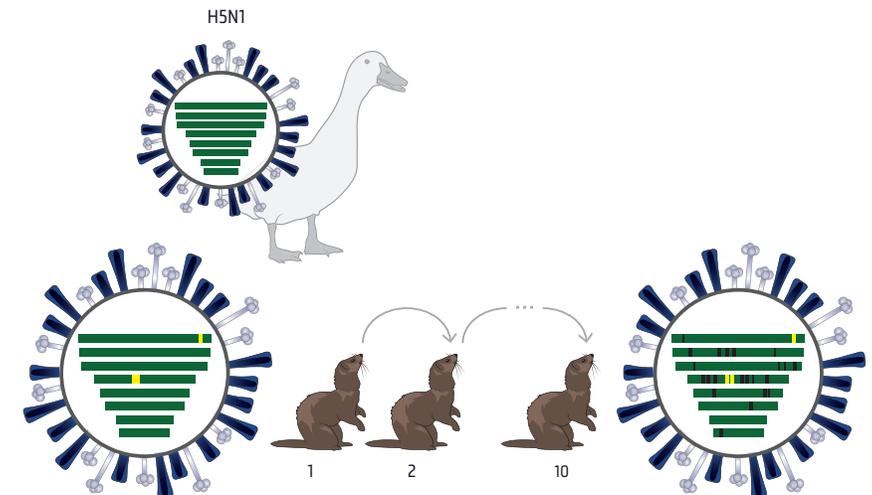


Abb. 6. Bis 2012 gelang es zwei Forschungsgruppen unabhängig voneinander, eine neue Version des Vogelgrippevirus H5N1 zu erzeugen, welche sich über die Luft unter Frettchen verbreitet. Um dies zu erreichen, hat eines der Teams zuerst drei spezifische Mutationen in eine Wildtyp-Variante von H5N1 eingebracht (gelbe Balken). Dieser genetisch veränderte Virus wurde anschliessend von einem Frettchen auf das nächste übertragen. Nach zehn Durchgängen wies der Virus eine Reihe zusätzlicher Mutationen auf (schwarze Balken) und konnte sich über die Luft verbreiten. Diese Entdeckung löste eine Kontroverse in der wissenschaftlichen Gemeinschaft aus, ob solche «gain-of-function» (funktionssteigernde) Experimente überhaupt durchgeführt werden sollen bzw. wie über die Ergebnisse zu berichten sei. Für weitere Informationen siehe Beispiel 4, S. 32 (Abb. angepasst von Herfst et al 2012).¹¹

6. Ausbilden und beaufsichtigen

Ausbildung und Schulung in Biosecurity zählen zu den effizientesten Strategien, um Missbrauch der Life Science-Forschung vorherzusehen und ihm vorzubeugen.²⁶ Bislang wird jedoch der Biosecurity bei der Ausbildung vieler junger Life-Science-Akademiker nicht genug Aufmerksamkeit geschenkt.^{21, 36} Verschiedene internationale Organisationen haben geeignete Lehrmaterialien vorgeschlagen, um diese Lücke zu füllen (siehe nachfolgende «Beispiele für Lehrmittel»).

Weitere wichtige Massnahmen, um Missbrauch vorzubeugen, umfassen die Förderung verantwortungsvoller Forschungspraktiken und ganz allgemein der wissenschaftlichen Integrität sowie die Erzeugung eines Klimas des Vertrauens innerhalb von Forschungseinrichtungen und Forschungsgruppen.

Stimmen aus der Wissenschaft:

Ethische Fragestellungen im Bezug auf die Wissenschaft werden normalerweise während der universitären Ausbildung kaum thematisiert. Im Verlauf meines Masterstudiums hatten wir zwar einige Kurse, aber es gab zu wenige und keinen einzigen allgemeinen Kurs. Wir brauchen mehr Bildung – viele Studenten sind sich des Problems des «Dual use» überhaupt nicht bewusst.

In unserem Institut haben wir Studenten aus 23 verschiedenen Ländern mit sehr unterschiedlicher Vorbildung. Sie sind sehr jung und sich dieser Probleme nicht bewusst; in unserer Rolle als Projektleiter müssen wir eine Vorbildfunktion einnehmen.

Es ist wichtig, eine angenehme Atmosphäre zu schaffen, in der sich die Studenten wohl fühlen und zu uns kommen und offen darüber sprechen, wenn irgend etwas schief läuft; wir versuchen, ein Labor zu schaffen, in dem die Leute zusammenarbeiten anstelle miteinander zu konkurrieren.

Einige Beispiele für Lehrmittel:

- National Science Advisory Board for Biosecurity (2010) Enhancing responsible science. Considerations for the development and dissemination of codes of conduct for dual use research. Appendix B. An educational tool.
<http://osp.od.nih.gov/office-biotechnology-activities/biosecurity/nsabb/reports-and-recommendations>
Diashow als Einführung in das Thema «Dual Use Research of Concern» mit einer Grundstruktur für Assessment und Management der Risiken, Empfehlungen für die Kommunikation von Forschungsergebnissen sowie Darstellung einiger fiktiver Fallstudien.
- Federation of American Scientists. Case studies in dual use biological research.
<http://fas.org/biosecurity/education/dualuse/index.html>
Online Tool, in dem sechs Fallstudien aktueller Forschung vorgestellt werden, bei denen Bedenken über möglichen Missbrauch aufgekommen sind.
- National Institutes of Health. Dual use research: A dialogue.
<http://osp.od.nih.gov/office-biotechnology-activities/biosecurity/dual-use-research-of-concern/dialogue>
Siebenminütiges Video, das das Bewusstsein über den möglichen Missbrauch von Life-Science-Forschung wecken möchte.
- Rappert B, Dando M, Chevrier M. Dual use role-playing simulation.
<http://projects.exeter.ac.uk/codesofconduct/BiosecuritySeminar/Education/index.htm>
Diashow sowie Angaben zur Durchführung eines Rollenspiels, in dem die Teilnehmer Fragen über Experimente mit Missbrauchspotenzial sowie Massnahmen zur Risikominderung kommentieren.
- Whitby S, Novossiolova T, Walther T, Dando M (2015) Preventing biological threats: what you can do. A guide to biological security issues and how to address them.
Novossiolova T (2016) Biological security education handbook: The power of team-based learning.
www.bradford.ac.uk/social-sciences/peace-studies/research/publications-and-projects/guide-to-biological-security-issues
Zwei umfassende Bücher über die Ausbildung im Bereich Biosecurity mit detaillierten Informationen sowie auf Gruppenarbeit basierenden Übungsaufgaben. Die Materialien richten sich in erster Linie an Studierende der Biowissenschaften und deren Dozenten, können aber auch für Wissenschaftler anderer Karrierestufen von Nutzen sein.

Beispiele

1. Genome Editing in Wildtierpopulationen

Die CRISPR/Cas9-Methode wird aufgrund ihrer Einfachheit, Präzision, Wirksamkeit und kostengünstigen Realisierbarkeit als eine wegweisende Technik zur gezielten Genomveränderung (Genome Editing) gepriesen.³⁷ Zu den zahlreichen möglichen Anwendungen der CRISPR/Cas9-Methode zählt die genetische Veränderung durch Gene Drives (engl. für Genantrieb) ganzer Populationen von Organismen, die sich geschlechtlich fortpflanzen. Die CRISPR/Cas9-basierten Gene Drives verwandeln die heterozygoten Träger einer genetischen Modifikation in Homozygote. Dadurch ermöglichen sie es, dass sich genetische Veränderungen in Populationen viel schneller vererben, als dies über die einfache genetische Vererbung der Fall wäre. So lässt sich sogar die Häufigkeit von genetischen Veränderungen steigern, welche die Reproduktionskapazität ihres Trägers reduzieren. Solche Gene Drives könnten zum Beispiel verwendet werden, um das Genom der *Anopheles*-Mücke zu verändern und so Malaria zu bekämpfen, oder um Resistenzen gegenüber Pflanzenschutzmitteln rückgängig zu machen, oder auch um invasive Arten auszulöschen.²³ Im Jahr 2015 demonstrierten Valentino Gantz und Ethan Bier erstmals die Validität des CRISPR/Cas9-basierten Gene Drive-Ansatzes im Rahmen einer Machbarkeitsstudie mit *Drosophila*-Fruchtfliegen.³⁸ In Zusammenarbeit mit Anthony James gelang ihnen das Experiment ein zweites Mal mit *Anopheles*-Mücken.³⁹ Über die Bedenken bezüglich der Biosafety hinaus – zum Beispiel betreffend der ökologischen Folgen einer unbeabsichtigten Freisetzung dieser Insekten in die Natur – werfen diese Experimente auch Fragen über das Missbrauchspotenzial dieser neuen Technik im Falle böswilliger Absichten auf. So wird zum Beispiel befürchtet, dass CRISPR/Cas9-basierte Gene Drives missbraucht werden könnten, um Insekten derart zu verändern, dass diese Krankheiten oder Toxine auf den Menschen übertragen. Sie könnten auch zur Erzeugung von Schäden in der Landwirtschaft dienen, zum Beispiel durch Beseitigung der Bestäuber oder durch Erzeugung von Insektizidresistenz bei Pflanzenschädlingen.⁴⁰

2. Verbesserte Wirkstoffverabreichung mittels vernebelter Mikro- und Nanopartikeln

Die Inhalation von vernebelten Arzneimitteln ist eine wirksame Technik, um Medikamente gegen Atemwegs- und Lungenerkrankungen zu verabreichen. 1997 berichteten David Edwards und sein Forschungsteam über einen neuen Aerosoltyp, der aus grossen porösen Partikeln besteht. Es zeigte sich, dass diese Partikel die Effizienz bei der Arzneimittelverabreichung wesentlich steigern, da sie tief in die Lungen eindringen und über viel längere Zeit biologisch aktiv bleiben, als dies bei anderen handelsüblichen Aerosolen der Fall ist. Dank einer derart verbesserten Effizienz könnten die Patienten ihre Medikamente möglicherweise in geringeren Dosen oder weniger häufig nehmen müssen, was wiederum Komfort und Sicherheit erhöhen würde.⁴¹ Erst einige Zeit später, im Jahre 2001, weckten die Anschläge mit Milzbranderreger das Bewusstsein dafür, dass dieselbe Verabreichungsmethode sich auch dazu missbrauchen liesse, Toxine oder Pathogene tief ins Innere der Lunge eindringen zu lassen.

In noch jüngerer Vergangenheit wurden Nanopartikel als Arzneimittelverabreichungssysteme und Träger für genetisches Material intensiv erforscht. Da Nanopartikel von den Zellen besser aufgenommen werden als grössere Moleküle und sie Gewebeschranken (zum Beispiel die Blut-Hirn-Schranke) leichter überwinden, verfügen sie über ein noch nie da gewesenes Potenzial zur effizienten Verabreichung von biologisch aktiven Molekülen. Unter anderem dadurch, dass das Immunsystem Nanopartikel genau wie andere Fremdkörper erkennt, neutralisiert und beseitigt, wird allerdings die Übertragung abgeschwächt. Dafür zuständig sind in erster Linie die Makrophagen. Im Jahr 2013 entdeckten Dennis Discher und seine Kollegen einen Weg, wie diese Tilgung der Fremdkörper durch Makrophagen verlangsamt werden kann. Ausgehend vom menschlichen Transmembranprotein CD47 entwarfen sie ein kurzes Peptid, das von den Makrophagen als eine körpereigene Markierung des «Selbst» erkannt wird und daher die Immunantwort unterdrückt. Die Verbindung solcher «Selbst» Peptide mit klassischen Nanopartikeln verzögerte den Abwehrmechanismus signifikant und verbesserte die Verabreichung von Arzneimitteln und Farbstoffen (Markern).⁴² Das «Selbst» Peptid lässt sich aufgrund seiner geringen Länge von nur 21 Aminosäuren relativ leicht synthetisieren und zur Steigerung der Persistenz mit verschiedenen Trägern verbinden.⁴³ Während diese Fortschritte die Arzneimittelverabreichung – etwa im Kampf gegen Tumorzellen oder Infektionskrankheiten – erleichtern, könnten sie im Prinzip auch missbraucht werden, um schädliches biologisches Material zu übertragen.

3. Mauspocken-Viren mit unerwarteter Letalität

Die australischen Forscher Ronald J. Jackson und Ian Ramshaw haben versucht, ein Schädlingsbekämpfungsmittel gegen Mäuse zu entwickeln, das bei der Empfängnisverhütung der Tiere ansetzt.⁴⁴ Dazu fügten sie das Mäuse-Gen für das Protein ZP3, welches sich in der Eizellhülle befindet, in das Mauspocken-Virus ein, das bei Mäusen normalerweise nur eine leichte Infektion erzeugt. Die Forscher vermuteten, dass die infizierten Mäuse zunächst eine Immunantwort gegen das Virus und folglich auch gegen das ZP3-Protein entwickeln würden; daraufhin würden die anti-ZP3 Antikörper die Eizellen in den Eierstöcken weiblicher Mäuse angreifen, wodurch diese unfruchtbar würden. Bei einigen Mäusestämmen schien diese Strategie recht gut zu funktionieren, bei anderen erwies sich die Antikörperproduktion jedoch als ungenügend. Im Rahmen eines Versuchs zur Steigerung der Immunantwort bei allen Mäusen übertrugen die Forscher das Gen für den Immunregulator Interleukin-4 (IL-4) auf Mauspocken-Viren, da frühere Forschungen vermuten liessen, dass IL-4 die Antikörperproduktion steigern könne. Unerwarteterweise führte das IL-4 exprimierende Mauspocken-Virus zur vollständigen Unterdrückung der zellinduzierten Immunantwort bei den Mäusen und erwies sich als durchgehend letal. Darüber hinaus wurden selbst die zuvor gegen Mauspocken geimpften Mäuse durch das neue Virus getötet.⁴⁵ Da die Viren aus der Familie der Pockenviren eng miteinander verwandt sind, kamen Bedenken auf, dass diese Forschungsergebnisse zur Steigerung der Virulenz von menschlichen Pockenviren verwendet werden könnten (zum Beispiel der ausgerotteten Pocken) und die Impfstoffe auf gefährliche Weise wirkungslos machen könnten.

4. Übertragbarkeit des Vogelgrippevirus zwischen Säugetieren

Das hochpathogene Vogelgrippevirus (Virus der Aviären Influenza H5N1) wird nur zwischen Vögeln übertragen, kann aber bei einer intensiven Exposition gelegentlich auch Säugetiere – einschliesslich des Menschen – befallen. Um herauszufinden, ob H5N1 derart mutieren kann, dass es auch zwischen Säugern übertragen wird, führten Virologen sogenannte Gain-of-Function-Experimente (funktionserweiternde Experimente) durch. Ein holländisches Team unter der Leitung von Ron Fouchier wendete genetische Veränderungen bei einer Wildtyp-Variante von H5N1 an und infizierte damit Frettchen. Anschliessend isolierten die Forschenden das Virus aus den erkrankten Tieren und übertrugen

es auf ein anderes Frettchen. Nach mehreren Durchgängen entstand eine neue Version des Virus, das sich über die Luft unter Frettchen verbreiten konnte.¹¹ Yoshihiro Kawaoka und sein Team in den USA erreichten dieselbe Übertragbarkeit zwischen Säugetieren, indem sie ein chimäres H5N1-H1N1 Virus schufen und spezifische Mutationen hinzufügten.¹² Auch wenn diese neuen H5N1-Versionen sich als nicht letal für Frettchen erwiesen, warfen die beiden Studien dennoch ernsthafte Bedenken über den möglichen Missbrauch der Ergebnisse auf. Daher empfahl das US-amerikanische National Science Advisory Board for Biosecurity zunächst, wichtige Einzelheiten vor der Publikation der Fachartikel zu streichen. Letztendlich kam eine Vereinbarung zustande, wonach die überarbeiteten Texte trotzdem vollständig blieben und eine Beschreibung der für die gesteigerte Übertragbarkeit spezifischen Mutationen sowie eine detaillierte Methodologie enthielten. Schliesslich wurden im Jahr 2012 beide Studien veröffentlicht. Im Rahmen dieser Kontroverse verabschiedeten jedoch führende Influenza-Forscher für derartige Forschungen ein freiwilliges Moratorium, um eine Diskussion über Nutzen, Risiken und mögliche Massnahmen zur Minimierung der Gefährdungen zu ermöglichen. Ein Weg zur Reduzierung der Risiken von Gain-of-Function-Experimenten könnte in der Entwicklung sogenannter molekularer Biocontainment-Strategien bestehen. So entwickelte ein US-amerikanisches Forschungsteam zum Beispiel einen H5N1-Stamm, der sich zwar in Frettchen, nicht aber im Menschen replizieren kann.⁴⁶ Diese molekulare Containment-Strategie muss zwar noch weiter erforscht werden, doch erscheint sie vielversprechend, um dereinst sicherere Experimente mit hochpathogenen Viren zu gestatten.⁴⁷ Eine Strategie wie diese kann das Schadensrisiko sowohl von unbeabsichtigten als auch von absichtlichen Freisetzungen des Virus verringern. Sie kann jedoch nicht verhindern, dass Individuen mit Missbrauchsabsichten die Experimente in Virus-Stämmen reproduzieren, die für den Menschen pathogen sind.

Anhang

1. Verhaltensregeln und Richtlinien

Verschiedene nationale und internationale Institutionen haben Verhaltensregeln, Stellungnahmen oder Richtlinien zur Begrenzung des Missbrauchspotenzials biologischer Forschung ausgearbeitet. Das «Virtual Biosecurity Center», eine Initiative der Federation of American Scientists (FAS, Bund amerikanischer Wissenschaftler) stellt eine umfangreiche Datenbank mit relevanten Veröffentlichungen zur Verfügung.⁴⁸ Die massgeblichsten, für die Verfassung des vorliegenden Dokuments verwendeten Kodizes und Stellungnahmen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Quelle	Titel	Jahr
BBSRC, MRC, Wellcome Trust	Position statement on dual use research of concern and research misuse	2015
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)	Verhaltenskodex: Arbeit mit hochpathogenen Mikroorganismen und Toxinen	2013
Robert Koch Institute	Dual use potential of life sciences research. Code of conduct for risk assessment and risk mitigation	2013
Do-it-yourself biology community (DIYbio.org)	DIYBio code of ethics	2011
US National Science Advisory Board for Biosecurity (NSABB)	Considerations in developing a code of conduct for dual use research in the life sciences	2010
Comitato Nazionale per la Biosicurezza, le Biotecnologie e le Scienze della Vita	Codice di condotta per la biosicurezza	2010
Max Planck Society	Guidelines and rules of the Max Planck Society on a responsible approach to freedom of research and research risks	2010
Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences (RNAAS)	A code of conduct for biosecurity	2008
InterAcademy Panel (IAP)	IAP statement on biosecurity	2005
International Union of Microbiological Societies (IUMS)	IUMS code of ethics against misuse of scientific knowledge, research, and resources	2005
American Society for Microbiology	Code of ethics	2005

Tabelle 1. Eine Auswahl von Verhaltensregeln und Richtlinien zur Begrenzung des Missbrauchspotenzials biologischer Forschung.

2. Schweizerische Rechtsvorschriften zur Begrenzung von Biorisiken im Bereich der Life-Science-Forschung

Nachfolgend sind die wesentlichen Schweizer Gesetze und Verordnungen zur Begrenzung von Biorisiken in der Life-Science-Forschung aufgeführt. Weitere Informationen sind auf den Websites des BAG und des BAFU zu finden. Die wesentlichen Schweizerischen Vorschriften befassen sich schwerpunktmässig mit den Biosafety-Aspekten von Forschung. Fragen hinsichtlich der Biosecurity werden kaum angesprochen. Die Exportbestimmungen für doppelt verwendbare Waren und Informationen stellen eine nennenswerte Ausnahme dar; diese schliessen auch gewisse Forschungsdaten und -ergebnisse mit ein. Dagegen sind die Schweizer Gesetze und Verordnungen über den Umgang mit biologischen Agenzien weitestgehend auf die Biosafety fokussiert. Wie unter Gesichtspunkt 3 (S. 20) bereits erörtert, kann die Biosafety auch Nebeneffekte für die Biosecurity haben. Zum Beispiel reduzieren Beschränkung und Kontrolle des Zugangs zu gewissen biologischen Materialien sowohl die Wahrscheinlichkeit ihrer unabsichtlichen als auch ihrer absichtlichen Freisetzung.¹⁷

Gentechnikgesetz (814.91)

Umweltschutzgesetz (814.01)

Einschliessungsverordnung (814.912)

Freisetzungsverordnung (814.911)

Verordnung über den Schutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer vor Gefährdung durch Mikroorganismen (832.321)

Störfallverordnung (814.012)

Güterkontrollgesetz (946.202)

Güterkontrollverordnung (946.202.1)

Tierseuchengesetz (916.40)

Tierseuchenverordnung (916.401)

Landwirtschaftsgesetz (910.1)

Pflanzenschutzverordnung (916.20)

Cartagena-Verordnung (814.912.21)

Referenzen

- Nuffield Council on Bioethics (2015) The collection, linking and use of data in biomedical research and health care: ethical issues.
- UNESCO (2003) International declaration on human genetic data.
- The Omics-Ethics Research Group. www.omics-ethics.org
- Murray TH (2008) Sports enhancement in *From birth to death and bench to clinic: The Hastings Center bioethics briefing book for journalists, policymakers, and campaigns*, ed. Crowley, M (Garrison, NY: The Hastings Center).
- Riedel S (2004) Biological warfare and bioterrorism: a historical review. *Proc (Bayl Univ Med Cent)* 17: 400–6.
- Whitby S, Novosiolova T, Walther T, Dando M (2015) Preventing biological threats: what you can do. A guide to biological security issues and how to address them.
- Carus WS (2001) Bioterrorism and biocrimes. The illicit use of biological agents since 1900. Rev. ed.
- Cello J, Paul AV, Wimmer E (2002) Chemical synthesis of poliovirus cDNA: generation of infectious virus in the absence of natural template. *Science* 297: 1016–8.
- Tumpey TM et al (2005) Characterization of the reconstructed 1918 Spanish influenza pandemic virus. *Science* 310: 77–80.
- Taubenberger JK et al (2005) Characterization of the 1918 influenza virus polymerase genes. *Nature* 437: 889–93.
- Herfst S et al (2012) Airborne transmission of influenza A/H5N1 virus between ferrets. *Science* 336: 1534–41.
- Imai M et al (2012) Experimental adaptation of an influenza H5 HA confers respiratory droplet transmission to a reassortant H5 HA/H1N1 virus in ferrets. *Nature* 486: 420–8.
- Harris ED (2016) Dual-use threats: the case of biological technology in *Governance of dual-use technologies: theory and practice*, ed. Harris, ED (Cambridge, Mass.: American Academy of Arts & Sciences).
- European Academies Science Advisory Council (2015) Gain of function: experimental applications relating to potentially pandemic pathogens.
- United States government policy for institutional oversight of life sciences dual use research of concern (2014).
- Centre for Biosecurity and Biopreparedness (2015) An efficient and practical approach to biosecurity.
- Thurnherr D (2015) Biosecurity. Rechtslage und Regelungsbedarf im Bereich der biologischen Sicherung. Gutachten im Auftrag des Bundesamts für Umwelt.
- United Nations (2005) Meeting of the states parties to the convention on the prohibition of the development, production and stockpiling of bacteriological (biological) and toxin weapons and on their destruction. Report of the Meeting of Experts, June 13–24 2005.
- Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences (2013) Improving biosecurity. Assessment of dual-use research.
- World Health Organisation (2010) Responsible life sciences research for global health security: A guidance document.
- Forum for Genetic Research of the Swiss Academy of Sciences (2016) Awareness and responsibility in academia: a bottom up approach to address the misuse potential of biological research.
- European Committee for Standardization (2011) Laboratory risk management. CEN workshop agreement (CWA) 15793.
- Oye KA et al (2014) Regulating gene drives. *Science* 345: 626–8.
- Boddie C et al (2015) Assessing the bioweapons threat. *Science* 349: 792–3.
- Imperiale MJ, Casadevall AA (2015) A new synthesis for dual use research of concern. *PLoS Med* 12: e1001813.
- National Research Council of the National Academies (2004) Biotechnology research in an age of terrorism (Washington DC: The National Academies Press).
- Sandia National Laboratories, International Federation of Biosafety Associations (2012) Laboratory biosafety and biosecurity risk assessment technical guidance document.
- Stroop P, Jenal U (2011) A new approach. *Nonproliferation Rev* 18: 545–55.
- World Health Organization (2006) Biorisk management: Laboratory biosecurity guidance.
- Centre for Biosecurity and Biopreparedness (2015) The Danish biosecurity legislation. Online supplementary material to *An efficient and practical approach to biosecurity*. www.biosikring.dk/613
- Casadevall A, Shenk T (2012) The H5N1 manuscript redaction controversy. *mBio* 3: e00022–12.
- Eidgenössische Ethikkommission für die Biotechnologie im Ausserhumanbereich (EKAH) (2015) Forschungsfreiheit und Biosicherheit. Ethische Überlegungen am Beispiel von Dual use research of concern.
- Barash JR, Arnon SS (2014) A novel strain of Clostridium botulinum that produces type B and type H botulinum toxins. *J Infect Dis* 209: 183–91.
- Hooper DC, Hirsch MS (2014) Novel Clostridium botulinum toxin and dual use research of concern issues. *J Infect Dis* 209: 167.
- National Science Advisory Board on Biosecurity (2010) Enhancing responsible science - Considerations for the development and dissemination of codes of conduct for dual use research. Appendix B. An educational tool.
- Berkelman RL, Le Duc JW (2014) Culture of responsibility. *Science* 345: 1101.
- Ledford H (2015) CRISPR, the disruptor. *Nature* 522: 20–4.
- Gantz VM, Bier E (2015) The mutagenic chain reaction: A method for converting heterozygous to homozygous mutations. *Science* 348: 442–4.
- Gantz VM et al (2015) Highly efficient Cas9-mediated gene drive for population modification of the malaria vector mosquito *Anopheles stephensi*. *Proc Natl Acad Sci* 112: E6736–43.
- Begley S (2015) Why the FBI and Pentagon are afraid of this new genetic technology. *STAT* www.statnews.com/2015/11/12/gene-drive-bioterror-risk
- Edwards DA et al (1997) Large porous particles for pulmonary drug delivery. *Science* 276: 1868–72.
- Rodriguez PL et al (2013) Minimal 'Self' peptides that inhibit phagocytic clearance and enhance delivery of nanoparticles. *Science* 339: 971–5.
- Cossins D (2013) Synthetic peptide fools immune system. *The Scientist*. www.the-scientist.com/?articles.view/articleNo/34482/title/Synthetic-Peptide-Fools-Immune-System
- Nowak R (2001) Killer mousepox virus raises bioterror fears. *New Scientist*. www.newscientist.com/article/dn311-killer-mousepox-virus-raises-bioterror-fears
- Jackson RJ et al (2001) Expression of mouse interleukin-4 by a recombinant ectromelia virus suppresses cytolytic lymphocyte responses and overcomes genetic resistance to mousepox. *J Virol* 75: 1205–10.
- Langlois RA et al (2013) MicroRNA-based strategy to mitigate the risk of gain-of-function influenza studies. *Nat Biotechnol* 31: 844–7.
- Baas T (2013) Molecular biocontainment for the flu. *SciBX* 6.
- Virtual Biosecurity Center. Biosecurity Codes. www.virtualbiosecuritycenter.org/codes-of-ethics

Wie dieses Dokument entstand

Dieses Dokument wurde von einer Arbeitsgruppe des Forum Genforschung der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz mit Unterstützung von weiteren Expertinnen und Experten aus den Fachbereichen Life-Sciences, Gesetze und Vorschriften sowie Biosafety und Biosecurity entwickelt.

Weitere Beiträge stammen von drei Workshops, die im Frühjahr 2016 in Bern, Lausanne und in Zürich abgehalten wurden. Insgesamt kamen über 40 Life-Science-Forschende aus Schweizer Hochschulen und Universitäten zusammen, um sich über die Möglichkeiten zur Begrenzung des Missbrauchspotenzials biologischer Forschung auszutauschen.

Bei den Workshops ging es vorrangig um die folgenden Diskussionspunkte:

- Wie sieht Ihre Vorstellung vom Missbrauchspotenzial der biologischen Forschung aus?
- Welche Fälle von Missbrauch sind Ihnen aus Ihrem Forschungsbereich im Zusammenhang mit biologischen Materialien bekannt?
- Diskutieren Sie und Ihre Kollegen bereits über das Missbrauchspotenzial von Forschung?
- Bewerten Sie das Missbrauchspotenzial Ihrer eigenen Forschung?
Wie vermeiden Sie den Missbrauch Ihrer Forschung?
- Über welche Art von institutionellen Regeln verfügen Sie zur Verhinderung des Missbrauchs von biologischem Material?
- Schulen Sie oder Mitarbeiter Ihres Instituts junge Wissenschaftler in Biosecurity?
- Schenken Sie dem Thema Biosecurity bei der Einstellung von neuem Personal Beachtung?

Die lebhaften Diskussionen anlässlich der Workshops haben den Bedarf an weitergehenden Überlegungen und Ausbildung zur Steigerung des Bewusstseins für einen Schutz vor Missbrauch (Biosecurity) und zur Bestätigung des Engagements für ein verantwortungsvolles Verhalten aufgezeigt. Die Teilnehmer bekundeten ihre Zustimmung für die Anwendung eines auf pädagogische Instrumente und Leitfäden gestützten Bottom-up-Prinzips. Sie äuserten jedoch Zweifel gegenüber der Auferlegung von formelleren, strengeren Kontrollen, seien es Verhaltensregeln, Biosecurity-Komitees, Biosecurity-Gesetze, da der Begriff des Missbrauchs biologischer Forschung nicht eindeutig definiert werden kann.²¹

Dieses Projekt wurde vom Bundesamt für Gesundheit finanziert.

Wer sind wir?

Die Akademien der Wissenschaften Schweiz vernetzen die Wissenschaften regional, national und international. Sie engagieren sich insbesondere in den Bereichen Früherkennung und Ethik und setzen sich ein für den Dialog zwischen Wissenschaft und Gesellschaft.

Die Akademien der Wissenschaften Schweiz sind ein Verbund der vier wissenschaftlichen Akademien der Schweiz:

- Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT)
- Schweizerische Akademie der Medizinischen Wissenschaften (SAMW)
- Schweizerische Akademie der Geistes- und Sozialwissenschaften (SAGW)
- Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften (SATW)

sowie der Kompetenzzentren

- Zentrum für Technologiefolgenabschätzung (TA-SWISS)
- Stiftung Science et Cité

SCNAT – vernetztes Wissen im Dienste der Gesellschaft

Die Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT) mit ihren 35 000 Expertinnen und Experten engagiert sich regional, national und international für die Zukunft von Wissenschaft und Gesellschaft. Sie stärkt das Bewusstsein für die Naturwissenschaften als zentralen Pfeiler der kulturellen und wirtschaftlichen Entwicklung. Ihre breite Abstützung macht sie zu einem repräsentativen Partner für die Politik. Die SCNAT vernetzt die Naturwissenschaften, liefert Expertise, fördert den Dialog von Wissenschaft und Gesellschaft, identifiziert und bewertet wissenschaftliche Entwicklungen und legt die Basis für die nächste Generation von Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern. Sie ist Teil des Verbundes der Akademien der Wissenschaften Schweiz.