

[EMBO Rep.](#) Juni 2003; 4 (Ergänzung 1): S57–S60.

doi: [10.1038/sj.embor.embor860](https://doi.org/10.1038/sj.embor.embor860)

PMC- ID: PMC1326447

PMID: [12789409](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12789409/)

Gentechnik und biologische Waffen

[Jan van Aken](#)¹ und [Edward Hammond](#)¹

Abstrakt

Neue Technologien, Wünsche und Bedrohungen aus der biologischen Forschung

Rasante Entwicklungen in Biotechnologie, Genetik und Genomik schaffen zweifellos eine Vielzahl ökologischer, ethischer, politischer und sozialer Herausforderungen für fortgeschrittene Gesellschaften. Aber sie haben auch schwerwiegende Auswirkungen auf den internationalen Frieden und die internationale Sicherheit, weil sie enorme Möglichkeiten für die Schaffung neuer biologischer Waffen eröffnen. Der gentechnisch veränderte „Superbug“ – höchst tödlich und resistent gegen Umwelteinflüsse oder jegliche medizinische Behandlung – ist nur ein kleiner Teil dieser Geschichte. Viel besorgniserregender aus rüstungskontrollpolitischer Sicht sind die Möglichkeiten, völlig neuartige Waffen auf der Basis von Erkenntnissen der biomedizinischen Forschung zu entwickeln – Entwicklungen, die bereits stattfinden. Solche Waffen, die für neuartige Konflikte und Kriegsführungsszenarien, geheime Operationen oder Sabotageaktivitäten entwickelt wurden, sind keine reine Science-Fiction, sondern werden zunehmend zur Realität, der wir uns stellen müssen. Hier geben wir einen systematischen Überblick über die möglichen Auswirkungen der Biotechnologie auf die Entwicklung biologischer Waffen.

Die Geschichte der biologischen Kriegsführung ist fast so alt wie die Geschichte der Kriegsführung selbst. In der Antike vergifteten Kriegsparteien Brunnen oder benutzten Pfeilspitzen mit natürlichen Toxinen. Mongolische Eindringlinge katapultierten Pestopfer in belagerte Städte und verursachten wahrscheinlich die erste große Pestepidemie in Europa, und britische Siedler verteilten mit Pocken infizierte Decken an amerikanische Ureinwohner. Tatsächlich bedeuteten die Erkenntnisse über die Natur von Infektionskrankheiten, die Louis Pasteur und Robert Koch im 19. Jahrhundert gewannen, keinen großen Durchbruch für den Einsatz infektiöser Organismen als biologische Waffen. Ebenso erfordert die Entwicklung einer Biowaffe nicht unbedingt Gentechnik – Pocken, Pest und Anthrax sind in ihrem natürlichen Zustand tödlich genug. Aber die Revolution in der Biotechnologie, nämlich die neuen Werkzeuge zur Analyse und gezielten Veränderung des genetischen Materials eines Organismus, hat aufgrund mehrerer Faktoren zu einem erhöhten Risiko der biologischen Kriegsführung geführt. Erstens hat die Ausbreitung der modernen Biotechnologie in der medizinischen und pharmazeutischen Forschung und Produktion zu einer weltweiten Verfügbarkeit von Wissen und Einrichtungen geführt. Viele Länder und Regionen, in denen Biotechnologie vor 30 Jahren lediglich das Brauen von Bier und das Backen von Brot bedeutete, haben High-Tech-Anlagen für die Herstellung von Impfstoffen oder Einzelzellproteinen errichtet, die für die Herstellung biologischer Waffen

untergraben werden könnten. Heute verfügen fast alle Länder über das technologische Potenzial, große Mengen pathogener Mikroorganismen sicher zu produzieren (Die Ausbreitung der modernen Biotechnologie in der medizinischen und pharmazeutischen Forschung und Produktion hat zu einer weltweiten Verfügbarkeit von Wissen und Einrichtungen geführt. Viele Länder und Regionen, in denen Biotechnologie vor 30 Jahren lediglich das Brauen von Bier und das Backen von Brot bedeutete, haben High-Tech-Anlagen für die Herstellung von Impfstoffen oder Einzelzellproteinen errichtet, die für die Herstellung biologischer Waffen untergraben werden könnten. Heute verfügen fast alle Länder über das technologische Potenzial, große Mengen pathogener Mikroorganismen sicher zu produzieren (Die Ausbreitung der modernen Biotechnologie in der medizinischen und pharmazeutischen Forschung und Produktion hat zu einer weltweiten Verfügbarkeit von Wissen und Einrichtungen geführt. Viele Länder und Regionen, in denen Biotechnologie vor 30 Jahren lediglich das Brauen von Bier und das Backen von Brot bedeutete, haben High-Tech-Anlagen für die Herstellung von Impfstoffen oder Einzelzellproteinen errichtet, die für die Herstellung biologischer Waffen untergraben werden könnten. Heute verfügen fast alle Länder über das technologische Potenzial, große Mengen pathogener Mikroorganismen sicher zu produzieren (haben High-Tech-Anlagen für die Herstellung von Impfstoffen oder Einzelzellproteinen errichtet, die für die Herstellung biologischer Waffen unterwandert werden könnten. Heute verfügen fast alle Länder über das technologische Potenzial, große Mengen pathogener Mikroorganismen sicher zu produzieren (haben High-Tech-Anlagen für die Herstellung von Impfstoffen oder Einzelzellproteinen errichtet, die für die Herstellung biologischer Waffen unterwandert werden könnten. Heute verfügen fast alle Länder über das technologische Potenzial, große Mengen pathogener Mikroorganismen sicher zu produzieren ([Abb. 1](#)). Zweitens können klassische biologische Kampfstoffe selbst mit den einfachsten genetischen Techniken viel effizienter hergestellt werden als ihre natürlichen Gegenstücke. Drittens wird es mit moderner Biotechnologie möglich, völlig neue biologische Waffen herzustellen. Und aus technischen und/oder moralischen Gründen könnten sie eher zum Einsatz kommen als klassische biologische Kampfstoffe. Diese Möglichkeiten haben weltweit neue militärische Wünsche geweckt, auch in den Ländern, die in der Vergangenheit öffentlich auf biologische Waffen verzichtet haben. Dieses Papier befasst sich hauptsächlich mit den letzten beiden Faktoren, und anhand von Beispielen aus dem wirklichen Leben werden wir die Möglichkeiten eines solchen militärischen Missbrauchs der Biotechnologie diskutieren.



Abbildung 1

Das US Army Medical Research Institute of Infectious Diseases in Fort Detrick, Maryland, ist das Zentrum der Verteidigungsforschung der USA zu biologischen Waffen. (© (2001) Jan van Aken/Sunshine Project.)

Durch den Einsatz von Gentechnik haben Bioforscher bereits neue Waffen entwickelt, die viel effektiver sind als ihre natürlichen Vorbilder. Unzählige Beispiele aus der täglichen Arbeit von Molekularbiologen könnten hier vorgestellt werden, nicht zuletzt das Einbringen von Antibiotikaresistenzen in bakterielle Krankheitserreger, das heute in fast jedem mikrobiologischen Labor zur Routinearbeit gehört. In der Tat zeigen viele Forschungsprojekte in der Grundlagenforschung – manchmal unfreiwillig und unwissentlich – wie aktuelle wissenschaftliche und technologische Grenzen beim militärischen Einsatz von Krankheitserregern überwunden werden können. Darüber hinaus ist die Gentechnik nicht nur eine theoretische Möglichkeit für zukünftige Biowaffen: Sie wurde bereits in vergangenen Waffenprogrammen, insbesondere in der ehemaligen Sowjetunion, angewandt. Ein Beispiel ist der „unsichtbare Milzbrand“ der UdSSR, *Bacillus anthracis*, der seine immunologischen Eigenschaften veränderte ([Pomerantsev et al., 1997](#)). Vorhandene Impfstoffe erwiesen sich als unwirksam gegen diesen neu gentechnisch veränderten Stamm.

...Gentechnik wird in den frühen Stadien eines Biowaffenprogramms nicht unbedingt eine große Rolle spielen

In Debatten um Gentechnik und biologische Waffen wird oft behauptet, dass natürliche Krankheitserreger ausreichend gefährlich und tödlich sind und dass Gentechnik nicht notwendig ist, um sie zu wirksameren biologischen Waffen zu machen. Dies ist in der Tat so, dass biologische Waffen auch ohne Gentechnik – oder überhaupt ohne wissenschaftliche Erkenntnisse – eingesetzt werden können, wie ihr effektiver Einsatz in den vergangenen Jahrhunderten gezeigt hat. Tatsächlich spielt die Gentechnik in den frühen Stadien eines Biowaffenprogramms nicht unbedingt eine zentrale Rolle. Die Entwicklung zuverlässiger, wirksamer biologischer Waffen erfordert ein intensives und ressourcenintensives Forschungsprogramm, das Schritt für Schritt immer komplexere Probleme lösen muss: die Beschaffung virulenter Stämme geeigneter Wirk-

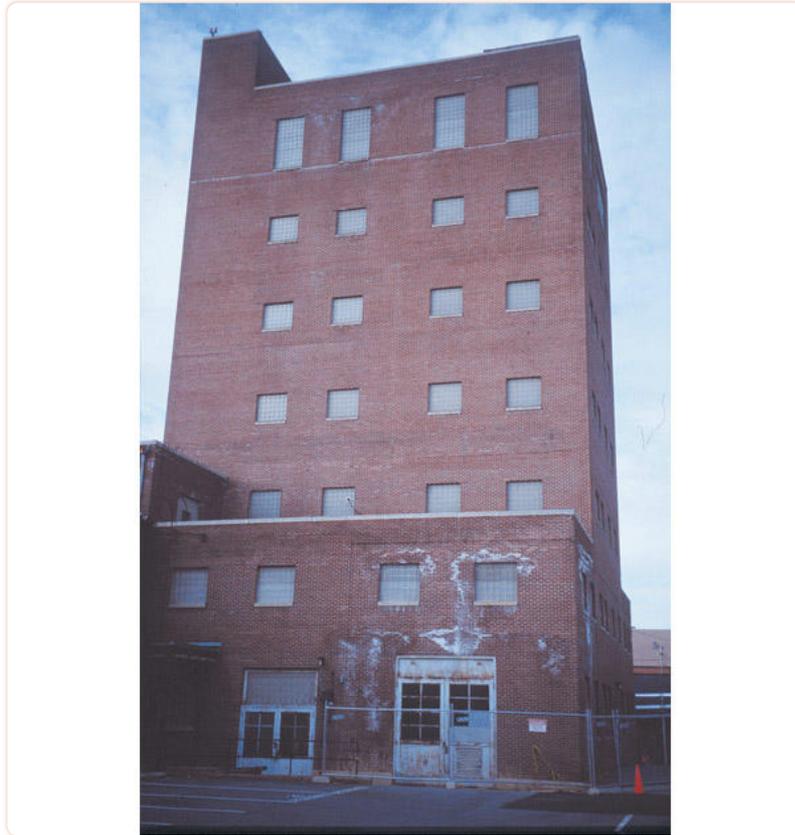
stoffe, die Massenproduktion der Wirkstoffe ohne Verlust der Pathogenität, und die Entwicklung eines effektiven Liefermittels. Insbesondere der dritte Schritt ist sehr anspruchsvoll und wurde mit Ausnahme der riesigen ehemaligen Biowaffenprogramme in den USA ([Abb. 2](#)) und der UdSSR. Sogar der Irak hatte nach mehreren Jahren eines aktiven Biowaffenprogramms nur rudimentäre Verabreichungsmethoden entwickelt. Aus dieser Perspektive ist die Gentechnik ein relativ später Schritt in der Entwicklung des Biowaffenpotentials, der höchstwahrscheinlich nicht unternommen wird, bevor die ersten, wesentlichen Schritte gelöst sind. Tatsächlich wissen wir nur aus dem massiven Biowaffenprogramm in der ehemaligen Sowjetunion, dass Krankheitserreger genetisch modifiziert wurden, um ihre Wirksamkeit als Biowaffen zu erhöhen, aber es könnte anderswo andere, bisher unentdeckte Versuche gegeben haben.



[Figur 2](#)

Der sogenannte „8-Ball“, eine 1 Million Liter fassende Stahlkugel, die 1949 gebaut wurde, in der die US-Armee die Wirksamkeit biologischer Waffen testete. Der Ball befindet sich in Fort Detrick, Maryland, und ist heute ein „historisches Denkmal“. (© (2001) Jan van Aken/Sunshine Project.)

Hingegen darf nicht unterschätzt werden, dass sich aus militärischer Sicht kaum natürliche Krankheitserreger wirklich gut als Biowaffen eignen. Eine solche Biowaffe muss eine Vielzahl von Anforderungen erfüllen: Sie muss in großen Mengen produziert werden, sie muss schnell wirken, sie muss umweltrobust sein und die Krankheit muss behandelbar sein oder es muss ein Impfstoff verfügbar sein, um den eigenen Schutz zu ermöglichen eigene Soldaten. Dies erklärt, warum nur wenige natürliche Krankheitserreger für militärische Zwecke geeignet sind. Anthrax ist natürlich erste Wahl, weil der Erreger *B. anthracis* fast alle dieser Spezifikationen erfüllt ([Abb. 3](#)). Potenzielle Opfer eines Anthrax-Anfalls können jedoch auch mehrere Tage nach einer Infektion mit Antibiotika behandelt werden. Daher wird in den meisten Fällen nur eine Minderheit der Infizierten an einem Anthrax-Angriff sterben, wie die Anthrax-Anschläge 2001 in den USA gezeigt haben. Ein sehr einfacher genetischer Eingriff könnte jedoch zu viel drastischeren und tödlicheren Ergebnissen führen.



Figur 3

Bis 1969 produzierte die US-Armee in diesem Gebäude in Fort Detrick, Maryland, Milzbrandsporen für den Angriffskrieg. (© (2001) Jan van Aken/Sunshine Project.)

Darüber hinaus könnte eine weitere wichtige Einschränkung von Biowaffen in Zukunft durch gentechnische Verfahren überwunden werden. Heute wird der Zugang zu hochvirulenten Erregern und Stämmen zunehmend reguliert und eingeschränkt. Insbesondere die vor mehr als 20 Jahren ausgerotteten Pocken werden offiziell nur noch in zwei Hochsicherheitslabors in den USA und Russland gelagert, und der Zugriff auf diese Virenbestände ist derzeit praktisch unmöglich. Doch angesichts der rasanten Entwicklung der Molekularbiologie ist es nur eine Frage der Zeit, bis die künstliche Synthese von Wirkstoffen oder neue Wirkstoffkombinationen möglich werden. Diese Gefahr wurde letztes Jahr durch einen besorgniserregenden Artikel in *Science hervorgehoben*: Ein Forschungsteam an der State University of New York in Stony Brook hat ein künstliches Poliovirus von Grund auf chemisch synthetisiert ([Cello et al., 2002](#)). Sie begannen mit der online verfügbaren genetischen Sequenz des Wirkstoffs, bestellten kleine, maßgeschneiderte DNA-Sequenzen und kombinierten sie, um das vollständige virale Genom zu rekonstruieren. In einem letzten Schritt wurde die synthetisierte DNA durch Zugabe eines chemischen Cocktails zum Leben erweckt, der die Produktion eines lebenden, pathogenen Virus initiierte.

Prinzipiell könnten mit dieser Methode auch andere Viren mit ähnlich kurzen DNA-Sequenzen synthetisiert werden. Dazu gehören mindestens fünf Viren, die als potenzielle Biowaffenstoffe gelten, darunter das Ebola-Virus, das Marburg-Virus und das venezolanische Pferdeenzephalitis-Virus. Vor allem die ersten beiden sind sehr seltene Viren, die für potenzielle Biowaffen nur

schwer erhältlich sein könnten – Gerüchten zufolge versuchten Mitglieder der japanischen Sekte Aum Shinrikyo, berühmt für den Nervengasangriff auf die Tokioter U-Bahn, erfolglos, Ebola in die Hände zu bekommen Virus während eines Ausbruchs im ehemaligen Zaire in den 1990er Jahren. Mit der für Polio publizierten Methode könnte eine solche Gruppe oder ein interessierter Staat theoretisch das Ebola-Virus im Labor konstruieren. Allerdings ist zu beachten, dass diese Methode aufwendig ist,

Das Poliovirus selbst ist keine wirksame biologische Waffe, aber das Experiment zeigt das enorme Potenzial der Gentechnik und zeigt auch ihre Probleme auf, insbesondere bei der Anwendung auf Pocken. Die aktuellen Risikobewertungen in Bezug auf dieses Virus stufen die Wahrscheinlichkeit eines Angriffs als eher gering ein, da es sehr unwahrscheinlich – wenn auch nicht völlig unmöglich – ist, dass andere Länder als Russland und die USA darauf zugreifen. Sollte es möglich sein, Variola major, das Pockenvirus, im Labor von Grund auf neu aufzubauen – und die Genomsequenz des Virus ist aus biologischen Datenbanken verfügbar –, könnte sich dieses Risiko stark ändern. Pocken sind eine ideale biologische Waffe, insbesondere für terroristische Gruppen, da sie hoch ansteckend und tödlich sind und es keine wirksame Behandlung gibt.

Allerdings lässt sich die Methode zur künstlichen Erzeugung des Poliovirus nicht direkt auf das Pockenvirus übertragen. Das Variola-Genom ist mit mehr als 200.000 Basenpaaren weitaus größer als das von Polio, und selbst wenn es möglich wäre, die vollständige Pockensequenz *in vitro* nachzubilden, konnte es nicht einfach in ein lebendes infektiöses Viruspartikel umgewandelt werden. Aber vielleicht gibt es noch andere Wege. Beispielsweise wäre es möglich, von einem nahe verwandten Virus wie Affen- oder Mauspocken auszugehen und gezielt die Basen und Sequenzen zu verändern, die sich von den menschlichen Pocken unterscheiden. Vor einigen Monaten dokumentierten Forscher erstmals, dass die Sequenz eines Pathogenitäts-assoziierten Gens aus dem Vacciniavirus durch die gezielte Mutation von 13 Basenpaaren in die Sequenz des entsprechenden Pockengens transformiert werden konnte ([Rosengard et al., 2002](#)). Es ist wahrscheinlich nur eine Frage der Zeit, bis diese Technik auf vollständige Genome anwendbar ist, und dann müssen wir unsere derzeitige Einschätzung der Bedrohung durch die Pocken überdenken. In Anbetracht der extremen Gefahr, die Pocken für eine heute weitgehend ungeimpfte menschliche Bevölkerung darstellen, erscheint es zumindest fragwürdig, die Pockensequenz im World Wide Web verfügbar zu machen.

Die genetische Verbesserung klassischer Krankheitserreger ist jedoch nur ein kleiner Teil der vielfältigen Möglichkeiten, die neue biomedizinische Techniken geschaffen haben. Aus Sicht der Abrüstung ist ein anderer Trend viel besorgniserregender: Es werden neue Arten von biologischen Waffen möglich, die bis vor wenigen Jahren rein fiktiv waren. Dies gilt insbesondere für sogenannte „nicht-tödliche“ Waffen, die für den Einsatz außerhalb der klassischen Kriegsführung konzipiert sind. Die Gefahr besteht darin, dass diese neuen Möglichkeiten Begehrlichkeiten auch in Ländern wecken, die bisher auf den Einsatz und die Entwicklung klassischer biologischer Waffen verzichtet haben.

Die globale Norm gegen biologische Waffen, die in der Genfer Konvention von 1925 und der Bio- und Toxinwaffenkonvention von 1972 festgelegt wurde, hat eindeutig dazu beigetragen, dass sich in den letzten Jahrzehnten nur wenige Länder mit der Erforschung offensiver Biowaffen beschäftigt haben. Diese moralische Barriere scheint bei „nicht-tödlichen“ Waffen, die gegen Materialien oder drogenproduzierende Pflanzen gerichtet sind, niedriger zu sein. Tatsächlich schaffen die heutigen technischen Möglichkeiten ein neues Interesse an diesem Be-

reich, das zu einem neuen biologischen Wettrennen führen könnte. In den folgenden Abschnitten dokumentieren wir drei echte Beispiele für die Entwicklung biologischer und chemischer Waffen, die jetzt von Demokratien in der westlichen Welt verfolgt werden. Alle drei Beispiele wurden vom Sunshine Project recherchiert und ausführlich veröffentlicht (weitere Literatur unter www.sunshine-project.org).

Das US-Militär hat wiederholt mögliche Anwendungen der Biotechnologie für Kriegsführungsszenarien diskutiert, einschließlich der Entwicklung von materialabbauenden Mikroorganismen, um Treibstoff, Baumaterial oder Stealth-Farben zu zerstören ([Strategic Assessment Center of Science Applications International Corporation, 1995](#) ; [US Army War College, 1996](#)) . . Diese Idee basiert auf der Tatsache, dass natürliche Mikroorganismen nahezu alle Materialien abbauen können und bereits zur Entgiftung von Umweltbelastungen eingesetzt werden. Die natürlichen Organismen sind eher träge und unzuverlässig, aber mit Hilfe der Gentechnik könnte die Entwicklung viel effektiverer Organismen möglich werden – wahrscheinlich effektiv genug, um als biologische Waffen eingesetzt zu werden ([Sayler, 2000](#)). Das besondere Interesse der Militärforschung an materialabbauenden Mikroben ist auf die Synergieeffekte zweier gleichzeitiger Entwicklungen zurückzuführen: Erstens hat das Militär, insbesondere in den USA, ein erneutes Interesse an diesen nicht-tödlichen Waffen für den Einsatz in mediensensiblen Militäroperationen damit sichtbare zivile Opfer vermieden werden können; Zweitens sorgen die rasanten Entwicklungen in der Biotechnologie für die

In Anbetracht der extremen Gefahr, die Pocken für eine heute weitgehend ungeimpfte menschliche Bevölkerung darstellen, erscheint es zumindest fragwürdig, die Pockensequenz im World Wide Web verfügbar zu machen

technologische Basis, um natürliche Mikroorganismen in anti-materielle Mikroben umzuwandeln. Neue technologische Möglichkeiten trafen in den USA auf neue militärische Konzepte und führten zu einem erneuten Interesse an bis vor kurzem verbotenen und abgelehnten Waffen.

1998 wurde bekannt, dass das US Naval Research Laboratory in Washington DC gentechnisch veränderte Pilze mit offensivem Biowaffenpotenzial entwickelt. Sie isolierten natürliche Mikroorganismen, die eine Vielzahl von Materialien wie Kunststoffe, Gummi und Metalle abbauen, und verwendeten Gentechnik, um sie leistungsfähiger und fokussierter zu machen – eine dieser gentechnisch veränderten Mikroben kann Militärfarben in 72 Stunden zerstören. Der Hauptforscher am Naval Research Laboratory, James Campbell, beschrieb mögliche Anwendungen dieser Technologie in seiner Präsentation auf dem 3. Non-Lethal Defense Symposium im Jahr 1998. Darunter waren „mikrobielle abgeleitete oder basierte Esterasen, [die] verwendet werden könnten, um die Signatur zu entfernen -Kontrollbeschichtungen von Flugzeugen, wodurch die Erkennung und Zerstörung des Flugzeugs erleichtert wird“ (www.dtic.mil/ndia/NLD3/camp.pdf). Diese Arbeit ist angeblich defensiver Natur, obwohl keine Bedrohung artikuliert wurde, und die fortgesetzte Forschung der US-Marine und der US-Armee strebt weiterhin danach, diese Waffen aus dem Labor ins Feld zu bringen. Nur wenige Jahre später, im Jahr 2002, wurden mehrere Forschungsvorschläge des US-Militärs öffentlich, die eindeutig offensiven Charakter hatten.

Neue technologische Möglichkeiten trafen in den USA auf neue militärische Konzepte und führten zu einem erneuten Interesse an bis vor kurzem verbotenen und abgelehnten Waffen

Vor etwa einem Jahrzehnt verstärkten auch die USA ihre Bemühungen, Mikroorganismen zu identifizieren, die drogenproduzierende Pflanzen abtöten; Ende der 1990er Jahre konzentrierte sich diese Forschung hauptsächlich auf zwei Pilze. Die Prüfung von *Pleospora papaveracea* gegen Schlafmohn wurde in Taschkent, Usbekistan, mit finanzieller und wissenschaftlicher Unterstützung der USA durchgeführt und 2001 abgeschlossen. Pathogenes *Fusarium oxysporum* Stämme, die in den USA entwickelt wurden, um Kokapflanzen abzutöten, sollten im Jahr 2000 in Kolumbien getestet werden, aber internationale Proteste verhinderten dieses Projekt. Diese Pilze sind ein Paradebeispiel für den feindseligen Einsatz biologischer Kampfstoffe. In Kolumbien liegen die größten Koka- und Schlafmohnanbaugebiete in Kampfgebieten, und der „War on Drugs“ ist Teil des anhaltenden bewaffneten Konflikts im Land. Diese biologischen Kampfstoffe senken die politische Schwelle für den Einsatz biologischer Waffen und dürften enorme Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit haben. Das Streben nach pflanzentötenden Pilzen als Waffen wäre ein weiteres Abrutschen auf einem rutschigen Abhang, der nach der gleichen Logik leicht zum Einsatz anderer Pflanzenpathogene, Tierpathogene oder sogar nicht tödlicher biologischer Waffen gegen Menschen führen könnte ([van Aken & Hammond, 2002](#)).

Beim dritten Beispiel geht es nicht um biologische Waffen, sondern um neue Arten chemischer bzw. biochemischer Waffen. Wie in den anderen Beispielen hat die Revolution in der Biomedizin neue Wünsche in Ost und West geweckt, und es werden bereits neue Waffen entwickelt, die gegen internationale Verträge verstoßen. Dieses Gebiet geriet ins Rampenlicht der internationalen Medien, nachdem im vergangenen Jahr bei der Geiselnahme in Moskau der Einsatz psychoaktiver Substanzen den Tod von mehr als 170 Menschen verursacht hatte. Diese angeblich „nicht tödlichen“ chemischen Waffen wurden bereits in den 1950er Jahren entwickelt, insbesondere eine Substanz namens „BZ“, die in der US-Armee als „Schlafgas“ bekannt ist. Aber BZ verursachte bei verschiedenen Personen sehr unterschiedliche Wirkungen und galt als unzuverlässig, was Ende der 1960er Jahre zu seiner Verbannung aus dem US-Chemiearsenal führte. Heute, Die moderne Neurobiologie liefert jedoch umfassendes Wissen über ein breites Spektrum von Neurorezeptoren und vielfältigen psychoaktiven Substanzen, die „nicht-tödliche“ chemische Waffen für das Militär wieder attraktiv machen. Beispielsweise untersuchte das US Marine Corps kürzlich den potenziellen militärischen Nutzen von Beruhigungsmitteln wie Benzodiazepinen und $\alpha 2$ -Adrenorezeptor-Agonisten. Die Identifizierung geeigneter Substanzen ist jedoch nur ein Teil der erneuten Chemiewaffenforschung in den USA. Kürzlich veröffentlichte Dokumente zeigen, dass die US-Streitkräfte auch neue Abgabegeräte für Chemikalien mit einer Reichweite von mehr als 2,5 km entwickeln – eine Entfernung, die nur für Kriegsszenarien sinnvoll ist, im Gegensatz zu Polizeieinsätzen, bei denen Reichweiten von 10 bis 50 m für Tränengasgranaten sind weit verbreitet. Das Chemiewaffenübereinkommen verbietet den Einsatz von Chemikalien, einschließlich „nicht tödlicher“ Chemikalien, in Kriegssituationen. Auch der Einsatz von Tränengas ist wegen der enormen Eskalationsgefahr verboten. In einer bestimmten Kampfsituation ist die angegriffene Seite nicht in der Lage, die Art der verwendeten Chemikalie zu identifizieren, und könnte versucht sein, sich mit potenziell tödlichen Chemikalien in gleicher Weise zu rächen.

Molekularbiologie und Gentechnik stecken noch in den Kinderschuhen, und in den kommenden Jahren werden weitere technische Möglichkeiten entstehen – auch für den militärischen Missbrauch ([Fraser & Dando, 2001](#)). Effizientere klassische Biowaffen werden wohl nur eine marginale Rolle spielen, auch wenn der gentechnisch hergestellte „Superbug“ immer noch routinemäßig in Zeitungsberichten zu sehen ist. Wahrscheinlicher und alarmierender sind Waffen für neuartige Konflikte und Kriegsführungsszenarien, nämlich Low Intensity Warfare oder Geheimoperationen, für Wirtschaftskriegsführung oder für Sabotageaktivitäten. Um die feindliche Ausbeutung der Biologie jetzt und für immer zu verhindern, muss ein Bündel von Maßnahmen ergriffen werden, von der Stärkung der Bio- und Toxinwaffenkonvention bis hin zur Sensibilisierung der wissenschaftlichen Gemeinschaft für die Möglichkeiten und Gefahren des Missbrauchs. Jede Art von biotechnologischer oder biomedizinischer Forschung, Entwicklung oder Produktion muss international transparent und kontrolliert erfolgen. In Fällen, in denen ein militärischer Missbrauch unmittelbar bevorsteht und wahrscheinlich erscheint, müssen alternative Wege entwickelt werden, um dasselbe Forschungsziel zu verfolgen. Darüber hinaus kann es, wie oben in Bezug auf die Pockengenomsequenz erwähnt, auch erforderlich sein, Beschränkungen für bestimmte Forschungen und/oder Veröffentlichungen anzuwenden.



Verweise

Cello J., Paul AV & Wimmer E. (2002) Chemische Synthese von Poliovirus-cDNA: Erzeugung eines infektiösen Virus in Abwesenheit einer natürlichen Vorlage. *Wissenschaft*, 297, 1016–1018. [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]

- Fraser CM & Dando MR (2001) Genomik und zukünftige biologische Waffen: die Notwendigkeit präventiver Maßnahmen der biomedizinischen Gemeinschaft . *Natur Genet.* , 29 , 253–256. [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
- Pomerantsev AP, Staritsin NA, Mockov YV & Marinin LI (1997) . *Impfstoff* , 15 , 1846–1850. [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
- Rosengard AM, Liu Y, Nie Z. & Jimenez R. (2002) Variola-Virus-Immunevasion-Design: Expression eines hocheffizienten Inhibitors des menschlichen Komplements . *Proz. Natl. Acad. Wissenschaft. USA* , 99 , 8808–8813. [[PMC-freier Artikel](#)] [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
- Sayler G. (2000) Feldanwendungen gentechnisch veränderter Mikroorganismen für biologische Sanierungsprozesse . *akt. Meinung. Biotechnologie.* , 11 , 286–289. [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
- Strategic Assessment Center of Science Applications International Corporation (1995) *Biotechnology – Military Applications* . SAIK. Erhältlich unter FOIA bei den Autoren. [[GoogleScholar](#)]
- US Army War College (1996) Summary Report on 'Biotechnology Workshop 2020', 29. und 30. Mai 1996. SAIC, Dokumentnummer 96-6963. Erhältlich unter FOIA bei den Autoren.
- van Aken JP & Hammond E. (2002) Schließen von Schlupflöchern in der Biowaffenkonvention . *Med. Konfl. Überleben.* , 18 , 194–198. [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]