



Planungsamt der Bundeswehr

Streitkräfte, Fähigkeiten und Technologien im 21. Jahrhundert

Future Topic

Synthetische Biologie

Eine Betrachtung mit dem Schwerpunkt Biosecurity



Future Topic

Synthetische Biologie

Eine Betrachtung mit dem Schwerpunkt
Biosecurity

Impressum

Herausgeber

Planungsamt der Bundeswehr
Referat Zukunftsanalyse
Oberspreestraße 61L
12439 Berlin

E-Mail: PlgABwI2ZukAnalyse@bundeswehr.org

Titelbilder

Von links nach rechts:

Bild 1: © vchalup/Fotolia

Bild 2: © XtravaganT/Fotolia

Bild 3: © norman blue/Fotolia

Bild 4: © grandfailure/Fotolia

Bild 5: © martialred/Fotolia

Bild 6: © Raevsky Lab/Fotolia

Inhalt der Studie: © **Planungsamt der Bundeswehr, Referat Zukunftsanalyse**

Alle Rechte vorbehalten. Reproduktion und Veröffentlichung nur nach ausdrücklicher Genehmigung durch das Planungsamt der Bundeswehr, Referat Zukunftsanalyse.

November 2018

Hinweis:

Im Text stehen Nummern in Klammern für Verweise auf verwendete Literatur, die mit den entsprechenden Nummern im Literaturverzeichnis korrespondieren. In den Fußnoten (hochgestellte Ziffern) finden sich Definitionen und Anmerkungen.

Im Anhang des Future Topics befindet sich ein Glossar. Alle Wörter die dort hinterlegt sind, wurden im Text durch Unterstreichung kenntlich gemacht. In der elektronischen Version des Dokumentes wurde ein Hyperlink installiert, damit automatisch ins Glossar gewechselt werden kann.

Vorwort

Das Planungsamt der Bundeswehr ist dem Bundesministerium der Verteidigung (BMVg) nachgeordnet und bündelt Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortung im Planungsnetzwerk der Streitkräfte. Mit seinem Referat Zukunftsanalyse stellt es wissenschaftliche und methodische Expertise für die Bundeswehr bereit und erarbeitet die Wissensgrundlagen für deren zukünftige Ausrichtung. Die sicherheitspolitische Zukunftsanalyse dient hierbei dem Zweck, der Bundeswehr frühzeitige, methodenbasierte und wissenschaftlich fundierte konzeptionelle Vorgaben zu ermöglichen und langfristige Ziele zu definieren.

Das Referat Zukunftsanalyse erstellt dazu Berichte und Studien. Dabei entwickelt es sein inhaltliches und methodisches Portfolio kontinuierlich weiter. Neben militärischer Sachkunde werden Erkenntnisse der zivilen Forschung in den Fachgebieten Sozialwissenschaft, Ingenieur- und Naturwissenschaft sowie Wirtschafts- und Politikwissenschaft integriert und aufeinander abgestimmt.

Die Studienarbeiten des Referates werden vorrangig für das Verteidigungsressort erstellt. Gleichwohl unterhält, pflegt und intensiviert das Referat in seiner täglichen Arbeit auch vielfältige Kooperationsbeziehungen zu nationalen und internationalen wissenschaftlichen Einrichtungen, sowie zu vergleichbaren Einheiten für Zukunftsanalyse anderer Ressorts des Bundes, der NATO und der Europäischen Verteidigungsagentur (EDA).

Die Forschung des Referats Zukunftsanalyse ist stets ergebnisoffen. Sie soll auch komplexe Sachverhalte allgemeinverständlich präsentieren und mögliche Implikationen für die Bundeswehr nachvollziehbar machen. Sie spiegelt keine offiziellen Positionen des BMVg wider. Wo immer es sich thematisch anbietet, werden ihre Ergebnisse frei veröffentlicht.

Bei diesem Future Topic handelt es sich um eine ergebnisoffene Forschungsarbeit des Referats Zukunftsanalyse des Planungsamts der Bundeswehr.

Das Future Topic spiegelt nicht die Position des Bundesministeriums der Verteidigung wider und präjudiziert keine Entscheidungen zur Weiterentwicklung der Bundeswehr.

Inhalt

Vorwort	4
Zusammenfassung.....	6
Einleitung.....	8
Was ist Synthetische Biologie?.....	8
Synthetische Biologie im engeren Sinn	9
Synthetische Biologie im weiteren Sinn	9
Spannungsfeld Biosafety und Biosecurity	10
Biosafety	10
Biosecurity	10
Existierende Kontrollnormen und Verhaltenskodizes.....	11
Akteure	12
Zukunftsausblick.....	14
Zukunftsszenarien	14
Szenario Leichter Zugang – „ÖlFresser Außer Kontrolle“	15
Szenario Stark reglementierter Zugang – Virus an Bord	16
Fazit der Szenearien	17
Ist nun Synthetische Biologie eine Bedrohung?.....	18
Anlage.....	21
Glossar	22
Literaturverzeichnis.....	24

Zusammenfassung

Die Kurzstudie „Synthetische Biologie - Eine Betrachtung mit dem Schwerpunkt Biosecurity“ befasst sich nach einer kurzen Einführung über die Forschungsfelder der Synthetischen Biologie mit dem Spannungsfeld zwischen Biosafety und Biosecurity. Unter Biosafety und Biosecurity wird der Schutz vor unerwünschten ökologischen und gesundheitlichen Folgen verstanden, der im Fall von Biosafety durch unbeabsichtigte Freisetzung und im Fall von Biosecurity durch bewussten Missbrauch hervorgerufen wird. Im Bereich Biosecurity sind es neben der eigentlichen Erzeugung des riskanten Wissens, vor allem die, durch die Globalisierung des Wissens, leichter gewordene weltweite Verbreitung desselben und deren Umsetzung.

Es werden die unterschiedlichen existierenden Versuche und Kontrollnormen beschrieben, um diesen Risiken zu begegnen. Die Akteure, für die diese gelten, sind neben Staaten und staatlich finanzierter Forschung, auch private Forschungseinrichtungen, in zunehmendem Maße die Industrie und die interessierte Öffentlichkeit in Form von Do-It-Yourself Biologen.

In zwei Zukunftsszenarien wird versucht Risiken aufzuzeigen, die aus unterschiedlichem Umgang mit Forschung und Anwendung mit Bezug zur Synthetischen Biologie erwachsen können. Sie zeigen, dass die Gefahren nicht nur in neuartigen menschlichen Krankheitserregern (dem „Supervirus“) bestehen können, sondern auch andere Ressourcen wie Rohstoffe bedroht sein können, die dann mittelbar dem Menschen schaden können.

Die Forschung und Anwendung der Ergebnisse der Synthetischen Biologie kann unterschiedliche Gefahren für die Menschheit mit sich bringen. Diesen mit einem reinen Verbot der Forschung zu begegnen, könnte aber bedeuten, dass wichtiges Wissen verloren geht und im Bedarfsfall nicht zur Verfügung steht. Denn die Forschung wird trotzdem weiter stattfinden, dann an Orten die weniger stark reglementiert sind.

Die Synthetische Biologie ist noch eine junge Wissenschaft und viele Forschungen stehen noch am Anfang. Daher ist noch Zeit sich auf die zukünftigen Probleme und Risiken vorzubereiten. Es muss gelingen, nicht den gleichen Fehler wie im Bereich Cyber zu begehen, wo wir den Problemen hinterherlaufen. Das Fördern der Resilienz hierfür ist eine gesamtgesellschaftliche, gesamtstaatliche Aufgabe, die nur im vernetzten Ansatz zu bewältigen ist, mit der Bundeswehr als ein Teil dieses Netzes.

Synthetische Biologie –

Eine Betrachtung mit dem Schwerpunkt Biosecurity

>>„Gibt es was Neues?“

„Nein, immer das Gleiche. Überall sind die Leute krank, da mehr, dort weniger. Sie haben den Erreger immer noch nicht finden können.“

Sie biss sich auf die Unterlippe.

„Niemand weiß, was es ist?“

„Ich glaube nicht, sonst hätte man es längst erfahren.“

„Aber sie müssen doch irgendeine Vorstellung haben!“

„Jeder hat eine. Nur taugen sie alle nichts.“

„Und wie sehen sie aus?“

Er zuckt die Achseln. „Von bakteriologischer Kriegsführung angefangen, alles Mögliche.“

„Glaubst du, dass es daher kommt?“

„Du meinst, von absichtlich verbreiteten Bakterien?“

„Ja.“

„Aber der Krieg ist vorbei!“<<

Quelle: Ich bin Legende von Richard Matheson S. 65 Wilhelm Heyne Verlag, München 2008. 5. Auflage

Einleitung

Mitte der 80er Jahre des letzten Jahrhunderts begann die Forschung damit, den Genen in unseren Zellen nachzuspüren und erste Versuche der Entschlüsselung ganzer Genome begannen. 1995 wurde mit dem Genom des Bakteriums *Haemophilus influenza*, einem Erreger der Mittelohrentzündung, zum ersten Mal alle Gene eines pathogenen Organismus sequenziert. Unzählige Genome folgten. Im Jahr 2000 war es endlich soweit, auch das Genom des Menschen war entschlüsselt. Man kannte nun die Reihenfolge vieler Gene in unzähligen Organismen und konnte diese vervielfältigen, vorausgesetzt die Bestandteile der DNA waren verfügbar. Sollte es möglich sein, dies auch mit chemisch synthetisierten DNA Bausteinen durchzuführen? Im Jahr 2003 konnte ein erstes Virus synthetisch erschaffen werden, 2005 ein bakterielles Genom, das aber in der Zelle nicht funktionierte. Die erste funktionsfähige chemisch erzeugte DNA wurde 2010 in einer Hefezelle zusammengesetzt. Nun sollte das Zeitalter beginnen, in dem künstliche Zellen, Organe und ganze Organismen hergestellt werden können – das neue Fachgebiet der synthetischen Biologie war geboren.

Synthetische Biologie ist ein Konglomerat aus verschiedenen Wissenschaftsbereichen wie Molekularbiologie, organischer Chemie, aber auch Ingenieurwissenschaften und Informationstechnik. Und wirklich, mit Verfahren der synthetischen Biologie lassen sich heute bereits einfachste biologische Systeme künstlich erzeugen. Die langfristigen Ziele liegen immer noch vor uns, die Erschaffung von komplexen biologischen Systemen bis hin zu künstlichen Organismen mit neuen durch den Menschen definierten Eigenschaften.

2011 stellte ein Wissenschaftler auf einer Konferenz in Malta die Ergebnisse seiner Forschung vor. Er hatte mit eben jenen Methoden der synthetischen Biologie an Grippeviren geforscht und sie so verändert, dass nun eine leichtere Ansteckung zwischen zwei Individuen möglich war. Die Idee hinter der Forschung war, zu verstehen, wie die Übertragung/Ansteckung funktioniert, um geeignete Gegenmaßnahmen (z.B. Impfungen) zu entwickeln. Bis zu diesem Zeitpunkt fand die Forschung auf diesem Gebiet ohne viel Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit statt. Doch das änderte sich nun - vom menschengemachten Killervirus wurde in den Zeitungen geschrieben. Eine Diskussion entbrannte, ob solche Forschung erlaubt werden soll, und ob die Ergebnisse veröffentlicht werden dürfen.

Es stimmt, neben einer Vielzahl nutzbringender Anwendungen bringen diese Technologien absehbar auch Gefahren beziehungsweise Missbrauchsgefahren mit sich. Dabei spielen sowohl Aspekte der unbeabsichtigten, aber auch der beabsichtigten Störkomponenten eine wesentliche Rolle. Die Folgen davon können neben gesundheitlichen, Umwelt- und politischen Auswirkungen auch ein hohes wirtschaftliches Schadenspotenzial haben. Ebenso ist ein sicherheitspolitisches Risiko nicht auszuschließen.

Dieses Future Topic beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit den Gefahren und Risiken der Synthetischen Biologie. Dabei steht die Frage im Vordergrund, ob durch die Methoden und Möglichkeiten der Synthetischen Biologie neuartige Gefahren des Missbrauchs entstehen und wie diesen begegnet werden könnte.

Was ist Synthetische Biologie?

Wie bei vielen Wissenschaftsrichtungen findet man in der Literatur diverse Definitionen für den Begriff Synthetische Biologie. Oft wird dabei zwischen Synthetischer Biologie im engeren und im weiteren Sinne unterschieden. [1]

Synthetische Biologie im engeren Sinn

Hier steht die Erschaffung neuer nicht-natürlicher biologischer oder biochemischer Systeme in Reagenzgefäßen, oder ganzer nicht-natürlicher Zellen, beziehungsweise ganzer Organismen im Vordergrund. Die Systeme, Zellen und Organismen werden sozusagen am Reißbrett neu entworfen und konstruiert. Vergleichbar ist die Methode mit einem Steckbausteinsystem. Die Bausteine sind die verschiedenen biologischen Moleküle wie DNA-Stückchen oder Aminosäuren (Bestandteile von Eiweißen), die nun nicht mehr nach Vorlage der Natur, sondern neu frei nach menschlichen Vorstellungen kombiniert werden.

In der aktuellen Forschung sind die Ziele dieser Ansätze und Methoden die Herstellung kompletter synthetischer Genome [2], die Konstruktion von Minimalzellen [3] und Protozellen [4]. Bei diesen Ansätzen werden immer noch natürliche, das heißt in der Natur vorkommende Moleküle synthetisch nachgebaut oder neu kombiniert. Einen anderen Ansatz verfolgt die Forschung, die sich mit der Herstellung von veränderten genetischen Codes und Molekülen beschäftigt. Hierbei entstehen wirkliche synthetische Systeme, die mit der belebten Natur nicht wechselwirken können und damit eine neue Klasse, sogenannte xenobiologische System/Organismen repräsentieren. [5, 6]

Aus den Forschungsergebnissen erhofft man sich einen Erkenntnisgewinn über die Entstehung der ersten biochemischen Moleküle auf der Erde und die darauffolgende Entstehung des Lebens. Gleichzeitig möchte man völlig neuartige Substanzen für Anwendungen im Gesundheits-, Energie- oder Umweltbereich entwickeln. [1, 7, 8]

Obwohl in den letzten Jahren bemerkenswerte Fortschritte in der Forschung erzielt wurden, befinden sich alle diese Ansätze noch in der Phase der Grundlagenforschung.

Synthetische Biologie im weiteren Sinn

Anders als die eben beschriebenen Forschungsansätze handelt es sich bei der Synthetischen Biologie im weiteren Sinn um „anwendungsorientierte, avancierte Methoden, Verfahren und Anwendungen biowissenschaftlicher und sonstiger Erkenntnisse und Technologien zur gezielten (molekularen, oft genetischen) Veränderung biologischer Systeme.“ [1] Grundlage sind mittlerweile etablierte molekulare und gentechnische Ansätze, wie das Metabolic Engineering, aber auch neue Verfahren wie das Genome Editing (z.B. CRISPR/Cas). Diese Ansätze und Verfahren werden unter anderem genutzt, um in Organismen komplexe biologische Funktionen zu erzeugen. Dadurch können zum Beispiel neue Synthesewege für Chemikalien, oder neue genetische Schaltkreise für neue sensorische oder regulatorische Funktionen in Zellen entwickelt werden. Aufgrund der hohen Komplexität biologischer Systeme muss sich die Forschung hierbei vermehrt von computergestützten Design- und Modellierungsprozessen unterstützen lassen. [1]

Die Ziele dieser Forschung lassen sich mit dem Begriff „moderne Biotechnologie“ umschreiben. Dabei nutzt der Mensch aber im Gegensatz zur „alten Biotechnologie“ nicht mehr nur natürliche Vorgänge und technologisiert diese, sondern greift gezielt in biologische Systeme ein, um die Prozesse bereits dort zu optimieren beziehungsweise zu manipulieren. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung bezeichnet diese Form als „Biotechnologie 2020+“. [1] Zum Einsatz kommen die Ergebnisse in allen Feldern der klassischen Biotechnologie: medizinische und pharmazeutische Anwendungen, landwirtschaftliche Anwendungen, Anwendungen in der industriellen Produktion und umwelttechnische Anwendungen. In all

diesen Bereichen wird angestrebt, biologische Systeme mit aus der Natur nicht bekannten Fähigkeiten auszustatten, um Organismen zu entwickeln, die neuartige Wirkstoffe, Chemikalien oder auch Energieträger herstellen können.

Diese Beschreibungen der Synthetischen Biologie erklären erst einmal nicht, warum sich die Bundeswehr mit diesem Thema aus sicherheitspolitischer Sicht befassen sollte. Gefahrenabschätzung im Zusammenhang mit der Erforschung, Entwicklung und Anwendung neuer Technologien, die staatliches oder politisches Handeln zur Folge haben können, dienen in allererster Linie der Abwendung beziehungsweise der Minimierung von Gefahren für die Umwelt und die menschliche Gesundheit. Im Falle der Synthetischen Biologie ist vor allem die Herstellung von genetisch veränderten Organismen ein Bereich, der einer Überwachung und Reglementierung bedarf. Die Sicherheitsfragen hier drehen sich dabei um die beiden Punkte Biosafety und Biosecurity.

Spannungsfeld Biosafety und Biosecurity

Unter Biosafety und Biosecurity wird der Schutz vor unerwünschten ökologischen und gesundheitlichen Folgen verstanden, der im Fall von Biosafety durch unbeabsichtigte Freisetzung und im Fall von Biosecurity durch bewussten Missbrauch hervorgerufen wird.

Biosafety

Die allgemeine momentane Einschätzung zu Biosafety in Bezug zur Synthetischen Biologie geht davon aus, dass die bestehenden Regularien zur Biosicherheit noch greifen (Ebene Deutschland und Europäische Union). Dabei muss aber immer hervorgehoben werden, dass sich die Einschätzung auf die gegenwärtige Forschung bezieht, einschließlich der näheren Zukunft. Bei fortschreitender Entwicklung bestimmter Methoden und Techniken der Synthetischen Biologie könnten die aktuellen Regularien und Prinzipien nicht mehr ausreichen. Ein Vorschlag für die Zukunft könnte sein, die bisher verwendete komparativ-qualitative Risikobewertung durch eine quantitative Risikoabschätzung unter Zuhilfenahme von digitaler Modellierung zu ersetzen. [1]

Ein zusätzliches Problem bei der Risikobewertung in Deutschland ist die zunehmend ablehnende Haltung gegenüber der Gentechnik und einigen Bereichen der Biotechnologien in weiten Teilen der Gesellschaft, der mit Aufklärung und Bildung begegnet werden könnte.

In den USA ist die Risikobewertung anders organisiert und bietet mehr Schlupflöcher als in der Europäischen Union. Die momentan stattfindende Überarbeitung findet nach anderen Grundsätzen als in der Europäischen Union statt. Da die USA ein Vorbild für viele Länder, wie zum Beispiel in Südamerika, ist, erschwert diese Tatsache auch die Aufstellung von globalen Regularien bezüglich der Synthetischen Biologie.

Biosecurity

Bei der Betrachtung des Schutzes vor Missbrauch gibt es zwei potenziell sensible Ebenen:

- 1) Die Generierung von heiklem Wissen als solches (Forschung) und
- 2) Der Zugang zu diesem Wissen, den Technologien oder der Laborausstattung für die Realisierung (Anwendung).

Für den ersten genannten Punkt ergibt sich daraus für Wissenschaftler in der Forschung ein Dilemma, da es für den Forscher wichtig ist, Ergebnisse in Fachzeitschriften zu veröffentlichen, damit die Ergebnisse anerkannt und verifiziert werden können. Ebenfalls in diese Richtung geht der Trend, Forschungsergebnisse nicht mehr unbedingt in Peer-Review Zeitschriften zu veröffentlichen, sondern sie gleich im Internet als Open Source zu veröffentlichen. In beiden Fällen kann nicht ausgeschlossen werden, dass Daten, die der Gefahr des Missbrauchs unterliegen, gegebenenfalls in falsche Hände geraten.

Existierende Kontrollnormen und Verhaltenskodizes

Die genannten Gefahren wurden schon früh thematisiert, sowohl von Seiten der Wissenschaft, als auch von Seiten der Kontrollgremien in Europa und in den USA. Bisher wurden keine neuen international rechtlich bindenden Vereinbarungen getroffen, aber auf internationaler Ebene Verhaltenslinien vereinbart (Codes of Conducts). Daneben wurden in einzelnen Ländern, unter anderem auch in Deutschland, Verhaltenskodizes für die Durchführung potenziell als besorgniserregend eingestufte Forschungsvorhaben festgelegt.

Weiterhin gibt es bereits international gültige Vereinbarungen, die teilweise auch auf Produkte oder Technologien der Synthetischen Biologie anwendbar sind:

- Die *Biowaffenkonvention* (BTWC) verbietet es staatlichen Akteuren mikrobielle und andere biologische Agenzien oder Toxine – unabhängig von ihrem Ursprung oder ihrer Herstellungsmethode – in Mengen, die sich nicht zu Zwecken der Vorbeugung, des Schutzes oder anderen friedlichen Zwecken rechtfertigen lassen, zu entwickeln, zu produzieren, zu lagern oder anderwärtig zu erwerben oder sie zu halten. [9] Diese Definition ist auch auf mit Synthetischer Biologie hergestellte Organismen und Toxine anwendbar. Allerdings verfügt die BTWC über keine formalen Mechanismen zur Überwachung oder Durchsetzung ihrer Einhaltung. [10]
- Die *Chemiewaffenkonvention* (CWC) verbietet staatlichen Akteuren die Anwendung, die Entwicklung, den Erwerb, die Produktion oder Lagerung von chemischen Waffen. Diese umfassen toxische Chemikalien oder deren Vorläufer mit tödlicher oder beeinträchtigender Wirkung bei Mensch und/oder Tieren. Dies gilt unabhängig von ihrem Ursprung oder der Art ihrer Produktion. [11] Damit schließt auch die CWC durch Synthetische Biologie erzeugte Toxine mit ein. [1] Anders als die BTWC verfügt die CWC mit der Organisation for Prohibition of Chemical Weapons über einen Kontrollmechanismus. [12]
- Im Jahr 1985 schlossen sich mehrere Länder, die alle sowohl die BTWC als auch die CWC unterzeichnet haben, zur *Australia Group* zusammen. Der Zusammenschluss ist informeller Natur und es ergeben sich aus ihm keine rechtlichen Verpflichtungen. Ziel ist es, Exportkontrollen von Geräten, Materialien, Technologien sowie Software zur Entwicklung und Herstellung von biologischen und chemischen Waffen zu vereinheitlichen und damit deren Produktion und Verbreitung zu bekämpfen. 2008 wurde ein spezielles Beratungsgremium zu Fragen der Synthetischen Biologie gegründet, um auch auf Entwicklungen in diesem Bereich reagieren zu können. [1, 13, 14]

Daneben gibt es weitere europäische und nationale Kontrollnormen¹, die eine Erzeugung, Weitergabe, Verbreitung und Ausfuhr von Produkten, Wissen, aber auch technischen Geräten und Software mit Dual Use- oder potenziell gefährlichem Charakter regeln. Sie sind so formuliert, dass sie auch auf den Komplex Synthetische Biologie angewendet werden können.

Die internationale Forschergemeinde hat sich auf mehreren Konferenzen noch auf keine einheitlichen Vorgaben mit Bezug zur Synthetischen Biologie einigen können. Dagegen hat die Industrie in Gestalt der beiden Firmenverbände International Association Synthetic Biology (IASB) e.V. und das International Gene Synthetics Consortium (IGSC) verbindliche Verhaltenskodizes festgelegt:

- Prüfen aller bestellten DNA-Sequenzen auf Ähnlichkeiten zu pathogenen Organismen oder Viren,
- Überprüfung der Legitimation von Bestellern,
- Dokumentation von Screening Resultaten,
- Information von Behörden bei positiven/verdächtigen Screening Ergebnissen.

Mehr als 80% der weltweiten kommerziellen DNA Synthesekapazitäten unterliegen diesen strengen Verhaltensregeln und den Überprüfungen des IASB beziehungsweise IGSC. Auf gemeinsamen Treffen wurde unter anderem unter Mitarbeit des FBI² darüber diskutiert, in wie weit diese Standards weiter etabliert werden können, um auch Forschungseinrichtungen, Firmen und andere nichtstaatliche Akteure mit einzubinden.

Akteure

Die klassischen Akteure der Grundlagenforschung der Synthetischen Biologie im engeren Sinne finden sich in den Forschungseinrichtungen der Universitäten und Wissenschaftsgesellschaften (staatlich und nichtstaatlich) auf der ganzen Welt. Wenn dagegen die eher anwendungsorientierte Synthetische Biologie im weiteren Sinne betrachtet wird, kommt als Akteur auch die Industrie mit ins Spiel.

Die wissenschaftliche Forschung lebt davon, dass sie in einem großen Netzwerk stattfindet, in dem neben einem Austausch von Ideen und Ergebnissen auch die Forscher selbst eine hohe Mobilität aufweisen. Dies wird in vielen Ländern auch staatlich unterstützt und gefördert. Ein europäisches Beispiel mit Schwerpunkt Synthetische Biologie ist ERASynBio als eine Maßnahme im 7. Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Kommission, deren Ziel die Verbesserung der Kooperation und Koordinierung von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten ist, die auf nationaler Ebene der Mitgliedstaaten durchgeführt werden. [15] Von dieser hohen Verfügbarkeit und Mobilität von Wissen und Wissenschaftlern profitiert in der Folge nicht nur die Forschung, sondern auch die Industrie.

In der Bevölkerung dagegen findet Synthetische Biologie noch wenig Beachtung. Ausnahmen sind Berichte in den Medien über einzelne Forschungsergebnisse, die als zukünftige Gefahr dargestellt werden. Ein Beispiel war die bereits erwähnte Präsentation von For-

¹ EU: Thema Dual Use - Gemeinschaftsregelung für die Kontrolle der Ausfuhr, der Verbringung, der Vermittlung und der Durchfuhr von Gütern mit doppeltem Verwendungszweck (Verordnung (EG) Nr. 428/2009) [36]
DEU: Außenwirtschaftsgesetz [34]; Außenwirtschaftsverordnung [35]; Gentechnikgesetz [33]

² US Federal Bureau of Investigation

schungsergebnissen einer multinationalen Forschungsgruppe aus den Niederlanden und den USA zu den Ergebnissen von Versuchen mit Grippeviren. [16, 17]

Mit diesem Wissen könnten sich die Gesundheitssysteme zum Beispiel mit der gezielten Produktion von Impfstoffen auf zukünftige Krankheitsausbrüche vorbereiten. Das Problem: die Forschungsergebnisse gaben genau an, welche Mutationen nötig sind, um die Übertragungsrates zu erhöhen. Als die Forschergruppe ihre Ergebnisse veröffentlichen wollte, schaltete sich die US Behörde NSABB³ ein, um dies zu verhindern. Diese und andere Behörden und Forscher sahen in der Veröffentlichung eine erste Gefahr des Missbrauches durch Bioterroristen. [16, 18]

Die darauffolgenden Debatten in Wissenschafts- und Sicherheitskreisen hatten auch den Effekt, dass die breite Öffentlichkeit von den Ergebnissen erfuhr. In den Massenmedien erschienen nun Artikel, welche die Angst vor diesen neuen Technologien und vor möglichen Bioterroristen schürten. Dabei geriet eine Akteursgruppe in den Fokus der Öffentlichkeit, die bisher kaum wahrgenommen wurde. Do-It-Yourself-Biologen nennen sie sich selber, in den Zeitschriften werden sie aber auch gern als Erbgut-Hacker oder Bioterroristen aus dem Hobbykeller bezeichnet. [19, 20, 21, 22]

Was ist die Do-It-Yourself-Biologie (DIYBio) Bewegung? Hierbei handelt es sich sowohl um Amateure, als auch um professionelle Biologen, Biochemiker und Chemiker, die in ihrer Freizeit abseits von Konzernlaboren und Universitäten Methoden der Gentechnik, Synthetischen Biologie oder anderer Wissensfelder anwenden. Dabei benutzen sie keineswegs ausschließlich Hobbykeller und Garagen, sondern finden sich mehrheitlich in öffentlichen Laboren zusammen, oder nutzen Einrichtungen in Universitäten oder Schulen, wie eine Studie des Woodrow Wilson International Center for Scholars gezeigt hat. [19] Antrieb der Hobbywissenschaftler ist der Wunsch nach dem Verstehen und eigenem Ausprobieren sowie Erleben der spannenden Materie Biologie. Ausgehend von den USA findet die Bewegung mittlerweile weltweit immer mehr Zuspruch. Diese zunehmende Beliebtheit wird andernorts mit Besorgnis betrachtet. Befürchtungen, dass Do-It-Yourself-Biologen versehentlich Pandemien oder Biounfälle auslösen könnten, werden immer wieder in Sicherheitsgremien geäußert. Studien zeigen, dass diese Gefahren im Augenblick noch als recht gering eingeschätzt werden, sich aber in der Zukunft erhöhen könnten. [19, 20, 23]

Einen Schutz davor bietet auch die Selbstorganisation von DIYBio Aktivisten in öffentlichen Laboren, da so ein hoher Sicherheitsstandard bei den Experimenten gewährleistet wird und gleichzeitig eine Aufklärung der Bevölkerung über Chancen und Risiken der neuen Technologien erfolgen kann (Bildungsauftrag). „Die Möglichkeit für ignorante Menschen ignorante Dinge zu tun, wird verringert, wenn Menschen mit Laborhintergrund dabei sind.“, sagt Daniel Grushkin, der Hauptautor der erwähnten Studie des Wilson Centers.

Zusätzlichen Schutz, aber auch die Möglichkeit der Aufsicht, bietet die Strategie der USA im Umgang mit diesen Laboren. Sie haben Vereinbarungen getroffen, dass das FBI und die DIYBio Aktivisten in Austausch miteinander stehen, ohne dass die Regierung regulierend eingreift. Die große Mehrheit der DIYBio Aktivisten ist sich der Verantwortung, die ihr Hobby mit sich bringt, durchaus bewusst, was auch eine hohe Selbstkontrolle untereinander fördert. [24, 25]

³ National Science Advisory Board of Biosecurity

Zukunftsausblick

Global gesehen scheint man ganz gut aufgestellt zu sein, um mit den Gefahren der Synthetischen Biologie umgehen zu können. Und doch weist der Schutz Lücken auf. So sind nicht alle Staaten der BTWC und der CWC beigetreten und nur 41 Länder und die Europäische Union sind Mitglieder der Australia Group. Nicht alle Firmen, die DNA Synthese anbieten, halten sich an die beschriebenen Verhaltenskodizes. Auch im Bereich der Wissenschaft kann nicht davon ausgegangen werden, dass sich alle Forscher an die Verhaltensregeln halten oder nicht an verbotenen Experimenten arbeiten. Schon gar nicht, wenn diese Forschung in aus unserer Sicht sicherheitspolitisch heiklen Ländern stattfindet. Und auch der Bio-Hacker-Terrorist in seiner Garage kann so nicht erfasst werden.

Da man keinen einhundertprozentigen Einfluss auf die bereits beschriebenen zwei Ebenen⁴ der Gefahren der Biosecurity/Dual Use Problematik erreichen kann, muss darüber nachgedacht werden, wie man dem Restrisiko begegnen kann.

Um dieses Risiko anschaulicher zu beschreiben wurden für diese Studie mit Hilfe der Szenariokreuzmethode mehrere Szenarien erarbeitet, von denen zwei im nächsten Kapitel ausführlicher beschrieben sind. Grundlage für die Entwicklung der Schlüsselfaktoren und der Szenarien waren neben den üblichen theoretischen Überlegungen, die Erkenntnisse von Trendanalysen, die Ergebnisse eines Syntheegrationsworkshop und einer WildCard Übung im Rahmen eines weiteren Workshops⁵.

Die zwei hier ausgeführten Szenarien stehen dabei beispielhaft für zwei verschiedenen Möglichkeiten des Umgangs mit den Bedrohungen. Auf der einen Seite steht ein offener Umgang mit dem Thema Synthetische Biologie, das eine freie Forschung erlaubt, wenn auch unter hohen Selbstverpflichtungen der beteiligten Wissenschaftler. Dem gegenüber steht auf der anderen Seite der restriktive Umgang mit den verschiedenen Forschungsfeldern der Synthetischen Biologie, das vom einfachen Veröffentlichungsverbot über begrenzten Zugang zu den Dual Use Technologien bis zu generellen Forschungsverböten reicht.

Zukunftsszenarien

Annahmen, die für beide Szenarien gelten: Synthetische Biologie ist von der Grundlagenforschung in die anwendungsorientierte Forschung übergegangen, und es gibt erste Methoden, die in der Industrie großtechnisch in Pilotprojekten eingesetzt werden. In beiden Szenarien ist die kritisch zu betrachtende Synthetische Biologie Methode „Synthese von Genen und Genomen“, da sie vom heutigen Standpunkt aus das größte Missbrauchspotenzial hat. Beide Szenarien spielen in Deutschland beziehungsweise sind deutsche Staatsbürger direkt betroffen.

Die beiden Szenarien unterscheiden sich in der Möglichkeit des Zugriffs auf die Synthetische Biologie. Das umfasst den Zugang zu Forschungsergebnissen generell, die Möglichkeit selbst solche Forschung durchführen zu können, den Wissenstransfer in die internationale wissenschaftliche Community und in die Industrie.

⁴ 1. Generierung von heiklem Wissen (Forschung) und 2. Zugang zu diesem Wissen (Anwendung).

⁵ Die Folien zur WildCard Superviren sind in der Anlage diesem Future Topic beigefügt.

Szenario Leichter Zugang – „ÖlFresser Außer Kontrolle“

Forscher haben zur Aufarbeitung alter Ölförderanlagen und zum Einsatz bei Ölunfällen ein Superbakterium entwickelt, das Ölreste sehr schnell abbaut. Passenderweise wurde es auf den Namen „ÖlFresser“ getauft. Vorlage waren natürlich vorkommende hydrocarbonoklastische Bakterien. Bisher war das Problem, dass diese natürlich vorkommenden Bakterien zu langsam arbeiten. Um die Umwelt zu schützen, wurde dieses Super-Bakterium so designt, dass es nach maximal einer Woche stirbt und sich nur unter speziellen Laborbedingungen vermehren kann. Damit muss es im Falle eines Einsatzes immer wieder neu ausgebracht werden. Die Entwicklung war ein gelungenes Projekt von Forschungsanstalten, interessierte Laien in die Forschung zu integrieren – Stichwort: Intelligenz der Masse.

Als am Montag, dem 5. März 2035, der für die Treibstoffvorräte Verantwortliche, Hauptmann Meier, seinen Dienst auf dem Luftwaffenstützpunkt Tonnatal antritt und wie jeden Montagmorgen seinen Kontrollgang entlang der aufgereihten Treibstofftanks beginnt, ahnt er noch nicht, was sich in den Tanks gerade abspielt.

Hochwertiger Treibstoff, wie er für die Kampfflugzeuge der Bundeswehr nötig ist, wird vor dem Hintergrund der Endlichkeit der Ölreserven ein immer kostbareres Gut, und Hauptmann Meier ist ein guter und strenger Verwalter. Ein kurzer Blick auf die Anzeigen des ersten Treibstofftanks und weiter, so wie immer, doch dann stockt er, das kann doch nicht wahr sein. Der Tank ist voll, aber laut Anzeige nicht mehr mit Treibstoff, sondern mit einem Gemisch zu fast 75 % aus Wasser. Die Anzeige muss defekt sein! Doch nach einer Stunde die Gewissheit: die Anzeige ist nicht defekt und auch nicht die der anderen Tanklager. In den Tanks befindet sich kein Treibstoff mehr, sondern ein Gemisch, dessen Wassergehalt immer weiter ansteigt.

Die sofort alarmierte ABC Task Force der Bundeswehr schafft schon nach wenigen Stunden Klarheit. In den Tanks befindet sich das noch vor wenigen Wochen in allen Medien so hochgelobte neue Superbakterium ÖlFresser. Doch wie ist es da hineingekommen?

Dann kommen immer mehr Meldungen von Stützpunkten, die von ähnlichen Vorfällen berichten. Eine Untersuchungskommission findet schon zwei Tage später den Auslöser der „Epidemie“. Ein Verteilerlager für Flugzeugtreibstoff der NATO wurde infiziert und hat bei seinen Lieferungen am Freitag die einzelnen Stützpunkte kontaminiert. Da die Tanks in den Stützpunkten über Leitungssysteme miteinander in Verbindung stehen, wurden auch Tanks infiziert, die gar nicht bei dieser Lieferung neu gefüllt wurden.

Da das Bakterium einen einprogrammierten Zelltod hat, ist nach der Isolation der befallenden Tanks der Spuk nach gut einer Woche vorbei. Der wirtschaftliche Schaden ist aber beträchtlich und auch die Angst vor einer neuerlichen Kontamination.

Zur Untersuchung der Vorfälle werden auch Forscher aus dem Labor hinzugezogen, das ÖlFresser entwickelt hat. Aufgrund des Standards, Exoorganismen mit einem genetischen Wasserzeichen zu versehen, ist schnell nachgewiesen, aus welcher Versuchsreihe es stammt – einer Versuchsreihe die eigentlich vernichtet wurde, in einem noch frühen Stadium der Entwicklung. Und noch eine beunruhigende Entdeckung machen die Forscher: das Bakterium wurde weiterentwickelt, aber von jemandem Fremden. Es wurde versucht, den programmierten Zelltod zu entfernen. Den Wissenschaftlern ist klar, welche Gefahr von ihrem ÖlFresser ausgeht, wenn er plötzlich auch in der Natur überleben und sich vermehren kann.

Sehr schnell werden die am Projekt beteiligten DIYBio-Forscher beschuldigt, für die Freisetzung verantwortlich zu sein. Rufe nach strenger Regulierung und mehr Geheimhaltung werden vereinzelt laut.

Doch dann findet ausgerechnet die DIYBio-Community den Verursacher. Zwar in einem ihrer eigenen öffentlichen Labore, aber die gegenseitige Kontrolle hat sich ausgezahlt. Eine Gruppe von Nationalisten hatte sich dort unter falschem Namen und falschen Experimentbeschreibungen zum Forschen zusammengefunden. Ihr Plan war eine Erpressung der Regierung des Landes Omnetia, das der Loslösung der seit langem nach Unabhängigkeit strebenden Provinz Parsus zustimmen sollte. Im Falle einer Ablehnung wollten die Terroristen erst die militärischen Treibstoffreserven angreifen, dann die zivilen. In einer sichergestellten Email fanden Ermittler Hinweise darauf, dass sie auch nicht vor den letzten Ölreserven der Erde Halt gemacht hätten.

Szenario Stark reglementierter Zugang – Virus an Bord

Deutschland und viele seiner Verbündeten haben einen sehr restriktiven Umgang zur Freigabe der Forschung auf dem Bereich der synthetischen Genomforschung etabliert. Weiterhin gibt es ein weltweites Verbotsprotokoll für die Erstellung künstlicher Genome und biologischer Systeme. Ein freier Wissenstransfer ist nicht möglich und auch keine Veröffentlichungen in Fachzeitschriften. Nur in kleinen Konferenzen unter hohen Sicherheitsstandards können sich ausgewählte Wissenschaftler zu dem Thema austauschen.

02.02.2031: Der Funkspruch vom Joint Support Ship „München“ lautet kurz und knapp: „JSS München an Einsatzführungskommando. Wir haben bei drei Patienten an Bord bestätigte Fälle des HD5V-II-Virus.“

Seit dem 01.08.2030 unterstützt die Deutsche Marine die NATO im Rahmen des Einsatzes „United Change“ bei der Überwachung des Wirtschafts- und Waffenembargos vor der Küste Trilands. Dieses hatte die UNO unter anderem als Reaktion auf das Bekanntwerden umfangreicher Bio-Waffenexperimente gegen die autokratische Regierung Trilands verhängt. Derzeit sind mit der „Kiel“ und der „Rostock“ zwei Mehrzweckkampfschiffe der Klasse 180 sowie die JSS „München“ im Einsatz, die zusätzlich auch für die sanitätsärztliche Versorgung vor Ort verantwortlich ist.

Die gezielte Verknappungspolitik der Regierung als Reaktion auf das UN-Embargo verursachte Mangelerscheinungen bei Ernährung und medizinischer Versorgung der Bevölkerung Trilands. Seit Winterbeginn führte dies zu steigenden Flüchtlingszahlen nach Europa, auch über den Seeweg über das Zentrale Meer. Die internationalen Marineeinheiten vor Ort sind damit in der Rolle der Retter und Erstversorger von in Seenot geratenen Flüchtlingen. Die dadurch ohnehin schon erschwerten Bedingungen der Mission „United Change“ werden nun durch möglicherweise gezielt mit dem hochgefährlichen HD5V-II-Virus infizierte Einheimische praktisch unhaltbar.

Das ursprüngliche HD5V-I-Virus tauchte erstmals im konfliktreichen Triland-Delta auf. Der Ursprung konnte jedoch nie zweifelsfrei festgestellt werden. Einige Experten vermuten, dass das Virus von Tieren auf den Menschen übertragen wurde, andere hingegen glauben an einen im Labor künstlich hergestellten Erreger. Beim erstmaligen Ausbruch im Jahr 2028 kamen in der Region Triland knapp 8000 Menschen ums Leben. Die Ausbreitung der Epidemie zur Pandemie konnte jedoch durch internationale Hilfe gerade noch verhindert werden. Das Virus galt als besiegt. Doch zu Beginn des Jahres 2031 tauchten im Triland-Delta

wieder erste Hinweise zu einer veränderten Form auf, das HD5V-II-Virus. Die Übertragung Mensch-zu-Mensch erfolgte nun nicht mehr nur über direkten Körperkontakt, sondern auch über Tröpfcheninfektion durch die Luft. Die WHO bestätigte diesen Verdacht und warnte auf einer Konferenz vor den Folgen eines erneuten Ausbruchs.

Am 01.02.2031 nahm die JSS „München“ 80 Flüchtlinge bei einer Seenotrettung auf. Bei drei Mitgliedern einer Flüchtlingsfamilie bestätigte sich nach ersten Symptomen der Verdacht auf das HD5V-II-Virus. Die JSS „München“ musste aufgrund der hohen Ansteckungsgefahr vor dem Hafen, der als zentrale Versorgungsbasis dienenden Metropole Swampcity, unter Quarantäne gestellt werden und fällt damit als Versorgungsschiff aus. Nun gilt es neben der Behandlung der Infizierten vor allem die Ursache und Herkunft der Infektion zu klären, sowie Vorkehrungen gegen eine Ausbreitung der Krankheit zu treffen, um eine drohende Pandemie zu verhindern.

Dies stellt sich als umso schwieriger heraus, da seit 2028 eine wirkliche Forschung aufgrund der Verbotsprotokolle an diesem Virus nicht stattgefunden hat. In einer eilig einberufenen Konferenz verschiedener internationaler Sicherheitsgremien wird eine vorübergehende Lockerung der Vorgaben für die Wissenschaft beschlossen.

In der deutschen Bevölkerung beginnt sich Panik auszubreiten. Täglich wartet man auf beruhigende Nachrichten aus den Forschungslabors. Stattdessen melden die Wissenschaftler einen Misserfolg nach dem anderen. Durch den nun schon fast 10-jährigen Bann auf synthetische Genomforschung fehlen den Forschern neben dem Wissen auch die Techniken und Technologien und vor allem die Manpower, um auf diese Herausforderung zu reagieren.

Fazit der Szenarien

Auch wenn beide Szenarien auf den ersten Blick nicht vergleichbar erscheinen – im ersten geht es um ein Bakterium das Rohstoffe vernichtet und im zweiten um einen Krankheitserreger der Menschenleben zerstören kann – zeigen sie doch die Bandbreite auf, welche Bedrohung mit Blick auf die Möglichkeiten der Synthetischen Biologie denkbar sind. Auch wenn in vielen Berichten um die Gefahren der Synthetischen Biologie Krankheitserreger des Menschen an erster Stelle stehen, darf nicht vernachlässigt werden, dass auch Krankheitserreger bei Tieren und Pflanzen Ziel der Forschung sein können, oder eben Organismen, die Auswirkungen auf die Umwelt haben könnten.

Im Falle der Verwendung von Synthetischer Biologie in bösartiger Absicht könnten sich die letzteren Beispiele als die gefährlicheren erweisen. Wird eine neue hoch pathogene Krankheit beim Menschen diagnostiziert, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass intensiv geforscht wird, was ist der Erreger und wo kommt er her.

Tritt ein ähnlicher Fall in der Pflanzenwelt oder Tierwelt auf, dauert es häufig sehr lange bis überhaupt eine genügend große Anzahl an Menschen darauf aufmerksam wird, dass eine potenziell bedrohliche Krankheit ausgebrochen ist. Gleichzeitig ist hier die Erforschung der Ursachen wesentlich schlechter finanziert und gefördert, als bei menschlichen Krankheitserregern.

Im Fall des ersten Szenarios haben wir es mit Terroristen zu tun, die mit ihren Absichten an die Öffentlichkeit gehen, um einen Staat zu erpressen. In diesem Fall ist es relativ leicht, Gegenmaßnahmen zu ergreifen, da die Bedrohung klar benannt wird. Aufgrund der in diesem Fall sehr offenen Forschungslandschaft und der hohen Beteiligung von Forschern aus

aller Welt gelingt es schnell, das Bakterium und die Täter zu identifizieren. Allerdings wurde es durch diese Offenheit den Tätern auch erst ermöglicht, überhaupt aktiv zu werden.

Im zweiten Fall wurde durch die restriktiven Vorgaben die Verbreitungsgeschwindigkeit von gefährlichem Wissen verringert. Und doch gab es wahrscheinlich Experimente an Orten und von Leuten, die sich nicht an diese internationalen Vorgaben gehalten haben. Für den Rest der Welt wurde das in dem Augenblick sehr gefährlich, in dem sie mangels eigenen Wissens nicht angemessen auf die Bedrohung reagieren konnten.

Ist nun Synthetische Biologie eine Bedrohung?

„Wissen bahnt sich immer seinen Weg. Wenn man Forschungsergebnisse geheim halten würde, hätte das zur Folge, dass die Wissenschaftler in den staatlichen Forschungseinrichtungen unwissend sind, während andere Leute mit bösen Absichten doch irgendwie an die Informationen herankämen. Mit Geheimhaltung würden wir nur unsere Abwehr schwächen, ohne dass potenzielle Angreifer wirklich tangiert werden.“ [16] Diese Sätze sagte der deutsche Virologe Professor Dr. Kekulé von der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Sie zeigen das Dilemma der Wissenschaftler in vielen Forschungsrichtungen. Als es Robert Koch 1876 erstmals gelang, den Milzbranderreger *Bacillus anthracis* außerhalb eines Organismus zu kultivieren, hat er quasi die Bakteriologie als einen wichtigen Zweig der Medizin gegründet und den Weg frei gemacht Krankheiten zu erforschen, zu verstehen und zu heilen. Gleichzeitig trat damit der erste isolierte Biowaffen-Erreger auf die Bildfläche – der später auch wiederholt genutzt wurde. [16]

Also ja, Synthetische Biologie kann zu einer Bedrohung werden, in den falschen Händen und mit bösen Absichten⁶ (Biosecurity), aber auch durch unachtsame, unbedachte und unwisende Verwendung⁷ (Biosafety). In Zusammenhang mit Biosafety hilft Aufklärung, Vorsorge und Achtsamkeit im Umgang, wie sie in vielen Vorschriften und Regelungen zu finden sind. Akteure sind hier Universitäten, Forschungseinrichtungen, Industrie aber auch die DIYBio-Community und die Bevölkerung.

Vielschichtiger ist der Bereich Biosecurity. Der Missbrauch von Produkten der Synthetischen Biologie als Biowaffe von staatlicher Seite kann trotz der vielen bestehenden Kontrollmechanismen nicht ausgeschlossen werden. Aber durch die Wachsamkeit der internationalen Gemeinschaft ist zu hoffen, dass rechtzeitig erkannt werden kann, wenn irgendwo solche Programme durchgeführt werden. Dann kann man die entsprechenden politischen Gegenmaßnahmen ergreifen.

Vom heutigen Standpunkt gesehen, geht die größte Bedrohung vom Terrorismus als Nutzer der Synthetischen Biologie aus. Die Bandbreite des Terrorismus heute hat sich vergrößert. Moderner Terrorismus dient nicht mehr allein dem Zweck, den politischen oder gesellschaftlichen Gegner von seiner Sache zu überzeugen, sondern er wird auch nicht vor der Vernichtung seines Gegners haltmachen, sollte ihm dieses Ziel möglich erscheinen. Synthetische Biologie kann dieses durchaus erreichbar erscheinen lassen. Die Botschaft, die solche Taten aussenden, soll nicht mehr den Gegner oder unbeteiligte Dritte beeinflussen, sondern die eigene Gruppierung. Der Terrorismus ist tendenziell tödlicher geworden. Vor diesem Hinter-

⁶ Bsp. Anschläge mit Anthrax verseuchten Briefen in den USA 2001 [37]

⁷ Bsp. Milzbrand-Unfall in Swerdlowsk [38]

grund wird die Verwendung von biologischen Massenvernichtungswaffen ein durchaus realistisches Szenario. [26]

Warum sind biologische Waffen so attraktiv für Terroristen? Auf der einen Seite geben die Bilder von leidenden und sterbenden Menschen den Terroristen die mediale Aufmerksamkeit, die sie für die Inszenierung ihrer katastrophalen Wirkung benötigen. Auf der anderen Seite ermöglichen Vorsorgemaßnahmen, wie Immunisierungen oder maßgeschneiderte Erreger aus der Synthetischen Biologie, die Hervorrufung der Illusion der Unverwundbarkeit eigener Kämpfer. Möglich wird die Nutzung der recht komplexen Materie der Herstellung biologischer Waffen durch die Fähigkeiten der heutigen Terroristen, ihre Ressourcen zu bündeln und moderne Formen des Fähigkeits- und Wissensmanagements zu nutzen. Daneben spielen auch die verfahrenstechnischen Neuerungen und der damit einhergehende leichtere Zugang und der Preisverfall biotechnischer Dienstleistungen eine wesentliche Rolle. [26]

Auch wenn davon ausgegangen wird, dass ein Einsatz mit Waffen auf (synthetischer) biologischer Basis irgendwann erfolgen wird, dass eigentlich nur noch der Zeitpunkt unbestimmt ist, so ist doch jetzt noch genügend Zeit, sich darauf vorzubereiten und die Resilienz dagegen zu erhöhen.

Die Verantwortlichen in Deutschland haben das erkannt und dazu verschiedene Konzepte und Strategien erarbeitet. Dabei wird der Schutz gegen biologische Bedrohungen meist im Verbund mit chemischen, radiologischen und nuklearen Bedrohungen zusammen betrachtet – CBRN Schutz. Die Bundeswehr hat mit dem Wehrwissenschaftlichen Institut für Schutztechnologien-ABC-Schutz in Munster eine eigene Forschungsstelle zum Thema. Aktuell werden im neuen Weißbuch der Bundeswehr unter den Herausforderungen für die Sicherheitspolitik unter anderen biologischen und chemischen Massenvernichtungswaffen und Pandemien angesprochen. [27] Im zivilen Bereich beschreibt unter anderem das neue Konzept für zivile Verteidigung aus dem Innenministerium die Zusammenhänge und Prinzipien und macht Vorgaben für die künftige Ausgestaltung einzelner Fachaufgaben wie dem CBRN Schutz. [28] Weitere Institutionen, die sich dieser Bedrohungslage widmen, sind das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe sowie das Robert Koch Institut. [29] Auch konkret mit den Gefahren der synthetischen Biologie wurde sich bereits auseinandergesetzt, unter anderem in einem Bericht des Büros für Technikfolgenabschätzung des Bundestages. [1] Beispiele aus dem Ausland sind die aktuell in Österreich erstellte Studie zu CBRN Bedrohungen im Rahmen einer gesamtstaatlichen Risikoanalyse [30], Berichte der NATO und der amerikanischen Streitkräfte zu Sicherheitsaspekten von Biotechnology und Synthetischer Biologie. [31, 32]

Allen Studien, Konzepten und Strategien gemein ist der Ansatz, dass die Begegnung der Gefahren aus biologischen Bedrohungen eine gesamtgesellschaftliche, gesamtstaatliche Aufgabe ist, die nur in einem vernetzen Ansatz zu bewältigen ist. Die Bundeswehr steht mit ihrem Know-How in der ABC Abwehr als ein gut aufgestellter Teil/Partner dieses vernetzen Ansatzes da. Damit ist nicht nur das technische Equipment des ABC-Schutzes in allen Bereichen der Bundeswehr gemeint, sondern auch das Wissen des bereits erwähnten Wehrwissenschaftlichen Institutes für Schutztechnologie-ABC-Schutz in Munster. Gab es früher mit der Teilkonzeption ABC-Abwehr ein eigenes Grundlagendokument zum Thema, so wird in Zukunft aufgrund der Erkenntnis der Bedeutung als Querschnittsthema ABC Abwehr/Schutz in allen konzeptionellen Dokumenten inhärenter Bestandteil. Da selbst jeder einzelne Soldat immer wieder im Umgang mit ABC-Schutzausrüstung und dem Verhalten im

Ernstfall trainiert wird, liegt hier ein hohes Potential an gut geschultem Personal vor, das im Ernst-/Krisenfall als First Responder genutzt werden könnte.

Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass es ein prinzipielles Bewusstsein (Awareness) zum Thema (synthetische) biologische Bedrohungen gibt. In den Konzepten stehen die entscheidenden Ansätze, um diesen Gefahren richtig zu begegnen. Sie müssen nur mit Leben gefüllt werden und bedürfen einer ständigen Aktualisierung der potenziellen Gefahrenstoffe, um den immer wieder neuen Ergebnissen in der Forschung gerecht zu werden. Die Bundeswehr leistet hier bereits heute wichtige Beiträge und könnte diese zukünftig gezielt weiter ausbauen.

Anlage

Ergebnisse Workshop 2015

Wildcard(-cluster): Superviren

1. a) weitere Wildcards:
künstlich hergestellte Bedrohungen (biologische Pathogene)
Genhacking – ethnische Bombe
2. Ereignisketten
– Wc: Superviren und Wc: Blackout und Wc: Zusammenbruch
Zahlungsverkehr
3. Narrativ/Idee:
Titel: Angriff der Superviren – Der leise Tod
Superviren werden mutwillig freigesetzt, Selbstmordattentäter auf Oktoberfest oder Verbreitung über die internationalen Reiserouten (bspw. von Frankfurt oder Mallorca (Ferien) aus). Tödlich nach 10 Tage. Täter sind Ökoterroristen, die die Erde vom Menschen befreien wollen.

Wildcard(-cluster): Superviren

4. Folgen und Implikationen:
Was passiert in den nächsten
12 Stunden:
Mysteriöse Todesfälle treten auf, erste Quarantänemaßnahmen nötig, Bekennerscheiben wird bekannt, der Sicherheitsrat tritt zusammen. Erste Unruhe in der Bevölkerung macht sich breit. Run auf Hygieneprodukte beginnt. Erste Analysen zur Bekämpfung laufen an.
12 Tagen:
Große Zahl an Kranken (exponentiell?), Gesundheitssystem bricht zusammen, kritische Infrastruktur bricht zusammen aus Angst vor Ansteckung und tatsächlicher Erkrankung. Beseitigung der Toten stellt ein Problem dar. Massive Forschung an Gegenmitteln, Impfstoffen, Heilmitteln.
12 Monaten:
soziale Unruhen wg. Vermeidung/Immunität
a.) Impfstoff gefunden: Verteilungsproblem, Herstellungsprobleme müssen gelöst werden
b.) kein Impfstoff zu finden → der letzte macht das Licht aus. Einzelne Überlebende in abgelegene Weltgegenden.

Wildcard(-cluster): Superviren

Handlungsoptionen und -empfehlungen:

Was ist zu tun in den nächsten

Vorher:

Vernetzung des Gesundheitssystems verbessern (Big Data), Rechtsgrundlage schaffen. Rückfalloptionen (Low Tech) im Auge behalten.

12 Stunden:

Forschung gleich voll hochfahren. Klären wie umfangreich die Quarantäne sein soll. Vorbeugung.

12 Tagen:

Klären ob Forschung lokal konzentriert wird oder vernetzt betrieben wird. Wirtschaftliche Sicherungsmaßnahmen (Börse) auf den Weg bringen.

(Bis) 12 Monaten:

Versorgung der Quarantäne sicherstellen, Infrastruktur sicher stellen, Beerdigung der Toten organisieren, Öffentliche Sicherheit

Glossar

7. Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Union (7. FRP)

Das 7. FRP ist ein zeitlich begrenztes Förderprogramm der Europäischen Union. Die Laufzeit ging 2007 bis 2013. Es ist in die 4 Spezifischen Programme Zusammenarbeit, Idee, Menschen und Forschungskapazitäten unterteilt. Es war mit Haushaltsmitteln in Höhe von 54 Mrd. Euro ausgestattet. Das Nachfolgeprogramm trägt den Namen „Horizont 2020“.

Australia Group

Die Australien-Gruppe (AG) ist ein informelles Forum von Ländern, die durch die Harmonisierung der Exportkontrollen darauf abzielen, sicherzustellen, dass Ausfuhren nicht zur Entwicklung chemischer oder biologischer Waffen beitragen. Die Koordinierung der einzelstaatlichen Ausfuhrkontrollmaßnahmen hilft den Teilnehmern, ihren Verpflichtungen aus den Chemiewaffen- und Biowaffenkonventionen so weit wie möglich zu erfüllen. Teilnehmer sind Argentinien, Australien, Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Europäische Union, Finnland, Frankreich, Griechenland, Großbritannien, Irland, Island, Italien, Japan, Kanada, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Mexiko, Neuseeland, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Republik Korea, Republik Zypern, Rumänien, Schweden, Slowakische Republik, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Schweiz, Ukraine, Ungarn, USA.

Biosafety

Biosafety ist ein Konzept aus dem (Labor-) Forschungsbetrieb, das alle Maßnahmen umfasst, die dem Schutz der Beschäftigten vor Gefahren im Umgang mit biologischen Arbeitsstoffen dient.

Biosecurity

Biosecurity ist ein sicherheitspolitisches Konzept, das den Schutz biologischer Materialien vor unberechtigtem Zugriff sicherstellen soll.

CRISPR/Cas

CRISPR/Cas ist ein Gentechnikverfahren, bei dem mit Hilfe eines Proteins die DNA mit hoher Genauigkeit an zuvor definierten Stellen zerschnitten wird. Zelleigene Reparatursysteme bauen die DNA nach Vorlage der Wissenschaftler wieder zusammen. Die Methode dient der gezielten Abschaltung, Entfernung oder Schaffung neuer DNA-Gruppen.

DNA (engl. Abk.)

Desoxyribonukleinsäure (DNS) ist ein in allen Lebewesen vorkommendes Biomolekül. Es ist der Träger der Erbinformationen, also der Gene und lokalisiert im Zellkern.

Dual Use

Der Begriff Dual-Use bezeichnet Güter mit doppeltem Verwendungszweck.

ERASynBio

ERASynBio ist eine gemeinsame, internationale Initiative von Forschungsförderorganisationen aus zahlreichen EU-Mitgliedstaaten und der National Science Foundation (USA) unter Leitung des deutschen Bundesministeriums für Bildung und Forschung mit dem Projektträger Jülich. Sie hat das Ziel, aktuelle Forschungsaktivitäten in der Synthetischen Biologie zu koordinieren. Von 2012 bis 2014 ist ERASynBio als eine ERA-NET-Initiative durch die Europäische Kommission unterstützt worden, seit Anfang 2015 ist ERASynBio eine durch die beteiligten Förderorganisationen getragene Initiative.

Genome Editing

Genome Editing umfasst eine Reihe molekularbiologischer Verfahren mit denen man effizient und präzise gezielt Veränderungen im Genom einer Zelle vornehmen kann. Ein Beispiel für diese Methoden ist CRISPR/Cas.

Hydrocarbonoklastische Bakterien

Hydrocarbonoklastische Bakterien können Kohlenwasserstoffverbindungen aufbrechen und sie damit zur Energiegewinnung in der Zelle nutzen. Aufgrund dieser Eigenschaft

spielen sie in der Natur eine wichtige Rolle bei der Beseitigung von Ölverschmutzungen, vor allem beim Abbau von Rohöl in marinen und terrestrischen Ökosystemen.

International Association Synthetic Biology (IASB)

IASB steht für ein Konsortium von Biotech-Unternehmen, die sich mit bioethischen und biosynthetischen Fragen der synthetischen Biologie beschäftigen. Dabei stehen sowohl die wissenschaftlichen als auch der wirtschaftlichen Perspektiven der Synthetischen Biologie im Fokus.

International Gene Synthetics Consortium (IGSC)

Das IGSC ist wie das IASB ein Konsortium weltweit führenden Gensynthese-Unternehmen. 2015 hat sich das Konsortium umgewidmet in eine gemeinnützige Gesellschaft, um es auch kleinen Unternehmen, gemeinnützigen Einrichtungen und wissenschaftlichen Institutionen zu ermöglichen, in der Organisation Mitglied zu werden.

Metabolic Engineering

Unter metabolic engineering versteht man das Design von maßgeschneiderten Stoffwechselwegen. Hierbei werden entweder vorhandene Biosynthesewege modifiziert bzw. ergänzt oder komplette Stoffwechselwege neu konstruiert. Die DNA-Sequenzen der Module und Regelschaltkreise werden synthetisch hergestellt, zusammengefügt und in die Wirtszelle übertragen. Die gentechnische Konstruktion eines kompletten Biosyntheseweges für die Vorstufe eines Malaria-Medikamentes ist ein Beispiel für eine gelungene Anwendung.

Minimalzellen

Als Minimalzellen werden Zellen von minimaler Zell- und Genomgröße bezeichnet.

Protozellen

Protozellen sind künstliche Konstrukte, die im Labor hergestellt werden. Sie weisen Eigenschaften von lebenden Zellen auf. Sie sind

selbstreplizierend, besitzen eine mutierbaren Informationsspeicher, ein Stoffwechselsystem und eine umhüllende Membran. Zum Aufbau werden elementare Bausteine (DNA, Proteine, Lipide) lebender Zellen verwendet. Nach heutigem Stand der Wissenschaft ist man noch weit davon entfernt lebende Zellen komplett künstlich zu synthetisieren. In ersten Schritten ist es aber gelungen Membrankugel mit funktionierendem Replikationssystem zu konstruieren.

Synthetische Genome

Unter synthetischen Genomen versteht man künstlich hergestellte Genome. Der Aufbau beliebig langer DNA-Sequenzen kann innerhalb von Tagen erfolgen. Für den synthetischen Neuaufbau ganzer Genome von Viren, Bakterien und niedriger Vielzeller benötigt man einige Wochen.

Beispiele für die synthetische Genomsynthese ist die Totalsynthese des Poliomyelitis-Virus-Genoms (Kinderlähmung) und des sehr viel größeren Mycoplasma-Genoms (Krankheitserreger beim Menschen).

Xenobiologische Systeme

Das Konzept der Xenobiologie ist ein technikwissenschaftliches Konstruktionsprinzip. Es handelt sich hierbei, um die freie Kombinierbarkeit unabhängiger Bausteine. Hierbei wird das Ziel verfolgt, eine definierte Veränderung von Teilsystemen zu erreichen, ohne gleichzeitig andere Systeme zu stören. Als Beispiele sind die Verwendung von künstlichen Nucleinsäuren und künstlichen Enzymen sowie die Erweiterung des genetischen Alphabets und des genetischen Codes zu nennen.

Literaturverzeichnis

- [1] Büro für Technikfolgen-Aabschätzung beim Deutschen Bundestag, „Synthetische Biologie – die nächste Stufe der Bio- und Gentechnologie,“ Berlin, 2016.
- [2] M. A. Liebert, „IB Interview. A Conversation with J. Craig Venter, PhD,“ *Industrial Biotechnology*, Bd. 10, Nr. 1, pp. 7-10, 2014.
- [3] M. Juhas, L. Eberl und J. Glass, „Essence of life: Essential genes of minimal genomes,“ *Trends in Cell Biology*, Bd. 21, Nr. 10, pp. 562-568, September 2011.
- [4] J. C. Blain und J. W. Szostak, „Progress Towards Synthetic Cells,“ *Annual Review of Biochemistry*, Nr. 83, pp. 615-640, Juni 2014.
- [5] D. J. Mandell, M. J. Lajoie, M. T. Mee, R. Takeuchi, G. Kuznetsov, J. E. Norville, C. J. Gregg, B. L. Stoddard und G. M. Church, „Biocontainment of genetically modified organisms by synthetic protein design,“ *Nature*, Bd. 518, Nr. 7573, pp. 55-60, 05. Februar 2015.
- [6] M. Schmidt, „Xenobiology: A new form of life as the ultimate biosafety tool,“ *Bioessays*, Bd. 32, Nr. 4, pp. 322-331, 2010.
- [7] A. C. Forster und G. M. Church, „Synthetic biology projects in vitro,“ *Genome Research*, Bd. 17, Nr. 1, pp. 1-6, 2007.
- [8] A. S. Khalil und J. J. Collins, „Synthetic biology: applications come of age,“ *Nature Reviews Genetics*, Nr. 11, pp. 367-379, Mai 2010.
- [9] Vereinte Nationen, „Convention on the Prohibition of the Development, Production and Stockpiling of Bacteriological (Biological) and Toxin Weapons and on Their Destruction,“ 26. März 1975. [Online]. Available: <http://www.opbw.org/>. [Zugriff am 05. Oktober 2016].
- [10] J. B. Tucker, „Arms Control Association: Seeking Biosecurity Without Verification - The New U.S. Strategy on Biothreats,“ 14. Januar 2010. [Online]. Available: https://www.armscontrol.org/act/2010_01-02/Tucker. [Zugriff am 11. Oktober 2016].
- [11] Vereinte Nationen, „Chemical Weapons Convention,“ 29. April 1997. [Online]. Available: <https://www.opcw.org/>. [Zugriff am 05. Oktober 2016].
- [12] Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, [Online]. Available: <https://www.opcw.org/>. [Zugriff am 05. Oktober 2016].
- [13] Government of Australia, „The Australia Group,“ [Online]. Available: <http://www.australiagroup.net/en/index.html>. [Zugriff am 05. Oktober 2016].
- [14] Government of Australia, „2008 Australia Group Plenary,“ [Online]. Available:

http://www.australiagroup.net/en/agm_apr2008.html. [Zugriff am 05. Oktober 2016].

- [15] Bundesministerium für Bildung und Forschung, „Bekanntmachung von Richtlinien zur Förderung von Projektideen im Rahmen der Maßnahme „Aufbau von Kapazitäten in der Synthetischen Biologie durch transnationale Forschungsprojekte“ innerhalb des ERA-NETs „ERASynBio“,“ Berlin, 2014.
- [16] T. Willke, „Der optimierte Killer,“ *Bild der Wissenschaft*, pp. 28-29, September 2013.
- [17] S. Herfst, E. J. A. Schrauwen, M. Linster, S. Chutinimitkul, E. de Wit, V. J. Munster, E. M. Sorrell, T. M. Bestebroer, D. F. Burke, D. J. Smith, G. F. Rimmelzwaan, A. D. M. E. Osterhaus und R. A. M. Fouchier, „Airborne Transmission of Influenza A/H5N1 Virus Between Ferrets,“ *Science*, Bd. 336, Nr. 6088, pp. 1534-1541, 22 Juni 2012.
- [18] R. A. M. Fouchier, A. Garcia-Sastre und Y. Kawaoka, „Pause on avian flu transmission studies,“ *Nature*, Bd. 481, Nr. 7382, p. 443, 26 Januar 2012.
- [19] D. Grushkin, T. Kuiken und P. Millet, *Seven Myths and Realities about Do-It-Yourself Biology*, Washington DC: Woodrow Wilson International Center for Scholars, 2014.
- [20] J. Koebler, „Motherboard: Wer hat Angst vor DIY-Biologie?,“ 20. November 2013. [Online]. Available: <https://motherboard.vice.com/de/blog/versuchen-diy-biologen-toedliche-krankheitserreger-zu-entwickeln>. [Zugriff am 15. Juni 2016].
- [21] J. Kuhn, „Siegesszug der Erbgut-Hacker,“ *Süddeutsche Zeitung*, 09. Februar 2015.
- [22] S. Karberg, „Genbastler allein zu Hause,“ *Technology Review*, November 2009.
- [23] T. Kuiken, „Learn from DIY biologists,“ *Nature*, Bd. 531, Nr. 7593, pp. 167-168, 10. März 2016.
- [24] B. Nelson, „Synthetic Biology: Cultural divide,“ *Nature*, Bd. 509, Nr. 7499, pp. 152-154, 08. Mai 2014.
- [25] Deutscher Bundestag - Presse, „Heute im Bundestag: Biohacking und Synthetische Biologie,“ 30. September 2016. [Online]. Available: <https://www.bundestag.de/presse/hib/201609>. [Zugriff am 11. Oktober 2016].
- [26] F. C. Sprengel, *Vortrag: Bioterroristische Bedrohungslage am 17.03.2016*, Berlin: Bundesministerium der Verteidigung, 2016.
- [27] Bundesministerium der Verteidigung (Hrsg.), *Weissbuch 2016. Zur Sicherheitspolitik und zur Zukunft der Bundeswehr*, Berlin, 2016.
- [28] Bundesministerium des Innern, „Konzept für die zivile Verteidigung,“ Berlin, 2016.
- [29] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe; Robert Koch Institut, „Biologische Gefahren I,“ Bonn, 2007.

- [30] Kuratorium Sicheres Österreich, „Biologische, Chemische, Radiologische und nukleare Bedrohungen,“ Wien, 2016.
- [31] Weapons of Mass Destruction Non-Proliferation Centre, „Biotechnology and security issues,“ NATO, 2015.
- [32] C. Pellerin, „DoD News: DARPA's synthetic Biology Work Targets Diseases, New Materials,“ 20. November 2014. [Online]. Available: <http://www.defense.gov/News/Article/Article/603685>. [Zugriff am 12. Oktober 2016].
- [33] Bundesministerium für Justiz und für Verbraucherschutz, „Gentechnikgesetz,“ 18. Juni 2016. [Online]. Available: <http://www.gesetze-im-internet.de/gentg/>. [Zugriff am 11. Oktober 2016].
- [34] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Außenwirtschaftsgesetz,“ 01. September 2013. [Online]. Available: <http://www.bmwi.de/DE/Service/gesetze,did=22126.html>. [Zugriff am 11. Oktober 2016].
- [35] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Außenwirtschaftsverordnung,“ 01. September 2013. [Online]. Available: <http://www.bmwi.de/DE/Service/gesetze,did=22026.html>. [Zugriff am 11. Oktober 2016].
- [36] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, „EU Dual Use Verordnung,“ 05. Mai 2009. [Online]. Available: http://www.ausfuhrkontrolle.info/ausfuhrkontrolle/de/vorschriften/eg_dual_use_vo/. [Zugriff am 11. Oktober 2016].
- [37] G. Schöfbänker, „Heise.de: Auf der Spur der Anthrax-Briefe,“ 18. Dezember 2001. [Online]. Available: <http://www.heise.de/tp/artikel/11/11371/1.html>. [Zugriff am 12. Oktober 2016].
- [38] M. Meselson, J. Guillemin, M. Hugh-Jones, A. Langmuir, I. Popova, A. Shelokov und O. Yampolskaya, „The Sverdlovsk anthrax outbreak of 1979,“ *Science*, Bd. 266, Nr. 5188, pp. 1202-1208, 18. November 1994.

Autorin:

Dr. Annika Vergin ist seit Dezember 2007 als wissenschaftliche Mitarbeiterin im Referat Zukunftsanalyse tätig. Im interdisziplinären Team des Referates vertritt sie den Bereich Naturwissenschaften. Sie studierte Biologie mit Schwerpunkt Physiologie und Immunologie an der Universität Potsdam und promovierte am Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung Potsdam in physikalischer Chemie.