



Naturwissenschaftlich-technische Friedens- und Konfliktforschung

Christian Reuter, Jürgen Scheffran und Manuel Kreutle

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	64
2	Naturwissenschaftlich-technische Friedensforschung	64
3	Stand der Forschung	66
3.1	Nukleare Nichtverbreitung und Abrüstung	66
3.2	Informatik: Cyber- und Information Warfare sowie Künstliche Intelligenz	68
3.3	Chemie- und Biotechnologie	70
3.4	Weitere naturwissenschaftlich-technische Forschungsbereiche	71
4	Fazit	72
	Literatur	72

Zusammenfassung

Angesichts des Einsatzes von Chemiewaffen, neuer bio- und informations technologischer Entwicklungen und der Androhung des Einsatzes von Atomwaffen stehen die nukleare, biologische, chemische und informationstechnische Abrüstung und Rüstungs-

C. Reuter (✉)

Informatik, PEASEC, TU Darmstadt, Darmstadt, Deutschland

E-Mail: reuter@peasec.tu-darmstadt.de

J. Scheffran

Institut für Geographie, Universität Hamburg, Hamburg, Deutschland

E-Mail: juergen.scheffran@uni-hamburg.de

M. Kreutle

Forschungszentrum Jülich, Köln, Deutschland

E-Mail: m.kreutle@fz-juelich.de

© Der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2026

H.-J. Gießmann et al. (Hrsg.), *Handbuch Frieden*,

https://doi.org/10.1007/978-3-658-49644-9_3

kontrolle vor großen Herausforderungen. Damit gewinnen Erkenntnisse naturwissenschaftlich-technischer Disziplinen für die Forschung über Krieg und Frieden, Rüstung und Abrüstung an enormer Bedeutung. Sie unterstützen politische Prozesse der Kriegsverhütung, Abrüstung und Vertrauensbildung durch Analysen der Eigenschaften, Folgen und Kontrollmöglichkeiten neuer Waffentypen und Technologien.

1 Einleitung

Naturwissenschaftliche und technische Forschung und Kriegsführung waren schon in der Antike miteinander verbunden. Bereits Archimedes (287–212), Leonardo da Vinci (1452–1519) und Isaac Newton (1643–1727) entwickelten Werkzeuge für den militärischen Gebrauch (Altmann et al. 2011, S. 411). Im Zuge industrialisierter Kriegsführung und Massenvernichtung in beiden Weltkriegen, in Genoziden und im Kalten Krieg wurde das Wissen aus Naturwissenschaft und Technik systematisch in die Entwicklung von Waffen einbezogen (Panzer, Flugzeuge, Raketen, Giftgas, Atombomben). Ebenso wurden Informations- und Kommunikationssysteme wie Telefon, Funkgerät und Radar für Kriegsführung und -prävention bedeutsam. Neben den klassischen Naturwissenschaften Physik und Chemie stehen zunehmend Bereiche der Informatik im Mittelpunkt, wie IT-Sicherheit, Künstliche Intelligenz (KI), Robotik und Mensch-Computer-Interaktion (Reuter 2024). In der Auseinandersetzung um diese Themenfelder können Naturwissenschaft und Technik jedoch auch Gegenpositionen zu Krieg und Überwachung einnehmen. Dieses Kapitel verdeutlicht die Relevanz naturwissenschaftlich-technischer Beiträge und Fragestellungen in der Friedensforschung, ausgehend von einem Überblick (Kap. 2) und exemplarisch für konkrete Anwendungsfelder (Kap. 3).

2 Naturwissenschaftlich-technische Friedensforschung

Die *naturwissenschaftlich-technische Friedensforschung* (Reuter et al. 2020) entwickelte sich nach den Kernwaffeneinsätzen in Hiroshima und Nagasaki 1945 parallel zur Entwicklung und Verbreitung von Nuklearwaffen im beginnenden Ost-West-Konflikt (Altmann et al. 2011), getrieben von der Sorge vor der Atomkriegsgefahr. Im Wettrüsten zwischen den Nuklearmächten USA und UdSSR sowie weiterer Staaten verbanden sich naturwissenschaftlich-technische Innovationen mit strategischen, politischen und ökonomischen Triebkräften. Diese wurden in den disziplinären und interdisziplinären Feldern der Friedens- und Konfliktforschung (FuK) ebenso untersucht wie verschiedene Lösungsansätze im Spannungsfeld von Krieg und Frieden, Rüstung und Abrüstung. Während die human- und sozialwissenschaftliche Forschung sich mehr auf gesellschaftliche und politische Prozesse und Dynamiken von Konfliktursachen und ihrer Beeinflussung konzentriert, fokussieren sich naturwissenschaftlich-technische Analysen mehr auf Eigenschaften, Folgen und die Kontrolle neuer Waffensysteme. Sie erforschen und ent-

wickeln Vorschläge für technische Lösungen und Begrenzungen (Altmann et al. 2017). Untersucht werden u. a. potenzielle Risiken neuer Technologien, insbesondere deren zivile/militärische (z. B. bei Nukleartechnologien mit einem Monopol der Staaten) bzw. schädliche/nützliche (z. B. in den leichter zugänglichen und damit missbrauchbaren Biowissenschaften und der Informatik) Doppelverwendbarkeiten (Dual-Use) (Riebe et al. 2024), die Gestaltung der Risiken und die Innovationsbeschränkung auf friedliche Ziele oder die Möglichkeiten präventiver Rüstungskontrolle und die Überprüfung (Verifikation) von Rüstungskontrollverträgen. Dies ist komplementär zur sozialwissenschaftlichen Friedensforschung und unverzichtbar.

Die naturwissenschaftlich-technische FuK kann als Schnittmenge der Natur- und Ingenieurwissenschaften (z. B. Physik, Chemie, Biologie, Umwelt- und Klimawissenschaften, Geowissenschaften, Astronomie, Maschinenbau, Elektrotechnik, Informatik, Mathematik) mit der FuK gesehen werden, wodurch verschiedene Konzepte und Waffensysteme (Kern-, Chemie-, Biowaffen, Umweltsicherheit, Rüstungskontrolle/Verifikation, Weltraumrüstung, konventionelle Kriegsführung, Cyber-/Information Warfare, Konfliktmodellierung) in den Fokus rücken (vgl. Abb. 1).

Auf der einen Seite des Spektrums steht die disziplinäre Forschung, die theoretische und experimentelle Fragestellungen aus der Perspektive der jeweiligen naturwissenschaftlich-technischen Fächer bearbeitet. Sie sind im Kern durch gesellschaftliche Probleme der FuK motiviert, wie auch die interdisziplinäre Forschung, die verschiedene Fachexpertisen zusammenführt, um übergreifende und bei aktuellen Herausforderungen zeitnah politikrelevante Ergebnisse zu erzielen. Der Wissenschaftsrat betont in seinem Dokument „Empfehlungen zur Weiterentwicklung der Friedens- und Konfliktforschung“

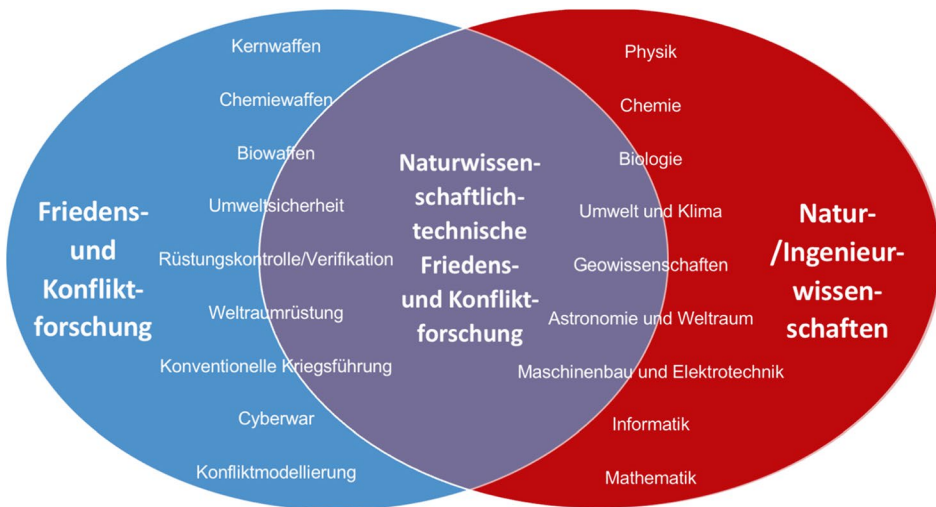


Abb. 1 Naturwissenschaftlich-technische Friedens- und Konfliktforschung als Schnittmenge von Themen der Friedens- und Konfliktforschung mit verschiedenen Natur- und Ingenieurwissenschaften

(Wissenschaftsrat 2019) die zentrale Bedeutung interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen Natur- und Sozialwissenschaften.

Das nukleare Wettrüsten war Anlass für das im Jahr 1955 veröffentlichte *Russell-Einstein-Manifest* und die *Pugwash-Bewegung* der späten 1950er Jahre, die Gründung der verantwortungsorientierten *Federation of American Scientists* und der *Union of Concerned Scientists* in den USA sowie der *Vereinigung Deutscher Wissenschaftler* in Deutschland, hier mit angestoßen durch den Göttinger Appell der Atomforscher von 1957 (siehe Beiträge in Bartosch et al. 2016; Albrecht et al. 2009). An renommierten US-amerikanischen Universitäten wurden Forschungsgruppen gegründet, die Themen rund um Entwicklung und Einsatz von Nuklearwaffen untersuchten. Parallel zur Einrichtung sozialwissenschaftlicher Institute der FuK in Deutschland etablierte Carl Friedrich von Weizsäcker zunächst in Hamburg und dann in Starnberg (zusammen mit Jürgen Habermas) Forschungseinrichtungen zur Erforschung globaler Probleme, wobei die Studie „Kriegsfolgen und Kriegsverhütung“ 1970 auch naturwissenschaftlich-technische Themen ansprach (von Weizsäcker 1971).

Angestoßen durch die Debatte über die Stationierung von Mittelstreckenraketen Anfang der 1980er Jahre fanden an vielen Universitäten Lehrveranstaltungen über die Rolle insbesondere der Naturwissenschaften zwischen Krieg und Frieden statt. Die Volkswagenstiftung initiierte ein Stipendienprogramm für den Nachwuchs in der Rüstungskontrolle (Scheffran 2021). Deren weitere Förderung ermöglichte Forschungsaktivitäten und -gruppen in Marburg, Bochum, Darmstadt, Hamburg und Kiel, die naturwissenschaftliche Kompetenzen von internationaler Bedeutung aufbauen konnten. Nach Ende des Kalten Krieges wurden diese Aktivitäten in den 1990er Jahren zusammengeführt (Kronfeld et al. 1993) und ermöglichten 1996 die Gründung des Forschungsverbundes Naturwissenschaft, Abrüstung und internationale Sicherheit (FONAS). Mit Unterstützung der im Jahr 2000 etablierten Deutschen Stiftung Friedensforschung (DSF) wurde 2006 am Carl Friedrich von Weizsäcker-Zentrum für Naturwissenschaft und Friedensforschung (ZNF) der Universität Hamburg eine Stiftungsprofessur eingerichtet, gefolgt von Professuren zur naturwissenschaftlich-technischen Friedensforschung an der Technischen Universität Darmstadt.

3 Stand der Forschung

Um die Relevanz und Vielfalt der naturwissenschaftlich-technischen Friedensforschung zu dokumentieren, werden im Folgenden exemplarisch einige Schwerpunkte vorgestellt.

3.1 Nukleare Nichtverbreitung und Abrüstung

Der erstmalige und bisher einzige Einsatz von Kernwaffen in einem Krieg durch die USA beim Angriff auf Hiroshima und Nagasaki am 6. und 9. August 1945 hat zwischen

150.000 und 246.000 Menschen das Leben gekostet und die zwei Städte zerstört. Trotz oder womöglich genau wegen dieses Zerstörungspotenzials hat sich das Wissen um die Entwicklung von Kernwaffen in weitere Länder verbreitet. So haben die Sowjetunion 1949, Großbritannien 1952, Frankreich 1960, China 1964, Israel (vermutlich) 1967, Indien 1974, Südafrika (vermutlich) 1979, Pakistan 1998 und Nordkorea 2006 ihre Kernwaffenfähigkeiten demonstriert, außer in Israel und Südafrika durch erfolgreiche Kernwaffentests. Israel hat sich nie öffentlich zu seinem Kernwaffenprogramm geäußert, dessen Existenz ist mittlerweile aber unumstritten. Südafrika hielt seines zunächst ebenfalls geheim, besitzt aber seit 1991 nachweislich keine Kernwaffen mehr.

Der nukleare Rüstungswettlauf zwischen den USA und der Sowjetunion im Kalten Krieg, aber auch in kleinerem Maß das nukleare Kräfteressen zwischen Indien und Pakistan, haben so weit geführt, dass im Falle eines Einsatzes von Kernwaffen eine Eskalation bis hin zur Auslöschung der Menschheit nicht ausgeschlossen werden kann. Grund dafür ist der zu erwartende „nukleare Winter“, eine zeitweise drastische Abkühlung des Klimas mit verheerenden Folgen für die Welternährung, hervorgerufen durch den Ascheeintrag in die Atmosphäre, der den Feuern von verbrannten Städten folgen würde (Xia et al. 2022).

Diese Umstände haben bei vielen Menschen und Regierungen zu einem Verständnis geführt, dass Kernwaffen möglichst nicht eingesetzt, Kernwaffentechnologie nicht weiterverbreitet und Kernsprengköpfe abgerüstet werden sollten. Im Zentrum dieser Anstrengungen steht hier vor allem der 1968 verabschiedete Nukleare Nichtverbreitungsvertrag (NVV), auch „Atomwaffensperrvertrag“ genannt (Vereinte Nationen 1968). Er verbietet es allen Vertragsstaaten, solche selbst zu entwickeln oder zu besitzen – ausgenommen derer, die bis dato Kernwaffen getestet hatten. Die Internationale Atomenergiebehörde, die *International Atomic Energy Agency* (IAEA), wurde beauftragt zu überprüfen, ob die anderen Vertragsstaaten diesem Folge leisten. Dabei soll die Kernmaterialüberwachung sicherstellen, dass nukleare Anlagen und nukleares Material nur für zivile Zwecke genutzt werden.

Kernmaterialüberwachung umfasst dabei unter anderem Gamma-Spektrometrie und Neutronenmessungen zur Charakterisierung von Kernmaterial, elektro-optische Siegel, Videoüberwachung (IAEA 2011) und neuere Entwicklungen wie z. B. Laserscans zur Verifizierung, dass kein unbefugter Zugriff auf Material und Container erfolgt (Sequeira et al. 2021), oder die Auswertung von Satellitenbildern zur Überprüfung von Gebäudegrundrissen (Beumer und Niemeyer 2022).

Im Gegenzug verpflichteten sich die fünf im NVV als „Kernwaffenstaaten“ aufgeführten Länder, über nukleare Abrüstung zu verhandeln¹. Die Entwicklung von Verifikationsmethoden für nukleare Abrüstung, die einsatzbereit sind für den Moment, in

¹ „Jede Vertragspartei verpflichtet sich, in redlicher Absicht Verhandlungen zu führen über wirksame Maßnahmen zur Beendigung des nuklearen Wettrüstens in naher Zukunft und zur nuklearen Abrüstung sowie über einen Vertrag zur allgemeinen und vollständigen Abrüstung unter strenger und wirksamer internationaler Kontrolle.“ (NVV, Artikel VI).

dem ernsthafte Verhandlungen darüber geführt werden, ist ebenso ein großes Feld der naturwissenschaftlich-technischen Friedensforschung. Hierbei geht es z. B. darum, Kernwaffen als solche zu identifizieren (Sonder et al. 2023; Fichtlscherer und Kütt 2024), durch Überwachungsmethoden sicherzustellen, dass vor und nach einer potenziellen Abrüstung kein spaltbares Material heimlich abgezweigt werden kann (Adams et al. 2019), oder deklarierte Mengen an insgesamt produziertem spaltbarem Material zu verifizieren (Schalz et al. 2024). Methoden zur Verifikation der Abwesenheit von Kernwaffen in bestimmten Bereichen, z. B. auf Militärbasen (Lepowsky et al. 2023), werden ebenso diskutiert wie Möglichkeiten zum Fernzugriff auf zu inspizierende Anlagen (Tobisch et al. 2023).

Da Verifikationsmaßnahmen mit dem Anspruch auf Nichtverbreitung von Wissen zur Kernwaffenentwicklung kollidieren könnten, wird auch an Konzepten gearbeitet, die eine Verifikation ohne Veröffentlichung sensibler Daten ermöglichen, z. B. anhand der Einführung von Informationsbarrieren (Kütt et al. 2018) oder sogenannter Zero-Knowledge-Proofs (Philippe et al. 2016).

Weitere internationale Verträge bauen ebenfalls auf wissenschaftliche Verifikationsmechanismen, wie z. B. der Umfassende Kernwaffenteststoppvertrag, *Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty* (CTBT), der jegliches Herbeiführen von nuklearen Explosionen verbietet. Dieser verwendet zur Überwachung die Messung von seismischen, Hydroakustik- und Infraschallsignalen sowie Radionukliden in der Atmosphäre (Altmann et al. 2017: 436). Dafür wurde ein globales Monitoringsystem aufgebaut.

Vonseiten einiger Staaten ohne Kernwaffen wurden außerdem sogenannte „Kernwaffenfreie Zonen“ etabliert, die das Transportieren, Stationieren oder Einsetzen von Kernwaffen verbietet. Angesichts mangelnden Fortschritts bei der nuklearen Abrüstung wurde 2017 der Kernwaffenverbotsvertrag, *Treaty on the Prohibition of Nuclear Weapons* (TPNW), verabschiedet, der die Ideen der kernwaffenfreien Zonen aufgreift und auf die gesamte Welt ausweitet, auch wenn sich bisher die Staaten mit Kernwaffen noch weigern, diesen Vertrag zu unterschreiben. Dieser Vertrag berücksichtigt außerdem zum ersten Mal die Belange der durch Kernwaffentests Geschädigten und fordert Anerkennung und Kompensation für ebenjene. Wissenschaftliche Untersuchungen wie z. B. Simulationen der Verbreitung von Fallout nach einem Kernwaffentest können diese Forderungen unterstützen (Philippe et al. 2022).

3.2 Informatik: Cyber- und Information Warfare sowie Künstliche Intelligenz

Der Gegenstandsbereich der Informatik als Wissenschaft von der systematischen Verarbeitung von Informationen spielt in Kriegen und Konflikten seit langem eine wichtige Rolle: Bereits im Ersten Weltkrieg wurden Telefon und Funk auf den Schlachtfeldern eingeführt und seither haben die enormen Entwicklungen der *Informationstechnologie* (IT) zunehmend an Bedeutung und Einfluss gewonnen. Ziel der *Friedensinformatik* ist

es, sowohl die Rolle von IT für Frieden und Sicherheit empirisch zu erforschen und zu verstehen (sozialwissenschaftliche Perspektive) als auch technische Lösungen teilweise normativ zu entwerfen, um (internationale) Konflikte, Angriffe und Bedrohungen zu verhindern und deren mögliche Folgeschäden zu reduzieren (technische Perspektive) (Reuter et al. 2024).

IT spielt naturgemäß eine wichtige Rolle in den selbst geschaffenen *virtuellen Räumen*. Das prominenteste Beispiel, der unter das Schlagwort *Cyberwar* fällt, ist der Computerwurm Stuxnet, der 2010 die Urananreicherung des Iran behinderte (Reuter et al. 2024). Der Einmarsch Russlands in die Ukraine im Februar 2022 und der darauf folgende Krieg zeigten erstmals die Rolle des Cyberspace in einem offenen Angriffskrieg: Gezielte Cyberangriffe begleiteten konventionelle militärische Aktivitäten. So wurden beispielsweise Endgeräte zur Kommunikation mit dem Satellitennetz durch manipulierte Software unbrauchbar gemacht (Reinhold und Reuter 2023). Neben *Cyberwar* spielt der *Information Warfare* als gezielte Manipulation des Gegners durch Desinformation und Propaganda eine große Rolle in aktuellen Strategien. Die Erforschung von Maßnahmen zur Detektion (Aïmeur et al. 2023) spielt hierbei eine ebenso große Rolle wie wirksame Unterstützungsmaßnahmen der Nutzenden, z. B. in sozialen Medien (Hartwig et al. 2024).

Im Gegensatz zur konventionellen Kriegsführung ergeben sich im Cyberspace einige Herausforderungen, die die Entwicklung andersartiger Konzepte zur Begrenzung verlangen (Reuter et al. 2024): (a) *Akteure*: Da Cyber-Waffen aufgrund ihrer Komplexität nicht ausschließlich von Staaten kontrolliert werden können, ist es schwierig, zwischen staatlichen und nichtstaatlichen Akteuren zu unterscheiden bzw. ob diese militärisch-strategische oder kommerzielle (z. B. Wirtschaftsspionage, Erpressung) Ziele verfolgen. (b) *Attribuierung*: Im Cyberraum ist es zudem oft schwieriger, sicherheitsgefährdende oder offensive Aktivitäten einem Staat oder einer anderen Einheit, wie z. B. einer Organisation, zuzuordnen und damit zu attribuieren (Rid und Buchanan 2015). (c) *Dual-Use*: Die Unterscheidung zwischen zivil/militärisch und Gebrauch/Missbrauch bleibt eine Herausforderung, auch weil im Vergleich Anpassungen an Software leichter möglich sind und somit problematische Software einfacher umgesetzt werden kann (Riebe et al. 2024). (d) *Proliferation*: Darüber hinaus ist es schwierig, die Verbreitung oder Vervielfältigung von Code und entsprechenden (Dual-Use-) Technologien innerhalb und zwischen Ländern wirksam zu begrenzen. Dazu gehören auch Exploits, d. h. Software, die Schwachstellen ausnutzt.

Aktuelle Arbeiten wie *ExTRUST* übertragen das Konzept der konventionellen Ausrüstung auf den Cyberspace, indem sie es Staaten ermöglichen, ihre Bestände an Schwachstellen und Exploits vertraulich zu vergleichen, um Überschneidungen aufzudecken und gezielt offenzulegen, ohne taktische Vorteile oder Geheimnisse zu gefährden (Reinhold et al. 2023).

Die rasant gewachsenen Fähigkeiten der *Künstlichen Intelligenz* (KI) spielen im Cyber- und Informationskrieg für adaptive Angriffe und deren Abwehr eine Rolle, aber auch außerhalb dieses virtuellen Raums, z. B. in konventionellen oder nuklearen

Steuerungssystemen oder bei der Entwicklung neuartiger biologischer und chemischer Waffen. Ein Haupteinsatzgebiet der KI sind (letale) *autonome Waffensysteme*, die selbstständig Ziele suchen und angreifen können und für deren Wirkungsrahmen Konzepte wie „*Meaningful Human Control*“ (MHC) entwickelt werden (Riebe et al. 2020).

3.3 Chemie- und Biotechnologie

Neben der Nuklearphysik ermöglichen auch Chemie und Biologie die Entwicklung von Massenvernichtungswaffen, die durch die Biowaffenkonvention (BWK) von 1971 und die Chemiewaffenkonvention (CWK) von 1993 bereits durch fast alle Staaten verboten sind (auch Biowaffen- und Chemiewaffen-Übereinkommen genannt). Die bestehenden Kontrollregime und ihre Verifikation werden durch Dual-Use und die Entwicklung neuer Technologien herausgefordert.

Chemische Stoffe können bewusst zu Kriegszwecken eingesetzt werden oder die Gesundheit gefährden, durch tödlich (letal) oder reizend wirkende chemische Kampfstoffe, als Brand- und Nebelstoffe, als Explosivstoffe und als Drogen (Altmann et al. 2017: Wörle in Kap. 3). Sprengstoffe für die direkte Kriegsführung zerstören Waffen und Infrastrukturen mit hohen Opferzahlen, von den Bombardements des Zweiten Weltkriegs bis zu den jüngsten Kriegen im Irak, in Syrien, der Ukraine oder im Gaza-Streifen. Eine neue Qualität der Vernichtung erreichte das Giftgasprogramm des Chemienobelpreisträgers Fritz Haber, das im Ersten Weltkrieg hunderttausend Menschen tötete. Trotz des Genfer Protokolls von 1925 gab es bis in die jüngere Zeit Vorwürfe wegen des Einsatzes von Chemiewaffen durch Italien in Afrika in den 1920er/1930er Jahren, Irak in den 1980er Jahren, Syrien 2013 oder Russland beim Skripal-Anschlag 2018 (Hank 2022). Durch die CWK wurden in großem Maßstab chemische Kampfstoffe, Waffen und Produktionsanlagen zerstört, die der Kontrolle und Verifikation durch Inspektionen unterworfen sind, was naturwissenschaftliche Expertise erfordert. Aufgrund der weltweiten Verbreitung toxischer, persistenter und bioakkumulierender Chemikalien ist die Chemikaliensicherheit eine internationale Herausforderung.

Ansteckende Krankheiten dienten schon länger als Mittel der Kriegsführung. Die durch koloniale Expansion und Globalisierung beschleunigte Ausbreitung von Krankheitserregern raffte Millionen Menschen dahin, wie in der Spanischen Grippe oder jüngst in der Corona-Pandemie ersichtlich. Durch die Mikrobiologie entstanden neue Möglichkeiten des absichtlichen Einsatzes von Mikroorganismen als Kriegswaffen, etwa durch Anthrax oder Biowaffen Japans gegen China zwischen den Weltkriegen. Es gab auch terroristische Angriffe, etwa durch die Rajneeshees 1984, die Aum Shinrikiyo-Sekte 1995 sowie die Milzbrand-Anschläge 2001 in den USA (Hank 2022). Dadurch stieg das Interesse an Biosicherheit, Bekämpfung von Krankheitserregern, Impfstoffen, Dual-Use-Risiken und verstärkter Verifikation der BWK, unter Einsatz naturwissenschaftlicher Forschungen. Diese verfolgen die Risiken einer Revolution in der Biotechnologie (Altmann et al. 2017: Nixdorff in Kap. 4), durch Modifikationen von Mikroorganismen,

Dual-Use Research of Concern, Bioinformatik, Synthetische Biologie, Biohacking², Nanotechnologie, Targeted Delivery³ und Terrorpotenziale. Damit Biosicherheit und Risikomanagement mithalten können, ist neben der besseren Überprüfung bestehender auch die Ausarbeitung neuer Regelmechanismen dringlich (Frieß et al. 2020).

3.4 Weitere naturwissenschaftlich-technische Forschungsbereiche

Der Bereich konventioneller Waffen und Kriegführung ist erheblich durch naturwissenschaftlich-technische Erkenntnisse geprägt, insbesondere der *Physik und Ingenieurwissenschaften* (Altmann et al. 2017: Altmann in Kap. 2; Forstner und Neuneck 2018). Hierzu gehören Bomben und Minen, gepanzerte Fahrzeuge, Schiffe und Flugzeuge jeder Form sowie Raketen und andere unbemannte Flugkörper (Cruise Missiles, Drohnen, Hyperschallwaffen, etc.), gegen diese gerichtete Abwehrsysteme, Satelliten, Anti-Satellitenwaffen, Laserwaffen und andere Elemente militärischer Weltraumrüstung. Solche Waffensysteme sind mit IT eng verbunden und beeinflussen aufgrund gesteigerter Leistungsfähigkeit (Zielgenauigkeit, Geschwindigkeit, geringe Entdeckbarkeit und Verwundbarkeit, Multifunktionsfähigkeit) zunehmend die strategische Kriegführung, etwa wenn konventionelle Mittelstreckensysteme Atomwaffen ausschalten können. Sie sind nur teilweise in die Rüstungskontrolle eingebunden (Antipersonenminen-Konvention, Weltraumvertrag, früher Vertrag über Konventionelle Streitkräfte in Europa, Open Skies und ABM-Vertrag), und neue Technologien und Systeme bedürfen Maßnahmen präventiver Rüstungskontrolle, um destabilisierende Entwicklungen einzudämmen (Altmann et al. 2017). Viele Technologien sind durch Dual-Use geprägt, und einige Systeme können auch zur Verifikation und Vertrauensbildung genutzt werden (Satelliten, Flugzeuge, Sensoren vor Ort).

Auch die *Geowissenschaften*, insbesondere die *Umwelt- und Klimawissenschaft*, können wichtige Beiträge zur FuK leisten. Dies betrifft Umweltfolgen von Aufrüstung und Krieg, absichtliche Umweltkriegsführung und Einsatz natürlicher Ressourcen als Waffe bis hin zu Ökoziden, etwa in Konflikten in Vietnam (Agent Orange), der Ukraine und im Gazastreifen (Scheffran 2024). Schon früh wurde in FONAS der Schutz der Umwelt in bewaffneten Konflikten, Rüstungskonversion für Umweltschutz oder die Bewältigung chemischer und radioaktiver Hinterlassenschaften aus dem Kalten Krieg thematisiert

²Dies umfasst den unkontrollierten Umgang mit Biotechnologien, um Körperfunktionen durch kybernetische oder biochemische (Ergänzungs-)Mittel zu „optimieren“. Biometrie, also die Erfassung körperbezogener Daten, stellt dabei eine zentrale Rolle dar.

³Dabei geht es um Forschungen zur gezielten Einbringung und Freisetzung von Arzneimitteln an gewünschten Zielorten, z. B. anhand von nanotechnologischen Mitteln. Ziel ist es eine erhöhte lokale Wirkung bei verringerten Nebenwirkungen herbeizuführen.

(Kronfeld et al. 1993, S. 175 ff.). Auch der Klimawandel kann Konflikte und Sicherheitsrisiken beeinflussen und durch diese beeinflusst werden, was klimapolitische Lösungen untergräbt. Diese Zusammenhänge wurden seit 2009 in der Hamburger Forschungsgruppe Klimawandel und Sicherheit (CLISEC) untersucht, eine enge Zusammenarbeit mit der sozial- und naturwissenschaftlichen FuK im Rahmen des Klima-Exzellenzclusters (Brzoska und Scheffran 2020). Umweltmonitoring ist von Bedeutung für die Verifikation von Rüstungskontrollabkommen, die Detektion von Atomwaffenaktivitäten (Test, Produktion, Transport, Lagerung, radiologische Zusammensetzung von Nuklearmaterialien), die Identifikation chemischer und biologischer Agenzien in der Umwelt oder die Messung akustischer Signale zur Entdeckung verbotener Fahrzeug- und Flugbewegungen.

Schließlich können auch die mathematische *Modellierung und Computersimulation* komplexer Systeme wie des Klimasystems, die Spieltheorie und agentenbasierte Modelle von Interaktionen zum Verständnis sicherheitspolitischer Risiken und Konflikte beitragen, Instabilitäten in Krise und Wettrüsten verdeutlichen oder Wege zu Kooperation und nachhaltiger Friedenssicherung aufzeigen (Bendor und Scheffran 2019). Entsprechend war in der Frühphase von FONAS die Mathematik aktiv involviert (Kronfeld et al. 1993, S. 209 ff.).

4 Fazit

Die Dualität zwischen kreativem und zerstörerischem Potenzial von Naturwissenschaft und Technik beeinflusst gesellschaftliche Spannungen und Konflikte. Diese sind Gegenstand der FuK und können mit sozial- und naturwissenschaftlichen Methoden und Konzepten untersucht und bearbeitet werden, um Risiken zu erkennen und Eskalationen präventiv einzudämmen. Durch verschiedene empirische, konzeptionelle und theoretische Zugänge kann eine umfassende Technikfolgenabschätzung von Konflikt- und Rüstungsdynamiken mit einer integrierten Vulnerabilitäts- und Risikoanalyse für die FuK verbunden werden. Dabei spielt auch die präventive Rüstungskontrolle neuer Technologien eine Rolle, die für verschiedene Zwecke einsetzbar und zu regulieren sind, um ihre Ausfuhr, Verbreitung und gewaltsame Nutzung durch andere Länder oder nichtstaatliche Gruppen zu verhindern oder zu verlangsamen bis zu internationalen Abkommen, die besonders riskante und destabilisierende Waffensysteme verbieten. Zur Vermeidung von Konfliktrisiken und Rüstungsdynamiken spielen schließlich naturwissenschaftlich fundierte Verifikationstechnologien und –verfahren eine wichtige Rolle.

Literatur

Adams, Peter, Christoph Anton, Régis Beaugrand, Jan Geisel-Brinck, Simon Hebel, Philip Keger, Gerald Kirchner, Manuel Kreutle, Romain LeFloc'h, Stefan Neumeier, Irmgard Niemeyer, Alexandre Quinet, Joshua Rutkowski, und Anaïs Uvina. 2019. Documentation of the NuDiVe

- Exercise. <https://www.ipndv.org/reports-analysis/nudive-exercise-full-documentation/> Zugriffen: 20. Januar 2025.
- Albrecht, Stephan, Hans-Joachim Bieber, Reiner Braun, Peter Croll, Henner Ehringhaus, Maria Finckh, Hartmut Graßl, und Ernst Ulrich von Weizsäcker, Hrsg. 2009. *Wissenschaft – Verantwortung – Frieden: 50 Jahre VDW*. Berliner Wissenschafts-Verlag.
- Altmann, Jürgen, Martin Kalinowski, Ulrike Kronfeld-Goharani, Wolfgang Liebert, und Götz Neuneck. 2011. Naturwissenschaft, Krieg und Frieden. In *Friedens- und Konfliktforschung*, Hrsg. Peter Schlotter und Simone Wisotzki, 410–445. Baden-Baden: Nomos.
- Altmann, Jürgen, Ute Bernhardt, Kathryn Nixdorff, Ingo Ruhmann, und Dieter Wöhrle. 2017. *Naturwissenschaft – Rüstung – Frieden*. Wiesbaden: Springer.
- Aimeur, Esma, Sabrine Amri, und Gilles Brassard. 2023. Fake news, disinformation and misinformation in social media: a review. *Social Network Analysis and Mining* 13, 30. <https://doi.org/10.1007/s13278-023-01028-5>.
- Bartosch, Ulrich, Götz Neuneck, und Ulrike Wunderle, Hrsg. 2016. *60 Jahre Russell-Einstein-Manifest, Wissenschaft – Gesellschaft – Verantwortung*. Vereinigung Deutscher Wissenschaftler. 37–43.
- Bendor, Todd, und Jürgen Scheffran. 2019. *Agent-based Modeling of Environmental Conflict and Cooperation*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis.
- Beumer, Lisa, und Irmgard Niemeyer. 2022. A Deep Learning Approach for Safeguards-Relevant Change Detection Using Sentinel-2 Imagery. In *Proceedings of the INMM 63rd Annual Meeting*, Virtual, July 24–28, 2022.
- Brzoska, Michael, und Jürgen Scheffran, Hrsg. 2020. *Climate Change, Security Risks, and Violent Conflicts*. Hamburg: Hamburg University Press.
- Fichtlscherer, Christopher, und Moritz Kütt. 2024. Uniqueness, Reproducibility, and Discrimination of Nuclear Warhead Gamma Signatures. *Science & Global Security* 32, 1. <https://doi.org/10.1080/08929882.2024.2387966>.
- Forstner, Christian, und Götz Neuneck, Hrsg. 2018. *Physik, Militär und Frieden: Physiker zwischen Rüstungsforschung und Friedensbewegung*. Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Frieß, Johannes L., Bernd Giese, Anna Röbbing, und Gunnar Jeremias. 2020. Towards a Prospective Assessment of the Power and Impact of Novel Invasive Environmental Biotechnologies. *S+F Sicherheit und Frieden/Peace and Security* 38, 1: 29–35.
- Hank, Ellison D., Hrsg. 2022. *Handbook of Chemical and Biological Warfare Agents*. Taylor & Francis.
- Hartwig, Katrin, Frederic Doell, und Christian Reuter. 2024. The Landscape of User-centered Misinformation Interventions – A Systematic Literature Review. *ACM Comput. Surv.* 56, 11, Article 292. <https://doi.org/10.1145/3674724>.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). 2011. Safeguards techniques and equipment. – 2011 edition. *International nuclear verification series*, 1, Rev. 2.
- Kronfeld, Ulrike, Wolfgang Baus, Björn Ebbesen, und Markus Jathe, Hrsg. 1993. *Naturwissenschaft und Abrüstung: Forschungsprojekte an deutschen Hochschulen*. Münster: Lit-Verlag.
- Kütt, Moritz, Malte Götsche, und Alexander Glaser. 2018. Information Barrier Experimental: Toward a Trusted and Open-Source Computing Platform for Nuclear Warhead Verification. *Measurement* 114: 185–90. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.09.014>.
- Lepowsky, Eric, Manuel Kreutle, Christoph Wirz, und Alexander Glaser. 2023. Ceci N'est Pas Une Bombe: Lessons from a Field Experiment Using Neutron and Gamma Measurements to Confirm the Absence of Nuclear Weapons. *Science & Global Security* 31, 3: 56–67. <https://doi.org/10.1080/08929882.2023.2252254>.
- Philippe, Sébastien, Robert J. Goldston, Alexander Glaser, und Francesco d'Errico. 2016. A Physical Zero-Knowledge Object-Comparison System for Nuclear Warhead Verification. *Nature Communications* 7, 12890. <https://doi.org/10.1038/ncomms12890>.

- Philippe, Sébastien, Sonya Schoenberger, und Nabil Ahmed. 2022. Radiation Exposures and Compensation of Victims of French Atmospheric Nuclear Tests in Polynesia. *Science & Global Security* 30, 2: 62–94. <https://doi.org/10.1080/08929882.2022.2111757>.
- Reinhold, Thomas, und Christian Reuter. 2023. Zur Debatte über die Einhegung eines Cyberwars: Analyse militärischer Cyberaktivitäten im Krieg Russlands gegen die Ukraine. *Zeitschrift für Friedens und Konfliktforschung* 12, 135–149. <https://doi.org/10.1007/s42597-023-00094-y>.
- Reinhold, Thomas, Philipp Kuehn, Daniel Günther, Thomas Schneider, und Christian Reuter. 2023. ExTRUST: Reducing Exploit Stockpiles With a Privacy-Preserving Depletion System for Inter-State Relationships. *IEEE Transactions on Technology and Society*, 4, 2: 158–170.
- Reuter, Christian, Hrsg. 2024. *Information Technology for Peace and Security: IT Applications and Infrastructures in Conflicts, Crises, War, and Peace*. Wiesbaden: Springer.
- Reuter, Christian, Anja-Liisa Gonsior, Thea Riebe, und Marc-André Kaufhold. 2024. Peace Informatics: Bridging Peace and Conflict Studies with Computer Science. In *Information Technology for Peace and Security: IT Applications and Infrastructures in Conflicts, Crises, War, and Peace*, Hrsg. Christian Reuter, 11–42. Wiesbaden: Springer.
- Reuter, Christian, Jürgen Altmann, Malte Götttsche, und Mirko Himmel. 2020. Zur Naturwissenschaftlich-Technischen Friedens- und Konfliktforschung: Aktuelle Herausforderungen und Bewertung der Empfehlungen des Wissenschaftsrats. *Zeitschrift für Friedens- und Konfliktforschung* 9: 143–54. <https://doi.org/10.1007/s42597-020-00035-z>.
- Riebe, Thea, Stefka Schmid, und Christian Reuter. 2020. Meaningful Human Control of Lethal Autonomous Weapon Systems: The CCW-Debate and Its Implications for VSD. *IEEE Technology and Society Magazine*, 39, 4: 36–51.
- Riebe, Thea, Stefka Schmid, und Christian Reuter. 2024. Dual-Use Information Technology: Research, Development and Governance. In *Information Technology for Peace and Security: IT Applications and Infrastructures in Conflicts, Crises, War, and Peace*, Hrsg. Christian Reuter, 169–188. Wiesbaden: Springer.
- Rid, Thomas, und Ben Buchanan. 2014. Attributing Cyber Attacks. *Journal of Strategic Studies*, 38, 1–2: 4–37. <https://doi.org/10.1080/01402390.2014.977382>
- Schalz, Max, Erik Branger, Malte Götttsche, Sophie Grape, und Cecilia Gustavsson. 2024. Assessing Pakistan's Fissile Material Production. *Science & Global Security*, 1–26. <https://doi.org/10.1080/08929882.2024.2409524>.
- Scheffran, Jürgen. 2021. Zurück zu den Wurzeln: Frieden als Herausforderung für Studium und Lehre in den Naturwissenschaften. *Wissenschaft & Frieden* 3: 14–16.
- Scheffran, Jürgen. 2024. Umwelt- und Klimaschäden durch Kriege und geopolitische Risiken. In *Warnsignal Klima: Herausforderung Wetterextreme*. Hrsg. José L. Lozán, Hartmut GraBl, Dieter Kasang, Markus Quante, und J. Sillmann, Hamburg: in Kooperation mit GEO Magazin, 115–21.
- Sequeira, Vitor, Erik Wolfart, Gunnar Boström, Juha Pekkarinen, Mentor Murtezi, Simone Rocchi, Melvin John, Sven Dietz, Bernie Wishard, Martin Moeslinger, und Katharina Aymanns. 2021. Laser Curtain for Containment and Tracking. In *Proceedings of the INMM & ESARDA Joint Virtual Annual Meeting*, August 23–26 and August 30–September 1, 2021.
- Sonder, Svenja, Carina Prünke, Yannick Fischer, Manuel Kreutle, Jan Scheunemann, und Gerald Kirchner. 2023. Simulating the Passive Neutron and Gamma Signatures of Containerized Nuclear Warheads for Disarmament Verification. *Science & Global Security* 31, 1–2: 16–40. <https://doi.org/10.1080/08929882.2023.2223832>.
- Tobisch, Johannes, Sébastien Philippe, Boaz Barak, Gal Kaplun, Christian Zenger, Alexander Glaser, Christof Paar, und Ulrich Rührmair. 2023. Remote Inspection of Adversary-Controlled Environments. *Nature Communications* 14, 6566. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-42314-2>.

- Vereinte Nationen. 1968. Vertrag über die Nichtverbreitung von Kernwaffen (Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons). Angenommen am 1. Juli 1968. In Kraft getreten am 5. März 1970. Verfügbar unter: <https://treaties.unoda.org/t/npt>. Zugegriffen: 20. Januar 2025.
- von Weizsäcker, Carl Friedrich, Hrsg. 1971. *Kriegsfolgen und Kriegsverhütung*. München: Hanser-Verlag.
- Wissenschaftsrat. 2019. Empfehlungen zur Weiterentwicklung der Friedens- und Konfliktforschung. 7827-19. 1–178. <https://www.wissenschaftsrat.de/download/2019/7827-19.html>. Zugegriffen: 20. Januar 2025.
- Xia, Lili, Alan Robock, Kim Scherrer, Cheryl S. Harrison, Benjamin Leon Bodirsky, Isabelle Weindl, Jonas Jägermeyr, Charles G. Bardeen, Owen B. Toon, und Ryan Heneghan. 2022. Global food insecurity and famine from reduced crop, marine fishery and livestock production due to climate disruption from nuclear war soot injection. *Nat Food* 3, S. 586–596. <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00573-0>.

Weiterführende Literatur

- Altmann, Jürgen, Ute Bernhardt, Kathryn Nixdorff, Ingo Ruhmann, und Dieter Wöhrle. 2017. *Naturwissenschaft – Rüstung – Frieden*. Wiesbaden: Springer.
- Feiveson, Harold A., Alexander Glaser, Zia Mian, und Frank N. von Hippel. 2014. *Unmaking the Bomb: A Fissile Material Approach to Nuclear Disarmament and Nonproliferation*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Reuter, Christian, Hrsg. 2024. *Information Technology for Peace and Security: IT Applications and Infrastructures in Conflicts, Crises, War, and Peace*. Wiesbaden: Springer.
- Scheffran, Jürgen. 2021. Zurück zu den Wurzeln: Frieden als Herausforderung für Studium und Lehre in den Naturwissenschaften. *Wissenschaft & Frieden* 3: 14–16.

Prof. Dr. Dr. Christian Reuter, Professor für Wissenschaft und Technik für Frieden und Sicherheit (PEASEC), Technische Universität Darmstadt: *Naturwissenschaftlich-technische Friedens- und Konfliktforschung*.

Prof. Dr. Jürgen Scheffran, Forschungsgruppe Klimawandel und Sicherheit, Institut für Geographie, Universität Hamburg: *Naturwissenschaftlich-technische Friedens- und Konfliktforschung*.

Manuel Kreutle MSc., Institute of Fusion Energy and Nuclear Waste Management (IFN), IFN-2: Nukleare Entsorgung, Forschungszentrum Jülich: *Naturwissenschaftliche-technische Friedens- und Konfliktforschung*.