

#GIDSstatement 9 / 2022

Claus-Jürgen Bruhn

Energieautonomie von militärischen Liegenschaften

Wasserstoff als Enabler

#GIDSstatement | Nr. 9/2022 | Oktober 2022 | ISSN 2699-4372

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie, detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

ISSN 2699-4372

Dieser Beitrag steht unter der Creative Commons Lizenz CC BY-NC-ND 4.0 International (Namensnennung – Nicht kommerziell – Keine Bearbeitung). Weitere Informationen zur Lizenz finden Sie unter: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de>



#GIDSstatement wird vom German Institute for Defence and Strategic Studies (GIDS) herausgegeben.

Die Beiträge sind auf der Website des GIDS kostenfrei abrufbar: www.gids-hamburg.de

#GIDSstatement gibt die Meinung der AutorInnen wieder und stellt nicht zwangsläufig den Standpunkt des GIDS dar.

Zitiervorschlag:

Claus-Jürgen Bruhn, Energieautonomie von militärischen Liegenschaften. Wasserstoff als Enabler, #GIDSstatement 9/2022, Hamburg.

GIDS

German Institute for Defence and Strategic Studies

Führungsakademie der Bundeswehr

Manteuffelstraße 20 · 22587 Hamburg

Tel.: +49 (0)40 8667 6801

buro@gids-hamburg.de · www.gids-hamburg.de

Energieautonomie von militärischen Liegenschaften

Wasserstoff als Enabler

Einleitung

Die Energieversorgung befindet sich in einer Phase des Umbruchs. Abgesehen von der Tatsache, dass immer weniger fossile Energievorkommen neu erschlossen werden und aus den vorhandenen produktiven Lagerstätten immer weniger gefördert wird, soll die Versorgung mit fossilen Brennstoffen nach dem Willen der Bundesregierung bis 2045 (§ 3 Bundes-Klimaschutzgesetz) und nach dem Beschluss der Europäischen Union bis 2050 durch dekarbonisierte Energieerzeugung ersetzt werden. Basis dafür ist u. a. die Nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung aus dem Jahr 2020. Ziel ist es, *grünen Wasserstoff*, der auf der Grundlage erneuerbarer Energien hergestellt wurde, zu nutzen, seinen zügigen Markthochlauf zu unterstützen sowie entsprechende Wertschöpfungsketten zu etablieren. Die Bundesregierung geht davon aus, dass sich in den nächsten zehn Jahren ein globaler und europäischer Wasserstoffmarkt herausbilden wird, der Schlüssel zur Dekarbonisierung der Energieversorgung sein wird.¹

Die Bundeswehr ist bei der Erfüllung ihres Aufgabenspektrums – neben der Landes- und Bündnisverteidigung und dem internationalen Krisenmanagement auch die so genannten Nationalen Territorialen Aufgaben (NTA) – auf einen dauerhaften und uneingeschränkten Betrieb ihrer Liegenschaften angewiesen. Im Gegensatz dazu steht aber ihre Abhängigkeit von öffentlichen, eher fossil ausgerichteten Energieinfrastrukturen. Diese bestehende Abhängigkeit von der verlässlichen Belieferung mit fossilen Brennstoffen zeigt sich einmal mehr in den energiepolitischen Auswirkungen des Angriffskrieges Russlands gegen die Ukraine²: In diesem Zusammenhang ist also die Notwendigkeit, die Abhängigkeit der Streitkräfte von fossilen Brennstoffen bei der eigenen Energieversorgung zu reduzieren und Energieautonomie³ zu gewinnen, aktueller denn je.

Dieser Beitrag soll zeigen, dass Wasserstoff als Energieträger in militärischen Liegenschaften die Bundeswehr in der Erfüllung ihrer Aufgaben nicht nur unterstützt, sondern sogar für eine verbesserte Aufgabenerfüllung sorgen kann. Dazu sind zunächst der formale Auftrag und die Aufgaben der Bundeswehr aufzuzeigen und auf ihre Relevanz für den Einsatz von Wasserstoff als Energieträger für die autonome Versorgung zu untersuchen. Daran schließt sich die Betrachtung regenerativ erzeugten Wasserstoffs für den Betrieb von militärischen Liegenschaften an. Schließlich werden die Analyseergebnisse bewertet und daraus die notwendigen nächsten Schritte abgeleitet.

¹ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2020: 2 ff.

² Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz 2022: 4.

³ Energieautonomie soll hier verstanden werden als die selbstbestimmte Wahl der Energieträger zur Versorgung mit Energie durch eigene Erzeugung, also letztlich Energieautarkie.

Auftrag der Bundeswehr – Gesicherte Energieversorgung als notwendige Bedingung

Wie jede staatliche Institution bedarf die Bundeswehr für ihre Existenz sowie ihr Handeln gesetzlicher Grundlagen. Aus ihnen leiten sich ihr Auftrag und ihre Aufgaben ab. Ob die Bundeswehr überhaupt in der Lage ist, ihre Aufgaben zu erfüllen, war in den letzten Jahren stets Gegenstand der Diskussion. Der Bundestag hat – als unmittelbare Reaktion auf den russischen Angriffskrieg gegen die Ukraine – ein Sondervermögen aufgelegt, das die Neuausstattung bzw. Modernisierung der in den letzten drei Jahrzehnten „kaputtgesparten“⁴ Bundeswehr finanzieren soll.⁵ Als ein wesentliches Ziel der Stärkung der Bundeswehr steht für den Bundesrat in seiner Stellungnahme zum Gesetzentwurf für das Sondervermögen ausdrücklich die Sicherstellung der Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland.⁶ Damit erstreckt sich der Auftrag der Bundeswehr ausdrücklich auch auf die Umsetzung der von der Bundesregierung vorgegebenen Ziele der Dekarbonisierung⁷ – und ist damit deutlich weitreichender als eine Defossilisierung⁸.

Auftrag der Bundeswehr ist es, die Souveränität Deutschlands und die territoriale Integrität zu verteidigen und seine Bürgerinnen und Bürger zu schützen, die äußere Sicherheit der Bundesrepublik Deutschland zu garantieren und für die Verteidigung der äußeren Grenzen zu sorgen.⁹ Aus dem Auftrag werden verschiedene Aufgaben der Bundeswehr abgeleitet¹⁰, so u. a.

- Landes- und Bündnisverteidigung,
- internationales Krisenmanagement,
- Heimatschutz, nationale Krisen- und Risikovorsorge und subsidiäre Unterstützungsleistungen in Deutschland,
- alle Maßnahmen zur Aufrechterhaltung des Betriebes im Inland einschließlich der Wahrnehmung von Ämteraufgaben, Qualifizierung, Aus-, Fort- und Weiterbildung, Ausbildungs- und Übungsunterstützung und Militärischer Sicherheit und Ordnung.

Zur Erfüllung dieser Aufgaben bedarf es eines Netzwerks aus Liegenschaften, die die Aufgabenerfüllung unterstützen oder erst ermöglichen. Die Bundeswehr hat in jedem Fall dafür zu sorgen, dass sie resilient gegenüber äußeren Einflüssen ist. Resilienz bedeutet dabei für die Bundeswehr als ein Instrument des Staates den Schutz der eigenen Handlungsfähigkeit.¹¹

⁴ Süddeutsche Zeitung 2019.

⁵ Deutscher Bundestag 2022a.

⁶ Deutscher Bundestag 2022a: 11.

⁷ Gemeint ist damit die immer geringer werdende Umsetzung von Kohlenstoff zu CO₂ in Energiegewinnungsprozessen bis hin zur Vermeidung.

⁸ Gemeint ist damit die Vermeidung des Einsatzes von Kohlenstoff-haltigen Brennstoffen (aus natürlicher Produktion) zu Energiegewinnungszwecken.

⁹ Bundesministerium der Verteidigung 2016: 90.

¹⁰ Bundesministerium der Verteidigung 2018:19–21.

¹¹ Bundesministerium der Verteidigung 2018:12 f.

Die Nationalen Territorialen Aufgaben der Bundeswehr

Die Konzeption der Bundeswehr benennt im Rahmen der Nationalen Territorialen Aufgaben (NTA) der Bundeswehr ihre subsidiären Aufgaben¹²:

- Hilfeleistung bei Naturkatastrophen und besonders schweren Unglücksfällen,
- Hilfeleistung bei innerem Notstand,
- Schutz von kritischen Infrastrukturen.

Mit kritischen Infrastrukturen sind die folgenden gemeint¹³:

Tab. 1 Kritische Infrastrukturen

Technische Basisinfrastrukturen	Sozioökonomische Dienstleistungsinfrastrukturen
Energieversorgung	Gesundheitswesen, Ernährung
Informations- und Kommunikationstechnologie	Notfall- und Rettungswesen, Katastrophenschutz
Transport und Verkehr	Parlament, Regierung, öffentliche Verwaltung, Justizeinrichtungen
Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung	Finanz- und Versicherungswesen
	Medien und Kulturgüter

Zu den Aufgaben der Bundeswehr gehört also auch der Schutz derjenigen Infrastrukturen, auf die die Bundeswehr im Grundbetrieb ebenso wie im Rahmen der Landes- und Bündnisverteidigung selbst zurückgreifen muss.¹⁴ Ebenfalls zu den NTA zählt der Host Nation Support (HNS). Dieser umfasst als Unterstützungsleistung für Streitkräfte befreundeter Staaten die Bereitstellung der erforderlichen Logistik, der Marschwege, Rast-, Verfügungs- und Ruheräume ebenso wie Einschiffungs- und Entladestellen und wiederum kritischer Infrastrukturen.¹⁵ Außerdem muss sie in der Lage sein, die zuständigen Behörden bei der Bewältigung schwerer Unglücksfälle oder Naturkatastrophen und dem Schutz der Bevölkerung im Rahmen von Hilfeleistungen zu unterstützen.¹⁶ Hierfür werden in sogenannten ZMZ-Stützpunkten (Kasernen) Material und ausgebildetes Personal bereitgehalten bzw. anlassbezogen betrachtet und aus dem militärischen Auftrag für Hilfeleistungen herausgelöst.¹⁷

Landes- und Bündnisverteidigung

Im Rahmen der Landes- und Bündnisverteidigung fordert die Konzeption sogar, dass alle relevanten Komponenten u. a. für den einsatzmäßigen autarken Betrieb

¹² Bundesministerium der Verteidigung 2018: 26 f.; ders. 2011: 25.

¹³ Bundesministerium des Innern 2009: 5.

¹⁴ So auch European Defence Agency 2019: 99 f.

¹⁵ Bundesministerium der Verteidigung 2018: 39 f.

¹⁶ Bundesministerium der Verteidigung 2018: 26 f.

¹⁷ Deutscher Bundestag 2011: 3 f.

vorzusehen sind¹⁸ sowie ein hohes Maß an Interoperabilität (innerhalb des Bündnisses) aufzuweisen haben.¹⁹ Da Deutschland in diesem Rahmen logistische Basis und rückwärtiges Einsatzgebiet²⁰ ist, wird in der Konzeption der Bundeswehr eine Resilienz des Gesamtsystems gefordert.²¹ Dazu benötigt die Bundeswehr eine moderne, aufgaben-, sach- und fachgerechte Ausstattung und Infrastruktur.²² Wegen der notwendigen und daher zu gewährleistenden Versorgungssicherheit²³ zur Auftrags- und Aufgabenerfüllung verweist die Konzeption der Bundeswehr weiter auf die Notwendigkeit zur Erhöhung der eigenen Resilienz und der Verringerung der Abhängigkeiten von kommunalen Trägern, insbesondere bei Wasser und Strom.

Resiliente Liegenschaften als wesentliches Element der Auftragserfüllung

Militärische Liegenschaften sind in der Regel an die Verteilnetze Strom, Gas und Wasser der örtlichen Versorgungsunternehmen angeschlossen und beziehen darüber Energie und Trinkwasser. Damit sind sie bei Ausfall dieser kritischen Infrastrukturen an einer effektiven Aufgabenerfüllung gehindert, sofern nicht Back-up-Systeme zur Verfügung stehen. Diese bestehen in der Regel aus Notstromaggregaten auf Diesel-Basis zur Erzeugung elektrischer Energie.

Den militärischen Liegenschaften kommt jedoch unter Berücksichtigung der NTA der subsidiären Hilfeleistung bei Naturkatastrophen und besonders schweren Unglücksfällen, bei innerem Notstand und dem Schutz von kritischen Infrastrukturen eine besondere Bedeutung zu: Ihre Liegenschaften müssen die Bundeswehr in die Lage versetzen, ihre Aufträge zu erfüllen. Insbesondere mit Blick auf den Klimawandel, dessen Folgen und die sich daraus ergebenden und sich bereits deutlich abzeichnenden neuen Szenarien des Einsatzes auch von Streitkräften müssen diese eine aktive Rolle bei der Bewältigung der zunehmenden Anzahl der Aufgaben übernehmen.²⁴ Deichverteidigung, Trinkwassertransporte und -verteilung, Löscheinsätze bei großflächigen Bränden, Katastrophenhilfe bei Überflutungen durch Personal und mithilfe von Material und Gerät der Bundeswehr sind Beispiele für die zukünftigen Einsatzszenarien. Ihre Bewältigung kann bei den sich abzeichnenden Häufigkeiten und Größenordnungen allein aus ökonomischen Gründen nicht mehr nur durch zivile Kräfte bzw. deren Bereitstellung erfolgen. Zudem muss sich die Bundeswehr selbst auch auf den Ausfall der zivilen Infrastrukturen einrichten.

Die Konzeption der Bundeswehr als Grundlagendokument fordert dazu:²⁵

Die Infrastruktur ist nachhaltig – und wo erforderlich – widerstandsfähig zu errichten, zu nutzen und zu betreiben. Zur Stärkung der Autarkie und zur Erhöhung der Resilienz gegenüber dem Ausfall kritischer Infrastrukturen ist die Abhängigkeit im Bereich der Ver- und Entsorgung von kommunalen Trägern oder beauftragten Dritten (insbesondere bei Strom, Wasser etc.) auf das notwendige Maß zu reduzieren.

¹⁸ Bundesministerium der Verteidigung 2018: 26 f.

¹⁹ Bundesministerium der Verteidigung 2018: 41.

²⁰ Bundesministerium der Verteidigung 2018: 23.

²¹ Bundesministerium der Verteidigung 2018: 21 ff. und 26 f.

²² Bundesministerium der Verteidigung 2018: 77 f.

²³ Bundesministerium der Verteidigung 2018: 77 f.; auch NATO 2021; Tsetsos 2021: 6.

²⁴ Bayer/Struck 2021: 43–63.

²⁵ Bundesministerium der Verteidigung 2018: 77.

Mit Blick auf Resilienz und Autarkie in der Energieversorgung militärischer Liegenschaften kann Wasserstoff der „Enabler“ für eine derartige Entwicklung von Liegenschaften sein. Er kann dezentral und unter Rückgriff auf regenerative Energien erzeugt und gespeichert sowie zur Energieerzeugung verwendet werden.

Auf europäischer Ebene untersucht die European Defence Agency den Ansatz der resilienten Energieversorgung von militärischen Liegenschaften durch den Einsatz von erneuerbaren Energien unter dem Projektnamen „Defence RESilience Hub Network in Europe – RESHUB“.²⁶ Im Vordergrund steht die Energieautonomie militärischer Liegenschaften mit einem Schwerpunkt auf der Nutzung von Wasserstoff als Energieträger. Die propagierte Bildung einer energieautonomen Insel macht die Liegenschaft weniger vulnerabel gegenüber militärischen Angriffen und Ereignissen von außen. Gleichzeitig sollen mehrere dieser Inseln als Netzwerk intelligent miteinander verknüpft werden, um die Resilienz zu erhöhen.²⁷ In dem Projekt soll auch die zivile Seite eingebunden werden: Zum einen über Public-Private-Partnership-Projekte, zum anderen kann sie im Falle des Wegfalls der öffentlichen Energieversorgung von militärischen energieautonomen Inseln profitieren. Das Potential des Projektes wird auf der Ebene der Europäischen Verteidigungsagentur (EDA) im Rahmen der dritten Phase des Consultation Forum for Sustainable Energy in the Defence and Security Sector (CF SEDSS III) bis 2023 weiter geprüft; Handlungsempfehlungen für die Verteidigungsministerien der EU-Mitgliedsstaaten sollen daraus abgeleitet werden.²⁸

Da der Ansatz, Wasserstoff als Energiespeicher und -träger vor Ort zu erzeugen und verfügbar zu machen, die Energieautonomie und damit die Resilienz der militärischen Liegenschaften erhöhen kann, soll dies nachfolgend näher betrachtet werden.

Erzeugung von Wasserstoff als Energieträger

Wasserstoff soll nach dem Willen der Bundesregierung auf der Grundlage regenerativer Energien erzeugt werden.²⁹ Hierfür kommen grundsätzlich Verfahren der Elektrolyse (elektrochemische Zerlegung von Wasser), thermochemische Verfahren, photochemische Verfahren und photobiologische Verfahren in Frage.³⁰ Relevant sind jedoch in Deutschland aufgrund der geographischen Gegebenheiten im Wesentlichen die Verfahren der Elektrolyse.³¹ Dabei wird Wasser durch Anlegen einer Spannung und Separierung der beiden Elektroden durch eine Membran in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Die Wahl des Verfahrens bestimmt die notwendige Reinheit des zugeführten Wassers und die notwendige Prozesstemperatur. Für die Speicherung des Wasserstoffs stehen verschiedene Methoden zur Verfügung, deren Nutzung von der gewünschten Anwendung des Wasserstoffs abhängt. Will man Wasserstoff flüssig speichern (bei minus 253 Grad Celsius), so wird dafür eine hohe elektrische Energie benötigt. Für Anwendungen der Mobilität und für die Rückverstromung in Brennstoffzellen hat es sich als sinnvoll erwiesen, das Gas auf 700 bar zu komprimieren und in Kohlefaser-verstärkten Kunststofftanks zu speichern. Das Volumen entspricht etwa dem Siebenfachen des als Energieäquivalent benötigten Volumens an Diesel. Wasserstoff

²⁶ European Defence Agency 2020a: 13.

²⁷ European Defence Agency 2020b.

²⁸ European Defence Agency 2020a: 23 f.

²⁹ Bundesregierung 2020: 2 f.

³⁰ Bhandari/Shah 2021: 919 ff.

³¹ Quaschnig 2015: 382 ff.

kann in Gasturbinen zur Kraft- und Wärmeerzeugung eingesetzt werden. In Brennstoffzellen erfolgt die Umsetzung von Wasserstoff zu Wasser in einem elektrochemischen Prozess. Als Produkte entstehen Wasser und elektrische Energie, die für Mobilitäts- und andere Zwecke genutzt werden können. Schließlich kann Wasserstoff auch in Wasserstoffverbrennungsmotoren eingesetzt werden, um Mobilitätsanwendungen zu bedienen (z. B. in Schiffen oder Fahrzeugen) oder um wiederum Strom zu erzeugen und darüber hinaus die entstehende Verbrennungswärme für Heizzwecke zu nutzen. Durch die Speicherbarkeit ist Wasserstoff als Energie-Zwischenspeicher für ansonsten kaum speicherbaren elektrischen Strom eine technisch mögliche und nutzbare Variante. Wasserstoff ist schließlich die Ausgangsbasis für die Erzeugung von Synfuels (synthetische Kraftstoffe) sowie für ebenfalls als Kraftstoffe nutzbaren Ammoniak und Methanol.

Verwendung von Wasserstoff in der Bundeswehr

Die Bundesregierung hat Wasserstoff als Dekarbonisierungsoption in ihrer Nationalen Wasserstoffstrategie in den Blick genommen und nennt dabei expressis verbis militärische Anwendungen.³² Ziel ist die Anpassung der nationalen Energieversorgung und -verwendung an die Klimaziele Deutschlands, die mit Verwendung fossiler Energieträger nicht erreicht werden können:

Wasserstoff ist ein vielfältig einsetzbarer Energieträger. Er kann zum Beispiel in Brennstoffzellen die wasserstoffbasierte Mobilität befördern und zukünftig als Basis für synthetische Kraft- und Brennstoffe genutzt werden. Wasserstoff ist ein Energiespeicher, der angebotsorientiert und flexibel erneuerbare Energien speichern und einen Beitrag zum Ausgleich von Angebot und Nachfrage leisten kann. Wasserstoff ist ein wesentliches Element der Sektorkopplung. In den Bereichen, in denen Strom aus erneuerbaren Energien nicht direkt eingesetzt werden kann, öffnen grüner Wasserstoff und seine Folgeprodukte (Power-to-X) neue Dekarbonisierungspfade. Bei verschiedenen chemischen und industriellen Prozessen ist Wasserstoff schon heute unabdingbar. Als Grundstoff wird er zum Beispiel für die Herstellung von Ammoniak benötigt.³³

Ein Wasserstoff-Markt, dessen sich auch die Bundeswehr zur Deckung ihrer Nachfrage bedienen könnte, muss sich noch etablieren.³⁴ Das Potential der Bundeswehr dabei ist erheblich. So ist die Bundeswehr Eigentümerin des größten Fahrzeugparks einer Bundesbehörde mit über 35.000 Fahrzeugen im Bestand.³⁵ Hinzu kommen Kampf- und Transportflugzeuge, -hubschrauber und Schiffe. Die Bundeswehr besitzt 1.450 Liegenschaften mit über 33.000 Gebäuden. Sie unterhält mehr als 170 Übungsplätze mit einer Gesamtfläche von mehr als 200.000 Hektar. Damit kommt die Bundeswehr grundsätzlich als Produzentin und gleichzeitig als große Nachfragerin für auf der Basis grünen Stroms erzeugten Wasserstoffs und seiner Produkte infrage – mehr noch: Die Bundeswehr könnte einen wichtigen Beitrag zum Aufbau des Wasserstoff-Marktes leisten.³⁶

³² Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2020: 3 und 11.

³³ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2020: 2.

³⁴ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2020: 5 f.

³⁵ Vgl. dazu den Auftritt des BwFuhrparkService, <https://www.bwfuhrpark.de/p/unternehmen>, zuletzt aufgerufen am 20.06.2022.

³⁶ Rappuhn/Struck 2022.

Dabei bleibt grundsätzlich zu beachten, dass die Bundeswehr als Bündnisarmee konzipiert wurde und auch in diesem Rahmen für sich und die anderen Bündnispartner die oben beschriebenen Leistungen erbringen können soll. Bei Fuels und Energieträgern besteht in der NATO das Prinzip der Interoperabilität.³⁷ Daher gilt für die NATO-Streitkräfte die sogenannte Single Fuel Policy (SFP), deren Ziel es ist, möglichst einen einzigen standardisierten und kompatiblen Kraftstoff für landgestützte militärische Operationen zu nutzen. Sie fordert unter anderem auch die Verträglichkeit aller Fahrzeuge für Flugkraftstoff auf Kerosinbasis.³⁸ Wasserstoff muss deshalb dem Anspruch der SFP genügen.

Typischerweise sind die Liegenschaften der Bundeswehr an die öffentlichen Energienetze angeschlossen. Die Betreiber der Gasnetze beginnen bereits in einem Transformationsprozess, der bis 2040 abgeschlossen sein soll,³⁹ mit den konkreten Projekten zur Beimischung von Wasserstoff in das existierende Erdgasnetz. Dort, wo eine Beimischung aufgrund der mangelnden Eignung der vorhandenen Leitungssysteme nicht möglich ist, werden Parallelnetze aufgebaut.⁴⁰ Damit wird auch die Energieversorgung der Liegenschaften der Bundeswehr sukzessive auf den Anschluss an entsprechende Netze und den Bezug von Wasserstoff umgestellt werden. Mit Blick auf die Forderung nach Interoperabilität mit öffentlichen Infrastrukturen wird sich die Bundeswehr mit ihren Liegenschaften dem Thema Wasserstoff als Energieträger öffnen müssen. Vielmehr noch: Sie wird zu diesem Thema eigenes Knowhow aufbauen müssen. Auch in der Zusammenarbeit mit anderen Streitkräften sind Veränderungen zu erwarten.⁴¹ Denn die Forderung nach Interoperabilität bedingt eine Standardisierung, von denen die Bündnispartner nicht ausgenommen werden dürfen. So wird es nach einer Übergangszeit sinnvollerweise eine dekarbonisierte, auf Basis von Wasserstoff betriebene Versorgung mit Energie in allen Bereichen geben müssen. Sinnvollerweise kann die Umsetzung großflächig nur im Gleichklang aller Bündnispartner geschehen.

Derzeit geht man bei der Bundeswehr ebenso wie im Bundesministerium des Innern davon aus, dass man in Bezug auf Mobilität nicht auf Synfuels⁴² (auf Basis regenerativ erzeugten Stroms produzierte Kohlenwasserstoffe) als Ersatz für Dieselkraftstoff und Kerosin verzichten können wird.⁴³ Für den Betrieb von Liegenschaften ebenso wie für bestimmte Mobilitätsanwendungen⁴⁴ scheint Wasserstoff jedoch zur Dekarbonisierung des Energieeinsatzes hochgradig geeignet zu sein. Wasserstoff lässt sich zum einen als Energiespeicher einsetzen, zum anderen ist eine Verwendung für Wärme- und Stromerzeugung (z. B. für Mobilität) durch Verbrennung in Motoren und elektrochemische Umsetzung in Brennstoffzellen möglich.⁴⁵ Daher wird nachfolgend der Betrieb von Liegenschaften auf Basis von regenerativ erzeugtem Wasserstoff untersucht.

³⁷ NATO 2006: 1 ff.; Bundesministerium der Verteidigung 2016: 129.

³⁸ Grundlagen hierfür sind: NATO 2016 und NATO 2020. Für Landfahrzeuge gilt NATO 2012.

³⁹ Wang et al. 2020: III und 23.

⁴⁰ VKU 2021: 15 ff.

⁴¹ European Defence Agency 2020b: 1.

⁴² Müller 2021: 22.

⁴³ Bundesministerium der Verteidigung und Bundesministerium des Innern 2021; Winterhagen 2022.

⁴⁴ Rappuhn/Struck 2022.

⁴⁵ e-Mobil BW 2021: 84 ff.

Betrieb von militärischen Liegenschaften auf Wasserstoffbasis

Militärische Liegenschaften müssen ihren Betrieb mit den wesentlichen Funktionen unterbrechungsfrei aufrechterhalten können. Auch bei Störungen im öffentlichen Energieverteilnetz muss die Aufgaben- und Auftragserfüllung weiterhin gewährleistet sein. Das bedingt, dass Liegenschaften (auch) energieautonom betrieben werden können, um den Verpflichtungen der Bundeswehr auf ihre Aufgaben aus den NTA und insbesondere mit Blick auf den HNS nachkommen zu können. Bereits heute hat sich das Bundesministerium der Verteidigung eine Roadmap vorgegeben, um eine klimaneutrale Verwaltung im Jahre 2023 zu erreichen. Das Pilotprojekt „Green Barracks“ dient ebenfalls diesem Ziel.⁴⁶ Hier sollen neue fossile Brennstoffe vermeidende Ansätze zur Wärmeversorgung in den Liegenschaften der Bundeswehr geprüft sowie der Ausbau erneuerbarer Energien erprobt und umgesetzt werden.⁴⁷ Wasserstoff als dezentral erzeugbarer Energieträger kann hierfür einen wesentlichen Beitrag leisten.

Kasernen dienen oft sehr unterschiedlichen Zwecken: Zum einen bieten sie Unterkünfte für die Soldatinnen und Soldaten, zum anderen beherbergen sie technische Einrichtungen und Infrastrukturen für unterschiedlichste militärische Zwecke und Anwendungen. Immer verfügen sie über Strom-, Wärme- und Wasser-/Abwassernetze. In der Regel wurden Kasernenanlagen in der Vergangenheit über eigene Heizwerke, früher auf Kohle-, heute auf Erdgasbasis zentral mit Wärme versorgt. Häufig findet man heute Blockheizkraftwerke (manche bereits als Public-Private-Partnership-Projekte), so dass auch Strom zusätzlich zur Wärme erzeugt wird. Fliegerhorste wie auch Marinehäfen bieten teilweise darüber hinaus Treibstoffleitungen und Tanklager. Schließlich verfügen sie in der Regel über große Flächenanteile, die nicht für Arbeits- oder Wohnzwecke genutzt werden.

Die Energieversorgung von Liegenschaften ist komplex und ihre Struktur differiert je nach Zweck und den damit verbundenen Installationen und Einrichtungen sowie Gebäuden erheblich. Zur zielgerichteten Betrachtung der Energieversorgung von militärischen Liegenschaften wird auf NATO-Ebene empfohlen, diese in vier Gruppen einzuteilen⁴⁸:

- große Kasernenanlagen mit operativem militärischem Betrieb, z. B. Fliegerhorste, Marinehäfen, Logistikeinrichtungen etc. („Large operational bases“),
- reine Verwaltungs- und Stabseinrichtungen („Headquarters and administrative sites“),
- abgesetzte Inlandseinrichtungen („Remote fixed outposts located in the homeland“),
- Feldlager/Camps („Forward operating bases“).

Liegenschaften mit operativem militärischem Betrieb ähneln in ihrem Energieabnahmeverhalten Städten oder Stadtteilen. Bestimmte Einrichtungen in ihnen müssen fortwährend und unterbrechungsfrei mit Energie versorgt werden. Andere wiederum können zu bestimmten Zeiten heruntergefahren oder abgeschaltet werden.

⁴⁶ Erwähnt in: Bundesministerium der Verteidigung 2021: 35.

⁴⁷ Deutscher Bundestag 2022b: 90.

⁴⁸ Gomez de Agreda 2013: 17.

Hier bedarf es eines abgestuften Energieversorgungskonzeptes, das Nachfrage nach Energie und Angebot mit Unterstützung durch ein IT-basiertes automatisiertes Mess- und Regelungssystem intelligent aufeinander abstimmt.

Ein energieautonomer Betrieb erfordert es, die Energie für die Kaserne vor Ort zu erzeugen und nötigenfalls zu speichern. Dabei sind Abstufungen möglich und sinnvollerweise vorzunehmen. Als regenerative Erzeugungsformen kommen regelmäßig Photovoltaik und Windkraft infrage. Flächen- und Höhenbedarfe sind hierbei zu berücksichtigen, aber auch die geographische Lage. In großen Einrichtungen kann auch Biomasse zur Energieerzeugung eingesetzt werden. Je nach geologischen Bedingungen und Anwendungsfällen ist möglicherweise Geothermie eine Nutzungsoption.⁴⁹

Bei Nutzung regenerativer Energien ist es wegen des ununterbrochenen Bedarfes an Strom unerlässlich, für den Fall einer Dunkelflaute (bei kombinierter Nutzung von Windkraft und Photovoltaik) oder in den Nachtstunden (bei ausschließlicher Nutzung von Photovoltaik) die vorher erzeugte Energie zu speichern. Hierzu kann man elektrische Energie in Akkumulatoren oder den mit ihr in Elektrolyseuren erzeugten Wasserstoff speichern. Je nach verwendeter Druckstufe ist die Energie für Kompressoren einzubeziehen. Dabei ist der Wirkungsgrad des gesamten Energiesystems bei Wasserstoffherzeugung zwar geringer, weil die elektrische Energie nicht direkt in Batterien gespeichert und später genutzt wird. Aus operativ-taktischen Gründen ist jedoch der Speicherung von Wasserstoff der Vorzug zu geben, denn die erzeugte Energie in Form des Gases Wasserstoff ist sofort verfügbar, kann als Treib- und Brennstoff und damit zur Erzeugung von Bewegungs- und Wärmeenergie eingesetzt werden. Dies hat Vorrang vor Effizienz im Sinne eines kostensparenden Einsatzes der erzeugten elektrischen Primärenergie. Das Speichern von Strom in Akkumulatoren hat natürlich seine Berechtigung, dann allerdings eher zur temporären Überbrückung des Ausfalls der Stromerzeugung.

Neben der Versorgung der Liegenschaft mit Strom und Wärme sind – je nach Zweck der Liegenschaft und Möglichkeit vor Ort – darüber hinaus ggf. Pkw, Lkw, Sonder- und gepanzerte Fahrzeuge, Boote, Schiffe und Luftfahrzeuge zu berücksichtigen. Die Beantwortung der Frage, ob allerdings Wasserstoff als Fuel auch für die Mobilität der Bundeswehr generell in Frage kommt, muss differenzierten Untersuchungen vorbehalten bleiben. In diesem Zusammenhang ist dann auch die Frage zu beantworten, wo und mit welchen Anlagen der notwendige Wasserstoff erzeugt wird.⁵⁰

Die Energieautonomie einer Kaserne bedingt, dass der zur Verfügung zu stellende Strom ausschließlich vor Ort und aller Wahrscheinlichkeit nach auf Basis von Photovoltaik und Windkraft zu erzeugen ist. Diese elektrische Energie deckt zum einen den in der Kaserne bestehenden Bedarf an Strom, zum anderen wird mit ihr die Elektrolyse zur Wasserstoffherzeugung so betrieben, dass die notwendige Reserve für die sonnenschein- und windarmen Stunden produziert und gespeichert wird. Sollten dann noch weitere Strommengen zur Verfügung stehen, so wäre grundsätzlich die Erzeugung weiteren Wasserstoffs für Mobilitätszwecke denkbar. Um die Produktion und die anschließende Verwendung von Wasserstoff effizient steuern zu können, bedarf es eines intelligenten und fein abgestimmten Energiemanagementsystems.⁵¹ Dadurch gelingt es, die tagsüber nicht notwendigen Verbraucher von Strom (z. B. Klimatisierung von zeitweise nicht genutzten Unterkünften oder Arbeitsräumen) vom Netz zu nehmen.

⁴⁹ Koslowski 2022.

⁵⁰ Das Prinzip eines unabhängigen Kasernenbetriebes wird in einem Projekt im Rahmen der European Defence Agency auf Initiative des Slowenischen Verteidigungsministeriums evaluiert (Defence RESilience HUB) (European Defence Agency 2020a).

⁵¹ NATO 2014; European Defence Agency 2019: 143 f.

So bleibt mehr Kapazität für die Erzeugung und Einspeicherung von Wasserstoff. In Nachtstunden kann der gespeicherte Wasserstoff rückverstromt und zur Wärmeerzeugung genutzt werden. Dies geschieht entweder durch einen einfachen Wasserstoffverbrennungsmotor oder durch eine Brennstoffzelle im Rahmen eines Kraft-Wärme-Kopplung-Konzepts.

Politische und militärische Bewertungen – Zusammenfassung und Ausblick

Die Bundeswehr hat neben dem Schutz der territorialen Integrität der Bundesrepublik Deutschland (Landesverteidigung) und – im Rahmen der Bündnisverteidigung – der Integrität befreundeter Staaten weitere Aufgaben und Aufträge. Zu ihnen zählen auch die Nationalen Territorialen Aufgaben. Diese fordern von der Bundeswehr eine bestmögliche Vorbereitung des Territoriums der Bundesrepublik für Zwecke der Verteidigung ebenso wie für die subsidiären Unterstützungs- und Hilfeleistungen bei Katastrophen und schweren Unglücksfällen. Gerade für die letzteren Aufgaben im Rahmen der NTA der Bundeswehr ist die Energieautonomie Voraussetzung für ein energieverorgungstechnisch unabhängiges Netzwerk von Kasernen und militärischen Liegenschaften. Insbesondere im Falle eines Black-outs, also eines länger andauernden, großflächigen Stromausfalls, könnten Kasernen so zu einem Ort werden, an dem die Zivilbevölkerung der näheren Umgebung sich mit dem Nötigsten versorgen lassen kann,⁵² wie es in Slowenien vorgeschlagen wird:

Die lokale Bevölkerung wird im Falle von Naturkatastrophen oder in Krisensituationen von der lokalen Energiequelle zur Versorgung kritischer Infrastrukturen profitieren. Die Anwendung der Wasserstoffmobilität wird als grüner mobiler Stromerzeuger für die Stromversorgung wichtiger und kritischer lokaler Infrastrukturen (Schulen, Krankenhäuser, Kindergärten, Geschäfte und Geschäfte, Kommunikationstechnik usw.) dienen. Unabhängigkeit und Sicherheit der lokalen Energieverfügbarkeit werden die lokale Bevölkerung für einen längeren Zeitraum (bis zu 30 Tage) unterstützen, wenn die Energieversorgung unterbrochen ist.⁵³

Bereits in Friedenszeiten können verschiedenste Szenarien ein Eingreifen der Bundeswehr im Innern erforderlich machen (Objektschutz, Unterstützung staatlicher Ordnungskräfte); so wäre beispielsweise bei einem langandauernden, flächendeckenden Stromausfall ein Kollaps der gesellschaftlichen Strukturen kaum zu verhindern.⁵⁴ Mit dem Ansatz der Energieautonomie würde die Kaserne im Sinne der NTA der Bundeswehr zu einem Stützpunkt für die Bevölkerung bei Katastrophen oder schweren Unglücksfällen, in denen die Unterstützung der Bundeswehr dringend gefordert wird – aber natürlich auch im Fall eines bewaffneten Konflikts auf dem eigenen Territorium. Hier wäre die Erfüllung der NTA, insbesondere des HNS, durch vom zivilen Versorgungsnetz unabhängige militärische Einrichtungen weiterhin gewährleistet.

Zur Vorbereitung auf beide Szenarien gehört die Ausrüstung und Härtung der militärischen Liegenschaften, um im Einsatzfall bestmögliche Unterstützung für die Auftragserfüllung der Streitkräfte bieten zu können. Zusätzlich wird aus strategischer Sicht das Aufgabenspektrum von Streitkräften nicht nur durch militärische Bedrohung,

⁵² Deni 2013: 5.

⁵³ Ministry of Defence (Republic of Slovenia) 2019: 7 und 9.

⁵⁴ Petermann et al. 2011: 7.

sondern auch durch den Klimawandel erheblich zunehmen. Streitkräfte müssen hier Vorsorge treffen.⁵⁵ Darunter fällt auch die Einrichtung einer unterbrechungsfreien Energieversorgung. Diese lässt sich insbesondere dann gewährleisten, wenn Erzeugung und Betrieb der Energieversorgung der Liegenschaft in der Hand der Streitkräfte liegen. Welche Liegenschaften bereits heute dem Kriterium der Energieautonomie genügen, ist nicht bekannt.⁵⁶

Operativ könnte regenerativ erzeugter Wasserstoff in einer militärischen Liegenschaft zukünftig mehreren Zwecken dienen: Zum einen der Betankung der mit ihm betriebenen Fahrzeuge, zum zweiten der Erzeugung von Wärme und Strom (Kraft-Wärme-Kopplung) und zum dritten schließlich der Speicherung von Energie. Erst jedoch das intelligente IT-vernetzte, -überwachte und -gesteuerte System der dezentralen regenerativen Energieerzeugung und -verteilung – das „Microgrid“ – macht die Energieversorgung jedoch komplett.⁵⁷ Einzelne Bausteine des Systems allein garantieren keine Unabhängigkeit und damit nicht die vollständige Aufgabenerfüllung.

Taktisch gesehen hätte die Verwendung von Wasserstoff als primärer Energieträger und ggf. dort, wo wegen benötigter hoher Energiedichten Wasserstoff selbst nicht infrage kommt, Synfuels auf Wasserstoffbasis als sekundären Energieträgern große Vorteile: In der Betrachtung von energieautonomen Feldlagern im Rahmen des internationalen Krisenmanagements ist bei Nutzung von Wasserstoff die lange und störungsanfällige Logistikkette⁵⁸, mit der POL⁵⁹ zu den Einsatzorten transportiert werden müssen, deutlich kürzer.⁶⁰ Der Kraft- und Betriebsstoff wird im Idealfall vor Ort erzeugt und gleich zur Energieversorgung der Liegenschaft eingesetzt oder direkt in Fahrzeugen genutzt. In dem Maße, wie Wasserstoff vor Ort direkt verfügbar gemacht werden kann, verringerte sich die Gefahr von Anschlägen auf POL-Konvois und die Zahlung von Schutzgeldern an Aufständische, Warlords oder Clans.⁶¹ Die Vor-Ort-Erzeugung von Wasserstoff macht die Logistik jedoch nicht gänzlich überflüssig. Bei Ausfall der Anlagen zur Erzeugung oder Speicherung von Wasserstoff in Liegenschaften oder wenn sich Wasserstoff nicht in der Liegenschaft erzeugen lässt, wäre das Heranführen von Wasserstoff-Druckcontainern möglich. Für Synfuels ist die Versorgungslogistik über Tanktransporte ohnehin notwendig und jedenfalls mit den gleichen Mitteln wie bislang auch umsetzbar. Die Verwendung primär von Wasserstoff reduziert jedoch die Risiken.

Um hinsichtlich der Energieautonomie von Liegenschaften Erfahrungen sammeln zu können, sollte ein begrenztes Pilotprojekt in einem klar abgegrenzten Bereich in einer größeren militärischen Liegenschaft aufgesetzt werden. So wäre feststellbar, welche Dimensionierung die elektrische Erzeugung haben muss, welche Drucktanks erforderlich sind und wieviel elektrische Energie zusätzlich für die Kompressoren benötigt wird. Schließlich können auch wertvolle Erfahrungen mit dem Betrieb des gesamten Energiesystems gesammelt werden. Die Erfahrungen von öffentlichen Energieversorgungsunternehmen ebenso wie ihre Unterstützungsmöglichkeiten bei Investitionen und Betrieb sollten im Rahmen eines Public-Private-Partnership-Projektes Berücksichtigung finden.

⁵⁵ Wächter 2021: 330; Bayer/Struck 2019: 24 f.

⁵⁶ In Österreich jedoch schon: Bundesministerium für Landesverteidigung 2018.

⁵⁷ Wood 2022.

⁵⁸ NATO 2015: Annex A, Nr. 38–40.

⁵⁹ Petroleum, Oils, Lubricants – Kraft- und Schmierstoffe.

⁶⁰ Mjartanova 2013: 9.

⁶¹ Spiegel 2020.

Wenn ab 2045 bis 2050 öffentliche Gasversorgungsinfrastrukturen auf Wasserstoff ausgerichtet sein werden, muss sich die Bundeswehr im Rahmen eigener Versorgung, aber auch vor den Hintergrund ihrer NTA darauf ausrichten und Kompetenzen entwickeln.

Literaturverzeichnis

- Bayer, Stefan/Struck, Simon (2019): Strategische Ausrichtung von Streitkräften im Klimawandel (GIDSresearch 1/2019), Hamburg.
- Bayer, Stefan/Struck, Simon (2021): Trendszenario Grüne Armee. Strategische Überlegenheit durch Nachhaltigkeit?, in: stratos digital September 2021, https://www.vtg.admin.ch/de/media/publikationen/stratos/detail.publication.html/vtg-internet/de/publications/stratos/stratos-artikel/2021_09_15_stratos_digital_Trendszenario_Gruene_Armee_210916.pdf.html, zuletzt aufgerufen am 27.06.2022.
- Bhandari, Ramchandra/Shah, Ronak Rakesh (2021): Hydrogen as energy carrier. Techno-economic assessment of decentralized hydrogen production in Germany, in: Renewable Energy 177, S. 916–931, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.149>, zuletzt aufgerufen am 26.07.2022.
- Borodinecs, A./Zajecs, D./Lebedeva, K./Bogdanovics, R. (2022): Mobile Off-Grid Energy Generation Unit for Temporary Energy Supply, in: Appl. Sci. 12 (673), <https://doi.org/10.3390/app12020673>, zuletzt aufgerufen am 19.09.2022.
- Bundesministerium der Verteidigung (2011): Verteidigungspolitische Richtlinien, Berlin.
- Bundesministerium der Verteidigung (2016): Weißbuch zur Sicherheitspolitik und zur Zukunft der Bundeswehr, Berlin.
- Bundesministerium der Verteidigung (2018): Konzeption der Bundeswehr, Berlin.
- Bundesministerium der Verteidigung (2021): Eckpunktepapier für die Bundeswehr der Zukunft, Berlin.
- Bundesministerium der Verteidigung und Bundesministerium des Innern (2021): Positionspapier zur Notwendigkeit der Nutzung von synthetischen Kraftstoffen vom 24.03.2021, <https://www.bmvg.de/resource/blob/5038116/dc0eadb13d5c57fd63b918243de07ee5/20210324-dl-positionspapier-synthetische-kraftstoffe-data.pdf>, zuletzt aufgerufen am 10.07.2022.
- Bundesministerium des Innern (2009): Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen, Berlin.
- Bundesministerium für Landesverteidigung (2018): Errichten von Sicherheitsinseln im Rahmen der gesamtstaatlichen Sicherheitsvorsorge. Vortrag an den Ministerrat (S91150/6-PMVD/2018), Wien.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie, Berlin.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022): Fortschrittsbericht Energiesicherheit, Berlin.
- Deni, John R. (2013): Energy self-sufficient military installations. Rewards and obstacles, in: NATO Energy Security Centre of Excellence (Hg.), Energy Security. Operational Highlights, Nr. 2, Vilnius, S. 3–7.
- Deutscher Bundestag (2011): Drucksache 17/5869, 17. Wahlperiode, Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Ulla Jelpke, Jan Korte, Petra Pau, Jens Petermann und der Fraktion DIE LINKE (Drucksache 17/5584): Entwicklung der Zivil-Militärischen Zusammenarbeit.

- Deutscher Bundestag (2022a): Drucksache 20/1409 vom 13.04.2022, 20. Wahlperiode, Entwurf eines Gesetzes zur Errichtung eines „Sondervermögens Bundeswehr“ (Bundeswehrsondervermögensgesetz – BwSVermG).
- Deutscher Bundestag (2022b): Drucksache 20/900 vom 15.03.2022, 20. Wahlperiode, Jahresbericht 2021 der Wehrbeauftragten des Bundestages.
- e-mobil BW GmbH – Landesagentur für neue Mobilitätslösungen und Automotive Baden-Württemberg (Hg.) (2021): Systemvergleich zwischen Wasserstoffverbrennungsmotor und Brennstoffzelle im schweren Nutzfahrzeug, Stuttgart, https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/e-mobilBW-Studie_H2-Systemvergleich.pdf, zuletzt aufgerufen am 21.09.2022.
- European Defence Agency (2019): Guidance Document. CF SEDSS II Results and Recommendations for Sustainable Energy in the Defence and Security Sector, Brüssel, <https://eda.europa.eu/docs/default-source/events/eden/phase-ii/guidance-document/cfsedssii-guidance-document.pdf>, zuletzt aufgerufen am 14.09.2022.
- European Defence Agency (2020a): CF SEDSS III Handbook Version 6.0. Consultation Forum for Sustainable Energy in the Defence and Security Sector. Phase III 2019–2023, Brüssel, <https://eda.europa.eu/docs/default-source/consultation-forum/handbook.pdf>, zuletzt aufgerufen am 29.06.2022.
- European Defence Agency (2020b): Defence RESilience Hub Network in Europe – RESHUB (Factsheet), <https://eda.europa.eu/docs/default-source/events/eden/phase-ii/information-sheets/cfii-wg-2-infosheet-reshub.pdf>, zuletzt aufgerufen am 20.09.2022.
- Gomez de Agreda, Angel (2013): Military bases’ energy independence, in: Energy Security Forum 7 (1), S. 17.
- Jann, Timo (2022): Erster Wasserstoff-Schlepper, in: Täglicher Hafenbericht vom 20.05.2022, <https://www.thb.info/rubriken/maritime-wirtschaft/detail/news/erster-wasserstoff-schlepper.html>, zuletzt aufgerufen am 10.07.2022.
- Koslowski, Carsten (2020): Die erste CO2-neutrale Liegenschaft der Bundeswehr, in: bundeswehr.de, <https://www.bundeswehr.de/de/organisation/infrastruktur-umweltschutz-und-dienstleistungen/aktuelles/die-erste-co2-neutrale-liegenschaft-der-bundeswehr-4328524>, zuletzt aufgerufen am 21.03.2022.
- Ministry of Defence (Republic of Slovenia) (2019): Technical Support in Preparation of RESHUB network project (Request for Support to EU-Structural Reform Support Programme 2017-2020), in: European Defence Agency/European Defence Energy Network, Defence RESilience Hub Network in Europe. Defence Energy-Related Project Ideas (Version 2.1), Ljubljana.
- Mjartanova, Zuzana (2013): Real-life options for military energy self-sufficiency, in: Energy Security Forum 7 (1), S. 9.
- Müller, Björn (2021): Nachhut an der Klimafont, in: Loyal 5, S. 20–25.
- NATO (2006): Backgrounder. Interoperability for joint Operations, Brüssel, https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/pdf_publications/20120116_interoperability-en.pdf, zuletzt aufgerufen am 09.07.2022.
- NATO (2012): Fuels for Future Ground Equipment Using Compression Ignition or Turbine Engines (STANAG 4362), <https://edstar.eda.europa.eu/Standards/Details/0bf077df-a0fc-41c6-a231-3a21b6f9a59d>, zuletzt aufgerufen am 18.09.2022.
- NATO (2014): Policy on Power Generation for Deployed Force Infrastructure (DFI). Action Sheet (Document C-M(2014)0009), 18.02.2014, https://www.sdu.dk/-/media/files/om_sdu/institutter/iti/forskning/nato+arw/literature/lloyd+chubbs+c-m_2014_0009-as1-+policy+power+generation+dfi.pdf, zuletzt aufgerufen

- am 09.06.2022.
- NATO (2015): Smart Energy Team (SENT) Comprehensive Report On Nations' Need for Energy in Military Activities, Focusing on a Comparison of the Effectiveness of National Approaches to Reduce Energy Consumption, 06.05.2015, <https://www.nato.int/science/project-reports/Smart-Energy.pdf>, zuletzt aufgerufen am 09.06.2022.
- NATO (2016): Guidelines to Ensure that Contractors Design and Supply New Equipment Capable of Using Standardized Products (STANAG 1414), <https://edstar.eda.europa.eu/Standards/Details/b84fde41-6c7f-44c7-9509-a4bac48d573d>, zuletzt aufgerufen am 18.09.2022.
- NATO (2020): Interchangeability of Fuels, Lubricants and Associated Products Used by the Armed Forces of NATO (STANAG 1135), <https://edstar.eda.europa.eu/Standards/Details/e4c88fd6-7d8a-4b66-a695-ffe61bcda9c2>, zuletzt aufgerufen am 18.09.2022.
- NATO (2021): Climate Change and Security Action Plan, 14.06.2021, https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_185174.htm, zuletzt aufgerufen am 09.06.2022.
- Petermann, Thomas/Bradke, Harald/Lüllmann, Arne/Paetzsch, Maik/Riehm, Ulrich (2011): Was bei einem Blackout geschieht. Folgen eines langandauernden und großflächigen Stromausfalls (Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Nr. 33), Berlin.
- Quaschnig, Volker (2015): Regenerative Energiesysteme. Technologie–Berechnung–Klimaschutz, Hanser: München.
- Rappuhn, Thomas/Struck, Simon (2022): Streitkräfte der Zukunft. Energieautonomie durch Wasserstoff und Beitrag für die Entwicklung eines neuen Energiemarktes? (GIDSstatement 12/2021), Hamburg.
- Spiegel (2020): US Militär zahlt Schutzgeld an Warlords, 22.06.2010, <https://www.spiegel.de/politik/ausland/korruption-in-afghanistan-us-militaer-zahlt-schutzgeld-an-warlords-a-702117.html>, zuletzt aufgerufen am 18.09.2022.
- Süddeutsche Zeitung (2019): Bundeswehr „Kaputtgespart“, 28.02.2019, <https://sueddeutsche.de/politik/bundeswehr-kaputtgespart-1.4349322>, zuletzt aufgerufen am 07.06.2022.
- Tsetsos, Konstantinos (2021): Auswirkungen des EU Green Deals auf die Streitkräfte (Metis-Studie Nr. 23), München.
- Verband Kommunaler Unternehmen (VKU) (2021): Zukunft Wasserstoff. Kommunale Unternehmen und ihre Wasserstoff-Projekte, Berlin.
- Wächter, Detlef (2021): Das Strategische Konzept der NATO 2022, in SIRIUS – Zeitschrift für Strategische Analysen 5 (4), S. 329–332, <https://doi.org/10.1515/sirius-2021-4002>, zuletzt aufgerufen am 28.06.2022.
- Wang, Anthony/van der Leun, Kees/Peters, Daan/Buseman, Maud (2020): European Hydrogen Backbone. How a dedicated Hydrogen Infrastructure can be created, Guidehouse: Utrecht.
- Winterhagen, Johannes (2022): Die EU ist dran, den Verbrennungsmotor zu beerdigen, in: FAZ vom 06.06.2022, <https://www.faz.net/aktuell/technik-motor/motor/eu-ende-des-verbrennungsmotors-laesst-sich-kaum-zuruecknehmen-18077028-p2.html>, zuletzt aufgerufen am 11.07.2022.
- Wood, Elisa (2022): Microgrids as the next duct tape. The military's latest projects, in: Microgrid Knowledge vom 04.05.2022, <https://microgridknowledge.com/us-military-microgrids/>, zuletzt aufgerufen am 29.05.2022.