

Technologieprognosen im verteidigungs- und sicherheitspolitischen Kontext



**Wir
gestalten
Zukunft**

VDI Research

Düsseldorf, im Januar 2025

Autorinnen und Autoren:

Dr. Anette Braun
Dr. Christine Prokopf
Dr. Lino Schneider-Bertenburg
Sarah Pia Stumpp
Mura Rike Cammann
Dr. Dirk Holtmannspötter
Dr. Prof. Dr. Dr. Axel Zweck

Zitierempfehlung:

Braun, A., Prokopf, C., Schneider-Bertenburg, L., Stumpp, S., Cammann, M., Holtmannspötter, D., Zweck, A. (2025), „Technologieprognosen im verteidigungs- und sicherheitspolitischen Kontext“, VDI Research-Paper 21, VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.), Düsseldorf. <https://www.vditz.de/service/technologieprognosen-im-verteidigungs-und-sicherheitspolitischen-kontext>

Technologieprognosen im verteidigungs- und sicherheitspolitischen Kontext

Verteidigung und Sicherheit spielten bislang in nationalen Foresight-Studien und Technologieprognosen eine untergeordnete Rolle im Vergleich zu Energie, Digitalisierung oder Gesundheit. Eine aktuelle Analyse des VDI Technologiezentrums zeigt¹, dass Themen der Verteidigung und Sicherheit letztlich nur in Foresight-Studien aus Japan und der EU mit größerer Tiefe bearbeitet wurden. Der Fokus dieser Technologieprognosen lag häufig auf zivilen Anwendungen wie Katastrophenschutz, Cybersicherheit und hybriden Bedrohungen. Themen wie Drohnen für Kriegsführung und Drohnenabwehr wurden in einigen Studien hervorgehoben, ebenso wie spezifische Technologien wie hyperspektrale Bildgebung oder KI-Überwachung. Insgesamt dominiert jedoch die Betrachtung von Sicherheitslösungen für zivile und hybride Bedrohungen, während rein militärische Aspekte weniger Priorität haben.

Gleichzeitig prägen technologische Entwicklungen jedoch die moderne Sicherheits- und Verteidigungspolitik wie nie zuvor. Insbesondere Dual-Use-Technologien und disruptive Technologien spielen eine Schlüsselrolle für die NATO und die EU, da sie sowohl immense Chancen eröffnen als auch erhebliche Herausforderungen mit sich bringen.

Ziel des vorliegenden Papers ist eine Metaanalyse aktueller Technologieprognosen im militärischen und sicherheitspolitischen Kontext. Von besonderem Erkenntnisinteresse sind dabei die technologischen Trends, insbesondere neu aufkommender und disruptiver Technologien, die die Sicherheitslandschaft in den kommenden Jahren prägen werden.

Hierfür wurden die militär- und verteidigungsrelevanten Technologieprognosen aus 57 ausgewählten aktuellen nationalen Studien aus Nordamerika und Europa sowie von supranationalen Organisationen wie der NATO und der Europäischen Union sowie Think Tanks und Unternehmensberatungen herangezogen.²

Die ausgewählten Quellen decken ein breites Spektrum an Perspektiven und Visionen ab, mit einem Schwerpunkt auf technologischen Entwicklungen, die für die Verteidigung und Sicherheit von Bedeutung sind. Die Auswahlkriterien für die Berichte waren:

- Aktualität: Veröffentlichungszeitraum ab 2021.
- Zukunftsfokus: Betrachtung künftiger technischer Entwicklungen.
- Technologische Tiefe: Fokus auf mindestens ein Technologiefeld oder spezifische Einzeltechnologien.
- Sozioökonomische Relevanz: Einbeziehung der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Auswirkungen der Technologien.
- Verlässlichkeit: Berichte von Regierungen, staatlichen Institutionen oder internationalen Organisationen und deren Beratungsunternehmen.

Die thematische Ausrichtung der Studien zielt darauf ab, die strategische Bedeutung technologischer Innovationen für militärische Anwendungen, einschließlich Cybersicherheit, Drohnentechnologien und hybrider Bedrohungen, zu erfassen.

In den gesichteten Dokumenten werden zwei Kategorien von Technologien hervorgehoben,

¹ Braun, A., Holtmannspötter, D., Rijkers-Defrasne, S., Abdel-Galil, A., Zweck, A. (2025), „Technologieprognosen – Internationaler Vergleich“, VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.), Zukünftige Technologien Nr. 108, ISSN 1436-5928, Düsseldorf. <https://www.vditz.de/service/publikationen/details/internationale-technologieprognosen>.

² Grundlage hierfür war eine Quellenrecherche offizieller Regierungsdokumente (z. B. nationale Verteidigungsstrategien), wissenschaftlicher Artikel, Think-Tank-Studien (z. B. RAND, SIPRI) und Datenbanken (z. B. Open Alex, Google Scholar, Web of Science). Die Ergebnisse wurden nach Relevanz, Aktualität und Vertrauenswürdigkeit bewertet und selektiert.

die in Zukunft für Verteidigung und Militär von besonderer Bedeutung sein werden: Technologien mit doppeltem Verwendungszweck (Dual-Use-Technologien) und Technologien mit dem „disruptiven“ Potenzial, bestehende Systeme, Prozesse und Denkmuster grundlegend zu verändern oder gar ersetzen zu können.

Mehrheitlich wird erwartet, dass fortschreitende technologische Entwicklungen in diesen Technologiebereichen sowohl die Kriegsführung als auch Verteidigung und Sicherheitsstrategien grundlegend verändern werden. Es wird prognostiziert, dass jene Staaten, die diese Technologien sowie deren kommerzielle und militärische Anwendungen beherrschen, in den kommenden Jahrzehnten die internationale Ordnung sowohl militärisch als auch wirtschaftlich prägen werden. Im Gegensatz dazu droht jenen, die darin scheitern, eine zunehmende Marginalisierung und potenziell sogar eine existentielle Bedrohung.

Für die Ful-Politik im Kontext von Sicherheit und Verteidigung ist es wichtig, diese Trends zu antizipieren und die Forschungs- und Entwicklungsbemühungen an den sich wandelnden Anforderungen auszurichten

Das vorliegende VDI Research Paper bietet eine Zusammenfassung der Metaanalyse aktueller verteidigungs- und sicherheitsrelevanter Technologieprognosen und im Anhang eine annotierte Bibliografie der hierfür grundlegenden und ausgewerteten Berichte.

Metaanalyse verteidigungs- und sicherheitsrelevanter Technologieberichte

Die nachfolgenden Aussagen basieren auf der Zusammenschau der im Anhang annotierten 57 unabhängigen Berichte und stellen deren Gesamtevidenz gebündelt dar.

Allgemeine Ausgangslage

Die ausgewerteten Berichte zeigen große Übereinstimmungen in der Erkenntnis, dass die Welt vor einer Vielzahl komplexer und miteinander verbundener Sicherheitsherausforderungen steht. Um auf die sich verändernde Sicherheitslage zu reagieren, erhöhen Staaten weltweit ihre Verteidigungsausgaben. Besonders betont wird die Notwendigkeit der Zusammenarbeit und

gemeinsamen Beschaffung zwischen Staaten, insbesondere innerhalb der EU, um Ressourcen zu bündeln und Abhängigkeiten von externen Akteuren zu reduzieren. Zudem wird die Sicherung der Versorgung mit kritischen Rohstoffen als strategisch bedeutend hervorgehoben. Russland und Israel dienen in einigen der Berichte als Vorzeigebispiele für eine gelungene Integration neuer und disruptiver Technologien wie von Hyperschallwaffen, unbemannten Systemen und Weltraumfähigkeiten in die militärische Planung.

Dual-Use-Technologien

Dual-Use-Technologien, die sowohl zivile als auch militärische Anwendungen ermöglichen, stehen an der Schnittstelle von Innovation und Sicherheit, was ihre Regulierung und Nutzung komplex gestaltet. Die Berichte wiesen Konsistenz in der Einschätzung zu Dual-Use Technologien aus folgenden Schlüsselbereichen auf:

Halbleiterelektronik ist als technische Grundlage der Digitalisierung inzwischen für fast alle Lebensbereiche von großer Bedeutung. Sie wird aber auch vielfach für militärische Anwendungen eingesetzt wie bspw. in unbemannten Luftfahrzeugen (UAVs), im Zusammenhang mit globalen Navigationssatellitensystemen (GNSS), Radargeräten und Raketenlenksystemen.

Künstliche Intelligenz (KI) kann die Entscheidungsfindung im Bereich der nationalen Sicherheit verbessern, indem sie große Datenmengen verarbeitet, Muster und Trends erkennt und so Erkenntnisse liefert, die der menschliche Verstand allein nicht erfassen kann. KI gilt aber auch als zentrale Technologie der militärischen Transformation. Autonome Waffensysteme, datenbasierte Entscheidungsunterstützung, Cyberabwehr und Logistikoptimierung zeigen das immense Potenzial von KI im militärischen Kontext. Gleichzeitig werfen die ethische Regulierung und die Sicherstellung der Vertrauenswürdigkeit von KI-Systemen erhebliche Fragen auf.

Biotechnologie, wie z. B. Fortschritte in der synthetischen Biologie, hat Auswirkungen auf die Medizin, Landwirtschaft und Materialwissenschaften, kann aber auch für die Entwicklung neuer Waffen oder zur Verbesserung der Leis-

tungsfähigkeit von Soldaten und Soldatinnen eingesetzt werden. Zukunftspotenziale werden insbesondere der Erkennung und Abwehr biologischer Bedrohungen, der Entwicklung selbstheilender Materialien sowie der Optimierung von Gesundheit und Leistungsfähigkeit durch Biotechnologie zugeschrieben.

Quantentechnologien, einschließlich Quantencomputern und -sensoren, bieten Fortschritte in den Bereichen Kommunikation, Navigation und Kryptografie. Besonders wichtig ist die Post-Quanten-Kryptografie zur Sicherung von Kommunikationssystemen. Dies wirft Bedenken hinsichtlich der Sicherheit bestehender Verschlüsselungsmethoden zum Schutz geheimer Regierungsdaten auf. Quantensensoren könnten beispielsweise die Effektivität von U-Booten deutlich erhöhen. Die Quantenkommunikation soll eine sicherere Kommunikation und Interoperation zwischen militärischen Systemen ermöglichen.

Weltraumtechnologien zur sicheren Nutzung des Weltraums, insbesondere die Satellitenkommunikation und -navigation, sowie zur Erdbeobachtung, sind für viele zivile Lebensbereiche unerlässlich. Gleichzeitig hat die militärische Nutzung des Weltraums stark an Bedeutung gewonnen und der Weltraum entwickelt sich zunehmend zu einem strategischen Operationsgebiet, in dem Satelliten eine unverzichtbare Rolle spielen. Sie bieten vielfältige Optionen für Kommunikation, Navigation und Aufklärung sowie zur Abwehr von Bedrohungen.

Materialwissenschaft und neue Fertigungstechniken haben einen ausgeprägten Dual-Use-Charakter, da sie sowohl militärische als auch zivile Anwendungen ermöglichen. Leichte und widerstandsfähige Materialien finden Anwendung in der Luft- und Raumfahrt, im Automobilbau und in der Bauindustrie, wo sie die Energieeffizienz und Sicherheit verbessern; sie eignen sich aber auch für leichtere Panzerungen und bessere Tarnkappen-Technologien.

Additive Fertigung und 3D-Druck ermöglichen die Fertigung von Ersatzteilen, medizinischen Geräten und Konsumgütern, Teilen und Komponenten direkt vor Ort, was die Logistik und Versorgungsketten – auch im militärischen Kontext – erheblich vereinfacht.

Robotik umfasst die Entwicklung und Anwendung von Systemen, die selbstständig operieren und komplexe Aufgaben ohne menschliches Eingreifen ausführen. Insbesondere Drohnen, unbemannte Fahrzeuge und Schwarmtechnologien haben jedoch auch das Potenzial, die Kriegsführung zu revolutionieren. Autonome Systeme können effizienter und präziser agieren, was ihre strategische Bedeutung unterstreicht. Die wachsende Autonomie von Waffensystemen erfordert eine globale Debatte über die ethischen und rechtlichen Rahmenbedingungen.

Zuverlässige Kommunikationstechnologien sind unerlässlich für die Koordination und Umsetzung von Strategien. Hierzu zählen Satellitenkommunikation, sichere Funksysteme und integrierte Kommando- und Kontrollnetzwerke. Cybersicherheit, Cyberabwehr und der Umgang mit Desinformation sind zentrale Herausforderungen, wobei robuste IT-Systeme und neue Verschlüsselungstechnologien von entscheidender Bedeutung sind.

Implikationen der verstärkten Nutzung von Dual-Use-Technologien für Verteidigung und Sicherheit

Verschwimmende Grenzen zwischen zivil und militärisch

Dual-Use-Technologien wie künstliche Intelligenz oder Biotechnologie verwischen die Grenzen zwischen zivilen und militärischen Technologieentwicklungen. Es wird dadurch teilweise auch unklar, ob die jeweils leistungsfähigste verfügbare Technologie aus zivilen oder militärischen Quellen stammt. Dies erschwert die Exportkontrolle, da traditionelle Regulierungsansätze nicht auf die breite zivile Verfügbarkeit solcher Technologien ausgelegt sind. Das Risiko, dass diese Technologien in die falschen Hände geraten, steigt dadurch erheblich.

Missbrauch und Proliferation

Der mögliche Einsatz von Dual-Use-Technologien für aggressive Zwecke, wie etwa die Entwicklung von Massenvernichtungswaffen, stellt eine ernstzunehmende Bedrohung dar. Staaten und nichtstaatliche Akteure könnten bestimmte frei verfügbare Technologien zivilen Ursprungs für offensive militärische Zwecke missbrauchen.

Ethische Fragen

Technologien wie autonome Systeme werfen schwierige ethische Fragen auf: Sollten Maschinen Entscheidungen mit weitreichenden Konsequenzen für Menschen treffen dürfen? Diese Debatten sind zentral für die gesellschaftliche Akzeptanz und die rechtliche Regulierung solcher Technologien.

Technologischer Wettbewerb

Die globale Konkurrenz um die wirtschaftliche und technologische Vorherrschaft in Schlüsseltechnologien mit zivilem Ursprung erhöht den Druck auf NATO- und EU-Staaten, Investitionen und Innovationen zu forcieren, um nicht von wirtschaftlich aufstrebenden Mächten dann auch militärisch abgehängt zu werden.

Synergieeffekte zwischen ziviler und militärischer Forschung

Eine zunehmend engere Zusammenarbeit zwischen zivilem und militärischem Sektor kann Innovationen beschleunigen. So können etwa Fortschritte in der Robotik sowohl für die Katastrophenhilfe als auch für militärische Einsätze nutzbar gemacht werden.

Wirtschaftliche Impulse

Die Förderung von Dual-Use-Technologien bietet ebenfalls wirtschaftliche Vorteile, da sie Unternehmen Zugang zu größeren Märkten eröffnet. Die Entwicklung solcher Technologien schafft neue Arbeitsplätze und stärkt die industrielle Basis.

Krisenbewältigung

Dual-Use-Technologien, wie etwa Drohnen oder fortschrittliche Kommunikationstechnologien, können effektiv bei der Bewältigung von humanitären Krisen oder Naturkatastrophen eingesetzt werden.

Disruptive Technologien

Disruptive Technologien zeichnen sich durch ihr Potenzial aus, bestehende militärische und sicherheitspolitische Strukturen grundlegend

zu verändern. Diese Technologien beeinflussen die strategischen Prioritäten der NATO und EU maßgeblich.³ Die ausgewerteten Quellen betonen die steigende Bedeutung disruptiver Technologien für Sicherheit und Verteidigung insbesondere in folgenden Schlüsselbereichen:

Künstliche Intelligenz wird bereits heute in der Verteidigung eingesetzt, bspw. bei der Entscheidungsunterstützung. KI ist ein zentraler Treiber für die militärische Transformation. Von datenbasierten Bedrohungsanalysen bis hin zu autonomen Waffensystemen bietet KI vielfältige zukünftige militärische Einsatzmöglichkeiten, die menschliche Entscheidungsprozesse ersetzen oder erheblich unterstützen können.

Biotechnologien eröffnen etwa durch Gen-Editierung und synthetische Biologie neue Optionen, sie werfen jedoch auch ethische und sicherheitspolitische Fragen auf. Zum Beispiel schaffen Gen-Editierung und synthetische Biologie Möglichkeiten für die Optimierung der körperlichen und kognitiven Fähigkeiten von Soldaten und Soldatinnen.

Quantentechnologien, wie Quantencomputing und -sensorik, haben das Potenzial, die Kommunikation und Informationsverarbeitung sowie die Aufklärung grundlegend zu verändern. Bestehende Verschlüsselungsmethoden könnten durch den Einsatz von Quantenalgorithmen kompromittiert und Stealth-Technologien (low observable) durch Quantenradar hinfällig werden. Fortschritte in der Quantenkryptografie könnten die Sicherheit von Kommunikationssystemen revolutionieren,

Weltraumtechnologien: Der Weltraum wird zunehmend militarisiert und ist immer mehr strategisches Operationsgebiet, was neue Herausforderungen für die Überwachung, Kommunikation und Verteidigung mit sich bringt. Die Sicherung von Satelliteninfrastrukturen wird zur essenziellen Aufgabe für moderne Streitkräfte.

³ Definition: In der Verordnung des Europäischen Verteidigungsfonds (EVF) wird eine disruptive Technologie für den Verteidigungsbereich definiert als eine „verbesserte oder völlig neue Technologie, die einen radikalen Wandel, einschließlich eines Paradigmenwechsels im Konzept und in der Durchführung von Verteidigungsangelegenheiten, bewirkt, indem sie beispielsweise bestehende Verteidigungstechnologien ersetzt oder überflüssig macht“.

Quelle: EU (2021) EUR-Lex - 32021R0697, <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/697/oj>.

Hyperschallwaffen bieten neuartige Optionen für die Streitkräfte, da sie durch ihre extrem hohen Geschwindigkeiten und andersartige Manövrierfähigkeit neue taktische Möglichkeiten eröffnen. Diese Technologien ermöglichen es, Ziele schneller und effektiver zu erreichen, was die strategischen Fähigkeiten der Streitkräfte erheblich erweitert. Gleichzeitig stellen sie eine neue Herausforderung für die Luftverteidigung dar, da ihre Geschwindigkeit und Manövrierfähigkeit die bisherige Luftabwehr überfordern. Forschung und Entwicklung konzentrieren sich daher zunehmend auf die Abwehr solcher Bedrohungen.

Hochenergie-Waffen, insbesondere gerichtete Energiesysteme wie Laser, bieten die Möglichkeit, feindliche Ziele schnell und mit minimalem logistischen Aufwand zu bekämpfen. Diese Technologien zeichnen sich durch ihre hohe Präzision und Effizienz aus, was sie zu einem wertvollen Instrument in der modernen Kriegsführung macht. Sie eröffnen neue Optionen für den Einsatz in verschiedenen militärischen Szenarien, darunter der Abwehr von Drohnen, die in Schwärmen oder als einzelne Ziele operieren. Durch ihre Fähigkeit, solche Bedrohungen in Echtzeit zu neutralisieren, tragen sie erheblich zur Verteidigung gegen unbemannte Luftsysteme bei.

Implikationen der verstärkten Nutzung disruptiver Technologien für Verteidigung und Sicherheit

Verbesserte militärische Fähigkeiten

Disruptive Technologien können die Präzision, Effizienz und Reaktionsfähigkeit von Streitkräften deutlich steigern.

Neue Bedrohungen

Technologien wie autonome Waffensysteme oder Hyperschallraketen könnten das strategische Gleichgewicht destabilisieren und neue Rüstungswettläufe auslösen.

Ethische und rechtliche Implikationen

Aufgrund des Aufkommens disruptiver Technologien müssen sich Rüstungskontrollvereinbarungen neuen Realitäten anpassen.

Fazit: Herausforderungen und Chancen für die Verteidigung und Sicherheit

Aus den ausgewerteten Berichten geht hervor, dass Dual-Use- und disruptive Technologien immense Chancen für die Verteidigung und Sicherheit bieten, aber auch erhebliche Herausforderungen beinhalten. Die fortschreitende Digitalisierung und Vernetzung stellen Regierungen vor enorme Herausforderungen bei der Entwicklung und Integration zukünftiger Waffensysteme. Diese zeichnen sich durch erhöhte Reichweite, Letalität und Geschwindigkeit aus, wobei die Konnektivität eine zentrale Rolle spielt, um Systeme, Plattformen und Entscheidungsträger effizient zu vernetzen. Insbesondere erfordert die zunehmende Vernetzung fortschrittliche Befehls- und Kontrollsysteme, die eine reibungslose Integration von Software und Sensoren ermöglichen. Die Interoperabilität zwischen neuen und älteren Systemen sowie mit verbündeten Streitkräften wird dabei immer kritischer, was moderne Lieferketten und eine flexible Anpassungsfähigkeit unabdingbar macht.

Um die Potenziale dieser Technologien voll auszuschöpfen und Risiken zu minimieren, bedarf es einer umfassenden Strategie, die Forschung und Entwicklung fördert, ethische/rechtliche Leitlinien etabliert und internationale Kooperationen stärkt. Auch wenn Wirksamkeit und Einsatzmöglichkeiten durch (bewusste) Verstöße untergraben werden können, bleibt die Entwicklung globaler ethischer und rechtlicher Standards unerlässlich, um die verantwortungsvolle Erforschung und Entwicklung von Technologien für größere, integrierte Sicherheit zu gewährleisten und ihr Potenzial im Einklang mit gesellschaftlichen Werten zu nutzen.

Anhang: annotierte Bibliografie

NATO	7
Europäische Union	9
Nationale Regierungen	14
Think Tanks und Unternehmensberatungen	19

NATO

Nato (2020) Science & Technology Trends 2020–2040:

https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf

Der NATO-Bericht bewertet aufkommende und disruptive Technologien (EDTs) und deren potenziellen Einfluss auf militärische Operationen, Verteidigungsfähigkeiten und politische Entscheidungen der Allianz bis 2040. Der Bericht, basierend auf nationalen und internationalen Studien, Workshops und Technologiebeobachtungen, analysiert verschiedene EDT-Bereiche detailliert (z. B. künstliche Intelligenz, Autonomie, Quantentechnologien, Raumfahrt, Hyperschall, Biotechnologie und neue Materialien). Zentrale Themen sind die synergistischen Effekte zwischen diesen Technologien, deren potenzieller Einfluss (revolutionär, hoch, moderat) und die damit verbundenen Herausforderungen (ethisch, rechtlich, interoperabilitätsbezogen). Ziel ist es, militärische und zivile Entscheidungsträger über EDTs aufzuklären und die NATO-F&E-Bemühungen zu fokussieren, um die zukünftige Einsatzfähigkeit und den technologischen Vorsprung der Allianz zu sichern. Der Anhang clustert disruptive Technologien entlang „technology focus areas“ und NATO S&T „targets of emphasis“.

NATO (2023): Allied Command Transformation Strategic Foresight Analysis 2023

https://www.act.nato.int/wp-content/uploads/2024/05/SFA2023_rev2.pdf

Die NATO-Analyse „Allied Command Transformation Strategic Foresight Analysis 2023“ (SFA23) prognostiziert das sicherheitspolitische Umfeld bis 2043. Sie identifiziert sieben Schlüsselfaktoren – darunter Klimawandel, Ressourcenknappheit und KI – als treibende Kräfte für tiefgreifende Veränderungen. Die Analyse beschreibt mögliche Entwicklungspfade, von globaler Kooperation bis hin zu umfassender Konkurrenz, wobei letztere als wahrscheinlicher eingestuft wird. Die Auswirkungen auf die NATO-Instrumente der Machtausübung (diplomatisch, informationell, ökonomisch und militärisch) werden untersucht, um die Anpassungsfähigkeit des Bündnisses an zukünftige Herausforderungen zu gewährleisten. Die Studie

dient als Grundlage für weitere Analysen und die zukünftige Planung der NATO.

NATO (2023) Science & Technology Trends: 2023–2043

(Volume 1), https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2023/3/pdf/stt23-vol1.pdf

(Volume 2), https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2023/3/pdf/stt23-vol2.pdf

Der NATO Bericht „Science & Technology Trends: 2023–2043“ analysiert und bewertet aktuelle und zukünftige Entwicklungen in Wissenschaft und Technologie und deren potenzielle Auswirkungen auf militärische Operationen, Verteidigungsfähigkeiten, Unternehmensfunktionen und politische Entscheidungen. Basierend auf weltweiten Erkenntnissen und Forschungsaktivitäten liefert der Bericht einen fundierten Überblick über die Technologie-Trends in den kommenden zwei Jahrzehnten. Der NATO-Bericht besteht aus zwei Bänden: Der erste fasst die allgemeinen Schlussfolgerungen zusammen, der zweite bietet eine detaillierte Analyse der Methodik und Daten. Der Bericht konzentriert sich auf aufkommende und disruptive Technologien (EDTs) wie künstliche Intelligenz, Robotik, Raumfahrt, Hyperschall und Biotechnologie, die tiefgreifende Auswirkungen auf die militärische Einsatzfähigkeit und politische Entscheidungsprozesse haben könnten. Er hebt die Synergien zwischen diesen Technologien sowie die damit verbundenen Herausforderungen in Bereichen wie Ethik, Sicherheit und Interoperabilität hervor. Besonders betont wird die Rolle von Dual-Use-Technologien, die Kooperationen zwischen Militär und Zivilgesellschaft fördern, aber auch neue Risiken bergen. Die NATO strebt eine koordinierte Strategie an, um diese Technologien zu integrieren und ihre Sicherheitsfähigkeiten zu stärken.

NATO(2024): NATO 2099

https://www.nato.int/cps/en/natohq/news_228113.htm?selectedLocale=en

Die NATO Defense College Research Division veröffentlichte eine Science-Fiction-Anthologie „NATO 2099“, die sich mit der Zukunft der NATO im Jahr 2099 auseinandersetzt. Die Anthologie, verfasst von Autoren und Autorinnen aus NATO- und Partnerländern, zeichnet in 15 separaten Zukunftsgeschichten zukünftige Herausforderungen für die Allianz bis zum Jahr 2099,

indem es diverse Szenarien, wie etwa Klimawandelfolgen, den Einsatz von KI im Militär und die Rolle der NATO im Weltraum, darstellt. Ziel war es, die Widerstandsfähigkeit und Anpassungsfähigkeit der NATO als Schlüssel zum Erfolg in ungewissen Zeiten hervorzuheben. Die Erzählungen beinhalten faszinierende und spekulative Elemente wie: telepathische Waffen, eine schwimmende Ozeanstadt, die aus dem Reichtum der Eisbergwassergewinnung entstand, eine KI-Nation ohne Territorium als NATO-Mitglied, eine NATO mit Japan, Australien und anderen indo-pazifischen Ländern, einen NATO-Gipfel 2099 in Kiew, Ukraine, Russland auf der Suche nach einem Bündnis mit der NATO, nachdem China Ostsibirien ins Visier genommen hat, Bibliotheken als militärisch wertvolle Ziele zur KI-Schulung, futuristische Nahrung wie synthetischen Tee oder Heuschrecken-Soufflé.

Der einleitende Essay betont die Bedeutung von Science-Fiction zur Zukunftsplanung im militärischen und politischen Kontext, unter Bezugnahme auf historische Beispiele und aktuelle Initiativen. Die Anthologie soll die Herausforderungen und Anpassungsfähigkeit der NATO in einem sich verändernden Umfeld erforschen. Weitere Veröffentlichungen der Research Division befassen sich mit Themen wie Weltraumkooperation, KI und russischer Kampfkraft.

Darüber hinaus wurde ein Comic entwickelt, die „Graphic Novel NATO 2099“, die in einer dystopischen Zukunft spielt: In den 2050er Jahren führen kleine, bösartige Gruppen mithilfe unbemannter Technologien Angriffe auf Kriegsschiffe durch, nehmen Kreuzfahrtschiffe als Geiseln und verübten Terrorakte gegen Zivilisten und Zivilistinnen. Nach der erfolgreichen Bekämpfung dieser Netzwerke durch eine globale Zusammenarbeit unterzeichneten die Regierungen einen Friedensvertrag, der fast 40 Jahre Bestand hatte. Jetzt, im Jahr 2099, taucht jedoch eine neue Bedrohung aus dem Weltraum auf ...

NATO 2099 als Comic: <https://www.ndc.nato.int/nato2099/read.php>

NATO 2099 als Anthologie: <https://www.ndc.nato.int/news/news.php?icode=1920>

NATO (2024): Emerging and disruptive technologies

https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_184303.htm

Diese NATO-Website befasst sich mit neuartigen und disruptiven Technologien (EDTs), die sowohl Risiken als auch Chancen für die NATO und ihre Verbündeten darstellen. Sie beschreibt die strategische Bedeutung von EDTs für die NATO, deren umfassende Strategie zur Förderung und zum Schutz dieser Technologien sowie konkrete Initiativen wie den Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic (DIANA) und den NATO Innovation Fund. Die Website dokumentiert die Entwicklung der NATO-EDT-Politik über einen Zeitraum von mehreren Jahren und bietet Zugang zu offiziellen Dokumenten und Nachrichten. Schließlich werden auch die Zusammenarbeit mit Partnern und die Unterstützung der Ukraine hervorgehoben. Es werden neun vorrangige Technologiebereiche aufgelistet, auf die sich die Innovationsaktivitäten der NATO derzeit konzentrieren. Diese neun Bereiche gelten als disruptive Technologien: Künstliche Intelligenz (); autonome Systeme; Quantentechnologien; Biotechnologie und Technologien zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit des Menschen; Raumfahrt; Hyperschallsysteme; neuartige Materialien und Fertigung; Energie und Antrieb; Kommunikationsnetzwerke der nächsten Generation.

NATO (2024): Critical Dual-Use Technologies: Commercial, Regulatory, Societal, and National Security Challenges

<https://www.nato-pa.int/download-file?file-name=/sites/default/files/2024-04/051%20ESC%2024%20E%20-%20CRITICAL%20DUAL%20USE%20TECHNOLOGIES%20-%20BALDWIN%20REPORT.pdf>

Der Bericht von Harriett Baldwin für die Parlamentarische Versammlung der NATO analysiert die Herausforderungen durch die zunehmende Verflechtung von kommerziellen und militärischen Technologien. Er untersucht, wie China und Russland westliche Technologien nutzen und wie die NATO durch Exportkontrollen, Sanktionen und Initiativen wie DIANA dahingehend vorbeugen kann, dass China und/oder Russland einen technologischen Vorsprung erreichen. Der Bericht hebt die Bedeutung von künstlicher Intelligenz und Halbleitern hervor

und betont die Notwendigkeit einer verstärkten Zusammenarbeit zwischen Regierungen und dem Privatsektor. Schließlich werden strategische Schwachstellen in den Lieferketten und die damit verbundenen Risiken für die militärische Sicherheit adressiert. Der Fokus liegt auf der Aufrechterhaltung des technologischen Vorsprungs des Westens angesichts des wachsenden Wettbewerbs. Der Bericht kommt zu dem Schluss, dass die NATO-Verbündeten einen umfassenderen Rahmen für die Regulierung des Handels mit sensiblen Technologien mit konkurrierenden Nationen benötigen. Die Durchsetzung der bestehenden Vorschriften hat sich als unzureichend erwiesen, um Verstöße gegen Export-Beschränkungen zu verhindern.

NATO (2024): First Allied Foresight Conference

https://www.act.nato.int/wp-content/uploads/2024/08/AFC_HelsinkiSummaryReport_FINAL.pdf

Der Bericht fasst die erste „Allied Foresight Conference“ in Helsinki zusammen, die von der NATO und dem finnischen Verteidigungsministerium veranstaltet wurde. Zentraler Punkt ist die Notwendigkeit, vorausschauendes Denken (Foresight) systematisch in die Politik und Planung der NATO und ihrer Mitgliedstaaten zu integrieren, um sich auf zukünftige Herausforderungen vorzubereiten. Der Bericht skizziert die Methodologie des Foresight, betont die Wichtigkeit von Zusammenarbeit, Innovation und Inklusion und identifiziert schlüsselhafte zukünftige Herausforderungen, darunter technologische Veränderungen, geopolitische Verschiebungen, ökologische Risiken, Cyber- und Raumfahrtbedrohungen sowie die Aufrechterhaltung der Bündniskohäsion. Die Bewältigung des technologischen Wandels ist eine zentrale Herausforderung für die NATO und ihre Verbündeten. Durch die Überwachung neuer Technologien, die Bewältigung des dualen Charakters von Technologien, die Integration neuer Technologien und die Nutzung fortschrittlicher Analysemethoden kann die NATO sicherstellen, dass sie auf dem sich ständig weiterentwickelnden Schlachtfeld von morgen erfolgreich sein kann.

Letztendlich appelliert der Bericht an ein ganzheitliches Vorgehen, um die NATO für zukünftige Risiken zu rüsten.

Europäische Union

Europäische Kommission Gemeinsame Forschungsstelle (2020): Horizon Scanning on Dual-Use Civil and Military Research 2020

<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/75e1f46a-12a8-11eb-9a54-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-209829739>

Der Bericht der Gemeinsamen Forschungsstelle (GFS) der EU-Kommission untersucht 14 aufkommende Technologien mit Dual-Use-Potenzial, also Anwendungen, die sowohl eine zivile als auch militärische Nutzung ermöglichen. Sechs dieser Technologien sind kurzfristig relevant, d. h. innerhalb der nächsten zehn Jahre. Im Fokus stehen vier biologiezentrierte Themen: multifunktionale Materialien, CRISPR, Verbesserung der menschlichen Leistungsfähigkeit und synthetische Biologie. Ergänzend dazu werden Schlüsseltechnologien wie Raumfahrt und künstliche Intelligenz hervorgehoben. Die GFS plant, ihre Forschung in den Bereichen Biowissenschaften und Raumfahrt fortzusetzen, um neue Technologien und schwache Signale frühzeitig zu identifizieren und so die technologische Souveränität Europas zu stärken.

Europäische Verteidigungsagentur (2021): EDA Technology Foresight Exercise 2021

<https://eda.europa.eu/docs/default-source/eda-publications/edatechnologyforesightexercise-finalresults.pdf>

Die „EDA Technology Foresight Exercise 2021“ der Europäischen Verteidigungsagentur (EDA) untersucht zukünftige Entwicklungen der Verteidigungstechnologie bis 2040 und darüber hinaus. Die Studie identifiziert folgende Schlüsseltechnologien und -trends, die die Verteidigungspolitik der EU beeinflussen könnten: Biotechnologie: Geneditierung und synthetische Biologie schaffen Chancen für die Bekämpfung biologischer Bedrohungen und Risiken, wie etwa die Entwicklung von Biowaffen.

Desinformation und Informationskrieg: Quantencomputing und Gehirn-Maschine-Schnittstellen eröffnen neue Möglichkeiten für die Informationsverarbeitung, aber auch Risiken durch neue Desinformationsstrategien.

Erweiterte Realität und Automatisierung: Fortschritte in AR/VR und der Einsatz von Robotik sowie Automatisierung werden auch durch den demografischen Wandel getrieben.

Optimierung des Menschen: KI und Biotechnologie könnten die physischen und kognitiven Fähigkeiten von Soldaten und Soldatinnen verbessern.

Umwelt: Der Klimawandel wird neue Aufgaben im Katastrophenschutz für das Militär nach sich ziehen.

Cyber und KI: Der Cyberspace wird zunehmend zu einem strategischen Operationsgebiet, KI und autonome Systeme gewinnen an Bedeutung. Die Ergebnisse unterstützen die langfristige Planung und Entscheidungsfindung im Verteidigungssektor.

Europäisches Parlament (2021): Strategic communications as a key factor in countering hybrid threats

[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/656323/EPRS_STU\(2021\)656323_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/656323/EPRS_STU(2021)656323_EN.pdf)

Der Bericht des European Parliamentary Research Services analysiert hybride Bedrohungen, ihre Komponenten und Strategien zu ihrer Bekämpfung, wobei der Fokus auf der Rolle digitaler Technologien und strategischer Kommunikation liegt. Er untersucht verschiedene Fallstudien aus aller Welt – darunter die russische und chinesische Einflussnahme, den Konflikt in der Ukraine und Desinformationskampagnen gegen die NATO –, um die Herausforderungen für die EU aufzuzeigen. Der Hauptteil besteht aus einer detaillierten Analyse strategischer Kommunikation als Schlüsselfaktor zur Abwehr hybrider Bedrohungen, einschließlich ihrer Merkmale, Herausforderungen und Implementierung. Abschließend werden politische Optionen zur Verbesserung der EU-Reaktion auf hybride Bedrohungen bewertet, mit Schwerpunkt auf Rechtsrahmen, Sanktionen, künstlicher Intelligenz und Bürgeraufklärung.

Europäisches Parlament (2021): Innovative technologies shaping the 2040 battlefield

[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/690038/EPRS_STU\(2021\)690038_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/690038/EPRS_STU(2021)690038_EN.pdf)

Der European Parliamentary Research Service beauftragte RAND Europe mit der Durchführung einer Studie über „Innovative Technologien, die das Schlachtfeld 2040 prägen werden“. Diese Studie untersucht die Auswirkungen neuer und aufkommender Technologien auf zukünftige

Schlachtfelder bis 2040. Sie konzentriert sich auf sechs Technologiefelder: künstliche Intelligenz, fortgeschrittene Robotik und autonome Systeme, Biotechnologie, Technologien zur Freisetzung neuartiger Wirkungen, Satelliten und weltraumgestützte Technologien sowie Mensch-Maschine-Schnittstellen. Die Analyse stützt sich auf Literaturrecherchen, Horizon-Scanning und Expertengespräche, wobei politische, soziale, wirtschaftliche und ökologische Trends als Einflussfaktoren auf das zukünftige strategische Umfeld berücksichtigt werden. Ziel ist es, die Chancen und Herausforderungen für die europäische Verteidigung im Kontext dieser technologischen Entwicklungen zu identifizieren und politische Handlungsempfehlungen für die EU abzuleiten. Die Studie enthält quantitative und qualitative Analysen, wobei die Grenzen der verwendeten Methoden explizit angesprochen werden.

Besonderes Augenmerk gilt der „full technology list“ im Anhang E der Studie, S. 108 ff., die im Rahmen des Horizon-Scannings der Studie identifiziert wurde (Titel der Technologie, die Quelle(n) und relevante Technologiecluster).

Europäische Kommission (2022): Fahrplan für kritische Technologien im Sicherheits- und Verteidigungssektor der EU

https://www.europarl.europa.eu/meet-docs/2014_2019/plmrep/COMMITTEES/ITRE/DV/2022/06-14/COM_COM20220061_DE.pdf

Der „Fahrplan für kritische Technologien für Sicherheit und Verteidigung“ befasst sich mit verschiedenen militärischen und sicherheitsrelevanten Technologien, ohne diese im Einzelnen aufzulisten. Im Mittelpunkt stehen die Förderung der technologischen Souveränität Europas sowie die Reduzierung strategischer Abhängigkeiten. Es werden konkrete Maßnahmen zur Verbesserung der Zusammenarbeit zwischen EU-Mitgliedstaaten, der Stärkung der europäischen Industrie und der Kooperation mit Partnern wie den USA und der NATO vorgeschlagen, um eine technologische Souveränität und wirtschaftliche Widerstandsfähigkeit zu erreichen. Die Kommission plant, Technologiefahrpläne zu entwickeln, die Abhilfemaßnahmen zur Förderung von Forschung und Innovation und zur Verringerung strategischer Abhängigkeiten in den Bereichen Sicherheit und Verteidigung aufzei-

gen. Der Fahrplan schlägt die Einrichtung einer Beobachtungsstelle für kritische Technologien vor, um Bedarfe zu identifizieren und Synergien zwischen ziviler und militärischer Forschung zu schaffen.

Europäisches Parlament (2022): Emerging disruptive technologies in defence

[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/733647/EPRS_ATA\(2022\)733647_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/733647/EPRS_ATA(2022)733647_EN.pdf)

Das Briefing-Dokument des Europaparlaments analysiert den Stand der Entwicklung und die Anwendung neu aufkommender und disruptiver Technologien (EDTs) im Verteidigungsbereich, insbesondere im Vergleich der EU zu den globalen Mächten China, Russland und den USA. Es betont die signifikante Investitionslücke der EU in Forschung und Entwicklung von EDTs wie künstlicher Intelligenz, Robotik und Hyperschallwaffen, welche zu einer potenziellen technologischen Abhängigkeit und einem militärischen Relevanzverlust führen könnten. Das Briefing beschreibt verschiedene EU-Initiativen wie den Europäischen Verteidigungsfonds (EDF) und die Europäische Verteidigungsagentur (EDA), die darauf abzielen, diese Lücke zu schließen und die europäische Verteidigungsinnovation zu stärken. Schließlich werden die Bedeutung internationaler Kooperation, insbesondere mit der NATO, und die Notwendigkeit einer ethisch und rechtlich verantwortungsvollen Entwicklung von EDTs hervorgehoben.

Europäisches Parlament (2023): Securing Europe's supply of critical raw materials

[https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI\(2023\)739394](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2023)739394)

Das Briefing-Dokument des Europaparlaments analysiert die Abhängigkeit der Europäischen Union von kritischen Rohstoffen (CRMs) für Schlüsselindustrien wie erneuerbare Energien und Verteidigung. Die steigende Nachfrage, insbesondere im Kontext der grünen und digitalen Transformation, verstärkt die Risiken einer unzureichenden Versorgung mit kritischen Rohstoffen, da die EU stark von Importen, oft aus wenigen Ländern, abhängig ist. Der Bericht plädiert daher für eine umfassende Strategie zur Diversifizierung der Beschaffung, Förderung von Recycling und für stärkere internationale

Partnerschaften, um die Versorgungssicherheit und die strategische Autonomie der EU zu gewährleisten. Zentral ist die Notwendigkeit, die Abhängigkeit von Drittstaaten zu reduzieren und gleichzeitig nachhaltige Lieferketten zu etablieren.

Europäisches Parlament (2023): Future Shocks 2023: Anticipating and weathering the next storms

[https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_STU\(2023\)751428](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_STU(2023)751428)

Der Bericht des Europäischen Parlaments identifiziert 15 wesentliche Risiken für die Europäische Union im nächsten Jahrzehnt und schlägt zehn politische Maßnahmen zur Stärkung der Resilienz der EU vor. Die Risiken werden in fünf Kategorien gegliedert: Geopolitik, Klimawandel, Gesundheit, Wirtschaft und Demokratie. Der Bericht analysiert die Wechselwirkungen dieser Risiken und zeigt, wie die vorgeschlagenen Maßnahmen mehrere Risiken gleichzeitig adressieren können. Ein zentrales Thema ist die Stärkung der strategischen Autonomie der EU, insbesondere in Bereichen wie Energieversorgung, kritische Rohstoffe und Technologieentwicklung. Der Bericht basiert auf einer umfassenden Literaturrecherche und beinhaltet Szenarioanalysen, um mögliche zukünftige Entwicklungen und deren Auswirkungen auf die EU zu beleuchten. Das Ziel ist, Entscheidungsträgern im Europäischen Parlament und anderen EU-Institutionen eine fundierte Grundlage für die Entwicklung zukünftiger Strategien und Politiken zu liefern.

Europäische Verteidigungsagentur (2023): Enhancing EU Military Capabilities Beyond 2040

<https://eda.europa.eu/docs/default-source/eda-publications/enhancing-eu-military-capabilities-beyond-2040.pdf>

Die Studien der Europäischen Verteidigungsagentur (EDA) bieten eine umfassende Analyse der zukünftigen Herausforderungen für die militärischen Fähigkeiten der EU bis 2040 und darüber hinaus. Sie identifizieren Schlüssel-trends wie den Klimawandel, demografische Veränderungen und technologische Entwicklungen, die die militärischen Anforderungen beeinflussen. Dabei werden Szenarien und Expertenmeinungen genutzt, um zukünftige

Bedrohungen und notwendige Fähigkeitsbereiche zu ermitteln. Besonders betont werden disruptive Technologien wie künstliche Intelligenz, Quantentechnologien, autonome Systeme, Hyperschallwaffen und der Einsatz von Raumfahrtssystemen. Ziel ist es, die europäischen Verteidigungskapazitäten zu stärken, indem die EU auf zukünftige militärische Herausforderungen proaktiv vorbereitet wird. Diese Erkenntnisse sollen die Verteidigungsminister der EU bei der Priorisierung von Fähigkeiten unterstützen und dienen als Grundlage für die Weiterentwicklung des Fähigkeitsentwicklungsplans.

Europäisches Parlament (2023): Report on Critical technologies for security and defence: state of play and future challenges,

https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2023-0120_EN.pdf

Der Bericht des Europäischen Parlaments befasst sich mit kritischen Technologien für Sicherheit und Verteidigung. Er analysiert den aktuellen Stand, zukünftige Herausforderungen und fordert eine stärkere europäische Zusammenarbeit in Forschung, Entwicklung und Beschaffung. Die Notwendigkeit gemeinsamer Investitionen und die Reduzierung von Abhängigkeiten von Drittstaaten werden betont. Der Bericht enthält konkrete Vorschläge zur Verbesserung der europäischen Verteidigungsfähigkeit durch Innovation und technologischen Fortschritt, einschließlich der Förderung von Dual-Use-Technologien und nachhaltiger Lösungen. Schließlich werden auch die notwendigen Finanzmittel und die Kooperation mit internationalen Partnern thematisiert.

Europäisches Institut für Sicherheitsstudien (2024): 10 ideas for the new team

<https://espas.secure.europarl.europa.eu/orbis/system/files/generated/document/en/10%20ideas%20for%20the%20new%20team.pdf>

Diese Monografie des Europäischen Instituts für Sicherheitsstudien (EUISS) präsentiert zehn Vorschläge zur Neuausrichtung der EU-Außen- und -Sicherheitspolitik in einer von Machtpolitik und Konflikten geprägten Welt. Die Vorschläge differenzieren sich in drei Kategorien: neue Denkweisen (Überarbeitung bestehender Politiken wie der Europäischen Nachbarschaftspolitik), neue Arbeitsweisen (Verbesserung der Koordinierung und Entscheidungsfindung, z. B. durch einen „Rat

zur Verteidigung Europas“) und neue Handlungsweisen (fokussiertere und effektivere CSDP-Missionen mit Schwerpunkt auf Kerninteressen der EU). Das Papier betont die Dringlichkeit einer Reform und warnt vor den schwerwiegenden Folgen, sollte die EU nicht proaktiv auf die veränderte Sicherheitslage reagieren. Der übergeordnete Zweck liegt darin, der neuen EU-Führung umsetzungsreife Empfehlungen zur Stärkung der europäischen Rolle in der Welt zu geben.

Europäische Agentur für Cybersicherheit (2024): Foresight Cybersecurity Threats For 2030 – Update 2024

<https://www.enisa.europa.eu/publications/foresight-cybersecurity-threats-for-2030-update-2024>

Der Bericht der EU-Agentur für Cybersicherheit (ENISA) skizziert die wichtigsten Cyberbedrohungen für das Jahr 2030. Er identifiziert zehn zentrale Gefahren, darunter Kompromittierungen in Ketten aufeinander aufbauender Softwarepakete, Mangel an qualifizierten Arbeitskräften, Ausnutzung veralteter Systeme, zunehmende digitale Überwachung, Missbrauch von KI und Desinformationskampagnen. Jedes Szenario wird durch potenzielle Akteure, Angriffsmethoden und Auswirkungen beschrieben, um ein umfassendes Bild der zukünftigen Herausforderungen im Bereich der Cybersicherheit zu liefern und somit eine Vorbereitung und Gegenmaßnahmen zu ermöglichen. Der Fokus liegt auf der wachsenden Vernetzung und Abhängigkeit von digitalen Technologien, die neue Angriffspunkte schaffen.

Europäische Kommission (2024): White Paper on Options for Enhancing Support for Research and Development Involving Technologies with Dual-Use Potential

https://research-and-innovation.ec.europa.eu/system/files/2024-01/ec_rtd_white-paper-dual-use-potential.pdf

Die Europäische Kommission hat ein Weißbuch veröffentlicht, das Optionen zur Verbesserung der Förderung von Forschung und Entwicklung (FuE) für Dual-Use-Technologien in der EU untersucht, um Synergien zwischen zivilen und militärischen Anwendungen zu fördern. Derzeit sind zivile und militärische FuE strikt getrennt. Es werden drei Optionen skizziert: die Erweiterung des bestehenden Systems, die Anpassung

von „Horizon Europe“ zur Förderung von Dual-Use-Technologien oder die Schaffung eines eigenen Instruments für solche Technologien. Die Kommission hat eine öffentliche Konsultation durchgeführt, um die besten Optionen zu identifizieren, die den spezifischen Zielen der EU gerecht werden.

Europäische Kommission (2024): Analysis of the results of the public consultation concerning the White Paper on R&D support for technologies with dual-use potential

https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/14060-RD-on-dual-use-technologies-options-for-support_en

Ein Weißbuch der EU-Kommission aus Januar 2024 befasst sich mit der Förderung von Forschung und Entwicklung dual verwendbarer Technologien. Eine öffentliche Konsultation ergab 241 Rückmeldungen, wobei Option 1 (Fortführung des bestehenden Systems) überwiegend bevorzugt wurde, insbesondere von Forschungseinrichtungen und NGOs. Option 2 (teilweise Aufhebung des Fokus auf zivile Anwendungen) fand bei einigen Behörden und Unternehmen Anklang, während Option 3 (ein separates Instrument) weniger Unterstützung erhielt. Die Ergebnisse fließen in zukünftige EU-Förderprogramme ein. Die Bürger zeigten sich teilweise ablehnend gegenüber dem Weißbuch selbst.

Europäische Kommission (2024): Futures of civic resilience in Europe, 2040 – Scenarios and policy implications

<https://data.europa.eu/doi/10.2777/98142>,
<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f9526025-c4a4-11ee-95d9-01aa75ed71a1/language-en>

Die Publikation des Amtes für Veröffentlichungen der Europäischen Union befasst sich mit der zivilen Widerstandsfähigkeit in Europa im Jahr 2040. Sie untersucht vier mögliche Zukunftsszenarien und ihre Auswirkungen auf die europäische Forschungs- und Innovationspolitik. Die Publikation zielt darauf ab, politischen Entscheidungsträgern bei der Vorbereitung auf zukünftige Krisen zu helfen und die Widerstandsfähigkeit der Zivilgesellschaft zu stärken. Dabei werden die Herausforderungen global betrachtet, während die politischen Auswirkungen speziell auf die europäische Forschungs- und Innovationspolitik ausgerichtet sind. Jedes Szenario bietet eine andere Perspekti-

ve auf die Situation in der EU und darauf, welche Maßnahmen im Bereich der Forschungs- und Innovationspolitik getroffen werden könnten und sollten, um die Widerstandsfähigkeit der Zivilgesellschaft zu stärken.

Europäische Kommission (2024): A new European Defence Industrial Strategy: Achieving EU Readiness through a Responsive and Resilient European Defence Industry

https://defence-industry-space.ec.europa.eu/document/download/643c4a00-0da9-4768-83cd-a5628f5c3063_en?filena-me=EDIS%20Joint%20Communication.pdf

Die gemeinsame Mitteilung der Europäischen Kommission und des Hohen Vertreters der EU für Außen- und Sicherheitspolitik beschreibt eine neue europäische verteidigungsindustrielle Strategie. Ihr Hauptziel ist die Stärkung der europäischen Verteidigungsbereitschaft durch eine reaktions- und widerstandsfähige Verteidigungsindustrie. Dies beinhaltet erhöhte, koordinierte Investitionen der Mitgliedstaaten, eine stärkere Zusammenarbeit in der Beschaffung und Produktion, die Förderung von Innovation und Technologie, die Sicherung der Versorgungsketten sowie eine engere Zusammenarbeit mit Partnern wie der Ukraine und der NATO. Die europäische Verteidigungsindustrie (EDTIB) konzentriert sich auf mehrere Technologiebereiche, um ihre Stärke zu erhöhen. Dazu gehören die Entwicklung und Produktion von militärischer Ausrüstung wie Munition, Drohnen, Luftverteidigungssystemen und Aufklärungstechnologien. Die Beherrschung kritischer Technologien wie der Cyber-, Weltraum- und maritimen Technologien sowie doppelverwendungsfähigen Technologien sei ebenfalls entscheidend. Die Strategie schlägt konkrete Maßnahmen vor, darunter ein neues Europäisches Verteidigungsindustrie-Programm (EDIP), ein gemeinsames Programmierungs- und Beschaffungsgremium und die Schaffung eines europäischen militärischen Verkaufsmechanismus.

Europäische Union (EEAS Press Team) (2024): Annual Progress Report on the Implementation of the Strategic Compass for Security and Defence

https://www.eeas.europa.eu/sites/default/files/documents/2024/StrategicCompass_2ndYear_Report_0.pdf

Der Bericht ist der zweite Jahresbericht des Hohen Vertreters der Union für Außen- und Sicherheitspolitik an den Rat über die Umsetzung des Strategischen Kompasses für Sicherheit und Verteidigung. Er dokumentiert den Fortschritt bei der Implementierung des Kompasses, der auf vier Säulen basiert: ACT (schnelleres, flexibleres und responsiveres Eingreifen), SECURE (Stärkung der Sicherheitskapazitäten), INVEST (Erhöhung der Verteidigungsausgaben und -investitionen) und PARTNER (Aufbau robuster Partnerschaften). Der Bericht hebt die Unterstützung der Ukraine im Krieg gegen Russland hervor und betont die Notwendigkeit, die europäische Verteidigungsindustrie zu stärken, gemeinsame Beschaffungsverfahren zu verbessern und die Widerstandsfähigkeit gegen hybride Bedrohungen zu erhöhen. Ziel ist es, die EU zu einem stärkeren und glaubwürdigeren Akteur in der Sicherheits- und Verteidigungspolitik zu machen. Es wird betont, dass es jetzt an der Zeit ist, von der Notfallreaktion zum Aufbau der langfristigen Einsatzbereitschaft der EU überzugehen. Die anhaltende Aggression Russlands gegen die Ukraine unterstreicht die dringende Notwendigkeit, die europäische Verteidigungsindustrie strukturell zu stärken.

Nationale Regierungen

USA

National Intelligence Council's Strategic Futures Group (2021): The Future of the Battlefield

<https://www.dni.gov/files/images/globalTrends/GT2040/NIC-2021-02493--Future-of-the-Battlefield--Un sourced--14May21.pdf>

Der Bericht des National Intelligence Council befasst sich mit der Zukunft des Schlachtfelds bis 2040. Er analysiert, wie sich die Art der Kriegsführung durch technologische Fortschritte verändern wird, wenngleich die grundlegenden Kriegsursachen (Ressourcen, Ideologien, Machtstreben) bestehen bleiben. Der Fokus liegt auf drei Aspekten: Hardware (neue Waffensysteme wie Hyperschallwaffen und autonome Systeme), Software (neue Doktrinen und Strategien wie verteilte Kriegsführung und hybride Kriegsführung) und Akteure (von Großmächten bis zu nichtstaatlichen Akteuren). Die Analyse betont die Bedeutung von Informationsvorteilen durch verbesserte Sensorik und KI sowie damit verbundener Risiken der Eskalation und Fehlkalkulation. Letztendlich wird die Unvorhersagbarkeit

zukünftiger Konflikte hervorgehoben, da neue Technologien sowohl zu schnellen, entscheidenden Siegen als auch zu langwierigen, unentschiedenen Kriegen führen können.

Office of the Under Secretary of Defense, Research and Engineering (2022): Technology Vision for an Era of Competition

https://www.cto.mil/wp-content/uploads/2022/02/usdre_strategic_vision_critical_tech_areas.pdf

Das Office of the Under Secretary of Defense for Research and Engineering (OUSD(R&E)) entwickelt eine nationale Wissenschafts- und Technologie-Strategie für das Verteidigungsministerium der USA. Ziel ist es, die technologische Überlegenheit des US-Militärs im globalen Wettbewerb zu sichern. Die Strategie basiert auf drei Säulen: „Mission Focus“, „Foundation Building“ und „Succeed through Teamwork“. Es werden sowohl wissenschaftliche Durchbrüche als auch Kooperationen mit der Industrie, den Hochschulen, Alliierten und internationalen Partnern gefördert. Die Strategie umfasst 14 technologische Schwerpunktbereiche, die in drei Kategorien unterteilt sind, um Investitionen zu lenken, Technologien zu entwickeln und die Einsatzfähigkeit schneller zu erreichen.

1. „Seed Areas of Emerging Opportunity“ (Neue Chancenbereiche):
Biotechnologie: Einsatz von biologischen Systemen zur Verbesserung der Effizienz und Anpassungsfähigkeit militärischer Missionen.
Quantentechnologie: Entwicklung von Quantensensoren, -computern und -netzwerken für präzisere Navigation, schnellere Datenverarbeitung und stärkere Verschlüsselung.
„Next-Generation-Wireless“ (FutureG): Entwicklung fortschrittlicher Netzwerktechnologien wie 5G und darüber hinaus.
Fortschrittliche Materialien: innovative Werkstoffe mit höherer Festigkeit, Leichtigkeit und Temperaturresistenz.
2. „Effective Adoption Areas“ (Bereiche mit kommerziellen Fortschritten):
Vertrauenswürdige KI und Autonomie: Nutzung von künstlicher Intelligenz und autonomen Systemen für militärische Anwendungen.

Integrierte Netzwerk-Systeme: Echtzeit-Datenübertragung und widerstandsfähige Kommunikationsnetzwerke.

Mikroelektronik: Sicherheit und Weiterentwicklung von Mikroelektronik für militärische und zivile Anwendungen.

Weltraumtechnologien: robuste, skalierbare Satellitensysteme und verbesserte Raumfahrtfähigkeiten.

Erneuerbare Energie und Speicherung: Technologien zur Energiegewinnung und -speicherung für mehr Resilienz und weniger Logistikaufwand.

Fortschrittliche Computertechnik und Software: Modernisierung und Beschleunigung der Softwareentwicklung durch DevSecOps-Methoden.

Mensch-Maschine-Schnittstellen: Augmented Reality und intuitive Schnittstellen zur Verbesserung der Teamarbeit zwischen Mensch und Maschine.

3. „Defense-Specific Areas“ (Verteidigungsspezifische Bereiche):

Gerichtete Energiewaffen: Nutzung von Lasern und Mikrowellen zur Abwehr von Bedrohungen.

Hyperschalltechnologien: Entwicklung von Systemen mit extrem hohen Geschwindigkeiten zur Erhöhung der Unberechenbarkeit.

Integrierte Sensorik und Cybersysteme: Entwicklung von Multifunktionssensoren zur Optimierung von Cyber- und Elektronikoperationen.

Department of Defense (2023): 2023 National Defense Science & Technology Strategy

<https://media.defense.gov/2023/May/09/2003218877/-1/-1/0/NDSTS-FINAL-WEB-VERSION.PDF>

Die neue „Nationale Verteidigungs-Wissenschafts- und -Technologie-Strategie (NDSTS)“ des US-Verteidigungsministeriums (DoD) konzentriert sich auf 14 kritische Technologiebereiche und verfolgt drei Hauptziele: missionsorientierter Fokus, schnelle und groß angelegte Fähigkeitsbereitstellung sowie die Stärkung der Forschungs- und Entwicklungsgrundlagen. Sie beschreibt die Notwendigkeit, den technologischen Vorsprung der USA angesichts wachsender Konkurrenz, insbesondere durch China, zu erhalten und auszubauen. Dies beinhaltet Investitionen in kritische Technologiebereiche (z. B.

künstliche Intelligenz, Hyperschalltechnologie), die Förderung von Innovation durch Zusammenarbeit mit der Privatwirtschaft und internationalen Partnern sowie die Modernisierung der Infrastruktur und des Personals. Letztendlich zielt die Strategie darauf ab, durch technologische Überlegenheit die nationale Sicherheit zu gewährleisten und die globale Wettbewerbsfähigkeit der USA zu stärken.

Durch die Fokussierung der Investitionen auf wenige kritische Technologiebereiche will das Verteidigungsministerium die Überführung wichtiger Fähigkeiten in die Streitkräfte und Kampfkommandos beschleunigen. Diese Technologiebereiche sind in drei Kategorien eingeteilt, die die breiten Ansätze darstellen, welche erforderlich sind, um Technologien voranzubringen, die für das Verteidigungsministerium von entscheidender Bedeutung sind:

Seed-Bereiche mit neuen Möglichkeiten: Dazu gehören Biotechnologie, Quantenwissenschaften, drahtlose Technologien der nächsten Generation und fortschrittliche Materialien.

Bereiche mit effektiver Adaption: Hier gibt es bereits kommerzielle Aktivitäten, darunter vertrauenswürdige künstliche Intelligenz und Autonomie, integrierte vernetzte System-of-Systems, Mikroelektronik, erneuerbare Energiegewinnung und -speicherung, fortschrittliches Computing und Software sowie Mensch-Maschine-Schnittstellen.

Verteidigungsspezifische Bereiche: Dazu gehören gerichtete Energie, Hyperschall und integrierte Sensorik und Cyber.

Congressional Research Service (2024): Defense Primer: Emerging Technologies

<https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11105>

Der US Kongress-Forschungsdienst (CRS) präsentiert einen Überblick über innovative Technologien, die signifikante Auswirkungen auf die nationale Sicherheit der USA haben könnten. Der Bericht behandelt sechs Schlüsselbereiche: künstliche Intelligenz, letale autonome Waffensysteme (LAWS), Hyperschallwaffen, gerichtete Energiewaffen, Biotechnologie und Quantentechnologie. Der Fokus liegt auf den jeweiligen militärischen Anwendungsmöglichkeiten, Herausforderungen und ethischen Implikationen, wobei insbesondere die Unsicherheiten bezüglich

lich kontrollierbarer Entwicklung und möglicher Gegenmaßnahmen hervorgehoben werden. Der Bericht dient der Information des US-Kongresses und unterstützt die Entscheidungsfindung in Bezug auf Verteidigungspolitik und -budgets.

National Science and Technology Council (2024): Critical And Emerging Technologies List Update

<https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2024/02/Critical-and-Emerging-Technologies-List-2024-Update.pdf>

Der Bericht des National Science and Technology Council (NSTC) der US-Regierung präsentiert eine aktualisierte Liste kritischer und aufkommender Technologien (CETs) für die nationale Sicherheit der Vereinigten Staaten. Der Fokus liegt auf Technologien, die für die drei nationalen Sicherheitsinteressen der USA – Schutz der Bevölkerung, wirtschaftlicher Wohlstand und Verteidigung demokratischer Werte – relevant sind. Besonders hervorgehoben werden nachfolgende Technologiebereiche: Advanced Computing; Advanced Engineering Materials; Advanced Gas Turbine Engine Technologies; Advanced and Networked Sensing and Signature Management; Advanced Manufacturing; Artificial Intelligence; Biotechnologies; Clean Energy Generation and Storage; Data Privacy, Data Security, and Cybersecurity Technologies; Directed Energy; Highly Automated, Autonomous, and Uncrewed Systems (UxS), and Robotics; Human-Machine Interfaces; Hypersonics; Integrated Communication and Networking Technologies Positioning, Navigation, and Timing (PNT) Technologies; Quantum Information and Enabling Technologies; Semiconductors and Microelectronics; Space Technologies and Systems.

NASEM (2025): Strategic Report on Research and Development in Biotechnology for Defense Innovation

<https://nap.nationalacademies.org/catalog/27971/strategic-report-on-research-and-development-in-biotechnology-for-defense-innovation>

Der Bericht der National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine aus dem Jahr 2025 über Forschung und Entwicklung in der Biotechnologie für Verteidigungsinnovationen analysiert das Potenzial von künstlicher Intelligenz

und der Automatisierung in der Biotechnologie für nationale Sicherheitsbedürfnisse der USA, insbesondere im Hinblick auf die Entwicklung neuartiger biobasierter Materialien und lebender Systeme mit einzigartigen Funktionen außerhalb der traditionellen Bereiche Gesundheit und Bioabwehr. Zentraler Punkt ist die Empfehlung zur Gründung eines BioCATALYST-Forschungs- und Entwicklungsnetzwerks, das öffentliche und private Akteure zusammenbringt, um die Zusammenführung von KI, Automatisierung und Biotechnologie zu beschleunigen und gleichzeitig ethische und sicherheitsrelevante Herausforderungen zu adressieren. Der Bericht enthält konkrete Empfehlungen zur Datenverwaltung, Infrastruktur, zu den Partnerschaften und der Risikominderung im Zusammenhang mit der möglichen Fehlanwendung der Technologien. Biotechnologie in der Verteidigung zielt auf transformative Anwendungen ab, unterstützt durch KI, maschinelles Lernen (ML) und Automatisierung. Schwerpunkte sind biobasierte Materialien, biologische Sensoren, Energiequellen, Bioproduktion und resiliente Lieferketten. Herausforderungen betreffen Integration, Datenqualität und ethische Aspekte. Fazit: Eine koordinierte, ethisch verantwortliche Nutzung von Biotechnologie und KI stärkt die Verteidigungsfähigkeit und die internationale Führungsrolle der USA.

Deutschland

FhG INT (2023): Defense Technologies Forecast

https://www.int.fraunhofer.de/en/business_units/defense-technology-foresight/defense-technologies-forecast.html

Der jährliche Bericht des Fraunhofer INT, im Auftrag des Bundesministeriums der Verteidigung (BMVg) erstellt, prognostiziert zukunftsrelevante Verteidigungstechnologien. Er analysiert den Stand der Forschung, das Zukunftspotenzial und die Implikationen für die BMVg-Planung, um die Planung des Ministeriums zu unterstützen. Der Bericht beleuchtete 2023 verschiedene Technologien, darunter aktive Myonenradiografie, verschiedene Batterie- und Materialtechnologien (z. B. Metall-Luft-Batterien, MXene, 3D-Graphenarchitekturen), fortschrittliche KI-Anwendungen (z. B. in unbemannten mobilen Systemen und neurosymbolische KI) sowie innovative Energie- und Transportkonzepte (z. B.

kleine modulare Reaktoren, Wing-in-Ground-Effect-Boote). Zusätzlich wurden zwei bereits analysierte Technologien (elektronische Haut, kinodynamische Bewegungsplanung) aktualisiert.

Bundesministerium der Verteidigung (2024): Nationale Sicherheits- und Verteidigungsindustrie-strategie der Bundesregierung

<https://www.bmvg.de/resource/blob/5865332/d4d0d9ab55edde72a11cee2a3ca59d3b/nationale-sicherheits-und-verteidigungsindustrie-strategie-data.pdf>

Die Nationale Sicherheits- und Verteidigungsindustriestrategie der Bundesregierung schafft ein neues industriepolitisches Leitbild für die Sicherheits- und Verteidigungsindustrie und definiert die rüstungsindustriellen Anforderungen der Landes- und Bündnisverteidigung. Sie stärkt damit die Rüstungsindustrie als zentrale Säule der Verteidigungsfähigkeit Deutschlands und fördert Schlüsseltechnologien, um den militärischen Bedarf der Bundeswehr und NATO effizient zu decken. Sie setzt auf europäische und internationale Kooperationen, den Schutz von Lieferketten, die Anpassung finanzieller Rahmenbedingungen und den Ausbau der Fachkräftebasis, um eine innovative und skalierbare Verteidigungswirtschaft zu gewährleisten.

Die Herausforderungen der deutschen Sicherheits- und Verteidigungsindustrie (SVI) im Kontext der Zeitenwende umfassen insbesondere die geopolitischen Bedrohungen, ökonomischen Herausforderungen, rechtlichen und bürokratischen Hürden sowie die Fachkräftesicherung.

Die Sicherung der Schlüsseltechnologien ist von größter Bedeutung für die strategische Souveränität und Handlungsfähigkeit Deutschlands. Unter Schlüsseltechnologien versteht man die technologischen und technischen Kompetenzbereiche, die für die Einsatzfähigkeit und Versorgungssicherheit der Bundeswehr unerlässlich sind. Sie dienen dem Erhalt wehrtechnischer Kernfähigkeiten im Inland und sollen eine Abhängigkeit von ausländischen Anbietern vermeiden.

Die Bundesregierung hat folgende Technologiefelder als nationale sicherheits- und verteidigungsindustrielle Schlüsseltechnologien fest-

gelegt: IT- und Kommunikationstechnologien; künstliche Intelligenz; Marineschiffbau (Über- und Unterwasserplattformen); Behördenschiffbau; geschützte/gepanzerte Fahrzeuge; Sensorik; Schutztechnologien; elektromagnetischer Kampf; Quantentechnologien; Flugkörper und Flugkörperabwehr; Raumfahrttechnologie; Munition; unbemannte Systeme.

Bundesakademie für Sicherheitspolitik (2024): Welches Dach über Europa?

Bodengebundene Luftverteidigung nach der Zeitenwende

<https://www.baks.bund.de/de/arbeitspapier-re/2024/welches-dach-ueber-europa-boden-gebundene-luftverteidigung-nach-der-zeitenwende>

Das Arbeitspapier der Bundesakademie für Sicherheitspolitik analysiert die europäische bodengebundene Luftverteidigung im Kontext des Ukraine-Krieges und der daraus resultierenden „Zeitenwende“. Es beleuchtet die erheblichen Fähigkeitslücken der Bundeswehr und anderer NATO-Staaten, die durch den russischen Angriff deutlich wurden, insbesondere den Mangel an flächendeckendem Schutz vor Raketen- und Drohnenangriffen. Das Papier beschreibt die „European Sky Shield Initiative“ (ESSI) als Reaktion darauf, bewertet deren Fortschritte und Herausforderungen und diskutiert die Beschaffung neuer Systeme wie IRIS-T SLM, Skyranger und Arrow 3, inklusive deren Vor- und Nachteile. Schließlich betont es die Notwendigkeit eines deutlichen Aufbaus der NATO-Luftverteidigung, unter Einbeziehung von Aufklärung, Führung und engerer Kooperation zwischen den Bündnispartnern, um zukünftigen Bedrohungen effektiv zu begegnen.

UK

Defence Engage (2023): The big 5 Defence trends for 2023

<https://www.defence-engage.com/knowledge/big-5-defence-trends-2023>

„Defence Engage“ ist ein britisches Netzwerk, das Unternehmen in der Verteidigungsbranche vernetzt und Geschäftsmöglichkeiten schafft. Es arbeitet eng mit britischen Regierungsbehörden wie dem Verteidigungsministerium zusammen. Der Beitrag von „Defence Engage“ beschreibt fünf bedeutende Trends im Verteidigungssektor für 2023: Weltraumtechnologien, gerichtete

Energiewaffen, künstliche Intelligenz, Hyperschall- und Raketentechnologie sowie additive Fertigung. Jeder Trend wird mit seinen jeweiligen Marktprognosen und den wichtigsten investierenden Akteuren (USA, China, NATO-Staaten etc.) erläutert. Zusätzlich werden weitere aufkommende Technologien wie Mikroelektronik, fortgeschrittene Materialien, 5G, Big Data und unbemannte Systeme genannt, die die zukünftige Kriegsführung prägen werden.

Ministry of Defence (2023): Ministry of Defence's Science and Technology portfolio

<https://www.gov.uk/government/publications/defence-science-and-technology-programmes-and-projects/1fb28119-57fc-4206-b416-f0baf590368f>

Das Dokument beschreibt das Wissenschafts- und Technologieportfolio des britischen Verteidigungsministeriums (MoD), das 25 Programme und vier Einzelprojekte umfasst. Ziel ist die Sicherung der technologischen Überlegenheit und nationalen Sicherheit durch Investitionen in Schlüsseltechnologien wie KI, Hyperschall, Cybersicherheit und Weltraumsysteme. Domänenspezifische Programme adressieren Luft-, Land- und Marinesysteme sowie Raketenabwehr. Querschnittsprogramme fördern Zukunftstechnologien, Entscheidungsunterstützung und Nachhaltigkeit. Das MoD investiert in den nächsten vier Jahren mindestens 6,6 Milliarden Pfund in Forschung und Entwicklung, wobei Industrie und Wissenschaft durch Kooperationsmöglichkeiten eng eingebunden sind.

The Development, Concepts and Doctrine Centre (2024): Global Strategic Trends Out to 2055

https://assets.publishing.service.gov.uk/media/66fd3b10080bdf716392ec91/GST_7_Final_WEB_compressed_updated.pdf

Der Bericht des britischen Verteidigungsministeriums prognostiziert bis 2055 sechs globale Treiber des Wandels: Ungleichheit, technologischen Fortschritt, demografischen Wandel, globale Machtkonkurrenz, wirtschaftliche Transformation und Klimawandel. Der Bericht analysiert regionale Entwicklungen und zeigt verschiedene Szenarien für die zukünftige Weltordnung auf, inklusive möglicher Herausforderungen und Chancen für Staaten und Nicht-Staatsakteure in verschiedenen Bereichen wie Raumfahrt, Cyber-

space und den Ozeanen. Es wird prognostiziert, dass technologische Innovationen wie KI, Quantencomputer und Biotechnologie die Grenzen zwischen physischer, digitaler und biologischer Welt zunehmend auflösen und Gesellschaften, Volkswirtschaften sowie globale Machtverhältnisse tiefgreifend verändern werden. Gleichzeitig werden Herausforderungen wie regulatorische Rückstände, technologischer Wettbewerb und die wachsende Rolle nichtstaatlicher Akteure die Anpassungsfähigkeit von Regierungen und Gesellschaften erfordern, um mit den weitreichenden Auswirkungen Schritt zu halten.

Australien

Australian National Defence Ministry (2024): National Defence Strategy

[2024 National Defence Strategy and 2024 Integrated Investment Program | About | Defence](#)

Kernstück der ersten Nationalen Verteidigungsstrategie Australiens ist eine „Strategy of Denial“, die potenzielle Gegner durch die Demonstration glaubwürdiger militärischer Stärke davon abhalten soll, australische Interessen durch militärische Aktionen zu gefährden. Dies wird durch massive Investitionen von 330 Milliarden AUD in die Modernisierung der Streitkräfte (Marine, Armee, Luftwaffe, Cyber- und Weltraumkapazitäten) bis 2033/34 und zusätzliche Mittel von 50,3 Milliarden Dollar erreicht. Die Strategie beinhaltet fünf Aufgaben der Streitkräfte, darunter die Verteidigung Australiens und die regionale Sicherheit, sowie sechs unmittelbare Prioritäten, wie die Entwicklung von Atom-U-Booten und die Stärkung von Partnerschaften im Indo-Pazifik. Dazu hat die australische Regierung eine Initiative namens „Advanced Strategic Capabilities Accelerator“ ins Leben gerufen, um Innovationen im Verteidigungsbereich zu fördern. Die Nationale Verteidigungsstrategie Australiens listet mehrere Schlüsseltechnologien auf, die für die Modernisierung der australischen Streitkräfte und die Umsetzung der Strategie der Abschreckung von entscheidender Bedeutung sind:

Roboter- und autonome Systeme: Diese Systeme werden als Teil eines 4-Jahres-Investitionschubs von einer Milliarde AUD genannt, um die Fähigkeiten der australischen Streitkräfte zu verbessern.

Langstreckenwaffen: Investitionen in Langstreckenwaffen werden ebenso in dem 4-Jah-

res-Plan erwähnt. Dies unterstreicht die Bedeutung dieser Technologie für die Strategie der Abschreckung, die darauf abzielt, potenzielle Gegner von militärischen Aktionen abzuhalten. Zielerfassungssysteme: Die Finanzierung für die Verbesserung der Zielerfassungssysteme wird gleichfalls als Teil der zusätzlichen Investitionen hervorgehoben.

U-Boot-Technologie mit konventioneller Bewaffnung und Nuklearantrieb: Die Weiterentwicklung dieser U-Boot-Fähigkeit wird als eine der sechs unmittelbaren Prioritäten der australischen Verteidigungsstrategie genannt.

Lenkwaffen und Explosivstoffe: Der Ausbau des Bereichs Lenkwaffen und Explosivstoffe wird als eine weitere unmittelbare Priorität hervorgehoben.

Australian Government, Dept. of Defence (2024): Defence Science and Technology Strategy 2030.

Accelerating Asymmetric Advantage – Delivering More, Together.

<https://www.defence.gov.au/about/strategic-planning/accelerating-asymmetric-advantage-delivering-more-together>

Das Dokument beschreibt Australiens Verteidigungsstrategie für Innovation, Wissenschaft und Technologie bis 2030. Im Kern geht es um die Schaffung eines asymmetrischen Vorteils gegenüber potenziellen Gegnern durch die beschleunigte Entwicklung und Einführung fortschrittlicher Technologien. Die Strategie verfolgt vier Ziele: Beitrag zur Strategie der Abschreckung, Generierung asymmetrischer Vorteile, Beschleunigung innovativer Lösungen und Ausbau des IS&T-Ökosystems durch strategische Partnerschaften. Diese Ziele werden durch vier strategische Handlungsfelder erreicht: Zukunftsantizipation, Experimente, integriertes Ökosystem und missionsorientierter Ansatz. Die Zusammenarbeit zwischen Verteidigung, Industrie, Universitäten und internationalen Partnern, insbesondere im Rahmen von AUKUS⁴, sowie die Bedeutung von hochqualifizierten Fachkräften und einer robusten Sicherheitsarchitektur werden hervorgehoben. Die Strategie strebt ein integriertes, effektives und effizientes IS&T-Ökosystem an, das schnell auf neue strategische

Herausforderungen reagieren und die Verteidigungsfähigkeit Australiens nachhaltig stärken kann.

Think Tanks und Unternehmensberatungen Deutsche Gesellschaft für Auswärtige Politik e.V. (DGAP) (2022): Ethisch und einsatzfähig Aufkommende und disruptive Technologien, die Bundeswehr und die Zeitenwende

https://dgap.org/system/files/article_pdfs/DGAP-Report-2022-DE-Kapitel_07_1.pdf

Die DGAP (Deutsche Gesellschaft für Auswärtige Politik e.V.) ist eine deutsche Denkfabrik, die sich mit internationalen und sicherheitspolitischen Themen beschäftigt. Sie fördert die wissenschaftliche Diskussion und den Dialog über Außen-, Sicherheits- und Verteidigungspolitik und spielt eine wichtige Rolle bei der Gestaltung der deutschen Außenpolitik. Dieser Bericht analysiert die Herausforderungen der Bundeswehr im Umgang mit aufkommenden und disruptiven Technologien (EDTs) im Kontext der „Zeitenwende“. Zentral ist die Feststellung, dass Deutschlands konzeptionelles, institutionelles und ethisches Silodenken die effektive Nutzung von EDTs wie künstlicher Intelligenz und Quantencomputing behindert und zu Disparitäten mit Verbündeten führt. Der Bericht betont die Notwendigkeit, ethische Bedenken mit militärischen Erfordernissen in Einklang zu bringen und die enge Verknüpfung zwischen ziviler und militärischer Technologieentwicklung zu fördern. Handlungsempfehlungen umfassen die Erhöhung der Forschungsbudgets, die Förderung des Wissenstransfers zwischen zivilem und militärischem Sektor sowie eine stärkere internationale Kooperation.

Alliance for Strategic Skills addressing Emerging Technologies in Defence (2022): Defence Technology Roadmap,

<https://assets-plus.eu/wp-content/uploads/2022/12/R1.2-Technology-Roadmap.pdf>

ASSETs+ (Alliance for Strategic Skills addressing Emerging Technologies in Defence) ist ein Erasmus+-Projekt, das 2020 ins Leben gerufen wurde und auf eine vierjährige Laufzeit angelegt ist. Es zielt darauf ab, die Kompetenzlücke

⁴ einem trilateralen Militärbündnis, das Mitte September 2021 zwischen Australia, United Kingdom und United States) geschlossen wurde

im Verteidigungssektor zu schließen, indem es neue Bildungsinhalte für die Arbeitskräfte der Zukunft entwickelt. Das Projekt richtet sich auf die schnelle technologische Entwicklung und die damit verbundenen Herausforderungen im Arbeitsmarkt, insbesondere im Verteidigungsbereich. ASSETS+ wird von der Universität Pisa (Italien) koordiniert und umfasst 30 Partner aus acht Ländern, darunter Unternehmen der Verteidigungsindustrie, Hochschulen, Berufsbildungs- und Forschungseinrichtungen.

Die Technologie-Roadmap konzentriert sich auf die Technologien Robotik, autonome Systeme, KI, Cybersicherheit und C4ISTAR⁵ und analysiert deren Einfluss auf Fähigkeiten und Arbeitsprofile. Sie gliedert sich in Abschnitte, die jeweils eine der vier wichtigsten Fähigkeitsbereiche (autonome Systeme, Cybersicherheitssysteme, intelligente Informationssysteme und Hochleistungsrechner) beschreiben, ihre wichtigsten Technologien, Zukunftstrends und die Herausforderungen detailliert darstellen. Ziel ist es, auf Basis dieser Analyse die Gestaltung zukunftsorientierter Ausbildungsprogramme für die Verteidigungsindustrie zu unterstützen und die europäische Autonomie im Bereich Verteidigungstechnologie zu stärken. Die Prognosen weisen auf einen Anpassungsbedarf in Weiterbildungen in der Verteidigungsindustrie hin.

Center for European Policy Analysis (2022): Elevating Our Edge: A Path to Integrating Emerging and Disruptive Technologies

<https://cepa.org/comprehensive-reports/elevating-our-edge-a-path-to-integrating-emerging-and-disruptive-technologies/>

Das Center for European Policy Analysis (CEPA) ist eine unabhängige US-amerikanische Denkfabrik mit Sitz in Washington, D.C., die sich auf die transatlantischen Beziehungen sowie die Sicherheit und Verteidigung Europas konzentriert.

Die Studie zum Thema Integration neuartiger und disruptiver Verteidigungstechnologien analysiert die zunehmende technologische Überlegenheit Russlands und Chinas im Verteidigungsbereich und argumentiert, dass die USA

und Europa eine gemeinsame Strategie entwickeln müssen, um diesen Rückstand aufzuholen. Die Studie „Elevating Our Edge“ des Center for European Policy Analysis (CEPA) beschreibt neun politische Säulen und Empfehlungen, um die transatlantische Zusammenarbeit in Verteidigungstechnologien zu stärken und die NATO/EU im Technologiewettbewerb mit Russland und China zu positionieren:

Gemeinsame Technologiebewertung: NATO und EU brauchen eine einheitliche Wettbewerbsanalyse.

Schnellere Technologieeinführung: Fokus auf 3–5 Anwendungen pro priorisierter Technologie.

Bessere Regulierung: Exportkontrollen harmonisieren, technologische Zusammenarbeit erleichtern.

Einbindung neuer Akteure: Innovationsförderung durch offene Wettbewerbe.

Talentsuche und -bindung: technisches Wissen früh fördern, Karrierestrategien anpassen.

Stärkere Tests: mehr Mittel für Prototyping und Kooperationen mit dem privaten Sektor.

Effizienter Datenaustausch: Standards und widerstandsfähige Systeme schaffen.

Interoperabilität und Standards: NATO-Standards stärken, EU zur Übernahme ermutigen.

Technologiebemühungen abstimmen: Innovationsnetzwerke durch DIANA flexibel aufbauen.

KPMG (2022): Future of defense

<https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/xx/pdf/2022/12/future-of-defense.pdf>

KPMG ist ein global führendes Prüfungs- und Beratungsunternehmen. Es berät sowohl große multinationale Unternehmen als auch mittelständische Firmen und öffentliche Institutionen. Der KPMG-Bericht „Future of Defense“ skizziert die zukünftige Entwicklung des Verteidigungssektors bis Ende des Jahrzehnts. Schlüsselentwicklungen umfassen Hyperschallraketen, die die kinetische Angriffsfähigkeit revolutionieren; Direktenergiegewaffen (DEW) wie Laser und Mikrowellen, deren Nutzung global steigt; Autonomie und Schwarmfähigkeiten, die den massenhaften, autonomen Einsatz von Waffenplattformen ermöglichen; unbemannte Fahrzeuge, die fortschrittliche Waffen auf Land, Wasser, Luft und im Weltraum tragen; Active Electro-

⁵ C4ISTAR ist ein Akronym für einen Schlüsseltechnologiebereich im Verteidigungssektor, der die folgenden Elemente umfasst: Command, Control, Communication, Computers, Intelligence, Surveillance, Target Acquisition.

nically Scanned Array-Radare und Sensoren, die eine effektive Steuerung und Verwaltung der Systeme unterstützen. Zentrale Themen sind die rasante digitale Modernisierung, die veränderte geopolitische Landschaft, die Entwicklung neuer Waffensysteme und die Notwendigkeit agiler Lieferketten. Der Bericht analysiert Herausforderungen wie den Klimawandel und den zukünftigen Arbeitsmarkt und betont die Bedeutung von Datenanalysen, künstlicher Intelligenz, autonomen Systemen und Cyber-Sicherheit. Ziel ist es, Verteidigungsorganisationen Handlungsempfehlungen für eine erfolgreiche digitale Transformation zu geben, um im zukünftigen Wettbewerb bestehen zu können und die Zusammenarbeit mit Verbündeten und der Privatwirtschaft zu fördern. Der Bericht gliedert sich in verschiedene Abschnitte, die sich jeweils mit einem Aspekt der zukünftigen Verteidigung befassen, und endet mit konkreten Handlungsempfehlungen.

Deloitte Research Center for Energy & Industrials (2023): 2024 aerospace and defense industry outlook

<https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/aerospace-defense/aerospace-and-defense-industry-outlook-2024.html>

Deloitte ist ein global führendes Prüfungs- und Beratungsunternehmen. Es bietet Dienstleistungen für Unternehmen, Regierungen und Organisationen an, mit starkem Fokus auf Innovationen wie KI, Blockchain und Nachhaltigkeit. Dieser Ausblick von Deloitte Insights beleuchtet technologische Entwicklungen wie Digitalisierung, KI, nachhaltige Antriebstechnologien und fortschrittliche Materialien, die die Luft- und Raumfahrt- sowie Verteidigungsindustrie prägen werden. Unternehmen, die diese Innovationen nutzen, werden in der sich wandelnden Branche erfolgreich sein, insbesondere durch Fortschritte in Bereichen wie digitaler Vernetzung, emissionsarmen Antrieben und Überschalltechnologien. Der Ausblick analysiert die Herausforderungen und Chancen der Branche, fokussiert auf Personalmangel, Lieferkettenprobleme und den digitalen Wandel. Besonders hervorgehoben werden die Bedeutung neuer Technologien wie KI und die Notwendigkeit nachhaltiger Innovationen im Bereich Antriebstechnik. Schließlich werden die Erwartungen an erhöhte Ausgaben im Verteidigungs- und im kommerziellen Sektor beleuchtet.

The Hague Centre for Strategic Studies (2023): Strategic raw materials for defence | Mapping European industry needs

<https://hcss.nl/wp-content/uploads/2023/01/Strategic-Raw-Materials-for-Defence-HCSS-2023-V2.pdf>

Das The Hague Centre for Strategic Studies (HCSS) ist ein unabhängiger Think Tank mit Sitz in Den Haag, der sich auf strategische Analysen in den Bereichen internationale Sicherheit, Verteidigungspolitik und geopolitische Entwicklungen spezialisiert hat, insbesondere für Regierungsbehörden, internationale Organisationen wie die NATO und die EU sowie den Privatsektor.

Der Bericht analysiert die Bedeutung von 40 kritischen Rohstoffen für die europäische Verteidigungsindustrie, ordnet sie nach Risikokategorien (sehr hoch, hoch, mittel, niedrig) ein und untersucht die jeweilige Bedeutung für die Luft-, See- und Landstreitkräfte. Die Studie identifiziert China und Russland als Hauptquellen für viele kritische Rohstoffe und empfiehlt, eine nationale, europäische und transatlantische Zusammenarbeit zur Risikominderung sowie die Zusammenarbeit zwischen zivilem und militärischem Bereich zu stärken.

Atlantic Council (2023): Battlefield Applications for Human-Machine Teaming

<https://www.atlanticcouncil.org/wp-content/uploads/2023/08/Battlefield-Applications-for-HMT.pdf>

Der Atlantic Council ist ein einflussreicher US-amerikanischer Think Tank mit Sitz in Washington, D.C., der sich auf internationale Politik, Wirtschaft und Sicherheit konzentriert. Der Think Tank wird als politisch moderat rechts eingeordnet und betont militärische und wirtschaftliche Kooperationen sowie die Stärkung der transatlantischen Beziehungen zwischen Nordamerika und Europa.

Der Bericht „Battlefield Applications for Human-Machine Teaming“ untersucht die Integration künstlicher Intelligenz in militärische Operationen. Die Autorinnen und Autoren analysieren Vorteile und Herausforderungen der Mensch-Maschine-Zusammenarbeit (kurz HMT für „Human-Machine Teaming“) für das US-Verteidigungsministerium (DOD), fokussieren auf die

Anwendungsfälle Kontrolle über den Zugang zu und die Beweglichkeit in Konflikt-Gebieten (A2/AD), Situationserfassung und -entscheidung sowie Präsenz und Abschreckung. Schlüsselthemen sind die Notwendigkeit, das Vertrauen zwischen Mensch und Maschine aufzubauen, bürokratische Hürden zu überwinden und ethische Implikationen zu berücksichtigen, um eine effektive HMT-Implementierung zu gewährleisten. Der Bericht schließt mit Empfehlungen zur Beschleunigung der HMT-Einführung.

Munich Security Conference (2024): Defense Sitters: Transforming European Militaries in Times of War, Special Edition of the Munich Security Report on European Defense

https://espas.secure.europarl.europa.eu/orbis/system/files/generated/document/en/Defense_Sitters_European_Defense_Report_MSC.pdf

Bei dem Bericht handelt es sich um eine Sonderausgabe der Münchner Sicherheitskonferenz zum Thema europäische Verteidigung aus dem Juni 2023. Zentraler Punkt ist die Analyse der Auswirkungen des russischen Angriffskriegs auf die Ukraine auf die europäische Verteidigungskooperation. Der Bericht untersucht die unzureichende Zusammenarbeit in der europäischen Rüstungsindustrie, Mängel in der Ausstattung europäischer Armeen und die Notwendigkeit deutlich höherer Verteidigungsausgaben. Er enthält Empfehlungen für eine stärkere Zusammenarbeit zwischen EU und NATO, gemeinsame Beschaffungsprozesse und Investitionen in Verteidigungstechnologie, um die Abhängigkeit von den USA zu verringern und die europäische Sicherheit zu gewährleisten. Der Bericht gliedert sich dabei in Kapitel zu Verteidigungshaushalten, kritischen Fähigkeiten und Beschaffungsprozessen, gefolgt von abschließenden Empfehlungen.

Atlantic Council (2024): Commission on Defense Innovation Adoption

<https://www.atlanticcouncil.org/wp-content/uploads/2024/01/Commission-on-Defense-Innovation-Adoption-Final-Report.pdf>

Der Bericht der Kommission für die Implementierung von Verteidigungsinnovationen des Atlantic Council analysiert die Herausforderungen der US-Verteidigungsbeschaffung im Umgang mit schnelllebiger Technologie. Er identifiziert Probleme wie veraltete Forschungsmodelle,

lange Laufzeiten und einen schrumpfenden Industriekomplex. Die Kommission formuliert zehn Empfehlungen zur Verbesserung der Technologieeinführung, darunter ein neues Kompetenzportfoliomodell, die Konsolidierung von Programmelementen und die Modernisierung des Beschaffungsprozesses. Der Bericht enthält Fallstudien erfolgreicher Technologieintegrationen und dokumentiert bereits umgesetzte Maßnahmen von DoD (Department of Defense) und Kongress. Abschließend wird die dringende Notwendigkeit einer schnelleren Technologieeinführung zur Abschreckung Chinas betont.

IE University (2024): The New Arms Race in Dual-Use Technologies

<https://www.ie.edu/insights/articles/the-new-arms-race-in-dual-use-technologies/>

Der Artikel „The New Arms Race in Dual-Use Technologies“ der IE University (Instituto de Empresa) einer privaten Universität in Madrid beschreibt die zunehmende Bedeutung von Dual-Use-Technologien (zivil und militärisch nutzbar) für internationale Beziehungen. Diese Technologien, wie Halbleiter, künstliche Intelligenz und Quantentechnologien, verschärfen geopolitische Spannungen und erschweren die multilaterale Zusammenarbeit. Die Autorinnen und Autoren betonen die strategische Bedeutung dieser Technologien für Nationalstaaten und die Herausforderungen ihrer Regulierung, insbesondere im Hinblick auf die zunehmende Obsoleszenz bestehender multilateraler Abkommen wie das Wassenaar-Abkommen. Die steigende Bedeutung von nationaler Sicherheit führt zu restriktiveren, mini-lateralen Arrangements statt traditionellen multilateralen Ansätzen. Die sich verstärkende „Sekuritisierung“ dieser Technologien verändert demzufolge die globale Ordnung und die Wahrnehmung von Handel und Technologie grundlegend.

TRENDS Research & Advisory (2024): The Strategic Implications of AI in Defense: Redefining the Future of Global Security

<https://trendsresearch.org/insight/the-strategic-implications-of-ai-in-defense-redefining-the-future-of-global-security/>

TRENDS Research & Advisory ist ein unabhängiges Forschungszentrum mit Sitz in Abu Dhabi und einer gewissen Nähe zu amerikanischen Denkfabriken sowie politischen Institutionen.

Der Artikel befasst sich mit den strategischen Auswirkungen von künstlicher Intelligenz auf den Verteidigungssektor und die globale Sicherheit. Er analysiert die Integration von KI in verschiedenen Einsatzgebieten (Land, See, Luft, Weltraum, Cyberraum), untersucht die Auswirkungen auf regionale Sicherheitskomplexe sowie die Machtverhältnisse zwischen Staaten und hebt neue Verwundbarkeiten hervor, die durch die zunehmende Interaktion zwischen Mensch und KI entstehen. Der Autor betont die Notwendigkeit einer ganzheitlichen Herangehensweise an die KI-Integration im Militär, um die Risiken zu mindern und die militärische Effektivität zu steigern. Schließlich werden die geopolitischen Folgen der KI-Integration im Verteidigungssektor beleuchtet und die Notwendigkeit internationaler Zusammenarbeit betont.

Booz Allen Hamilton Inc. (2024): Top 10 Emerging Technologies for DOD and National Security

<https://www.boozallen.com/insights/defense/top-10-emerging-technologies-for-dod-and-national-security.html#download>

Booz Allen Hamilton ist ein börsennotiertes Beratungsunternehmen. Der Bericht von Booz Allen Hamilton identifiziert die zehn wichtigsten Technologien, die innerhalb der nächsten ein bis drei Jahre erhebliche Auswirkungen auf Verteidigung und Geheimdienste haben könnten. Dabei liegt der Fokus auf Technologien mit dualer Nutzung. Die ausgewählten Technologien umfassen Bereiche wie künstliche Intelligenz, Cybersicherheit, Energiespeicher, Sensorik, autonome Systeme und Hyperschalltechnologie. Der Bericht dient als Roadmap für die Integration dieser Technologien in die Verteidigung und soll die schnelle Anpassung an den sich verändernden technologischen Wettbewerb fördern. Die Top-10-Technologien sind:

1. KI-Beschleunigerchips: Halbleiter zur Optimierung von KI/ML-Berechnungen bei geringerem Energieverbrauch.
2. Multimodale KI: KI-Systeme, die verschiedene Datentypen (Text, Audio, Video) gleichzeitig verarbeiten.
3. Generative KI-Softwareentwicklung: KI zur Unterstützung der Softwareprogrammierung und -verbesserung.

4. Post-Quanten-Kryptografie: Verschlüsselungsmethoden, die gegen Quantencomputing-Angriffe widerstandsfähig sind.
5. Energiespeicher mit hoher Dichte: neue Batterietechnologien mit höherer Energiedichte für mobile Anwendungen.
6. Alternative Positions-, Navigations- und Zeitbestimmung: sicherere Alternativen zu GPS.
7. Technologien für das Weltraum-Situationsbewusstsein: Systeme zur Überwachung von Satelliten und Objekten im Orbit.
8. Autonome Schwärme: Roboter, die in Gruppen zusammenarbeiten, um autonom zu handeln.
9. Nichtkinetische Abwehr von Drohnen: Technologien wie Laser, Mikrowellen oder Schall zur Zerstörung von Drohnen.
10. Hyperschalltechnologie: Flugzeuge oder Waffen, die sich mit mehr als fünffacher Schallgeschwindigkeit fortbewegen.

RAND (2024): Net Technical Assessment: A Methodology for Assessing Military Technology Competition

https://www.rand.org/pubs/research_reports/RRA1350-1.html

Die RAND Corporation ist ein US-amerikanischer gemeinnütziger Think Tank. RAND widmet sich der Forschung und Analyse in Bereichen wie nationaler Sicherheit, Bildung, Gesundheit und internationalen Angelegenheiten, um politische Entscheidungen zu unterstützen. Dieser RAND-Forschungsbericht beschreibt eine Methodik für die Durchführung eines „Net Technical Assessment“ (NTA), um den technologischen Wettbewerb im militärischen Bereich zu bewerten. Die NTA baut auf den Prinzipien der Net-Assessment-Philosophie von Andrew Marshall auf, erweitert diese aber auf die spezifische Analyse von Technologien. Der Bericht strukturiert die NTA-Methodik in drei Phasen: 1. die technische Bestandsaufnahme und Trendanalyse, 2. die Untersuchung der militärischen Implikationen mithilfe strukturierter Workshops und 3. die Einbeziehung von Informationen des Geheimdienstes. Ziel ist es, den technischen Fortschritt, die relative nationale Stärke und potenzielle militärische Anwendungen von Schlüsseltechnologien zu bestimmen, um die Entscheidungsfindung des US-Verteidigungsministeriums (DoD) zu unterstützen, ohne jedoch

konkrete Politikempfehlungen abzugeben. Der Bericht nennt zwar keine spezifischen Technologietrends innerhalb einzelner Technologiefelder, aber er beschreibt einen Prozess zur Bewertung von Technologietrends im Kontext des militärischen Wettbewerbs.

Der Bericht konzentriert sich auf die Bewertung von „Critical Technology Areas“ (CTAs) – Technologiebereichen, die vom US-Verteidigungsministerium als besonders wichtig und investitionsprioritär eingestuft werden. Der Bericht listet die 14 CTAs auf, für die NTAs durchgeführt wurden: fortschrittliche Computer und Software; fortschrittliche Materialien; Biotechnologie; gerichtete Energie; drahtlose Technologie der zukünftigen Generation; Mensch-Maschine-Schnittstellen; Hyperschall; integrierte Netzwerke aus Systemen-von-Systemen; Integration von Sensorik und Cyber; Mikroelektronik; Quantenwissenschaft; erneuerbare Energiegewinnung und -speicherung; Raumfahrttechnologie; vertrauenswürdige künstliche Intelligenz und Autonomie.

McKinsey (2024): A rising wave of tech disruptors: The future of defense innovation?

<https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/a-rising-wave-of-tech-disruptors-the-future-of-defense-innovation>

McKinsey ist eine der weltweit führenden Unternehmensberatungen, die in den USA gegründet wurde. Sie berät Unternehmen, Regierungen und Institutionen in strategischen, organisatorischen und operativen Fragestellungen. Dieser Artikel analysiert den Einfluss von Technologie-Start-ups auf die Verteidigungsinnovation. Drei Wellen von Verteidigungstechnologie-Unternehmen, beginnend mit SpaceX und Palantir, haben den Sektor verändert, wobei die dritte Welle ein deutlich größeres Ökosystem darstellt, das eine beträchtliche Risikokapitalattraktivität

aufweist. Diese neuen Akteure bieten komplementäre Fähigkeiten zum traditionellen Rüstungssektor, insbesondere im Bereich verteilter Fähigkeiten, robuster Kommunikationsnetze und neuer Technologien für den mehrdimensionalen Krieg. Jedoch stehen diese Start-ups vor Herausforderungen wie der Abstimmung von produkt- und programmorientierten Geschäftsmodellen, dem Aufbau von Vertriebsstrukturen für den Verteidigungsmarkt und der Harmonisierung der Ertragszeiträume mit Investorenerwartungen. Der Artikel skizziert fünf Strategien, wie Start-ups diese Hürden überwinden können, darunter die frühzeitige Planung von Skalierung, die Nutzung etablierter Partner, die Entwicklung von Dual-Use-Technologien und die vertikale Integration von Hard- und Software. Letztlich betont der Text die wichtige Rolle von Start-ups, etablierten Unternehmen und Investoren bei der Modernisierung der Verteidigungstechnologie.

VDI Technologiezentrum GmbH (2025): Internationale Technologieprognosen – Internationaler Vergleich

<https://www.vditz.de/service/publikationen/details/internationale-technologieprognosen>

Die Meta-Analyse des VDI Technologiezentrums vergleicht nationale Technologieprognosen und Innovationskontexte verschiedener Länder (UK, Norwegen, Australien, Malaysia, Japan und die EU) sowie deren thematische Schwerpunkte und untersucht die zeitliche Entwicklung dieser Schwerpunkte über zwei Dekaden. Die Ergebnisse werden tabellarisch und vergleichend dargestellt, wobei Schlüsselthemen wie Energie, Biotechnologie, Digitalisierung, Materialwissenschaften, Mobilität und gesellschaftliche Herausforderungen im Fokus stehen. Themen der Verteidigung und Sicherheit wurden lediglich in den Technologieprognosen aus Japan und der EU mit größerer Tiefe behandelt.

Themen, die Sie auch interessieren könnten:

www.vditz.de/service/publikationen

- Techno-Tektonik – Verschiebungen der Schwerpunkte internationaler Technologieprognosen von 2004 bis 2023
- Technologieprognosen - Internationaler Vergleich
- Deutsche Cybersicherheitsstrategie im Diskurs: Anforderungen und Impulse aus Europa

Über VDI Research

VDI Research ist Teil des VDI Technologiezentrums (VDI TZ) und analysiert aus der Perspektive längerfristiger Vorausschau technologische und gesellschaftliche Zukunftsfragen. Zu den Publikationen gehören u. a. Studien, Analysen und VDI Research-Paper.

Alle Rechte vorbehalten, auch die des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen photomechanischen Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie) und das der Übersetzung.

Alle in dieser Studie enthaltenen Links waren zum Zeitpunkt der Veröffentlichung aktiv.

VDI Technologiezentrum GmbH
VDI Research
Airport City VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

Telefon: +49 211 6214-536
E-Mail: foresight@vdi.de
www.vditz.de
[X](#) @technikzukunft · [in](#)