

BIOTECHNOLOGISCHER FORTSCHRITT ALS SICHERHEITSPOLITISCHE HERAUSFORDERUNG

Biologische Waffen nehmen in aktuellen Bedrohungsanalysen keinen prominenten Platz ein. Fortschritte in der Biotechnologie und insbesondere in der synthetischen Biologie könnten dies jedoch ändern. Sollte die künstliche Entwicklung und Modifizierung von Bakterien und Viren Realität werden, würde dies zwar zahlreiche nutzbringende Anwendungen in Medizin, Umweltschutz und anderen Bereichen erlauben. Gleichzeitig wären aber auch Biowaffen leichter herstellbar und die dazu benötigten Fähigkeiten einem breiteren Spektrum von Akteuren zugänglich. Eine frühzeitige Auseinandersetzung mit Präventionsmassnahmen drängt sich auf.



Biologische Waffen und Bioterrorismus haben in den letzten Jahren in der sicherheitspolitischen Diskussion an Aufmerksamkeit verloren. Zwar figurierte die B-Bedrohung im Nachgang zu den Terroranschlägen des 11. September 2001 aufgrund der Anthrax-Briefe kurzzeitig weit oben auf der sicherheitspolitischen Agenda. Seither hat sich jedoch gezeigt, dass die Aneignung der nötigen Expertise und Ressourcen sowie die erfolgreiche Durchführung eines biologischen Anschlages weit komplizierter sind, als angenommen wurde.

Nicht-staatlichen Akteuren ist es bisher nicht gelungen, die Fähigkeit zur Verwendung von Krankheitserregern als Waffen zu entwickeln. Die überwiegende Mehrheit der Staaten wiederum hat bewusst auf offensive Biowaffenprogramme verzichtet, wobei neben moralischen Gründen auch anhaltende Zweifel bezüglich der Zweckmässigkeit solcher Waffen eine gewichti-

ge Rolle spielen (siehe CSS Analyse Nr. 5 [☞](#)). Dementsprechend drehen sich die Debatten und Kontroversen bezüglich Massenvernichtungswaffen heute vorwiegend um nukleare Waffen und deren Proliferation.

Der in den nächsten Jahrzehnten erwartete biotechnologische Fortschritt könnte allerdings mit einer markanten Zunahme der Bedrohung durch Biowaffen verbunden sein. Auch wenn die möglichen Konturen und das Potential einer von vielen Experten prognostizierten biologischen Revolution heute noch kontrovers diskutiert werden, drängt sich eine frühzeitige Auseinandersetzung mit den sicherheitspolitischen Herausforderungen biotechnologischer Entwicklungen auf.

Biotechnologie als Ingenieursdisziplin

Die Biotechnologie steht derzeit an der Spitze aussichtsreicher Technologietrends. Ihr wird das Potential zugesprochen, in

der Konvergenz mit Fortschritten in der Nano- und Informationstechnologie sowie den Kognitions- und Neurowissenschaften unsere Gesellschaft im Sinne eines «biologischen Jahrhunderts» grundlegend zu verändern. Keine Entwicklung macht dies deutlicher als die synthetische Biologie. Deren erklärte Absicht ist so ambitioniert wie kontrovers: die Wandlung der Biologie von einer Naturwissenschaft zu einer angewandten Ingenieursdisziplin.

Synthetische Biologie bezeichnet ein wissenschaftliches Forschungsgebiet, welches die bestimmungsgemässe Entwicklung von Molekülen, Zellen und Organismen mittels Ingenieursprinzipien zum Ziel hat, um biologische Systeme mit neuen Eigenschaften zu konstruieren. Sie ist in gewisser Weise eine Weiterentwicklung der traditionellen Gentechnik. Im Unterschied zur Gentechnik werden aber nicht lediglich einzelne Gene von einem Organismus zu einem anderen transferiert. Vielmehr werden Gene, Genmodule oder die komplette DNA mittels chemischer Ausgangsstoffe künstlich erzeugt – oder eben synthetisiert. In den letzten Jahren ist in diesem Zusammenhang eine eigentliche DNA-Synthetisierungsindustrie entstanden. Viele Wissenschaftler bestellen heute DNA-Fragmente für Forschungszwecke bei kommerziellen Anbietern im Internet.

Innerhalb der synthetischen Biologie lassen sich verschiedene Ansätze unterscheiden. Eine grundlegende Möglichkeit besteht darin, das komplette Erbgut (Genom) eines bekannten Mikroorganismus (Bakterien, Viren) zu synthetisieren. Bereits haben Wissenschaftler erfolgreich das

Poliovirus rekonstruiert, was vor allem der Grundlagenforschung dient. In einem in Richtung Ingenieurwissenschaften weiterführenden Ansatz wird versucht, ein Minimalgenom zu konstruieren, welches auf die zum Leben notwendigen Gene reduziert ist, um als Chassis für den Einbau von Genmodulen zu dienen. Gleichzeitig wird intensiv an der Entwicklung solcher standardisierter Genmodule oder «biologischer Schaltkreise» geforscht, die dann dem Minimalgenom hinzugefügt werden könnten, um vordefinierte Aufgaben zu erfüllen – analog zur modularen Konstruktionsweise in vielen Industriezweigen, wie der Auto- oder Computerindustrie. Dadurch könnten dann im Chassisorganismus beispielsweise spezifische Stoffwechselwege oder andere erwünschte Eigenschaften erzeugt werden.

Vielversprechende Anwendungen

Die synthetische Biologie verspricht, das Betreiben von Biotechnologie und insbesondere die Modifikation biologischer Systeme durch das Rekurrieren auf die Ingenieursprinzipien der Standardisierung und Modularisierung einfacher, schneller, billiger und zugänglicher für «Nicht-Experten» zu machen. Die Zahl der möglichen Anwender biotechnologischer Verfahren könnte markant erhöht werden – bei gleichzeitiger Verringerung der zur Modifikation biologischer Systeme benötigten Ressourcen. Auch die Zuverlässigkeit biologiebasierter Technologie dürfte sich signifikant verbessern. Die benötigte Zeit, um von wissenschaftlichen Erkenntnissen zu praktischen Anwendungen zu gelangen, liesse sich damit substantiell reduzieren.

Sollten sich die bisherigen Fortschritte verstetigen, dürfte das Ausmass, in welchem moderne Biologie betrieben wird, massiv zunehmen. Dies hätte einen transformativen Einfluss auf die gesamte Gesellschaft und verschiedenste Wirtschaftssektoren. Bereits heute zeichnet sich eine Vielzahl potentiell nutzbringender Anwendungen ab. Beispielsweise besteht die berechtigte Hoffnung, auf diese Weise Biotreibstoffe oder gewisse Medizinalstoffe in Bakterien produzieren zu können – als Endprodukt ihres Stoffwechsels – oder Umweltgifte über einen konstruierten bakteriellen Stoffwechsel abbauen zu lassen. Bereits ist es Forschern gelungen, in Bakterien ein Malaria-Gegenmittel zu produzieren. Es ist auch denkbar, dass Bakterien konstruiert werden können, die das Vorhandensein bestimmter Stoffe wie Sprengstoff oder radioaktive Substanzen anzeigen, was entsprechende Schutzmassnahmen erleichtern würde.

Wichtige Dokumente und Initiativen

- / **US Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues:** The Ethics of Synthetic Biology and Emerging Technologies [↗](#)
- / **US National Science Advisory Board for Biosecurity:** Addressing Biosecurity Concerns Related to Synthetic Biology [↗](#)
- / **OECD:** Symposium on Opportunities and Challenges in the Emerging Field of Synthetic Biology [↗](#)
- / **EU-Forschungs-Rahmenprogramme:**
 - / Synbiosafe (Synthetic Biology Safety and Ethical Aspects) [↗](#)
 - / SYBHEL (Synthetic Biology for Human Health: Ethical and Legal Issues) [↗](#)
 - / Synth-Ethics (Ethical and Regulatory Issues Raised by Synthetic Biology) [↗](#)
- / **United Nations Interregional Crime and Justice Research Institute (UNICRI):** Synthetic Biology and Nanobiotechnology Risk and Response Assessment [↗](#)

Ein zweischneidiges Schwert

Ähnlich wie etwa bei der atomaren Revolution ist der biotechnologische Fortschritt aber nicht nur mit gesellschaftlichem Nutzen, sondern auch mit Risiken verbunden. Die aus sicherheitspolitischer Warte zentrale Herausforderung der Biotechnologie betrifft die Dual-Use-Problematik. Praktisch jeder biotechnologische Ansatz lässt neben nutzbringenden auch schädliche Anwendungen zu. Grundsätzlich können alle sicherheitsrelevanten Entwicklungen in der Biotechnologie von absolut legitimen Forschungsanstrengungen abgeleitet werden. Deren Adaptierung für missbräuchliche Zwecke erfordert häufig keine grossen Umwege.

In Bezug auf die DNA-Synthese besteht ein offensichtliches Risiko im Missbrauch der Technologie zur Nachbildung gefährlicher Krankheitserreger. Die dazu erforderliche Gensequenz ist in Internet-Datenbanken offen zugänglich. Zwar ist die Beschaffung solcher Erreger in der Natur heute noch die einfachere und billigere Variante. Das könnte sich aber ändern. Zudem sind einige Erreger wie Ebola oder Marburg in der Natur schwer zu isolieren. Andere wiederum existieren gar nicht mehr, könnten aber mittels Synthese rekonstruiert werden. Zu den ausgerotteten Viren, die als potente Biowaffen gebraucht werden könnten, gehören das Variola-Virus (Pocken) oder das Grippepandemievirus von 1918. Beiden fielen Millionen von Menschen zum Opfer.

Die synthetische Biologie könnte langfristig auch die Modifikation der Eigenschaften von Krankheitserregern vereinfachen,

um sie durch den «Einbau» von entsprechenden Genmodulen waffenfähiger zu machen. Heute ist die Modifikation der biologischen Attribute von Viren oder Bakterien erst in Bezug auf die Verleihung von Medikamentenresistenzen hinreichend steuerbar. Das Wissen über die Funktion von einzelnen Genen und deren Interaktionen ist noch rudimentär. Längerfristig sind allenfalls aber auch Eigenschaften wie die Ansteckungskraft, Übertragbarkeit oder Umweltstabilität modifizierbar.

Die gegenwärtig noch hypothetische Möglichkeit, biologische Systeme nach Belieben modifizieren zu können, würde die Entwicklung biologischer Waffen für militärische oder terroristische Zwecke attraktiver machen. Bisher bestehende taktische Hindernisse ihres Einsatzes liessen sich teilweise aus dem Weg räumen, indem Biowaffen beispielsweise kontrollierbarer, d.h. selektiv und gezielt anwendbar gemacht werden. Auch könnten einige operationelle Schwierigkeiten ihres Einsatzes, wie die Zersetzung eines Erregers durch verschiedene Umweltfaktoren, verringert werden. Ferner könnte die Entwicklung bakterieller Stoffwechselfelder zukünftig nicht nur die Produktion von nutzbringenden Substanzen, sondern auch von Toxinen, Drogen, gefälschten Medikamenten oder chemiewaffenrelevanten Stoffen erlauben.

Unzulänglichkeit heutiger Instrumente

Kurz- und mittelfristig ist die Gefahr einer missbräuchlichen Anwendung der synthetischen Biologie klein und beschränkt sich weitgehend auf Staaten, welche die nötigen Ressourcen in die Weiterentwicklung dieser Disziplin investieren können und wollen. Sollten biotechnologische Verfahren künftig aber tatsächlich einfacher und billiger zu handhaben sein, dürfte längerfristig auch das Missbrauchsrisiko durch andere Staaten und insbesondere durch nicht-staatliche Akteure erheblich zunehmen. In dem Masse, wie die Vereinfachung biotechnologischer Betätigung breitere gesellschaftliche Auswirkungen zeitigt und Einzelpersonen befähigt, mit biotechnologischen Anwendungen Schaden anzurichten, wird die Problematik der Proliferation offensiver Biowaffenkapazitäten in den Vordergrund rücken. Die internationale Norm gegen den Biowaffengebrauch und deren Weiterverbreitung droht in diesem Zusammenhang zu erodieren.

Die modernen Gesellschaften sind auf die sicherheitspolitischen Herausforderungen

des biotechnologischen Fortschritts kaum vorbereitet. Bereits heute ist die Wirkung von traditionellen Rüstungskontrollmechanismen wie internationalen Abkommen oder nationalen Exportkontrollregimen im Biowaffenbereich begrenzt. Aufgrund des Dual-Use-Problems ist es beinahe unmöglich, biowaffenrelevante Aktivitäten überhaupt identifizieren, geschweige denn kontrollieren zu können. Dies ist ein Grund, weshalb sich die internationale Gemeinschaft bislang nicht auf einen Verifikationsmechanismus im Rahmen der Biowaffenkonvention einigen konnte, wie es ihn für Chemie- und Nuklearwaffen gibt. Biowaffenrelevante Forschung kann ohne Mühen hinter legitimen Aktivitäten versteckt und in kleinen zivilen Labors betrieben werden, von denen es weltweit Hunderttausende gibt. Die blosse Anzahl der zu kontrollierenden Einrichtungen liesse ein auch nur halbwegs glaubwürdiges Inspektionsregime kaum zu.

Rüstungskontrollmechanismen wie die Biowaffenkonvention werden noch mehr an ihre Grenzen stossen, wenn die B-Bedrohung durch nicht-staatliche Akteure zunimmt. Dass es dazu kommt, scheint plausibel, ist doch die Verbreitung biotechnologischer Kapazitäten in der Gesellschaft kaum aufzuhalten. Eine Einschränkung des biotechnologischen Fortschritts wäre aufgrund des potentiell enormen Nutzens dieser Disziplin unangebracht und in der Praxis auch kaum umzusetzen. Expertise, Material und Ausrüstung werden in vielen Disziplinen der Biowissenschaften verwendet und sind – in unterschiedlichem Ausmass – bereits weltweit verbreitet. In diesem Sinne ist die Proliferation von biotechnologischem Wissen und Material bereits im Gang, wenn auch nicht unbedingt in Bezug auf biologische Waffen. Die geographische und gesellschaftlich-sektorielle Verbreitung biotechnologischen Wissens dürfte demnach kaum mehr aufzuhalten sein.

Innovative Ansätze nötig

Vor diesem Hintergrund zeichnet sich ab, dass den sicherheitspolitischen Herausforderungen der biotechnologischen Entwicklungen nur mit einer umfassenden Antwort und innovativen Ansätzen Rechnung getragen werden kann. Statt in traditioneller Weise schwergewichtig zu versuchen, den Zugang zu Wissen und Technologien zu verwehren, sollte ein breiterer Ansatz verfolgt werden, der auch relevante gesellschaftliche Gruppen und Akteure einbindet und befähigt, Missbräuche zu entdecken und zu melden.

Selbstregulierungsinitiativen in der synthetischen Biologie

DNA-Synthetisierungsindustrie

Einige internationale DNA-Synthese-Unternehmen haben sich in zwei Industriekonsortien zusammengeschlossen, welche jeweils ein «Screening Framework» zur Überprüfung von Bestellungen und Kunden ausgearbeitet haben.

- ! **International Association Synthetic Biology (IASB):** Code of Conduct for Best Practices in Synthetic Biology [↗](#)
- ! **International Gene Synthesis Consortium (IGSC):** Harmonized Screening Protocol to Promote Biosecurity [↗](#)
- ! **Zur Unterstützung dieser Initiativen hat auch die US-Regierung unverbindliche Screening-Empfehlungen verfasst:** Screening Framework Guidance for Providers of Synthetic Double-Stranded DNA [↗](#)

Wettbewerb «International Genetically Engineered Machine (iGEM)»

iGEM ist ein jährlich stattfindender Wettbewerb in synthetischer Biologie. Die teilnehmenden internationalen Studententeams sind verpflichtet, allfällige Sicherheitsaspekte ihrer Projekte zu dokumentieren. Auch ist geplant, einen Code of Conduct auszuarbeiten.

- ! **Biosafety (unabsichtliche Freisetzung)** [↗](#)
- ! **Biosecurity (absichtliche Freisetzung)** [↗](#)

Amateurbiologie

In Zusammenhang mit der synthetischen Biologie formiert sich zunehmend eine Gemeinschaft von Amateurbiologen oder «Biohackern», welche Biologie ausserhalb traditioneller Forschungseinrichtungen betreiben – analog zu den Anfängen der Computerindustrie. Auch Repräsentanten dieser Bewegung engagieren sich im Sicherheitsdiskurs [↗](#) und sind daran, einen Code of Conduct [↗](#) auszuarbeiten.

Anzustreben ist der Aufbau eines integralen Netzwerks von politischen Steuerungs- und Regulierungsmassnahmen einerseits und Bottom-up-Initiativen zur Selbstregulierung von Interessengruppen andererseits. Ein solches «Web of Prevention» bestünde aus nationalen und internationalen Massnahmen, Initiativen und Aktivitäten auf verschiedenen Interventionebenen unter Einbezug aller relevanter Akteure. Dadurch würde der Fokus in Richtung einer geteilten Verantwortung zwischen Politik, Wissenschaft, Industrie und der Gesellschaft als Ganzes verschoben.

Analog zur Selbstverständlichkeit des Hippokratischen Eides in der Medizin gilt es auch in der Biotechnologie, eine Kultur der Verantwortung und des Gefahrenbewusstseins zu schaffen. Ein solch umfassender und in der Geschichte der Waffenkontrolle wohl beispielloser Ansatz setzt allerdings eine gemeinsame Vision und Strategie voraus, wie die verschiedenen Akteure und Initiativen systematisch eingebunden werden können. Ein solcher Konsens wiederum kann nur entstehen, wenn alle relevanten Stakeholder für die sicherheitspolitische Dimension der biotechnologischen Forschung sensibilisiert werden.

In diesem Zusammenhang ist ermutigend, dass die mit synthetischer Biologie befassten Kreise eine sehr proaktive Haltung bezüglich ethischer und sicherheitsrelevanter Fragen einnehmen. Nicht zuletzt als Reaktion auf die gesellschaftliche Skepsis gegenüber der Gentechnologie scheuen

viele Exponenten solche Themen nicht und engagieren sich aktiv im öffentlichen Diskurs. Studenten, die das Feld zunehmend betreten, werden schon früh im Rahmen verschiedener Veranstaltungen mit solchen Fragen konfrontiert.

Die konkretesten Massnahmen hat bisher die DNA-Synthetisierungsindustrie getroffen. Im Sinne der Selbstregulierung prüfen diese Unternehmen freiwillig und bislang ohne signifikantes staatliches Zutun, ob DNA-Bestellungen mit der Gensequenz eines Krankheitserregers deckungsgleich sind. Trifft dies zu, wird der Kunde überprüft und die Bestellung verweigert, sofern keine legitimen Gründe für den Bezug einer solchen Sequenz vorliegen.

Das Ziel solcher Massnahmen sollte sein, die Vielzahl der nutzbringenden Anwendungen der Biotechnologie möglichst ungehindert entfalten zu lassen und gleichzeitig die Gefahr schädlicher Entwicklungen zu minimieren. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass der Nettoeffekt biotechnologischer Entwicklungen durchaus vorteilhaft ausfallen dürfte und nutzbringende Anwendungen damit als gewichtige Variable in der Risikoabschätzung zu berücksichtigen sind.

! Verantwortlicher Editor: Daniel Möckli analysen@sipo.gess.ethz.ch

! Bezug und Mailingliste: www.ssn.ethz.ch