

Übersetzung aus dem Englischen

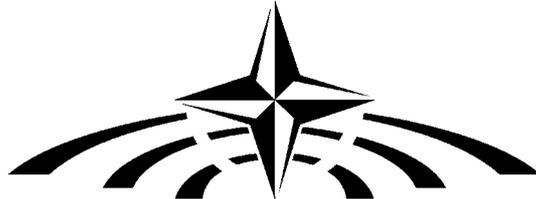
**Parlamentarische Versammlung der NATO
Unterausschuss „Weiterverbreitung von Militärtechnologie“**

NANOTECHNOLOGIE UND SICHERHEITSPOLITIK

Berichtsentwurf

(Originaltitel: NATO Parliamentary Assembly – Sub-Committee on Proliferation of Military
Technology – THE SECURITY IMPLICATIONS OF NANOTECHNOLOGY – Draft Report

065 STCMT 05 E
Original: Englisch



Parlamentarische Versammlung der NATO

Unterausschuss „Weiterverbreitung von Militärtechnologie“

AUSWIRKUNGEN DER NANOTECHNOLOGIE AUF DIE SICHERHEITSLAGE

BERICHTSENTWURF

Lothar IBRÜGGER (Deutschland)
Berichtersteller*

Internationales Sekretariat

15. April 2005

* Bis zur Genehmigung durch den Ausschuss für Wissenschaft und Technologie gibt das vorliegende Dokument nur die Meinung des Berichterstatters wieder.

Dokumente der Parlamentarischen Versammlung der NATO sind unter <http://www.Nato-pa.int> zu finden

INHALTSVERZEICHNIS

I.	ENTWICKLUNG DER NANOTECHNOLOGIE	1
II.	MÖGLICHE NEGATIVE FOLGEN DER NANOTECHNOLOGIE IM NICHTMILITÄRISCHEN BEREICH	4
III.	MILITÄRISCHE NUTZUNG DER NANOTECHNOLOGIE	7
IV.	AUSWIRKUNGEN AUF MILITÄRSTRATEGIEN UND DAS GLEICHGEWICHT DER KRÄFTE	9
V.	AUSWIRKUNGEN AUF DAS INTERNATIONALE NICHTVERBREITUNGSREGIME UND INTERNATIONALE RÜSTUNGSKONTROLLVEREINBARUNGEN	12
A.	VORBEUGENDER UND LIBERTARIANISCHER ANSATZ	12
1.	Vorbeugender Ansatz	13
2.	Libertarianischer Ansatz	14
B.	ÄNDERUNG VON RÜSTUNGSKONTROLLVEREINBARUNGEN?	14
1.	Anpassung der bestehenden Verträge	15
2.	Neue internationale Initiativen	16
C.	NATIONALE GESETZGEBUNG	18
D.	WISSENSCHAFTLICHER BEITRAG	20
VI.	SCHLUSSFOLGERUNGEN	21

I. ENTWICKLUNG DER NANOTECHNOLOGIE

1. Die Nanotechnologie (NT) kann als das Einwirken auf Werkstoffe und Gerät im Nanometerbereich (ein Milliardstel Meter) - oft auf der Ebene einzelner Atome oder Moleküle - beschrieben werden. Die NT wird als nächste grundlegende Technologierevolution angesehen, da sie die Nutzung einzelner von der klassischen Newtonschen Physik abweichender Gesetze der Physik ermöglicht. Im Nanometerbereich gelten die Gesetze der Quantenmechanik. Die Bedeutung der Schwerkraft nimmt ab, während die Bedeutung der zwischen den Elementarteilchen wirkenden Kräfte zunimmt.

2. Es ist eine weithin bekannte Tatsache, dass die Anordnung der Atome die Eigenschaften von Werkstoffen ändern kann. Zum Beispiel bestehen ein Diamant und ein Stück Kohle aus identischen Kohlenstoffatomen mit unterschiedlicher Anordnung, ähnlich dem Unterschied zwischen einer Menschenansammlung und ordentlich in Reih und Glied stehenden Soldaten. Durch eine andere Anordnung der Atome können Werkstoffe fester oder leichter werden, einen höheren energetischen Wirkungsgrad oder eine bessere elektrische Leitfähigkeit erhalten. Das berühmteste Beispiel sind die im Jahr 1991 entdeckten Kohlenstoff-Nanoröhren, die eine außergewöhnliche Festigkeit und außergewöhnliche elektrische Eigenschaften besitzen.

3. Eine andere Methode zur Änderung von Werkstoffeigenschaften ist das Einbringen kleiner Mengen Nanopartikel. Im Nanobereich verhalten sich Teilchen anders – sie können eine andere Farbe oder andere elektrische Eigenschaften besitzen als wenn sie in großen Mengen auftreten. So könnte beispielsweise durch das Einbringen von Ton-Nanoteilchen in ein Polymer, das für die Ummantelung von Stromleitungen verwendet wird, die Festigkeit des Werkstoffs erhöht und seine Entflammbarkeit herabgesetzt werden.

4. Der vielleicht interessante Aspekt der Nanotechnologieentwicklung ist ihr Potenzial zur Revolutionierung von Fertigungsverfahren durch Einführung eines neuen Baukonzepts, bei dem die Produkte nach dem „Bottom-up“-Verfahren aufgebaut werden, d. h. aus Atomen und Molekülen, um Objekte in allen nur denkbaren Größen und Formen zu schaffen. Während diese Revolution noch in weiter Zukunft liegt, müssen Wissenschaftler gegenwärtig noch die physikalischen Gesetze für den Nachweis der Unmöglichkeit solcher Entwicklungen finden.

5. Die Entwicklung der Nanotechnologie wurde schon 1959 von Richard P. Feynman vorhergesagt, der weithin als einer der größten Physiker des 20. Jahrhunderts angesehen wird. In seinem berühmten Vortrag „There's plenty of Room at the Bottom“ (Dort unten ist noch viel Raum) vor der American Physical Society erklärte er, dass „die Prinzipien der Physik meiner Auffassung nach die

Möglichkeit, Gegenstände auf der Ebene einzelner Atome zu verändern, nicht ausschließen.“ Mehr als zwanzig Jahre später im Jahr 1986 prägte K. Eric Drexler den Begriff „Nanotechnologie“ und verteidigte in seinem mittlerweile zu einem Klassiker gewordenen Buch „Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology“ deren Machbarkeit.

6. Heute ist die Nanotechnologie eine Realität. Wissenschaftlern gelang es, Nanowerkstoffe in verschiedenen Verfahren herzustellen. Das verbreitetste Verfahren bleibt das „Downsizing“ oder die Herstellung eines Nanowerkstoffs durch Verkleinerung der Strukturen bis zur gewünschten Größe („Top-down“) (zum Beispiel durch Ätzen eines Silizium-Mikrochips). Ein Beispiel für den umgekehrten Fall des „Bottom-up“-Verfahrens wäre die Synthese von Kohlenstoff-Nanoröhren unter Verwendung des chemischen Gasphasen-Abscheidungsverfahrens (CVD-Verfahren), das allen Chipherstellern bekannt ist. Nanopartikel können außerdem einzeln durch Spezialwerkzeuge, wie zum Beispiel das Rastertunnelmikroskop (Scanning Tunnel Microscope – STM) und das Rasterkraftmikroskop (Atomic Force Microscope - AFM) und deren verbesserte Ausführungen manipuliert werden. Noch ein anderes Verfahren besteht darin, die Möglichkeiten von DNA-Molekülen zu nutzen, um durch biologische Selbstorganisation einen Nanotransistor, den Grundbaustein der Elektronik, herzustellen.

7. Die Fertigung durch Verschieben einzelner Atome ist jedoch noch nicht für die Massenproduktion geeignet, da dieser Prozess mühsam und zeitaufwändig bleibt. Daher hat eine Reihe von Nanotechnologieforschern, angeführt von Drexler, die Idee einer *molekularen Nanotechnologie* (MNT) befürwortet, die möglicherweise sogar als die einzig wahre Nanotechnologie angesehen werden kann. Bei der molekularen Nanotechnologie würden Objekte durch winzige Nanoroboter gebaut, die außerdem wie Zellen der organischen Welt in der Lage wären, sich selbst zusammenzubauen. Die molekulare Nanotechnologie könnte das Bild der Fertigungsprozesse dramatisch verändern und die Menschheit in die Lage versetzen, Qualitätsprodukte praktisch in beliebiger Menge kostengünstig und umweltschonend herzustellen. Solche selbstreplizierenden Nanoroboter müssen jedoch erst noch erfunden werden. Überdies haben Wissenschaftler wie der Nobelpreisträger Richard Smalley ihre Machbarkeit in Frage gestellt. Gegenwärtig scheint ein anderes Modell einer dreidimensionalen „konvergenten Montage“ plausibler: Produkte könnten auf verschiedenen Fertigungsstufen nach dem Bottom-up-Verfahren hergestellt werden. Das heißt, die kleinsten Elemente würden in größere Teile eingebaut, diese größeren Teile wiederum können in noch größere Teile eingebaut werden und so weiter, bis das Endprodukt fertig ist. Die Elemente würden entsprechend der Fertigungsstufe durch unterschiedlich große Roboter montiert.

8. Eine Reihe von Staaten und Privatunternehmen investieren kräftig in die NT-Forschung. Nach Schätzung der Lux Research, eines auf dem Gebiet der Nanotechnologie tätigen US-amerikanischen Consulting-Unternehmens, betragen die Ausgaben für Nanotechnologie-Forschung und -Entwicklung im Jahr 2004 weltweit insgesamt mehr als 8,6 Milliarden Dollar. Die Ausgaben der US-Regierung für Nanotechnologie-Forschung und -Entwicklung haben sich von 1997 bis 2004 versechsfacht. Die US-Regierung wird im Rahmen ihrer Nationalen Nanotechnologie-Initiative (NNI) im Jahr 2005 fast 1 Milliarde Dollar ausgeben und die Nanotechnologie somit zum größten mit Geldern aus dem US-Bundshaushalt finanzierten amerikanischen Wissenschaftsprogramm machen; das Budget hierfür liegt sogar erheblich über dem für das Human Genomprojekt. Japan investiert ebenfalls massiv, genauso wie andere führende europäische und asiatische Volkswirtschaften. Entwicklungsländer wie Indien, China, Südafrika und Brasilien haben sich dem Wettlauf ebenfalls angeschlossen. Bisher übersteigen die staatlichen Investitionen in die Nanotechnologie bei weitem noch die privater Unternehmen, nach den Prognosen von Lux wird sich dies künftig aber vermutlich ändern.

9. Gegenwärtig beschränkt sich die praktische Anwendung der NT im Wesentlichen auf die Fertigung von Computerchips sowie auf Chemikalien und die Präzisionsfertigung. Verbesserte Sonnenschutzmittel und Kosmetikprodukte, stabilere Tennisschläger, selbstreinigende Fenster, Kraftstoffzusätze, empfindlichere Optiken und leistungsfähigere Computer sind nur einige Beispiele für die ständig größer werdende Liste praktischer NT-Anwendungen. Viele Wissenschaftler glauben, dass der Einsatz der Nanotechnologie in den nächsten Jahrzehnten dramatisch zunehmen und praktisch alle Lebensbereiche erfassen wird. Gemäß den Vorhersagen der British Royal Society und der Royal Academy of Engineering wird die Nanotechnologie in den nächsten Jahren eine Reihe von Produkten merklich verbessern. Abgesehen von ihren revolutionären Auswirkungen auf die Fertigung besitzt die Nanotechnologie das Potenzial, erhebliche Veränderungen auf mehreren Gebieten einschließlich Medizin, IT, Energiepolitik und Militär zu bewirken. Während die leidenschaftlichen Anhänger der Nanotechnologie glauben, dass diese Technologie schließlich in der Lage sein wird, die drängendsten Probleme der Menschheit wie z. B. Hunger, Umweltverschmutzung und tödliche Krankheiten zu beseitigen, warnen andere vor einem möglichen Missbrauch oder Nebenwirkungen, die zu gewaltigen Katastrophen führen könnten. Angesichts des Ausmaßes des NT-Potenzials sollten sich Gesellschaft und Politik ernsthaft mit möglichen Auswirkungen von durch die Nanotechnologie ermöglichten Innovationen befassen.

II. MÖGLICHE NEGATIVE FOLGEN DER NANOTECHNOLOGIE IM NICHTMILITÄRISCHEN BEREICH

10. Zahlreiche Gelehrte haben unter dem Eindruck des revolutionären Charakters der Nanotechnologie bereits eine weitreichende Diskussion über ihre möglichen negativen Folgen begonnen. Neben den möglichen schwerwiegenden Auswirkungen auf die Sicherheit, die im nächsten Kapitel des vorliegenden Berichts angesprochen werden, könnte ein missbräuchlicher Einsatz der Nanotechnologie zudem der Umwelt, der Gesellschaft und Einzelnen Schaden zufügen.

▪ **Auswirkungen auf die Umwelt. „Der graue Schleim“ (Grey Goo)**

Die möglichen Auswirkungen auf die Umwelt sind Grund zur Beunruhigung, da Nanopartikel ganz neuartige Schadstoffarten darstellen können. Solange Nanopartikel in herkömmliche Werkstoffe eingebettet sind (wie dies in der modernen Nanotechnologie meist der Fall ist), stellen sie vermutlich keine besondere Bedrohung für die Umwelt dar. Da die Nanotechnologie in der Zukunft jedoch Fortschritte machen wird, könnten größere Mengen reiner Nanowerkstoffe hergestellt werden. Eine Gefahr besteht in der unkontrollierten Freisetzung von Nanopartikeln, deren mögliche Auswirkung auf Ökosysteme, Umwelt und Nahrungskette größtenteils noch unerforscht und ungeprüft sind. Das drastischste Szenario möglicher nachteiliger Auswirkungen auf die Umwelt – das Grey-Goo-Szenario – wurde von Drexler vorgestellt: Danach würde die molekulare Nanotechnologie eines Tages Realität und Fertigungsprozesse größtenteils durch winzige Nanoroboter durchgeführt. Diese Roboter müssten außerdem selbstreplizierend sein, wobei Drexler darauf hinwies, dass ihre Replikationsfähigkeit außer Kontrolle geraten könnte. Diese autonomen Nanoroboter könnten schnell die gesamte natürliche Umwelt auf der ganzen Welt in Replikas ihrer selbst umwandeln, den aus Nanomasse bestehenden sogenannten „grauen Schleim“ (Grey Goo). Solch ein Szenario wird auch als „globale Ökophagie“⁺ bezeichnet. Viele Wissenschaftler sind hinsichtlich der Plausibilität eines solchen Szenarios äußerst skeptisch. Bis jetzt weiß die Wissenschaft noch nicht, wie ein selbstreplizierender Roboter zu bauen ist. Es ist beispielsweise nicht klar, wie diese Roboter mit der für ihr Überleben erforderlichen Energie versorgt werden können. Dem Vorsichtsprinzip folgend sollten Bedenken in Bezug auf Nanoroboter jedoch nicht ignoriert werden, solange sie nicht aus grundsätzlichen oder technischen Erwägungen heraus ausgeräumt sind.

⁺ AdÜ: oikos: gr. „Haus, Haushaltung, Heimat“, Wortbildungselement mit den Bedeutungen „Lebensraum, Umwelt“; phagein: gr. „Fressen, Zerstörung“

- **Toxizität von Nanopartikeln**

Realistischere Bedenken beziehen sich auf das Toxizitätspotenzial von Nanopartikeln. Tatsächlich ist im Bereich der Nanotechnik das Oberfläche/Volumen-Verhältnis von Partikeln erheblich höher als bei aus einer festen Masse bestehenden Stoffen, weshalb sie reaktiver und potenziell gefährlicher sind. Da diese Partikel winzig klein sind, könnten sie in der Lage sein, in Zellen einschließlich in Blut- und Gehirnzellen einzudringen, sie zu schädigen und das menschliche Immunsystem zu stören. Kohlenstoff-Nanoröhren beispielsweise ähneln Asbestfasern und könnten eine ähnliche Gefahr für die Lunge darstellen. In ihrem berühmten Bericht drängte die British Royal Society auf eine gründliche Untersuchung der Toxizität von Nanowerkstoffen und empfahl, sie als neuartige Chemikalien gemäß den bestehenden Bestimmungen des Vereinigten Königreichs und der EU einzustufen. Die British Royal Society wies außerdem darauf hin, dass Nanopartikel seit Jahren im Bereich der Computertechnologie oder der Kraftstoffzusätze verwendet werden, ohne dass es bislang zu Schäden kam. Die Toxizität von Nanopartikeln könnte andererseits positive Effekte haben, vor allem in der Medizin. Beispielsweise könnte die Fähigkeit dieser Partikel, menschliche Zellwände zu durchdringen, dazu genutzt werden, mit bisher nie da gewesener Genauigkeit Arzneimittel bestimmten Körperstellen zuzuführen. Nanomaschinen könnten außerdem Krebszellen ansteuern und gezielt zerstören. Indes werden dringend weitere Informationen über die Toxizität von Nanowerkstoffen benötigt.

- **Einsatz im menschlichen Körper**

Dieses kontroverse Thema hat voraussichtlich bedeutsame ethische Implikationen. Es könnten winzige Nanoimplantate zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit des menschlichen Körpers konstruiert werden. Die Steigerung der Leistungsfähigkeit des menschlichen Gehirns ist ein besonders heikles Thema. Neurofunktionale Nanomaschinen können zwar zur Heilung Gelähmter mit Rückenmarkverletzungen beitragen, sie würden aber unweigerlich leidenschaftliche Diskussionen über das „Verschmelzen von Mensch und Maschine“ entfachen. Die Gesellschaft sollte sich spezielle Regeln geben, damit diese Entwicklungen unter öffentlicher Kontrolle bleiben.

- **Nanogrenze**

Viele Staaten sehen bereits die Entstehung einer IT-Grenzlinie, die der Grenze zwischen armen und reichen Staaten in der Welt entspricht. Dieses Wohlstandsgefälle wird durch die

nanotechnologische Revolution wahrscheinlich noch vergrößert, so dass eine sogenannte Nanogrenze entstehen würde. Der Übergang von einer Prä-nano- in eine Post-nano-Welt könnte traumatisch verlaufen und den Graben zwischen Wohlhabenden und Habenichtsen vergrößern. Das Gefälle wird voraussichtlich beträchtlich sein. Die National Science Foundation (NSF) unterstützt diese Einschätzung: „Diejenigen, die an der Nanorevolution teilhaben, haben die Chance, sehr reich zu werden. Diejenigen, die nicht daran teilhaben, werden es möglicherweise zunehmend schwer haben, sich die durch eine derartige Revolution ermöglichten technischen Wunderdinge zu leisten.“

▪ **Privatsphäre**

Die durch die Nanotechnologie erleichterte Miniaturisierung wird wahrscheinlich zur Schaffung extrem kleiner und praktisch unsichtbarer Videokameras, Mikrophone und Sender führen, so dass es erheblich leichter wird, Personen ohne deren Einverständnis abzuhören und zu observieren und folglich ihr Recht auf Privatsphäre zu gefährden.

11. Gesellschaftliche und umweltrelevante Folgen der Nanotechnologie haben bereits die Aufmerksamkeit verschiedener Interessengruppen und Nichtregierungsorganisationen erregt. Einige Gruppen rufen verstärkt nach einem vollständigen Moratorium für den Einsatz von Nanopartikeln: So erstellte beispielsweise Corporate Watch – eine konzernkritische Bewegung in Großbritannien – einen Bericht über die „dunkle Seite der Nanotechnologie, die zu gefährlichen Substanzen, zu militärischer Anwendung und zu einer gewaltigen Zunahme der Macht von Unternehmen“ führen könnte. Debatten können die Meinung einer breiteren Öffentlichkeit merklich beeinflussen, wie der Fall der gentechnisch veränderten Lebensmittel zeigt.

12. Es gibt jedoch bestimmte Gründe für die Annahme, dass die Nanotechnologie leichter akzeptiert würde als gentechnisch veränderte Lebensmittel. Viele Umweltschützer sehen den potenziellen Nutzen der Nanotechnologie für die Umwelt – zum Beispiel bei verbesserten Verfahren zur Wasserentgiftung oder bei der Senkung der Kosten für Solarzellen. Gruppen, die für soziale Gerechtigkeit eintreten, werden möglicherweise feststellen, dass die Nanotechnologie ein einzigartiges Werkzeug zur Bekämpfung von Armut und Krankheiten sein könnte. Außerdem beschäftigen sich viele Entwicklungsländer einschließlich China, Indien und Brasilien stark mit der Nanotechnologie.

III. MILITÄRISCHE NUTZUNG DER NANOTECHNOLOGIE

13. Ein Großteil der Debatte über die Nanotechnologie konzentriert sich auf ihre künftige Bedeutung für den IT-Bereich und die Medizin; die möglichen militärischen Anwendungsfelder der Nanotechnologie haben in der Öffentlichkeit jedoch noch keine angemessene Aufmerksamkeit gefunden, und das obwohl die Nanotechnologie für militärische Planer immer wichtiger wird. Die für die militärische Nutzung der Nanotechnologie bereitgestellten Mittel machen einen wesentlichen Anteil an den für die Nanotechnologie bereitgestellten Gesamtmitteln aus.

14. Die Vereinigten Staaten sind führend in der Nanotechnologie-Forschung und -Entwicklung für militärische Zwecke. Tatsächlich befasst sich das US-Militär seit den 1980er Jahren mit diesem Gebiet, wobei der Schwerpunkt auf Submikroelektronik und Rastersondenmikroskopie liegt. Im Jahr 1996 wurde die Nanotechnologie als eines der sechs strategischen Forschungsgebiete des Verteidigungsbereichs festgelegt. Dementsprechend gingen seit Beginn der Nationalen Nanotechnologie-Initiative (NNI) der Vereinigten Staaten im Jahr 2000 zwischen 25 und 30 % der NNI-Mittel an das US-Verteidigungsministerium. Im Jahr 2005 soll das US-Verteidigungsministerium 276 Millionen US-Dollar für die Nanotechnologie erhalten, wohingegen das Ministerium für innere Sicherheit (Department of Homeland Security) zusätzlich 1 Millionen US-Dollar für diesen Zweck erhält, was ungefähr 28 % des US-Gesamt-NT-Budgets ausmacht. Der US-amerikanische militärische Forschungs- und Entwicklungsbereich konzentriert sich auf die Entwicklung von Miniatursensoren, Hochgeschwindigkeitsverarbeitung, unbemannte Kampffahrzeuge, verbesserte Ausbildungssimulatoren und eine Steigerung der menschlichen Leistungsfähigkeit.

15. Das Verteidigungsministerium des Vereinigten Königreichs befasst sich ebenfalls mit der Nanotechnologie-Forschung und -Entwicklung für militärische Zwecke und wendet hierfür pro Jahr ungefähr 1,5 Millionen £ auf. Schweden hat 11 Millionen Euro verteilt über fünf Jahre in die militärische Nanotechnologie-Forschung und -Entwicklung investiert und die EU stellt im Zeitraum 2004 bis 2006 zur Verbesserung des europäischen industriellen Potenzials auf dem Gebiet der Sicherheitsforschung 65 Millionen Euro bereit. Auch wenn die Nanotechnologie dabei nicht gesondert erscheint, haben einige dieser Bereiche NT-Relevanz.

16. Die Nanotechnologie für militärische Zwecke befindet sich größtenteils noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium. Nach Aussage von Dr. Jürgen Altmann, einem der prominentesten Forscher auf dem Gebiet der militärischen Nanotechnologie, wird es 5 bis 20 Jahre dauern, bis es erste Anwendungen dieser Forschungstätigkeiten gibt. Es ist zu erwarten, dass NT-basierte *Systeme, die am Mann getragen werden*, in naher Zukunft eingeführt werden. Im Jahr 2002 wurde das Institute for Soldier Nanotechnology (ISN) am Massachusetts Institute of Technology (MIT)

geschaffen und mit Mitteln in Höhe von 50 Millionen US-Dollar verteilt über fünf Jahre aus dem Topf der US Army ausgestattet. Ziel dieses Forschungszentrums ist es, mit Hilfe der Nanotechnologie einen kugelsicheren Kampfanzug herzustellen und dadurch den Schutz und die Überlebensfähigkeit des Infanteristen in hohem Maße zu verbessern. Die Planer der US-Army hoffen, das Gewicht der Gefechtsausrüstung des Soldaten verringern zu können. Diese Systeme könnten außerdem den Gesundheitszustand des Trägers überwachen, Ausdauer und Reaktionsvermögen verbessern, Verletzungen teilweise oder sogar vollständig heilen, die Kommunikationsfähigkeit verbessern und den Schutz des Soldaten gegen biologische oder chemische Waffen erhöhen.

17. Die Nanotechnologie könnte die Militärtechnik dramatisch verbessern. *Leichtere, festere und hitzebeständige Nanowerkstoffe* könnten für die Fertigung aller Arten von Waffen verwendet werden und so Militärtransporte schneller machen, Panzerungen verstärken und energiesparend wirken. Es könnten erdeindringende Waffen entstehen, die statt Nuklearmaterial Nanomaterial enthalten. Die Eigenschaften von Nanowerkstoffen können auch für eine bessere Tarnung genutzt werden.

18. Ein entscheidender von der Nanotechnologie begünstigter Durchbruch in der *Elektronik* könnte zur Schaffung kleinerer, aber sehr leistungsfähiger Computer, sehr kleiner Sensoren und anderer Geräte führen, die in vielerlei Hinsicht militärisch genutzt werden könnten. Informationen könnten effizienter gespeichert und analysiert werden, durch den Einsatz von Nanosensoren könnte die Fähigkeit zur Nachrichtengewinnung und Überwachung erheblich gesteigert werden, die Treffgenauigkeit von Geschossen könnte erheblich verbessert werden und die Kommunikationssysteme könnten ebenso wie Ausbildungssimulatoren technisch viel anspruchsvoller werden. Winzige Sensoren oder sogar Nanocomputer könnten in verschiedene militärische Artikel, in Munition, Geschosse oder Uniformen integriert werden und diese „intelligent“ machen. Einige futuristischere Visionen sehen sogar voraus, dass es aufgrund der Entwicklung der Nanotechnologie möglich sein wird, autonome Kampfroboter zu entwickeln und künstliche Intelligenz militärisch einzusetzen.

19. Es ist strittig, ob die Nanotechnologie auch im Bereich der Kernwaffen wesentliche Änderungen herbeiführen könnte, da die Gesetze der Physik immer noch eine kritische Masse von Uran oder Plutonium erforderlich machen. Die Nanotechnologie könnte jedoch zur Verbesserung der Sicherungseinrichtungen und Auslösesysteme von Kernwaffen eingesetzt werden. Andererseits argumentiert Dr. André Gsponer, Direktor des Independent Scientific Research Institute in Genf, dass die Nanotechnologie durch hitze- und strahlungsresistente Werkstoffe tatsächlich zur Miniaturisierung und Sicherheit von Atombomben beitragen kann. Damit könnte die Nanotechnologie für den Bau von Kernwaffen der vierten Generation eingesetzt werden. Es würde sich dabei um eine

„saubere“ Atombombe mit niedrigem Detonationswert und Fusionsbrennstoff handeln, die kein oder sehr wenig spaltbares Material enthalten und daher nach der Detonation keinen radioaktiven Niederschlag verursachen würde. Derartige Atombomben könnten möglicherweise in erdeindringenden Flugkörpern verwendet werden.

20. Das Potenzial für NT-Innovationen in *chemischen und biologischen Waffen* ist besonders beunruhigend, da die Nanotechnologie die Einsatzmittel für Kampfstoffe und toxische Stoffe erheblich verbessern kann. Die Fähigkeit von Nanopartikeln, in den menschlichen Körper und seine Zellen einzudringen, könnte dazu führen, dass der Einsatz biologischer und chemischer Kampfstoffe durchführbarer wird, leichter zu bewerkstelligen ist und gegen bestimmte Gruppen oder Einzelpersonen gerichtet werden kann. Dr. Sean Howard, einer der bedeutendsten Experten für die Auswirkungen der Nanotechnologie auf die Sicherheitslage, hat die Bedrohung durch biologische und chemische Kampfstoffe sogar als „echten Nanoschleim“ (real nano goo) bezeichnet.

21. Andererseits bietet die Nanotechnologie Möglichkeiten, die Verbreitung von biologischen und chemischen Waffen zu bekämpfen und dadurch die innere Sicherheit wirkungsvoll und umfassend zu stärken. Empfindliche, selektive und kostengünstige Sensoren auf Nanotechnologie-Basis könnten aufgrund des großen Oberfläche/Volumen-Verhältnisses von Nanopartikeln Bestandteile von chemischen, biologischen oder atomaren Waffen auf der atomaren oder molekularen Ebene detektieren und binden. Dies ist sehr bedeutsam, da einige Kampfstoffe sogar in winzigen Mengen tödlich sein können. Chemische und biologische Verteidigungssysteme mit Nanosensoren könnten an öffentlichen Orten wie z. B. Schulen oder Regierungsgebäuden, in öffentlichen Transportsystemen, militärischen Systemen und an Grenzübergangsstellen installiert werden. Und schließlich könnten Nanomaschinen auch zur Dekontaminierung von Orten oder Einzelpersonen eingesetzt werden, die chemischen oder biologischen Waffen ausgesetzt waren.

IV. AUSWIRKUNGEN AUF MILITÄRSTRATEGIEN UND DAS GLEICHGEWICHT DER KRÄFTE

22. Die Auswirkungen der Nanotechnologie auf Militärstrategien sowie ihre Folgen für bestehende internationale Rüstungskontrollvereinbarungen werden von zeitgenössischen Denkern nicht mit der gebührenden Aufmerksamkeit bedacht. Es sind nur wenige öffentlich verfügbare Studien zu diesem Thema erstellt worden, von denen die von Dr. Altmann, Sean Howard und André Gspöner zu den am häufigsten zitierten gehören.

23. Im Jahr 1995 behauptete Admiral David Jeremiah, ehemaliger Vice-Chairman der Joint Chiefs of Staff, dass „militärische Anwendungen molekularer Fertigungsprozesse ein noch größte-

res Potenzial zur radikalen Veränderung des Gleichgewichts der Kräfte besitzen als Kernwaffen“. Tatsächlich können Staaten, die wirkungsvollere Datenverarbeitungssysteme auf Nanotechnologie-Basis und alles überwachende Sensornetze besitzen, im Zeitalter der Informationstechnik und der Informationskriegführung bedeutsame Vorteile erzielen. Es ist ein *Rüstungswettlauf* zu erwarten. In den kommenden Jahren werden die Vereinigten Staaten, so die Prognose von Dr. Altmann, dabei weiterhin vorn liegen, auch wenn ihnen einige Staaten nur ein paar Jahre zurückliegend folgen werden. Nach seiner Aussage „werden die USA in vorausschauender Weise schon zu einem frühen Zeitpunkt an Gegenmaßnahmen arbeiten. Die Reaktion anderer könnte so aussehen, dass sie verstärkt auf asymmetrische Kriegführung setzen, wozu auch Angriffe gegen die Infrastruktur oder der Einsatz von Massenvernichtungswaffen gehören.“

24. Änderungen der *Militärstrategie* werden daher unvermeidlich sein. Dr. Altmann warnt vor einer aufgrund der Nanotechnologie zunehmend autonom erfolgenden militärischen Entscheidungsfindung, da „ein Abwägen der Situation durch den Menschen wegen des damit verbundenen Zeitverlustes zu klaren Nachteilen führen könnte. Es könnte eine nicht mehr steuerbare Abfolge von Aktion und Reaktion zwischen den Gegnern bzw. den Warn- und Angriffssystemen entstehen.“ Was die Wirksamkeit von nanotechnologiebasierter Verteidigung gegenüber nanotechnologiebasierten Angriffen betrifft, so erkennt Dr. Altmann keine Hinweise für die Überlegenheit der Verteidigung, so dass „Gegen- und Präventivangriff in einem bewaffneten Konflikt vermutlich eine wichtige Rolle spielen werden.“

25. Sollte das Szenario einer molekularen Nanotechnologie mit selbstreplizierenden Nanomaschinen durchführbar werden, könnten sich diese Gefahren erheblich verschärfen. Dr. Altmann beschreibt solch ein Szenario mit erschreckenden Worten: „Nanoroboter würden eine extreme Unsicherheit schaffen, und zwar zum Teil wegen ihrer geringen Größe, hauptsächlich aber wegen ihrer Fähigkeit zur Selbstreplikation und ihrer Fähigkeit, vor Ort weitere Waffen herzustellen. Die frühzeitige Stationierung von solchen Nanosystemen gegen einen möglichen Gegner wäre einfacher. Der Druck, schnell zu handeln und einen automatischen Entscheidungsfindungsprozess zu verwenden, würde zunehmen. Auf allen Ebenen könnte es nicht mehr steuerbare Aktion-Reaktion-Prozesse geben, angefangen bei den Molekülen bis hin zu konventionellen Entscheidungsprozessen. Es gäbe sowohl für technologisch führende wie auch für technologisch hinterherhinkende Mächte Motive für Präventivangriffe. Aufgrund des Bestrebens, einen technologischen Vorteil zu halten, auszubauen oder aufzuholen würde die molekulare Nanotechnologie außerdem zu beispiellosen Rüstungswettläufen führen. Der Druck, schnell zu handeln, würde erheblich verstärkt, wenn von vorhandenen Fähigkeiten zu einer schnell wachsenden autonomen Rüstungsproduktion

auszugehen ist. Theoretisch könnte der allererste Nutzer einen uneinholbaren Vorsprung besitzen, der ihm die Weltvorherrschaft sichert.“

26. Einige Analysten glauben, dass Nanowaffen Kernwaffen als neues Mittel der *strategischen Abschreckung* ersetzen könnten. Nach Scott Race von RAND liegt das Potenzial der Nanotechnologie in einer größeren Zahl von Optionen, die für eine militärische Antwort auf eine Aggression in Frage kommen:

27. „Im Nuklearwaffenbereich würden eine genaue Lenkung durch Nanocomputer und niedrige Herstellungskosten für Nanomaschinen die aktuelle Entwicklung zu mehr „intelligenter Munition“ beschleunigen.“ Marschflugkörper und ballistische Flugkörper könnten mit Hilfe der Nanotechnologie so verbessert werden, dass diese Flugkörper massierte konventionelle Kräfte oder weit entfernte Hartziele mit konventionellem Sprengstoff vernichten bzw. zerstören könnten, ohne dass dafür Kernwaffen erforderlich wären. Konventionelle Sprengstoffe ihrerseits könnten durch sogenannte molekulare Disassembler ersetzt werden, die schnell zur Wirkung kämen, aber weniger unbeabsichtigte Kollateralschäden zur Folge hätten. Ronald Reagans Ziel, Kernwaffen zu „nutzlosen und anachronistischen“ Waffen zu machen, könnte statt durch ein weltraumgestütztes Verteidigungssystem durch terrestrische Nanowaffen erreicht werden, die Kernwaffen bedeutungslos machen würden.“

28. Mark Avrum Gubrud von der University of Maryland geht sogar noch weiter mit seiner Behauptung, dass herkömmliche Kernwaffen den klassischen Krieg zu einem Anachronismus machen, da es unmöglich ist, mit ihnen einen „sinnvollen“ Sieg zu erreichen. Im Falle der Nanotechnologie jedoch wird Abschreckung zu einem Anachronismus, „da es nicht möglich sein wird, einen stabilen bewaffneten Frieden zwischen nanotechnologisch bewaffneten Rivalen aufrechtzuerhalten.“

29. Wie im obigen Kapitel bereits gesagt, wird die Nanotechnologie die *chemische und biologische Kriegführung* durchführbarer und wirkungsvoller machen. Obwohl diese Art der Kriegführung als unmoralisch betrachtet wird und durch internationale Übereinkommen verboten ist, wird die Nanotechnologie qualitativ neuartige Verbesserungen bringen, die wahrscheinlich die Aufmerksamkeit von Schurken erregen werden. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist unklar, ob die durch die Nanotechnologie ermöglichten Gegenmaßnahmen sich als so wirksam erweisen werden, dass diese Bedrohung verringert werden kann.

30. Aus *taktischer Sicht* könnte die Nanotechnologie die Notwendigkeit einer Truppenpräsenz vor allem aufgrund der möglichen Entwicklung von Nanosensoren merklich verringern. Nach Aus-

sage von William Schneider, dem Vorsitzenden des Defense Science Board, „besitzen Nanosensoren das Potenzial, die Kriegsnebel zu vertreiben. Durch eine Fülle von Sensoren erhält die militärische Führung ein vollständiges Bild der taktischen Lage.“ S. Pace von RAND ergänzt diese Aussage durch die Feststellung, dass „Nanocomputer eine bessere Überwachung potenzieller Aggressoren ermöglichen können. Aus der von Sensoren auf der ganzen Welt kommenden Datenflut könnten die wirklich bedrohlichen Aktivitäten effizienter herausgefiltert werden. In einem Krieg geringer Intensität könnten intelligente Sensoren und Sperrsysteme die Bewegungen von Guerillakräften je nach Gelände isolieren oder in eine bestimmte Richtung lenken. Im Bereich der konventionellen Kriege kann die Nanotechnologie zu kleinen, kostengünstigen und hochwirksamen Panzerabwehrwaffen führen. Mit Hilfe solcher Waffen könnten zahlenmäßig relativ schwache Infanteriekräfte Angriffe starker Panzertruppen abwehren.“

31. Ungeachtet der technischen Neuerungen werden jedoch *konventionelle Kräfte* wie Luft-, See- und Landstreitkräfte nicht verschwinden, da sie immer noch zur Ausführung ihrer originären Aufgaben gebraucht werden. Die Gesetze der Physik beispielsweise schränken die Bewegungsmöglichkeiten sehr kleiner Objekte ein. Die Zerstörung großer Ziele wird immer noch den massiven Einsatz von Munition und Trägersystemen erfordern. So könnte die Entwicklung hin zu einem Mix aus Makro-, Mikro- und Nanowaffen gehen.

V. AUSWIRKUNGEN AUF DAS INTERNATIONALE NICHTVERBREITUNGSREGIME UND INTERNATIONALE RÜSTUNGSKONTROLLVEREINBARUNGEN

A. VORBEUGENDER UND LIBERTARIANISCHER ANSATZ

32. Die Nanotechnologie beinhaltet sowohl große Chancen als auch gewisse Risiken. Wie sollen Nationalstaaten und die internationale Gemeinschaft mit diesen Chancen und Risiken umgehen? Welche Schritte sollten unternommen werden, um das bestehende Nichtverbreitungsregime und die bestehenden Rüstungskontrollvereinbarungen zu ändern? In der Literatur zur Nanotechnologie lassen sich grob zwei verschiedene Ansätze unterscheiden: Der eine fordert ein Moratorium für die NT-Forschung und –Entwicklung oder sogar ein dauerhaftes Verbot und der andere befürwortet eine Weiterentwicklung der Nanotechnologie und aller ihrer potenziellen Vorteile. Diese beiden Ansätze werden als "vorbeugend" (oder "Schutzzonenansatz") bzw. als "libertarianisch" (oder "Pro-Fortschritt-Ansatz") bezeichnet.

1. Vorbeugender Ansatz

33. Das vorbeugende Prinzip im eigentlichen Sinne verbietet eine Tätigkeit, wenn auch nur das geringste Risiko für eine größere Katastrophe besteht. Selbst bei erheblichem Nutzen einer Tätigkeit wird schon die Möglichkeit einer größeren Katastrophe als hinreichender Grund für das Zurückstellen jeglicher Aktivitäten angesehen, und zwar ohne Rücksicht auf die Kosten. Mit anderen Worten, dieses Prinzip folgt der Losung des hippokratischen Eids, „an erster Stelle Schädigungen verhindern.“

34. Der prominenteste Wortführer der Anhänger des vorbeugenden Ansatzes ist Bill Joy, obwohl er selbst Gründer von Sun Microsystems ist. Im April 2000 trat Bill Joy in seinem berühmten Artikel „Why the Future Doesn't Need Us“ (Warum uns die Zukunft nicht braucht) in der Zeitschrift *Wired* vehement für die Notwendigkeit ein, auf die Entwicklung der Technologien des 21. Jahrhunderts wie Gentechnologie, Nanotechnologie und Robotertechnik zu verzichten. Sein Kernargument war, dass verantwortungslose Gruppen oder sogar Einzelpersonen sich dieser Technologien bedienen können, anders als dies bei den unhandlichen Waffen der Vergangenheit der Fall war. Joy warnt davor, dass mit der Nanotechnologie die klassische Bedrohung durch Massenvernichtungswaffen um die wissensbasierte Massenvernichtung erweitert wird: „Sie brauchen keine großen Anlagen oder seltene Rohstoffe. Das Wissen allein versetzt sie in die Lage, diese Vernichtungswaffen einzusetzen.“ Die Bedrohung durch die wissensbasierte Massenvernichtung ist nach Auffassung von Joy größer als die durch die klassischen Massenvernichtungswaffen, da die wissensbasierte Massenvernichtung „Extremisten eine überwältigende und schreckliche Macht“ zu verleihen verspricht.

35. Joy schlägt vor, dass „wir das Streben nach diesem Wissen und die Entwicklung dieser Technologien aufgeben - Technologien, die so gefährlich sind, dass wir es für besser erachten, wenn sie niemals zur Verfügung stehen“ und er fügte in diesem Zusammenhang an, dass auch er an das Streben nach Wissen und die Entwicklung von Technologien glaube; dennoch habe es wie im Fall der biologischen Waffen bereits Fälle gegeben, wo der Verzicht offensichtlich eine kluge Wahl war. Er hat Wissenschaftler und Ingenieure aufgefordert, eine dem hippokratischen Eid entsprechende Verpflichtung einzugehen, die es ihnen verbietet, Technologien mit Massenvernichtungspotenzial zu entwickeln.

36. Joys Bedenken wurden durch eine kanadische Gruppe von Umweltaktivisten, die Action Group on Erosion, Technology, and Concentration (ETC Group), wiederholt. Im August 2002 verlangte die ETC Group bis zur Einführung spezieller Protokolle zur Arbeitssicherheit ein weltweites Moratorium für Forschung und Entwicklung und technisch hergestellte Nanowerkstoffe. Die Grup-

pe hob hervor, dass keine ausreichenden Daten über potenziell nachteilige Auswirkungen vorliegen und verlangte spezielle reglementierende Maßnahmen.

2. Libertarianischer Ansatz

37. Bei diesem Ansatz wird die Ansicht vertreten, dass bestimmte Risiken in Zusammenhang mit der technischen Entwicklung unvermeidbar sind und dass die Entscheidung über die Fortsetzung von Entwicklungsarbeiten aufgrund einer Bewertung der potenziellen Kosten, Vorteile und Risiken getroffen werden sollte. Die Befürworter der Nanotechnologie glauben, dass ein Verbot der Forschung und Entwicklung oder ein diesbezügliches Moratorium sogar kontraproduktiv sein könnte, da es eine wissenschaftliche Bewertung und damit (möglicherweise) auch eine Verminderung der Risiken verhindern würde. Das Center for Responsible Nanotechnology (CRN) warnt, dass „die Untätigkeit der Verantwortungsbewussten leicht zur Entwicklung und zum Einsatz molekularer Fertigungsprozesse durch weniger Verantwortungsbewusste führen könnte. Fehlendes technisches Wissen wird dazu führen, dass sich die Welt gegen Missbrauch nur schlecht schützen kann.“

38. Einer der prominentesten Verfechter des libertarianischen Ansatzes ist Freeman J. Dyson, der den größten Teil seines Lebens Professor für Physik am Institute for Advanced Study in Princeton war und mittlerweile emeritiert ist. Dyson argumentierte, dass Joy „die lange Geschichte wirkungsvoller Maßnahmen der internationalen Biologengemeinschaft zur Reglementierung und zum Verbot gefährlicher Technologien“ unberücksichtigt lässt. Dyson war außerdem gegen die Zensur wissenschaftlicher Arbeit durch internationale oder nationale Behörden.

39. Im Juni 2004 trafen sich Nanotechnologieexperten aus 25 Staaten in Arlington, Virginia, um den internationalen Dialog über eine verantwortungsbewusste Nanotechnologieforschung und -entwicklung zu begründen (International Dialogue on Responsible Research and Development of Nanotechnology). Auf dieser Tagung stimmten die anwesenden Wissenschaftler darin überein, dass die Nanotechnologie in verantwortungsvoller Weise entwickelt werden könne und dass kein Moratorium verhängt werden sollte. Selbst die ETC Group schien von der verantwortungsbewussten Einstellung der Wissenschaftler und der Regierungen ermutigt, auch wenn sie ihre Forderung nach einem Moratorium nicht zurückzog.

B. ÄNDERUNG VON RÜSTUNGSKONTROLLVEREINBARUNGEN?

40. Die meisten Experten sind der Meinung, dass der neu entstehende Nanotechnologiebereich wahrscheinlich Auswirkungen auf die bestehenden Rüstungskontrollvereinbarungen haben wird. Es gibt Befürchtungen, dass die durch die Nanotechnologie ermöglichte Miniaturisierung von

Waffen und zugehörigen Artikeln die Verbreitung leichter macht und dass manche der neu entwickelten und militärisch nutzbaren Nanotechnologie-Produkte nicht unter die bestehenden Regelungen fallen könnten. Die internationale Gemeinschaft sieht sich daher unter einem wachsenden Druck, mit diesem Problem entweder gemäß dem vorbeugenden oder dem libertarianischen Ansatz fertig zu werden und bestehende Vereinbarungen anzupassen und/oder neue Vereinbarungen zu treffen.

1. Anpassung der bestehenden Verträge

41. Zuallererst könnte, wie Dr. Altman ausführt, das *B-Waffen-Übereinkommen* durch die Einführung neuer Kampfstoffe unterlaufen werden. Er schlägt vor, dieses Übereinkommen „um eine klärende Interpretation zu ergänzen, so dass mikroskopische (NT-)Systeme, die in den Körper eindringen können und ganz oder teilweise künstlich sind, unter das Vertragswerk fallen.“ Außerdem teilt der Berichterstatter voll die von Dr. Altmann mit Nachdruck vertretene Ansicht, dass dringend ein Protokoll über Maßnahmen zur Verifizierung und Einhaltung des B-Waffen-Übereinkommens benötigt wird, damit dessen erfolgreiche Umsetzung sichergestellt werden kann.

42. Das *C-Waffen-Übereinkommen* sollte an dieser Stelle ebenfalls erwähnt werden, da eine klare Trennung zwischen Biologie und Chemie im Bereich der Nanotechnologie nicht möglich ist. Dieses Übereinkommen sollte nach Ansicht von Dr. Altmann „um eine klarstellende Interpretation ergänzt werden, dass bei (NT-)Kampfstoffen, die kleiner sind als Zellen und den Lebensvorgängen innerhalb der Zellen Schaden zufügen, jede Schädigung als „chemische Wirkung“ gemäß Artikel II anzusehen ist. Das C-Waffen-Übereinkommen sieht Verifizierungsmaßnahmen vor, die auch in unzugängliche Bereiche vordringen.“

43. Der Berichterstatter ist der Meinung, dass die Nanotechnologie Mittel (d. h. NT-Verifizierungswerkzeuge wie beispielsweise Nanosensoren) bereitstellen wird, die diese Übereinkommen stärken werden.

44. Gsponer weist darauf hin, dass möglicherweise Kernwaffen der vierten Generation (niedriger Detonationswert, „sauber“ und im taktischen Bereich einsetzbar) ohne Verletzung des Vertrags über ein umfassendes Verbot von Kernwaffenversuchen entwickelt werden könnten.

45. Im Bereich der konventionellen Kräfte könnte es nach Aussage von Dr. Altmann aufgrund der durch die Nanotechnologie ermöglichten Miniaturisierung und Automatisierung möglich werden, den Vertrag über konventionelle Streitkräfte in Europa (KSE-Vertrag) durch den Einsatz neuartiger Waffen wie autonomer Mikroroboter, unbemannter Fahrzeuge oder elektromagnetischer Kanonen unterhalb der für Panzer festgelegten Kalibergrenze von 75 mm zu umgehen. Er weist

auch darauf hin, dass autonome NT-Kampfsysteme Nichtkombattanten oder nicht einsatzfähige Kombattanten nicht zuverlässig erkennen können und damit das Kriegsvölkerrecht verletzt werde.

2. Neue internationale Initiativen

46. Einige Analysten wie Dr. Altmann, Howard und Gubrud meinen, dass die internationale Gemeinschaft neue multilaterale Übereinkommen schließen sollte, um die gefährlichen Auswirkungen der Nanotechnologie in angemessener Weise unter Kontrolle zu bringen.

47. Howard plädiert dafür, zusätzlich zum Weltraumvertrag (Outer Space Treaty) von 1976 einen sogenannten Nanosphärenvertrag (Inner Space Treaty) (für den Bereich der Atome und Moleküle) abzuschließen. Howard hat zwei Versionen eines solchen Vertrags entworfen, eine auf der Basis des „libertarianischen“ Ansatzes und einen auf der Basis des „vorbeugenden“ Ansatzes. In der „libertarianischen“ Version würden die Vertragsparteien vereinbaren, dass „die Nanosphäre allen Staaten unterschiedslos für Forschung und Nutzung zur Verfügung stehen soll“, die Parteien würden sich jedoch verpflichten, „auf die Entwicklung, Erprobung und Stationierung jeglicher aus Atomen konstruierter Objekte, die atomare, chemische, biologische oder sonstige Massenvernichtungswaffen tragen, und auf den Einbau solcher Waffen in Apparaturen oder Geräte jeglicher Art in welcher Umgebung auch immer zu verzichten. Die Nanosphäre ist von allen Vertragsparteien ausschließlich für friedliche Zwecke zu nutzen.“ Der Vertragsentwurf enthält außerdem Bestimmungen über Verifizierungsmaßnahmen, wie Beobachtung, Ankündigung und Transparenz von Tätigkeiten und die Inspektion von Anlagen.

48. In Howards Vertragsentwurf auf der Basis des „vorbeugenden“ Ansatzes mit der Bezeichnung „Vertrag über das Verbot der nanotechnologischen Erforschung und Nutzung der Nanosphäre (Bereich der Atome und Moleküle)“ wird festgestellt, dass die Nanotechnologie „neue und erweiterte Möglichkeiten der Massenvernichtung“ eröffnet und „eine schwerwiegende und nicht zu mindernde Bedrohung für die gesamte Menschheit und die Biosphäre darstellt“. Daher verpflichten sich die Vertragsparteien, „unter allen Umständen auf die Beteiligung an und die Unterstützung und Förderung von Aktivitäten in ihrem Zuständigkeitsbereich zu verzichten, die mit der Erforschung und Nutzung der Nanosphäre (Ebene der Atome und Moleküle) verbunden sind oder sich darauf beziehen“. Der Vertragsentwurf sieht zur Durchsetzung des Verbots außerdem die Schaffung einer „Organisation für das Verbot der Nanotechnologie“ (Organisation for the Prohibition of Nanotechnology (OPN)) vor.

49. Dr. Altmann ist ein außerdem ein energischer Befürworter der vorbeugenden Rüstungskontrolle. Er lobte frühere Bemühungen der internationalen Gemeinschaft zur rechtzeitigen Begren-

zung bestimmter Entwicklungen in der Militärtechnologie. Als Beispiele seien die Verträge über ein umfassendes Verbot von Kernwaffenversuchen von 1963 und 1996, der Vertrag über die Begrenzung der Systeme zur Abwehr ballistischer Flugkörper (ABM-Vertrag) von 1972, das B-Waffen-Übereinkommen von 1972, das C-Waffen-Übereinkommen von 1993 und das Protokoll über blindmachende Laserwaffen von 1995 genannt.

50. Dr. Altmann schlägt die Aufnahme einiger entscheidender Einschränkungen in neue internationale Regelungen für die aufkommende militärische Nanotechnologie vor:

- Ein allgemeines und eindeutiges Verbot autonomer „Killerroboter“ und unbemannter mobiler Tötungssysteme auf der Grundlage des Prinzips, dass Waffen nicht ohne Entscheidung durch einen Menschen abgefeuert oder ausgeklinkt werden sollen.
- Ein vollständiges bereits für die Entwicklung geltendes Verbot von Kleinwaffen und Kampfmitteln ohne Metallanteil, da sie schwer aufzuspüren sind und daher die Gefahr der Weiterverbreitung größer ist.
- Ein vollständiges Verbot von Flugkörpern unterhalb einer bestimmten Größe (0,2 – 0,5 m).
- Ein vollständiges Verbot autonomer Sensorsysteme unterhalb einer bestimmten Größe (3 – 5 cm).
- Ein umfassendes Verbot aller Arten von Weltraumwaffen.

51. Neue auf die Nanotechnologie bezogene Regelungen des Völkerrechts sollten durch strenge Verifizierungsmaßnahmen einschließlich Inspektionen vor Ort, Notifikationen, Prüfungen der nationalen Gesetze, medizinischer Untersuchungen und des Einsatzes von leistungsfähigen Computern und Sensoren unterstützt werden.

52. Dr. Altmann schlägt vor, dass die Vereinigten Staaten die Festlegung neuer internationaler Regelungen in Angriff nehmen sollten, da sie auf dem Gebiet der Nanotechnologie bei weitem die größten Fortschritte erzielt haben. Da es unwahrscheinlich ist, dass die Vereinigten Staaten auf diesem Gebiet von einem anderen Staat der Welt technologisch herausgefordert werden, sind sie in der einzigartigen Position, einseitig auf die Erweiterung ihrer auf der Nanotechnologie basierenden militärischen Fähigkeiten verzichten zu können, ohne dass ihre Sicherheitsinteressen dadurch bedroht werden.

53. Internationale Regelungen allein werden jedoch nicht ausreichen. Für den Aufbau eines zusammenhängenden und universellen Systems zur Kontrolle der mit der Nanotechnologie ver-

bundenen Herausforderungen sollten von den Nationalstaaten und der Wissenschaft geeignete Maßnahmen ergriffen werden.

C. NATIONALE GESETZGEBUNG

54. Auch wenn die Nanotechnologie in Kernwaffenlaboratorien entstanden ist, besteht ihr Ziel letztendlich doch darin, der Menschheit Nutzen zu bringen. Für NT-Produkte wird ein weites Spektrum ziviler Anwendungen erwartet, mit denen sich die nationale Gesetzgebung befassen muss. Eine enge Abstimmung zwischen nationalen und internationalen Regelungen ist erforderlich, da eine Reihe von NT-Produkten militärisch und zivil genutzt werden können. Beispiele hierfür könnten Nanosensoren oder Nanowerkstoffe mit außergewöhnlichen Eigenschaften sein sowie Zellen durchdringende Nanokapseln, die sowohl in der Medizin als auch in der biologischen und chemischen Kampfführung einsetzbar wären.

55. Im Jahr 2001 hat der Berichterstatter das Thema Nanotechnologie in seinem „*Special Report on Emerging Technologies and Their Impact on Arms Control and Non-Proliferation*“ (Sonderbericht über neue Technologien und deren Auswirkungen auf die Rüstungskontrolle und Nichtverbreitung von Massenvernichtungswaffen) angesprochen und empfahl darin den Regierungen und den zuständigen internationalen Organisationen, „den Entwicklungen in der Nanotechnologie Beachtung zu schenken und sich zusammen mit den Wissenschaftlern am Entwicklungsprozess zu beteiligen.“ In den letzten Jahren ist das Thema Nanotechnologie immer aktueller geworden und wurde bereits von einigen nationalen Parlamenten diskutiert.

56. Im Jahr 2003 hat der US-Kongress den *21st Century Nanotechnology Research and Development Act* (etwa: Gesetz zur Nanotechnologie-Forschung und -Entwicklung im 21. Jahrhundert) verabschiedet, der von US-Präsident Bush am 3. Dezember 2003 unterzeichnet wurde. Der Gesetzentwurf wurde im Senat von den Senatoren Ron Wyden (Demokrat aus Oregon) und George Allen (Republikaner aus Virginia) und im Repräsentantenhaus von dem Abgeordneten Sherwood Boehlert (Republikaner aus New York) unterstützt. Hauptzweck dieses Gesetzes war die Unterstützung der amerikanischen Bestrebungen, weltweit unangefochten die Nummer eins auf dem Gebiet der Nanotechnologie zu bleiben. Dieses Gesetz institutionalisierte die von der Nationalen Nanotechnologie-Initiative (NNI) unterstützten Programme und Aktivitäten. Es bewilligte für den Zeitraum 2005 bis 2008 3,7 Milliarden US-Dollar für die Schaffung des National Nanotechnology Coordination Office (Nationales Nanotechnologie-Koordinierungsbüro) und die Nanotechnologieprogramme der US-Regierung. Es richtete außerdem ein Forschungsprogramm zur Ermittlung der mit der Nanotechnologie verbundenen ethischen, rechtlichen, umweltpolitischen und sonstigen gesellschaftlichen Probleme ein. Interessanterweise forderte der Gesetzentwurf in der Fassung

des Repräsentantenhauses eine Machbarkeitsstudie zu molekularen Fertigungsprozessen sowie die Ermittlung der „wichtigsten wissenschaftlichen und technischen Hindernisse“ und, sofern möglich, des geschätzten zeitlichen Rahmens. Die Endfassung des Gesetzes erwähnte jedoch nur noch die nicht ganz so anspruchsvolle Machbarkeit der „molekularen Selbstmontage“. Im Juni 2004 wurde die partei- und kammernübergreifende Nanotechnologie-Versammlung (Congressional Nanotechnology Caucus) des Kongresses ins Leben gerufen mit dem Ziel, die Nanotechnologie zu fördern und „politische Entscheidungsträger über dieses neue Fachgebiet zu informieren“. Die Senatoren George Allen (Gründungsvorsitzender) und Ron Wyden sowie die Abgeordneten des Repräsentantenhauses Sherwood Boehlert und Bart Gordon sind die Ko-Vorsitzenden der Versammlung.

57. Im Jahr 2004 erstellte der Ausschuss für Wissenschaft und Technologie (Science and Technology Committee) des britischen Unterhauses einen umfassenden Bericht über die Nanotechnologie mit dem Titel „Too Little too Late? Government Investment in Nanotechnology“ (Zu wenig zu spät? Staatliche Investitionen in die Nanotechnologie). Der Bericht kam zu dem Schluss, dass es der britischen Regierung nicht gelungen war, die führende Stellung des Vereinigten Königreichs auf diesem Gebiet zu behaupten“. Nach Aussage des Berichts sind „die staatlichen Investitionen in die Nanotechnologie gegenwärtig unzureichend“ und „mangelhaft ausgerichtet“. Der Ausschuss drängte die Exekutive zur Entwicklung einer Strategie, die „das Vereinigte Königreich zu einem Hauptakteur in der Nanotechnologie macht“. In ihrer Antwort akzeptierte die Regierung die Schlussfolgerungen des Ausschusses zum Teil und wiederholte ihre Zusage, die NT-Programme zu unterstützen.

58. Der Deutsche Bundestag hat sich ebenfalls an der Debatte über die Nanotechnologie beteiligt. Im Jahr 2004 erstellte der Bundestagsausschuss für Bildung, Forschung und Technologiefolgenabschätzung eine umfassende Studie zur Nanotechnologie. Ein Kapitel dieses Berichts war der möglichen militärischen Nutzung der Nanotechnologie gewidmet. Der Bericht kam zu dem Schluss, dass gravierende Sicherheitsrisiken in der nahen Zukunft zwar unwahrscheinlich erscheinen, eine verstärkte internationale Zusammenarbeit in verschiedenen Nanotechnologie-Initiativen einschließlich der Rüstungskontrolle aber dennoch sinnvoll wäre. Wenn nicht bewiesen werden kann, dass die Vision von selbstreplizierenden Nanorobotern wissenschaftlich unhaltbar ist, müssen weitere Präventivmaßnahmen wie ein Verbot der Produktion von nanotechnologischen Systemen, die sich in einem natürlichen Umfeld selbst replizieren können, ergriffen werden. Eine große Gruppe von deutschen Parlamentariern bereitete außerdem einen Antrag vor, der die Exekutive aufforderte, der Nanotechnologieentwicklung eine besondere Beachtung zu schenken. Unter anderem betonten die Parlamentarier, dass es wichtig ist, „eine Diskussion über Rüstungskontrollfra-

gen im Bereich der militärischen Nutzung von Nanotechnologie“ anzustoßen und den Nutzen einer „verstärkten internationalen Kooperation der verschiedenen Nanotechnologie-Initiativen unter Einbeziehung rüstungskontrollpolitischer Aspekte zu untersuchen“. Und schließlich stellten sie fest, dass „die Frage, ob ein möglicher Missbrauch der Nanotechnologie durch eine vorbeugende Rüstungskontrolle abgewendet werden kann, von besonderer Relevanz ist“.

59. Zwar bleibt die Europäische Union nach Angaben von Otilia Saxl, Chief Executive des britischen Institute of Nanotechnology, bei der Mittelbereitstellung für die Nanotechnologie nicht weit hinter den Vereinigten Staaten zurück, die Effektivität europäischer Anstrengungen wird jedoch durch unterschiedliche Kulturen (einige europäische Staaten haben mehr Vorbehalte als andere) und durch Doppelarbeit verringert. Dennoch unternimmt die EU Schritte auf diesem Gebiet. Im Jahr 2004 betonte eine Mitteilung der Kommission „Towards European Strategy for Nanotechnology“ (Auf dem Weg zu einer europäischen Strategie für die Nanotechnologie), dass die Europäische Union die Mittel für die Nanotechnologie erhöhen und besser koordinieren sowie die möglichen gesellschaftlichen und umweltrelevanten Folgen bewerten müsse. Außerdem ist die Nanotechnologie eines von sieben prioritären Aufgabengebieten des „Sechsten Rahmenprogramms der Europäischen Union im Bereich der Forschung und technologischen Entwicklung“, des wichtigsten Instruments der EU für die Finanzierung von Forschung in Europa. Dieses Rahmenprogramm deckt den Zeitraum 2002 bis 2006 ab. Aus einem Gesamtbudget von 17,5 Milliarden Euro werden der Nanotechnologie 1,3 Milliarden zugewiesen. Im März 2005 startete die EU außerdem „Nanolog“, ein von der Kommission finanziertes Projekt, mit dem die Forschungsarbeiten zu den sozialen, ethischen und rechtlichen Auswirkungen der Nanotechnologie koordiniert und Richtlinien für Interessengruppen und Entwicklungsunternehmen erstellt werden sollen. Das Europäische Parlament muss die Nanotechnologie noch auf seine Tagesordnung setzen. Bisher war das Interesse des Europäischen Parlaments eher begrenzt: Nur einige wenige Abgeordnete brachten ihre Sorge hinsichtlich der politischen Auswirkungen der Nanotechnologie zum Ausdruck und im Bereich des Europaparlaments wurden einige Seminare zu nanotechnologischen Fragen abgehalten.

D. WISSENSCHAFTLICHER BEITRAG

60. Eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Schaffung eines umfassenden weltweiten Instruments, mit dem man den Herausforderungen der Nanotechnologie begegnen kann, ist ein nennenswerter Beitrag der Wissenschaft. Bevor auf politischer Ebene wichtige Entscheidungen zu nanotechnologischen Regelungen getroffen werden können, sind zuverlässige und eingehende wissenschaftliche Bewertungen von Machbarkeit, Risiken und Chancen der Nanotechnologie dringend erforderlich. In den letzten Jahren wurden zwar mehrere Studien erstellt, die Wissenschaftler

müssen jedoch noch in vielen Bereichen wie z. B. bei der möglichen Selbstreplikation von Nanorobotern, der Toxizität von Nanopartikeln und dem Zeitrahmen für die künftige Nanotechnologieentwicklung zu einer gemeinsamen Ansicht finden. Zudem müssen sich die Wissenschaftler verstärkt in die Diskussion über eine mögliche militärische Nutzung der Nanotechnologie und die möglichen Konsequenzen für die Militärstrategie und internationale Rüstungskontrollvereinbarungen einschalten.

61. Angesichts des enormen Potenzials der Nanotechnologie sollte die Gesellschaft über die neuesten Entwicklungen in diesem Bereich gut informiert sein. Daher ist Transparenz in der Nanotechnologieforschung von entscheidender Bedeutung genauso wie die Kooperation und der regelmäßige Informationsaustausch zwischen Wissenschaftlern auf der ganzen Welt. Entwicklungsländer könnten von einer solchen Transparenz ebenfalls profitieren, wodurch die Gefahr der Entstehung einer „Nanogrenze“ verringert würde.

62. Dr. Altmann schlägt vor, dass „sich die technologisch führenden Staaten bei nanotechnologischen Aktivitäten für militärische Zwecke unilateral und koordiniert Beschränkungen auferlegen und insbesondere solche Aktivitäten vermeiden oder zurückfahren sollten, die einem militärischen Zweck dienen könnten“. Umgekehrt behaupten libertarianische Denker wie Dyson, dass die Gemeinschaft der Wissenschaftler weltweit reif genug ist, um die Entwicklung der Nanotechnologie verantwortungsvoll und klug zu lenken. Mit Verweis auf den Fall der biologischen Waffen zeigte sich Dyson überzeugt, dass sich die Wissenschaftler der Produktion apokalyptischer Waffen weigern werden. Den amerikanischen Biologen und insbesondere Matthew Meselson gelang es, die Nixon-Regierung davon zu überzeugen, dass biologische Waffen eine enorme Gefahr für die Sicherheit der USA darstellen. Daraufhin erklärte Nixon 1969 einseitig, dass die Vereinigten Staaten ihr biologisches Waffenprogramm nicht weiter verfolgen würden. Andere Staaten folgten dem Beispiel und so kam es 1972 zum B-Waffen-Übereinkommen.

VI. SCHLUSSFOLGERUNGEN

63. Der Einsatz der Nanotechnologie für militärische Zwecke kann nicht unabhängig von anderen Anwendungen der Nanotechnologie betrachtet werden. Eine mögliche missbräuchliche Nutzung sowohl im militärischen als auch im zivilen Bereich hat mit der allgemeineren Frage zu tun, wie schnell sich der Mensch neuen Technologien anpasst. Manche sind der Ansicht, dass die Nanotechnologierevolution mit der industriellen Revolution im Spätmittelalter vergleichbar ist, die für die damaligen Gesellschaften eine beträchtliche Herausforderung darstellte. Die Nanotechnologierevolution wird jedoch insofern anders sein, als sie viel schneller vonstatten gehen wird. Nach Aussage von Mihail Rico, Nanotechnologieberater des Weißen Hauses, „wird es in den nächsten

dreißig Jahren nanotechnologiebedingt mehr Veränderungen geben als im gesamten letzten Jahrhundert“.

64. Die Nanotechnologie verspricht große Chancen, birgt aber auch große Risiken. Neue Technologien bieten einzigartige Möglichkeiten, die uralten inneren Defekte der Welt zu beseitigen und die Globalisierung bis zum äußersten voranzutreiben. Zugleich müssen wir uns dessen bewusst sein, dass die Nanotechnologie das Potenzial zur Heraufbeschwrung bisher nie dagewesener Gefahren hat. Was am meisten beunruhigt, ist die Ungewissheit über mögliche Auswirkungen auf die verwundbaren Bereiche nationale Sicherheit und Verteidigung. Zu diesem speziellen Thema wurden bisher nur sehr wenige Publikationen und Studien herausgebracht, wobei einige der darin geäußerten Annahmen und Schlussfolgerungen wahrscheinlich immer noch in den Bereich der Spekulation gehören.

65. Dennoch mchte der Berichterstatter unterstreichen, wie wichtig Diskussionen und Debatten zu diesem Thema zum jetzigen Zeitpunkt sind, da die internationale Gemeinschaft und die Nationalstaaten im Moment noch einen *Prventivmechanismus* entwickeln können, der auf mögliche feindselige Anwendungen der Nanotechnologie im Bereich der nationalen und internationalen Sicherheit in geeigneter Weise reagieren kann. Der Berichterstatter glaubt fest, dass die Parlamentarier zu solchen Diskussionen stärker beitragen könnten und sollten.

66. Es sind dringend weitere ausführliche und präzise Studien zur militärischen Nutzung der Nanotechnologie erforderlich. Die Möglichkeiten der molekularen Nanotechnologie sollten mit besonderer Aufmerksamkeit bewertet werden, da es sich hierbei um den umstrittensten Bereich der Nanotechnologie handelt, der zudem im Falle einer Bestätigung seiner Machbarkeit schwerwiegende Konsequenzen haben würde. Die wissenschaftliche Erforschung der Nanotechnologie sollte angemessen finanziert werden. Ann Dawling, die Vorsitzende der Arbeitsgruppe Nanotechnologie der Royal Society und der Royal Academy of Engineering, stellte vor kurzem fest, dass die britische Regierung zwar die Bedeutung der Nanotechnologie zu verstehen scheint, es aber versäumt hat, die Mittel für die vor der Festlegung entsprechender Regelungen nötige Forschung zu erhöhen.

67. Die staatlichen Institutionen sollten die neuesten Informationen zur Nanotechnologieentwicklung genau verfolgen und darauf vorbereitet sein, unverzüglich zu handeln, falls negative Auswirkungen ans Tageslicht kommen. Staatliche Maßnahmen sollten im Idealfall präventiv und nicht reaktiv sein.

68. Diskussionen über mögliche Änderungen der bestehenden Rüstungskontrollvereinbarungen, in erster Linie des B- und C-Waffen-Übereinkommens, sollten gefördert werden. Verifikationsmechanismen sollten verstärkt und sowohl für als auch durch die Nanotechnologie entwickelt werden, d. h. unter Nutzung der in diesem Bereich erzielten Fortschritte. Sollte sich die Nanotechnologie so schnell entwickeln wie ihre leidenschaftlichen Anhänger erwarten, sollte die internationale Gemeinschaft eventuell den Abschluss eines separaten multilateralen Übereinkommens speziell für diesen Bereich in Betracht ziehen.

69. Abschließend möchte der Berichterstatter seine Kollegen dringend bitten, in den entsprechenden Ausschüssen ihrer Parlamente Diskussionen über das Thema Nanotechnologie anzustoßen oder fortzusetzen und ihr Recht der parlamentarischen Aufsicht über die Exekutive auszuüben, um sicherzustellen, dass die staatlichen Institutionen diesem Themenkomplex die ihm gebührende Aufmerksamkeit zuteil werden lassen.

70. Wenn politische Entscheidungen anstehen, sollten die politischen Entscheidungsträger unparteiisch sein und die Argumente der Befürworter und Gegner der Nanotechnologie gegeneinander abwägen. Während manche leidenschaftliche Anhänger der Nanotechnologie dazu tendieren, die Bedeutung dieser Technologie in ihrem Bemühen um zusätzliche Gelder hochzuspielen, könnten Skeptiker übervorsichtig sein und dadurch die Nanotechnologieentwicklung ungeachtet ihres Nutzens für die Gesellschaft behindern. Das Thema Nanotechnologie ist daher nach Berücksichtigung aller Punkte leidenschaftslos zu betrachten.
