

Weather as a Force Multiplier: Owning the Weather in 2025



A Research Paper
Presented To

Air Force **2025**

by

Col Tamzy J. House
Lt Col James B. Near, Jr.
LTC William B. Shields (USA)
Maj Ronald J. Celentano
Maj David M. Husband
Maj Ann E. Mercer
Maj James E. Pugh

August 1996

Hinweis:

Dieses Dokument ist eine freie deutsche Übersetzung des Originals „*Owning The Weather*“. Die Übersetzung wurde mithilfe eines Sprachmodells (LLM) erstellt und anschließend sorgfältig überarbeitet. Trotz Korrektur können inhaltliche oder sprachliche Abweichungen nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Das Inhaltsverzeichnis, Bildunterschriften sowie Quellenangaben wurden im Original belassen.

Übersetzung und Aufbereitung: freies Radikal www.freiesradikal.info

Haftungsausschluss

2025 ist eine Studie, die erstellt wurde, um einer Weisung des Stabschefs der US-Luftwaffe nachzukommen. Ziel war es, die Konzepte, Fähigkeiten und Technologien zu untersuchen, die die Vereinigten Staaten benötigen werden, um auch in Zukunft die dominierende Luft- und Weltraummacht zu bleiben. Der Bericht wurde am 17. Juni 1996 vorgestellt und entstand im akademischen Umfeld der US-Verteidigungsschulen, das von wissenschaftlicher Freiheit geprägt ist, im Interesse der Weiterentwicklung von Konzepten zur nationalen Verteidigung.

Die in diesem Bericht geäußerten Ansichten sind die der Autoren und spiegeln nicht die offizielle Politik oder Position der United States Air Force, des Verteidigungsministeriums oder der US-Regierung wider.

Dieser Bericht enthält fiktive Darstellungen möglicher zukünftiger Situationen/Szenarien. Ähnlichkeiten mit realen Personen oder Ereignissen – abgesehen von ausdrücklich genannten – sind unbeabsichtigt und dienen ausschließlich zur Veranschaulichung.

Diese Veröffentlichung wurde von den zuständigen Sicherheits- und Politikstellen geprüft, ist als nicht geheim eingestuft und für die öffentliche Verbreitung freigegeben.

Contents

<i>Chapter</i>	<i>Page</i>
Disclaimer	ii
Illustrations	iv
Tables	iv
Acknowledgments	v
Executive Summary	vi
1 Introduction	1
2 Required Capability	3
Why Would We Want to Mess with the Weather?	3
What Do We Mean by “Weather-modification”?	4
3 System Description	8
The Global Weather Network	8
Applying Weather-modification to Military Operations	10
4 Concept of Operations	13
Precipitation	13
Fog	16
Storms	18
Exploitation of “NearSpace” for Space Control	20
Opportunities Afforded by Space Weather-modification	20
Communications Dominance via Ionospheric Modification	21
Artificial Weather	27
Concept of Operations Summary	28
5 Investigation Recommendations	31
How Do We Get There From Here?	31
Conclusions	34
Appendix	Page
A Why Is the Ionosphere Important?	36
B Research to Better Understand and Predict Ionospheric Effects	39
C Acronyms and Definitions	41
Bibliography	42

Illustrations

<i>Figure</i>	<i>Page</i>
3-1. Global Weather Network.....	9
3-2. The Military System for Weather-Modification Operations.	11
4-1. Crossed-Beam Approach for Generating an Artificial Ionospheric Mirror	23
4-2. Artificial Ionospheric Mirrors Point-to-Point Communications	24
4-3. Artificial Ionospheric Mirror Over-the-Horizon Surveillance Concept.	25
4-4. Scenarios for Telecommunications Degradation	26
5-1. A Core Competency Road Map to Weather Modification in 2025.	32
5-2. A Systems Development Road Map to Weather Modification in 2025.....	34

Tables

<i>Table</i>	<i>Page</i>
1 Operational Capabilities Matrix.....	vi

Danksagungen

Wir sprechen Herrn Mike McKim vom Air War College unsere Anerkennung aus, der mit seinem umfassenden technischen Fachwissen und seinen innovativen Ideen einen bedeutenden Beitrag zu dieser Arbeit geleistet hat.

Besonders dankbar sind wir auch für die engagierte Unterstützung unserer Familien während dieses Forschungsprojekts. Ihr Verständnis und ihre Geduld während der intensiven Forschungsphase waren entscheidend für den Erfolg des Projekts.

Zusammenfassung (Executive Summary)

Im Jahr 2025 könnten die US-Luft- und Weltraumstreitkräfte das „Wetter beherrschen“, indem sie neue Technologien nutzen und deren Entwicklung auf militärische Anwendungen ausrichten. Eine solche Fähigkeit würde den Streitkräften Werkzeuge an die Hand geben, um den Gefechtsraum auf nie dagewesene Weise zu gestalten. Sie eröffnet die Möglichkeit, Operationen über das gesamte Spektrum von Konflikten hinweg zu beeinflussen und ist für alle denkbaren Zukunftsszenarien von Bedeutung. Ziel dieses Papiers ist es, eine Strategie für den Einsatz eines zukünftigen Wetterbeeinflussungssystems zur Erreichung militärischer Ziele darzustellen – nicht jedoch, einen detaillierten technischen Fahrplan vorzulegen.

Die Wetterbeeinflussung ist ein Vorhaben mit hohem Risiko und hohem Gewinn, vergleichbar mit dem Dilemma der Spaltung des Atoms. Während Teile der Gesellschaft stets zögern werden, sich mit kontroversen Themen wie der Wettermanipulation zu befassen, wäre es gefährlich, die gewaltigen militärischen Möglichkeiten, die sich aus diesem Feld ergeben könnten, zu ignorieren. Von der Unterstützung eigener Operationen oder der Störung gegnerischer Aktivitäten durch kleinmaßstäbliche Anpassungen natürlicher Wetterabläufe bis hin zur Kontrolle globaler Kommunikation und Weltraumoperationen – die Wetterbeeinflussung bietet den Streitkräften eine Vielzahl von Optionen, um einen Gegner zu besiegen oder unter Druck zu setzen. Einige der möglichen Fähigkeiten, die ein Wetterbeeinflussungssystem einem Oberbefehlshaber (CINC) zur Verfügung stellen könnte, sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Für eine integrierte Fähigkeit zur Wettermanipulation sind Fortschritte in fünf zentralen Bereichen erforderlich:

1. fortgeschrittene nichtlineare Modellierungstechniken,
2. Rechenkapazität,
3. Informationsgewinnung und -übertragung,
4. ein globales Sensornetzwerk sowie
5. Methoden zur direkten Wetterbeeinflussung.

Einige dieser Werkzeuge existieren bereits heute, andere könnten in Zukunft entwickelt und weiter verfeinert werden.

FEINDLICHE KRÄFTE SCHWÄCHEN

Verstärkung von Niederschlägen

- Kommunikationswege überfluten
- Wirksamkeit präzisionsgelenkter Waffen und Aufklärung einschränken
- Komfort und Moral der Truppe senken

Verstärkung von Stürmen

- Durchführung gegnerischer Operationen verhindern

Verhinderung von Niederschlägen

- Zugang zu Frischwasser entziehen
- Dürren auslösen

Weltraumwetter

- Kommunikation und Radar stören
- Weltraumressourcen ausschalten oder zerstören

Beseitigung von Nebel und Wolken

- Tarnmöglichkeiten nehmen
- Verwundbarkeit gegenüber Präzisionswaffen und Aufklärung erhöhen

Erkennung feindlicher Wetteraktivitäten

VERBÜNDETE KRÄFTE STÄRKEN

Vermeidung von Niederschlägen

- Versorgungslinien sichern und verbessern
- Sichtverhältnisse erhalten
- Komfort und Moral aufrechterhalten

Sturmmodifikation

- Das Einsatzumfeld im Gefechtsraum gezielt gestalten

Weltraumwetter

- Kommunikationszuverlässigkeit verbessern
- Feindliche Übertragungen abfangen
- Weltraumressourcen regenerieren

Erzeugung von Nebel und Wolken

- Tarnung erhöhen

Beseitigung von Nebel und Wolken

- Flugbetrieb auf Flugplätzen sicherstellen
- Wirksamkeit präzisionsgelenkter Waffen steigern

Schutz vor feindlichen Fähigkeiten

Aktuelle Technologien, die sich in den nächsten 30 Jahren weiterentwickeln werden, ermöglichen es jedem Akteur mit den nötigen Ressourcen, Wettermuster und deren Auswirkungen – zumindest auf lokaler Ebene – zu verändern.

Demografische, wirtschaftliche und ökologische Entwicklungen werden weltweit Spannungen erzeugen, die viele Staaten oder Gruppen dazu bewegen könnten, diese Fähigkeit zur Wetterbeeinflussung tatsächlich als einsetzbare Kapazität auszubauen.

In den Vereinigten Staaten wird die Wettermanipulation wahrscheinlich Teil der nationalen Sicherheitspolitik werden, mit sowohl innerstaatlichen als auch internationalen Anwendungen. Die Regierung könnte eine solche Politik – abhängig von ihren Interessen – auf unterschiedlichen Ebenen verfolgen. Diese Ebenen könnten einseitige Maßnahmen, die Teilnahme an einem Sicherheitsbündnis wie der NATO, eine Mitgliedschaft in einer internationalen Organisation wie den Vereinten Nationen oder die Mitarbeit in einer Koalition umfassen.

Sollte unsere nationale Sicherheitsstrategie im Jahr 2025 die Wetterbeeinflussung einschließen, würde deren Einsatz in der nationalen Militärstrategie folgerichtig folgen. Neben den erheblichen Vorteilen, die eine operationelle Fähigkeit bieten würde, wäre ein weiterer Anreiz für die Verfolgung der Wettermanipulation die Abschreckung und Abwehr potenzieller Gegner.

In dieser Arbeit zeigen wir, dass der gezielte Einsatz von Wetterbeeinflussung eine Dominanz im Gefechtsraum ermöglichen kann, wie sie bisher unvorstellbar war.

In Zukunft werden solche Operationen die Luft- und Weltraumüberlegenheit stärken und neue Möglichkeiten zur Gestaltung sowie zur besseren Wahrnehmung des Gefechtsraums eröffnen.¹ „Die Technologie ist vorhanden und wartet nur darauf, dass wir sie zusammenführen;“² im Jahr 2025 können wir „das Wetter beherrschen.“

Notes

1 The weather-modification capabilities described in this paper are consistent with the operating environments and missions relevant for aerospace forces in 2025 as defined by AF/LR, a long-range planning office reporting to the CSAF [based on AF/LR PowerPoint briefing “Air and Space Power Framework for Strategy Development (jda-2lr.ppt)].”

2 General Gordon R. Sullivan, “Moving into the 21st Century: America’s Army and Modernization,” *Military Review* (July 1993) quoted in Mary Ann Seagraves and Richard Szymber, “Weather a Force Multiplier,” *Military Review*, November/December 1995, 75.

Kapitel 1

Einleitung

Szenario: Stellen wir uns vor, dass die USA im Jahr 2025 gegen ein reiches, inzwischen konsolidiertes und politisch einflussreiches Drogenkartell in Südamerika kämpfen.

Das Kartell hat Hunderte von in Russland und China gebauten Kampfflugzeugen gekauft, die unsere Versuche, ihre Produktionsanlagen anzugreifen, erfolgreich vereitelt haben. Mit ihrer lokalen zahlenmäßigen Überlegenheit und den inneren Versorgungswegen bringt das Kartell mehr als zehn Flugzeuge für jedes unserer eigenen in die Luft.

Darüber hinaus nutzt das Kartell das französische *Système probatoire d'observation de la terre (SPOT)* [*probatorisches Erdbeobachtungssystem*], das im Jahr 2025 in der Lage ist, nahezu in Echtzeit multispektrale Bilder mit einer Auflösung von einem Meter zu übertragen.

Die Vereinigten Staaten wollen den Gegner auf einem ungleichen Spielfeld bekämpfen, um das volle Potenzial unserer Flugzeuge und Munition auszuschöpfen.

Meteorologische Analysen zeigen, dass es im äquatorialen Südamerika das ganze Jahr über täglich nachmittags zu Gewittern kommt. Unsere Aufklärung hat bestätigt, dass die Piloten des Kartells nur ungern in oder in der Nähe von Gewittern fliegen.

Daher wird unser *Weather Force Support Element (WFSE)* [*Wetterunterstützungselement*], das Teil des *Air Operations Center (AOC)* [*Luftoperationszentrum*] des *commander in chief (CINC)* [*Oberbefehlshaber*] ist, damit beauftragt, Sturmverläufe vorherzusagen und Gewitterzellen über kritischen Zielgebieten auszulösen oder zu verstärken, die der Feind mit seinen Flugzeugen verteidigen muss.

Da unsere Flugzeuge im Jahr 2025 über eine Allwetter-Fähigkeit verfügen, stellen Gewitter für unsere Kräfte nur eine geringe Bedrohung dar, und wir können den Luftraum über dem Zielgebiet effektiv und entscheidend kontrollieren.

Das WFSE verfügt über die notwendigen Sensor- und Kommunikationsfähigkeiten, um Wetterbeeinflussungsanforderungen zu beobachten, zu erkennen und umzusetzen, die die militärischen Ziele der USA unterstützen. Diese Fähigkeiten sind Teil eines fortschrittlichen Gefechtsraumsystems, das den kriegführenden CINC unterstützt.

In unserem Szenario beauftragt der CINC das WFSE, Operationen zur Verstärkung von Stürmen sowie zur Verschleierung durchzuführen. Das WFSE modelliert die atmosphärischen Bedingungen, um mit 90-prozentiger Sicherheit die Wahrscheinlichkeit eines erfolgreichen Eingriffs mithilfe von luftgestützter Wolkenerzeugung und -impfung vorherzusagen.

Im Jahr 2025 werden *uninhabited aerospace vehicles (UAV)* [*unbemannte Luft- und Raumfahrzeuge*] routinemäßig für Wetterbeeinflussungsoperationen eingesetzt. Durch den Abgleich der gewünschten Angriffszeiten mit Wind- und Gewittervorhersagen sowie der berechneten Umlaufbahn des SPOT-Satelliten erstellt das WFSE Einsatzprofile für jedes UAV.

Das WFSE steuert jedes UAV mithilfe von nahezu in Echtzeit verfügbaren Informationen aus einem vernetzten Sensornetzwerk.

Vor dem Angriff, der mit den vorhergesagten Wetterbedingungen koordiniert wird, beginnen die UAV mit Wolkenerzeugungs- und Wolkenimpfungsoperationen. Die UAV verteilen einen Cirrus-Schild, um feindliche visuelle und infrarote (IR) Aufklärung zu verhindern.

Gleichzeitig erzeugen Mikrowellenheizer eine lokalisierte Szintillation, um aktive Sensoren wie das *synthetic aperture radar (SAR)* [*Radar mit synthetischer Apertur*] zu stören, darunter Systeme wie das kommerziell verfügbare kanadische *search and rescue satellite-aided tracking (SARSAT)* [*satellitengestütztes Such- und Rettungs-Tracking*], das im Jahr 2025 weit verbreitet sein wird.

Weitere Wolkenimpfungsoperationen lassen ein entstehendes Gewitter über dem Zielgebiet intensiver werden, was die Fähigkeit des Feindes zur Verteidigung erheblich einschränkt. Das WFSE überwacht die gesamte Operation in Echtzeit und vermerkt die erfolgreiche Durchführung einer weiteren sehr wichtigen, aber routinemäßigen Wetterbeeinflussungsmission.

Dieses Szenario mag weit hergeholt erscheinen, doch bis 2025 liegt es im Bereich des Möglichen. Das nächste Kapitel untersucht die Gründe für Wettermanipulation, definiert den Umfang und beleuchtet Entwicklungen, die sie in den nächsten 30 Jahren möglich machen werden.

Kapitel 2

Erforderliche Fähigkeit

Warum sollten wir das Wetter manipulieren wollen?

Laut General Gordon Sullivan, dem ehemaligen Stabschef der US-Armee: „Während wir im 21. Jahrhundert technologische Sprünge machen, werden wir in der Lage sein, den Feind bei Tag und Nacht, bei jedem Wetter zu sehen – und ihn unerbittlich zu verfolgen.“¹

Eine globale, präzise, in Echtzeit verfügbare, robuste und systematische Fähigkeit zur Wetterbeeinflussung würde den *commanders in chief (CINCs)* [Oberbefehlshabern] ein mächtiges Kraftmultiplikator-Werkzeug an die Hand geben, um militärische Ziele zu erreichen. Da das Wetter in allen denkbaren Zukunftsszenarien eine Rolle spielen wird, wäre eine solche Fähigkeit universell anwendbar und über das gesamte Spektrum von Konflikten hinweg nutzbar. Schon die Möglichkeit, das Wetter auch nur in kleinem Maßstab zu beeinflussen, könnte es von einem hemmenden Faktor zu einem Kraftmultiplikator machen.

Die Menschen haben schon immer den Wunsch gehabt, etwas gegen das Wetter tun zu können. In den USA berichteten Zeitungsarchive bereits 1839 von Menschen mit ernsthaften und kreativen Ideen, wie man Regen erzeugen könne.² Im Jahr 1957 erkannte das beratende Komitee des Präsidenten für Wetterkontrolle ausdrücklich das militärische Potenzial der Wetterbeeinflussung und warnte in seinem Bericht, dass diese zu einer wichtigeren Waffe als die Atombombe werden könnte.³

Allerdings gab es seit 1947 Kontroversen über die möglichen rechtlichen Folgen, die sich aus der gezielten Veränderung großer Sturmsysteme ergeben könnten. Diese führten dazu, dass kaum noch weitere Experimente mit Stürmen durchgeführt werden konnten, die möglicherweise Land erreichen würden.⁴

Im Jahr 1977 verabschiedete die Generalversammlung der Vereinten Nationen eine Resolution, die den feindseligen Einsatz von Methoden zur Veränderung der Umwelt untersagte. Das daraus hervorgegangene „*Convention on the Prohibition of Military or Any Other Hostile Use of Environmental Modification Techniques (ENMOD)*“ [Übereinkommen über das Verbot der militärischen oder sonstigen feindseligen Nutzung von Methoden zur Veränderung der Umwelt] verpflichtete die Unterzeichnerstaaten, auf jegliche militärische oder sonstige feindselige Anwendung von Wettermanipulation zu verzichten, die weitreichende, langanhaltende oder schwerwiegende Folgen haben könnte.⁵

Diese beiden Ereignisse haben die Verfolgung der Wetterforschung zwar nicht gestoppt, jedoch deren Tempo und die Entwicklung der damit verbundenen Technologien erheblich gehemmt und den Schwerpunkt stärker auf unterdrückende statt auf verstärkende Maßnahmen verlagert.

Der Einfluss des Wetters auf militärische Operationen ist seit Langem anerkannt. Während des Zweiten Weltkriegs sagte Eisenhower:

*„In Europa ist schlechtes Wetter der schlimmste Feind der Luftoperationen. Irgendein Soldat hat einmal gesagt: ‚Das Wetter ist immer neutral.‘ Nichts könnte falscher sein. Schlechtes Wetter ist offenkundig der Feind der Seite, die Vorhaben starten will, für die gutes Wetter erforderlich ist, oder der Seite, die über große Mittel verfügt – wie starke Luftstreitkräfte –, die für wirksame Einsätze

auf gutes Wetter angewiesen sind. Wenn wirklich dauerhaft schlechtes Wetter herrschen würde, bräuchten die Nazis nichts anderes, um die Küste der Normandie zu verteidigen!“⁶

Der Einfluss des Wetters war auch in jüngeren Militäroperationen von Bedeutung. Eine erhebliche Zahl der Luftangriffe auf Tuzla während der anfänglichen Stationierung zur Unterstützung der Friedensoperation in Bosnien wurde aufgrund des Wetters abgebrochen.

Während der Operation *Desert Storm* bat General Buster C. Glosson seinen Wetteroffizier, ihm mitzuteilen, welche Ziele in 48 Stunden frei von Bewölkung sein würden, damit diese in den *air tasking order (ATO) [Luftangriffsplan]* aufgenommen werden konnten.⁷ Doch die damalige Vorhersagefähigkeit war nur zu 85 Prozent zuverlässig – und dies auch nur für maximal 24 Stunden –, was die Anforderungen des ATO-Planungszyklus nicht ausreichend erfüllte.

Über 50 Prozent der F-117-Einsätze wurden über ihren Zielen wetterbedingt abgebrochen, und von den 200 geplanten Einsätzen zur unmittelbaren Luftunterstützung (*close air support, CAS [unmittelbare Luftnahunterstützung]*) der A-10 konnten in den ersten beiden Tagen der Kampagne nur 75 durchgeführt werden, da niedrige Wolkendecken den Einsatz verhinderten.⁸

Der Einsatz von Wetterbeeinflussungstechnologien, um über den Zielen ein Wolkenloch lange genug offen zu halten, damit F-117 angreifen und ihre Bomben präzise platzen konnten, oder um den Nebel von der Startbahn in Tuzla zu beseitigen, wäre ein äußerst wirksamer Kraftmultiplikator gewesen.

Wetterbeeinflussung hat eindeutig ein Potenzial für den militärischen Einsatz auf der operationellen Ebene – um die Elemente von „Nebel und Reibung“ für eigene Operationen zu verringern und sie für den Gegner erheblich zu verstärken.

Was meinen wir mit „Wetterbeeinflussung“?

Heute bedeutet Wetterbeeinflussung die Veränderung von Wetterphänomenen über ein begrenztes Gebiet für einen begrenzten Zeitraum.⁹ Innerhalb der nächsten drei Jahrzehnte könnte sich das Konzept der Wetterbeeinflussung jedoch so erweitern, dass es die Fähigkeit umfasst, Wettermuster durch die Beeinflussung ihrer bestimmenden Faktoren zu gestalten.¹⁰

Eine derart hochpräzise und zugleich praktikable Fähigkeit zur Wettermanipulation in den nächsten 30 Jahren zu erreichen, wird erfordern, einige schwierige, aber nicht unüberwindbare technologische und rechtliche Hürden zu überwinden.

Aus technologischer Sicht müssen wir ein solides Verständnis der Variablen haben, die das Wetter beeinflussen. Wir müssen in der Lage sein, die Dynamik ihrer Wechselbeziehungen zu modellieren, die möglichen Ergebnisse ihrer Interaktionen abzubilden, ihre aktuellen Werte in Echtzeit zu messen und diese Werte so zu beeinflussen, dass ein gewünschtes Ergebnis erzielt wird.

Die Gesellschaft wird die notwendigen Ressourcen und die rechtliche Grundlage bereitstellen müssen, damit sich eine ausgereifte Fähigkeit entwickeln kann. Wie könnte all das geschehen? Das folgende hypothetische Szenario entwirft, wie Wetterbeeinflussung bis 2025 sowohl technisch machbar als auch gesellschaftlich wünschenswert werden könnte.

Zwischen heute und 2005 werden technologische Fortschritte in der Meteorologie sowie die steigende Nachfrage internationaler Unternehmen nach präzisen Wetterinformationen dazu führen,

dass die wichtigsten Variablen, die das Wetter beeinflussen, erfolgreich identifiziert und beschrieben werden können.

Bis 2015 ermöglichen Verbesserungen in der Rechenleistung, den Modellierungstechniken und der Erfassung atmosphärischer Daten eine sehr genaue und verlässliche Wettervorhersage, die an realen Wetterereignissen überprüft wird.

Im darauffolgenden Jahrzehnt setzen zunehmende Bevölkerungsdichten die weltweite Versorgung mit Nahrungsmitteln und nutzbarem Wasser unter Druck. Massive Verluste an Menschenleben und Eigentum durch Naturkatastrophen werden zunehmend als nicht hinnehmbar angesehen.

Diese Entwicklungen veranlassen Regierungen und/oder andere Organisationen, die von den technologischen Fortschritten der letzten 20 Jahre profitieren können, den Aufbau einer sehr genauen und praktikablen Fähigkeit zur Wetterbeeinflussung voranzutreiben. Der wachsende Druck, die Vorteile dieser Fähigkeit nutzbar zu machen, führt zu Gesetzen, Verträgen und auch einseitigen Maßnahmen, die die notwendigen Risiken für deren Erprobung und Verfeinerung akzeptabel erscheinen lassen.

Bis 2025 ist die Welt – oder Teile davon – in der Lage, lokale Wettermuster gezielt zu gestalten, indem die Faktoren beeinflusst werden, die Klima, Niederschlag, Stürme und deren Auswirkungen, Nebel sowie den nahen Weltraum bestimmen.

Diese sehr genauen und praktikablen zivilen Anwendungen der Wetterbeeinflussungstechnologie haben offenkundige militärische Konsequenzen. Besonders gilt das für die Luft- und Weltraumstreitkräfte, denn während Wetter alle Einsatzbereiche betrifft, wirkt es sich in besonderem Maße auf den unseren aus.

Der Begriff *Wetterbeeinflussung* hat für viele Menschen, sowohl für Zivilisten als auch für Militärangehörige, möglicherweise eine negative Bedeutung. Es ist daher wichtig, den Umfang dieser Arbeit klar zu definieren, damit Befürworter wie auch Kritiker weiterer Forschung eine gemeinsame Grundlage für die Diskussion haben.

Im weitesten Sinne lässt sich Wetterbeeinflussung in zwei Hauptkategorien einteilen: Unterdrückung und Verstärkung von Wettermustern. In extremen Fällen könnte sie die Erzeugung völlig neuer Wettermuster, die Abschwächung oder Kontrolle schwerer Stürme oder sogar die Veränderung des globalen Klimas in weitreichendem und/oder langanhaltendem Ausmaß umfassen.

In der mildesten und am wenigsten umstrittenen Form kann sie darin bestehen, Niederschlag, Wolken oder Nebel für kurze Zeit über einem begrenzten Gebiet zu erzeugen oder zu unterdrücken. Andere Anwendungen mit geringer Intensität könnten die Veränderung und/oder Nutzung des nahen Weltraums als Medium beinhalten – etwa um Kommunikation zu verbessern, aktive oder passive Sensorik zu stören oder für andere Zwecke.

Bei der Durchführung der Recherchen für diese Studie wurde zunächst die weitest mögliche Definition von Wetterbeeinflussung zugrunde gelegt, um sicherzustellen, dass das gesamte Spektrum an Chancen, das unseren Streitkräften im Jahr 2025 zur Verfügung stehen könnte, gründlich berücksichtigt wurde.

Aus verschiedenen im Folgenden beschriebenen Gründen konzentriert sich diese Arbeit jedoch in erster Linie auf lokale und kurzfristige Formen der Wetterbeeinflussung und darauf, wie diese in die Kriegsführung eingebunden werden könnten.

Die Hauptbereiche, die behandelt werden, umfassen:

- die Erzeugung und Auflösung von Niederschlag, Wolken und Nebel,
- die Beeinflussung lokaler Sturmsysteme sowie
- die Nutzung der Ionosphäre und des nahen Weltraums zur Kontrolle des Weltraums und zur Dominanz in der Kommunikation.

Diese Anwendungen entsprechen *CJCSI 3810.01, "Meteorological and Oceanographic Operations" [Meteorologische und ozeanographische Operationen]*.¹¹

Extreme und umstrittene Beispiele für Wetterbeeinflussung – die Erzeugung von „maßgeschneidertem“ Wetter, großangelegte Klimaveränderungen, die Erzeugung und/oder Steuerung schwerer Stürme usw. – wurden im Rahmen dieser Studie untersucht, hier jedoch nur kurz erwähnt. Nach Einschätzung der Autoren erscheinen die technischen Hürden, die ihrer Anwendung im Wege stehen, innerhalb der nächsten 30 Jahre unüberwindbar.¹² Wäre dies nicht der Fall, wären solche Anwendungen in diesem Bericht als potenzielle militärische Optionen aufgenommen worden – trotz ihrer kontroversen und möglicherweise böswilligen Natur sowie ihrer Unvereinbarkeit mit bestehenden UN-Abkommen, die von den USA unterzeichnet wurden.

Die in diesem Bericht vorgeschlagenen Anwendungen der Wetterbeeinflussung reichen dagegen von technisch nachgewiesen bis potenziell machbar. Gemeinsam ist ihnen allerdings, dass keine davon derzeit von unseren operationellen Streitkräften eingesetzt wird oder zu deren Einsatz vorgesehen ist. Gemeinsam ist ihnen auch ihr potenzieller Wert für die Kriegsführung der Zukunft, wie wir in den folgenden Kapiteln darlegen wollen.

Ein hypothetisches integriertes System, das Werkzeuge zur Wetterbeeinflussung umfasst, wird im nächsten Kapitel beschrieben; wie diese Werkzeuge angewendet werden könnten, wird dann im Rahmen des *Concept of Operations [Einsatzkonzept]* in Kapitel 4 erörtert.

NOTES

1 Gen Gordon R. Sullivan, "Moving into the 21st Century: America's Army and Modernization," *Military Review* (July 1993) quoted in Mary Ann Seagraves and Richard Szymer, "Weather a Force Multiplier," *Military Review*, November/December 1995, 75.

2 Horace R. Byers, "History of Weather-modification," in Wilmot N. Hess, ed. *Weather and Climate Modification*, (New York: John Wiley & Sons, 1974), 4.

3 William B. Meyer, "The Life and Times of US Weather: What Can We Do About It?" *American Heritage* 37, no. 4 (June/July 1986), 48.

4 Byers, 13.

5 US Department of State, *The Department of State Bulletin*. 74, no. 1981 (13 June 1977): 10.

6 Dwight D Eisenhower. "Crusade in Europe," quoted in John F. Fuller, *Thor's Legions* (Boston:

American Meteorology Society, 1990), 67. 7 Interview of Lt Col Gerald F. Riley, Staff Weather Officer to CENTCOM OIC of CENTAF Weather

Support Force and Commander of 3rd Weather Squadron, in "Desert Shield/Desert Storm Interview Series,"

by Dr William E. Narwyn, AWS Historian, 29 May 1991. 8 Thomas A. Keaney and Eliot A. Cohen. *Gulf War Air Power Survey Summary Report* (Washington

D.C.: Government Printing Office, 1993), 172. 9 Herbert S. Appleman, *An Introduction to Weather-modification* (Scott AFB, Ill.: Air Weather

Service/MAC, September 1969), 1. 10 William Bown, "Mathematicians Learn How to Tame Chaos," *New Scientist*, 30 May 1992, 16.

¹¹ CJCSI 3810.01, *Meteorological and Oceanographic Operations*, 10 January 95. This CJCS Instruction establishes policy and assigns responsibilities for conducting meteorological and oceanographic operations. It also defines the terms widespread, long-lasting, and severe, in order to identify those activities that US forces are prohibited from conducting under the terms of the UN Environmental Modification Convention. Widespread is defined as encompassing an area on the scale of several hundred km; long-lasting means lasting for a period of months, or approximately a season; and severe involves serious or significant disruption or harm to human life, natural and economic resources, or other assets. ¹² Concern about the unintended consequences of attempting to “control” the weather is well justified.

Weather is a classic example of a chaotic system (i.e., a system that never exactly repeats itself). A chaotic system is also extremely sensitive: minuscule differences in conditions greatly affect outcomes. According to Dr. Glenn James, a widely published chaos expert, technical advances may provide a means to predict *when* weather transitions will occur and the magnitude of the inputs required to cause those transitions; however, it will never be possible to precisely predict changes that occur as a result of our inputs. The chaotic nature of weather also limits our ability to make accurate long-range forecasts. The renowned physicist Edward Teller recently presented calculations he performed to determine the long-range weather forecasting improvement that would result from a satellite constellation providing continuous atmospheric measurements over a 1 km² grid worldwide. Such a system, which is currently cost-prohibitive, would only improve long-range forecasts from the current five days to approximately 14 days. Clearly, there are definite physical limits to mankind’s ability to control nature, but the extent of those physical limits remains an open question. Sources: G. E. James, “Chaos Theory: The Essentials for Military Applications,” in *ACSC Theater Air Campaign Studies Coursebook*, AY96, 8 (Maxwell AFB, Ala: Air University Press, 1995), 1-64. The Teller calculations are cited in Reference 49 of this source.

Kapitel 3

Systembeschreibung

Unsere Vision ist, dass das Militär bis 2025 in der Lage sein könnte, das Wetter in einem Mesomaßstab (<200 km²) oder Mikromaßstab (unmittelbarer lokaler Bereich) zu beeinflussen, um operationelle Fähigkeiten wie die in Tabelle 1 aufgeführten zu erreichen.

Diese Fähigkeit wäre das synergetische Ergebnis eines Systems, das sich zusammensetzt aus:

1. hochqualifizierten *weather force specialists (WFS) [Wetterspezialisten]*, die Mitglieder des *weather force support element (WFSE) [Wetterunterstützungselements]* des CINC sind;
2. Zugangspunkten zum *global weather network (GWN) [globales Wetternetzwerk]*, in dem weltweite Wetterbeobachtungen und -vorhersagen nahezu in Echtzeit aus zivilen und militärischen Quellen gewonnen werden;
3. einem dichten, hochpräzisen lokalen Wettermess- und Kommunikationssystem;
4. einer fortschrittlichen rechnergestützten Fähigkeit zur Modellierung und Vorhersage lokaler Wetterbeeinflussung im *area of responsibility (AOR) [Verantwortungsbereich]*;
5. erprobten Technologien zur Wetterbeeinflussung; und
6. einer Rückkopplungsfähigkeit.

Das Globale Wetternetzwerk

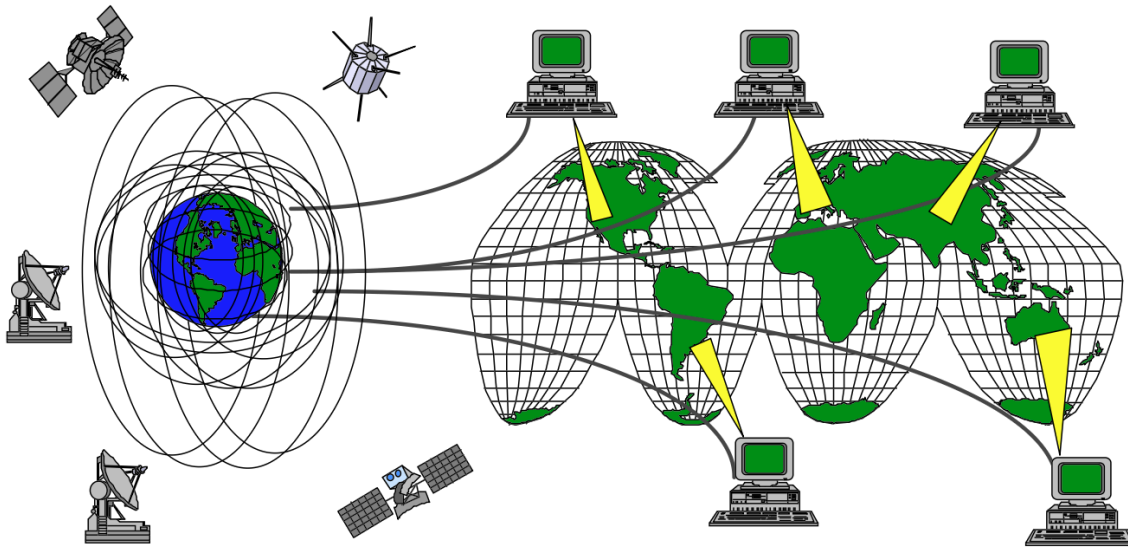
Das *global weather network (GWN) [globales Wetternetzwerk]* wird als eine Weiterentwicklung des derzeitigen zivilen und militärischen weltweiten Wetterdatennetzwerks verstanden. Bis 2025 soll es ein extrem schnelles Kommunikationsnetz mit erweiterter Bandbreite sein, das nahezu in Echtzeit Wetterbeobachtungen liefert – gewonnen aus einem dichteren und präziseren weltweiten Beobachtungsnetz, das durch stark verbesserte Boden-, Luft-, See- und Weltraumsensoren ermöglicht wird.

Das Netzwerk soll außerdem Zugang zu Vorhersagezentren auf der ganzen Welt bieten, in denen anspruchsvolle, maßgeschneiderte Vorhersagen und Datenprodukte bereitgestellt werden, die aus Wettervorhersagemodellen (global, regional, lokal, spezialisiert usw.) stammen. Diese basieren auf den neuesten nichtlinearen mathematischen Verfahren und werden den Nutzern des GWN für den nahezu sofortigen Gebrauch zur Verfügung gestellt.

Bis 2025 gehen wir davon aus, dass Wettervorhersagemodelle im Allgemeinen und mesoskalige Modelle zur Wetterbeeinflussung im Besonderen in der Lage sein werden, alle wettererzeugenden Variablen sowie deren dynamische Wechselwirkungen nachzubilden – und sich in strengen Vergleichstests mit empirischen Daten als hochpräzise erweisen.

Das „Gehirn“ dieser Modelle werden fortschrittliche Soft- und Hardwarefähigkeiten sein, die in der Lage sind, in kürzester Zeit Billionen von Umweltdatenpunkten aufzunehmen, sie zu nutzbaren Datenbanken zusammenzuführen, durch Wettervorhersagemodelle zu verarbeiten und die Wetterinformationen nahezu in Echtzeit über das GWN zu verbreiten.¹

Dieses Netzwerk ist schematisch in Abbildung 3-1 dargestellt.



Source: Microsoft Clipart Gallery © 1995 with courtesy from Microsoft.

Figure 3-1. Global Weather Network

Belege für die sich entwickelnde zukünftige Fähigkeit zur Wettermodellierung und -vorhersage sowie für das GWN finden sich im *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) [Nationale Ozean- und Atmosphärenbehörde]* Strategischen Plan 1995–2005. Dieser enthält Programmelemente zur „Verbesserung kurzfristiger Warn- und Vorhersagedienste, Implementierung saisonaler bis mehrjähriger Klimavorhersagen sowie zur Vorhersage und Bewertung von Veränderungen im Dekaden- bis Jahrhundertmaßstab“.² Er enthält jedoch keine Pläne für Modelle oder Technologien zur Wetterbeeinflussung.

Die Pläne der NOAA beinhalten umfangreiche Datenerfassungsprogramme wie *Next Generation Radar (NEXRAD) [Radarsystem der nächsten Generation]* und *Doppler weather surveillance systems [Doppler-Wetterüberwachungssysteme]*, die in den gesamten Vereinigten Staaten eingesetzt werden. Daten aus diesen Sensorsystemen fließen in über 100 Vorhersagezentren ein, wo sie durch das *Advanced Weather Interactive Processing System (AWIPS) [fortschrittliches interaktives Wetterverarbeitungssystem]* verarbeitet werden, das Datenkommunikation, -verarbeitung und -darstellung für umfassende Vorhersagen ermöglicht.

Darüber hinaus hat die NOAA einen *Cray C90-Supercomputer* geleast, der über eine Leistungsfähigkeit von mehr als $1,5 \times 10^{10}$ Operationen pro Sekunde verfügt und bereits zur Durchführung eines Hurrikan-Vorhersagesystems eingesetzt wurde.³

Anwendung von Wetterbeeinflussung auf Militäroperationen

Wie wird das Militär im Allgemeinen und die US Air Force (USAF) im Besonderen eine Fähigkeit zur Wetterbeeinflussung steuern und einsetzen? Wir stellen uns vor, dass dies durch das *weather force support element (WFSE) [Wetterunterstützungselement]* geschieht, dessen Hauptaufgabe es wäre, die kriegführenden *commanders in chief (CINCs) [Oberbefehlshaber]* neben der bestehenden Vorhersageunterstützung auch mit Optionen zur Wetterbeeinflussung zu versorgen.

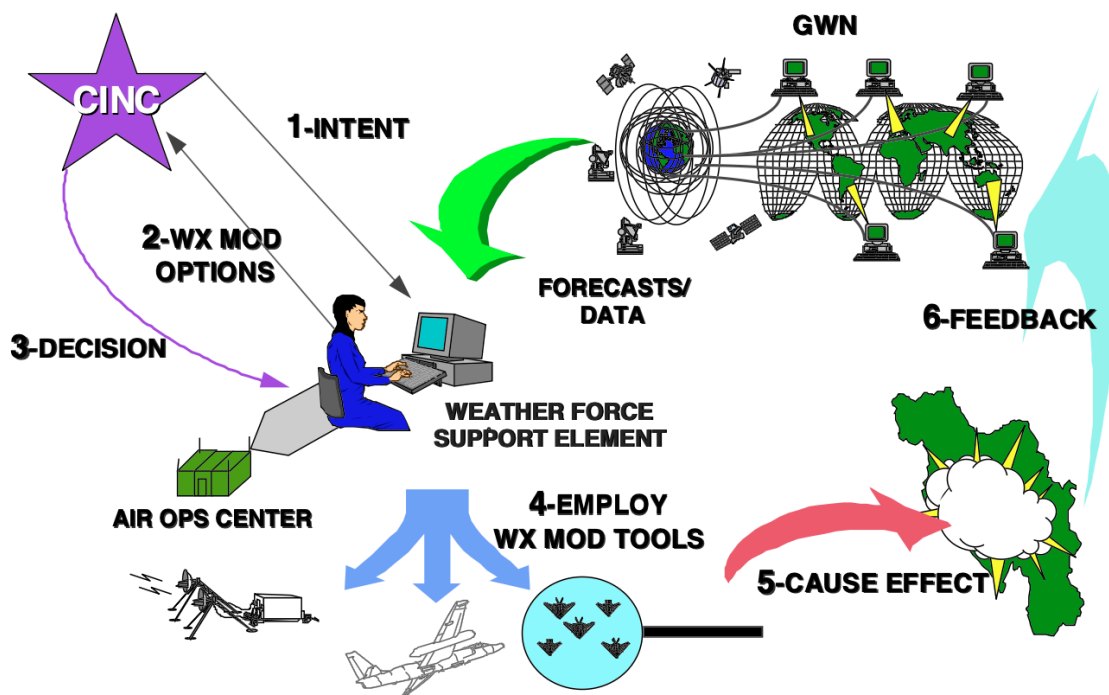
Obwohl das WFSE überall tätig werden könnte, solange es Zugang zum *global weather network (GWN)* [globales Wetternetzwerk] und zu den bereits beschriebenen Systemkomponenten hat, wird es höchstwahrscheinlich Teil des *air operations center (AOC)* [Luftoperationszentrums] oder seines Äquivalents im Jahr 2025 sein.

Mit der Absicht des CINC als Leitlinie entwickelt das WFSE Optionen zur Wetterbeeinflussung anhand von Informationen aus dem GWN, dem lokalen Wetterdatennetzwerk und dem Wettervorhersagemodell. Diese Optionen beinhalten die Bandbreite der Wirkung, die Erfolgswahrscheinlichkeit, die aufzuwendenden Ressourcen, die Verwundbarkeit des Gegners und die damit verbundenen Risiken.

Der CINC wählt eine Wirkung auf Grundlage dieser Informationen aus, und das WFSE setzt dann den gewählten Kurs um, indem es die geeigneten Beeinflussungswerkzeuge auswählt und einsetzt, um die gewünschte Wirkung zu erzielen. Sensoren erfassen die Veränderung und liefern Daten über das neue Wettermuster an das Modellierungssystem, das seine Vorhersage entsprechend aktualisiert.

Das WFSE überprüft die Wirksamkeit seiner Maßnahmen, indem es die aktualisierten aktuellen Bedingungen und neuen Vorhersagen aus dem GWN und dem lokalen Wetterdatennetzwerk abrufen und bei Bedarf Folgeeinsätze plant.

Dieses Konzept ist in Abbildung 3-2 dargestellt.



Source: Microsoft Clipart Gallery © 1995 with courtesy from Microsoft.

Figure 3-2. The Military System for Weather-Modification Operations.

Das Personal des WFSE müsste Experten für Informationssysteme sein und sowohl in offensiver als auch in defensiver Informationskriegsführung umfassend geschult werden. Sie hätten zudem ein tiefgehendes Verständnis des GWN und ein Gespür dafür, wie Wetterbeeinflussung eingesetzt werden könnte, um die Bedürfnisse eines CINC zu erfüllen.

Aufgrund der Knotenstruktur des GWN wäre dieses Konzept sehr flexibel. So könnte beispielsweise jedem Einsatzgebiet ein WFSE zugewiesen werden, um den CINC direkt zu unterstützen. Das System wäre zudem überlebensfähig, da mehrere Knoten mit dem GWN verbunden wären.

Als Produkt des Informationszeitalters wäre dieses System am stärksten durch Informationskriegsführung gefährdet. Jedes WFSE müsste daher über die aktuellsten defensiven wie auch offensiven Informationsfähigkeiten verfügen. Verteidigungsfähigkeiten wären notwendig für das Überleben. Offensivfähigkeiten hingegen könnten Täuschungsoptionen bieten, um in den Sensoren- und Informationssystemen des Gegners virtuelles Wetter zu erzeugen. Dadurch steigt die Wahrscheinlichkeit, dass dieser Entscheidungen trifft, deren Ergebnisse in unserem Sinne und nicht in seinem ausfallen. Außerdem würde dies die Möglichkeit eröffnen, unsere eigenen Wetterbeeinflussungsaktivitäten zu verschleiern oder zu tarnen.

Zwei Schlüsseltechnologien sind notwendig, um ein integriertes, umfassendes, reaktionsschnelles, präzises und wirksames Wetterbeeinflussungssystem zu entwickeln. Fortschritte in der Chaostheorie sind für dieses Vorhaben entscheidend. Ebenso wichtig für die Realisierbarkeit eines solchen Systems ist die Fähigkeit, das extrem komplexe nichtlineare System des globalen Wetters so zu modellieren, dass die Auswirkungen von Veränderungen in den Einflussfaktoren präzise vorhergesagt werden können.

Forscher haben bereits erfolgreich einzelne nichtlineare Systeme mit einer Variablen im Labor kontrolliert und vermuten, dass aktuelle mathematische Verfahren und die vorhandene Rechenkapazität Systeme mit bis zu fünf Variablen bewältigen könnten. Fortschritte in diesen beiden Bereichen würden es möglich machen, regionale Wettermuster zu beeinflussen, indem kleine, kontinuierliche Anpassungen an einem oder mehreren Einflussfaktoren vorgenommen werden. Mit genügend Vorlaufzeit und den richtigen Bedingungen ließe sich so möglicherweise „maßgeschneidertes“ Wetter erzeugen.⁴

Die Entwicklung einer echten Fähigkeit zur Wetterbeeinflussung wird verschiedene *intervention tools* [Eingriffswerkzeuge] erfordern, mit denen sich die relevanten meteorologischen Parameter auf vorhersehbare Weise anpassen lassen. Dieser Bereich muss vom Militär entwickelt werden – basierend auf spezifischen erforderlichen Fähigkeiten, wie sie in Tabelle 1 aufgeführt sind (Tabelle 1 befindet sich in der Executive Summary).

Ein solches System würde ein *sensor array* [Sensoranordnung] und ein lokales *battle area data net* [Gefechtsraum-Datennetz] enthalten, um die hohe Auflösung bereitzustellen, die erforderlich ist, um Eingriffseffekte zu erkennen und Rückmeldungen zu liefern. Dieses Netz würde Boden-, Luft-, See- und Weltraumsensoren sowie menschliche Beobachtungen umfassen, um die Zuverlässigkeit und Reaktionsfähigkeit des Systems sicherzustellen – selbst im Fall feindlicher Gegenmaßnahmen.

Es würde zudem spezifische Eingriffswerkzeuge und -technologien beinhalten, von denen einige bereits existieren und andere noch entwickelt werden müssen. Einige dieser vorgeschlagenen Werkzeuge werden im folgenden Kapitel *Concept of Operations* [Einsatzkonzept] beschrieben.

Der gesamte Prozess der Wetterbeeinflussung wäre eine Echtzeitschleife aus kontinuierlichen, gezielten und kontrollierten Eingriffen sowie Rückmeldungen, die in der Lage wäre, das gewünschte Wetterverhalten hervorzubringen.

Notes

- 1 SPACECAST 2020, *Space Weather Support for Communications*, white paper G (Maxwell AFB, Ala.: Air War College/2020, 1994). 2 Rear Adm Sigmund Petersen, "NOAA Moves Toward The 21st Century," *The Military Engineer* 20, no. 571 (June-July 1995): 44. 3 Ibid.
4 William Brown, "Mathematicians Learn How to Tame Chaos," *New Scientist* (30 May 1992): 16.

Kapitel 4

Einsatzkonzept

Der wesentliche Bestandteil des Wetterbeeinflussungssystems ist die Gesamtheit der *intervention techniques* [Eingriffstechniken], die zur Veränderung des Wetters eingesetzt werden. Die Zahl spezifischer *intervention methodologies* [Eingriffsmethoden] wird nur durch die Vorstellungskraft begrenzt, doch mit wenigen Ausnahmen beinhalten sie das Einbringen von Energie oder Chemikalien in den meteorologischen Prozess – und zwar auf die richtige Weise, am richtigen Ort und zur richtigen Zeit.

Der Eingriff könnte darauf ausgelegt sein, das Wetter auf verschiedene Arten zu beeinflussen, etwa durch die Steuerung von Wolken und Niederschlag, der Intensität von Stürmen, des Klimas, des Weltraums oder von Nebel.

Niederschlag

Seit Jahrhunderten wünscht sich der Mensch, die Möglichkeit zu haben, Niederschlag zu einer Zeit und an einem Ort seiner Wahl zu beeinflussen. Bis vor Kurzem waren die Erfolge bei der Verwirklichung dieses Ziels gering; jedoch könnte sich durch die Entwicklung neuer Technologien und ein weltweit wachsendes Interesse an der Linderung von Wasserknappheit durch *precipitation enhancement* [Niederschlagsverstärkung] ein neues Zeitfenster geöffnet haben.

Daher plädieren wir dafür, dass das *Department of Defense (DOD)* [Verteidigungsministerium der USA] die zahlreichen Chancen (und auch die Konsequenzen) untersucht, die sich aus der Entwicklung einer Fähigkeit zur Beeinflussung von Niederschlag oder zur Durchführung einer „*selective precipitation modification* [selektiven Niederschlagsveränderung]“ ergeben. Auch wenn die Fähigkeit, Niederschlag langfristig zu beeinflussen (d. h. über mehrere Tage hinaus), noch nicht vollständig verstanden ist, werden wir bis 2025 sicherlich in der Lage sein, Niederschlag kurzfristig in einem begrenzten Gebiet zu verstärken oder zu verringern.

Bevor die Forschung in diesem Bereich erörtert wird, ist es wichtig, die Vorteile einer solchen Fähigkeit zu beschreiben. Während viele militärische Operationen durch Niederschlag beeinflusst werden können, ist die Bodenmobilität am stärksten betroffen. Die Beeinflussung von Niederschlag könnte sich auf zwei Arten als nützlich erweisen: Erstens könnte eine Verstärkung des Niederschlags die Beweglichkeit des Gegners durch Verschlammung des Geländes einschränken und gleichzeitig seine Moral beeinträchtigen. Zweitens könnte eine Unterdrückung des Niederschlags die Beweglichkeit eigener Kräfte verbessern, indem ein ansonsten verschlammtes Gebiet ausgetrocknet wird.

Wie wahrscheinlich ist die Entwicklung dieser Fähigkeit und ihre Anwendung in taktischen Operationen bis 2025? Näher, als man vielleicht denkt. Seit vielen Jahren wird Forschung zur *precipitation modification* [Niederschlagsveränderung] betrieben, und ein Aspekt der daraus resultierenden Technologie wurde während des Vietnamkriegs in Operationen eingesetzt.¹ Diese ersten Versuche bilden die Grundlage für die weitere Entwicklung einer echten Fähigkeit zur selektiven Niederschlagsveränderung.

Interessanterweise traf die US-Regierung damals eine bewusste Entscheidung, nicht weiter auf dieser Grundlage aufzubauen. Wie bereits erwähnt, haben internationale Abkommen die USA daran gehindert, Wetterbeeinflussungsoperationen zu erforschen, die weitreichende, langanhaltende oder schwerwiegende Auswirkungen haben könnten.

Es bestehen jedoch Möglichkeiten (im Rahmen der bestehenden Verträge), lokal begrenzte Niederschlagsveränderungen kurzfristig einzusetzen – mit begrenzten und potenziell positiven Ergebnissen.

Diese Möglichkeiten reichen zurück bis zu unseren eigenen früheren Experimenten mit *precipitation modification* [Niederschlagsveränderung]. Wie in einem Artikel im *Journal of Applied Meteorology* festgestellt wurde:

*,„Nahezu alle Wetterbeeinflussungsversuche im letzten Vierteljahrhundert zielten darauf ab, Veränderungen im Maßstab einzelner Wolken herbeizuführen, indem der Unterschied des gesättigten Dampfdrucks zwischen Eis und Wasser ausgenutzt wurde. Das ist nicht zu kritisieren, doch es ist an der Zeit, dass wir auch die Machbarkeit der Wetterbeeinflussung in anderen Zeit- und Raumskalen und mit anderen physikalischen Hypothesen in Betracht ziehen.“*²

Diese Studie von William M. Gray et al. untersuchte die Hypothese, dass „bedeutende positive Einflüsse durch eine gezielte Nutzung des Sonnenabsorptionspotenzials von *carbon black dust* [Rußstaub] erzielt werden können.“³ Die Studie kam letztlich zu dem Ergebnis, dass diese Technologie genutzt werden könnte, um Niederschlag im Mesomaßstab zu verstärken, Cirruswolken zu erzeugen und Cumulonimbus- (Gewitter-) Wolken in ansonsten trockenen Gebieten zu verstärken.

Die Technologie lässt sich wie folgt beschreiben: So wie ein schwarzes Teerdach an einem sonnigen Tag leicht Sonnenenergie aufnimmt und anschließend Wärme abstrahlt, nimmt auch *carbon black* [Ruß] sehr leicht Sonnenenergie auf. Wird es in mikroskopischer oder „Staub“-Form über einer großen Wasserfläche in die Luft eingebracht, erhitzt sich der Ruß und erwärmt die umgebende Luft, wodurch die Verdunstungsrate des darunterliegenden Wassers steigt.

Während sich die umgebende Luft erwärmt, steigen Luftpakete auf, und der in ihnen enthaltene Wasserdampf kondensiert schließlich zu Wolken. Mit der Zeit vergrößern sich die Wolkentropfen, da immer mehr Wasserdampf kondensiert, bis sie zu groß und schwer werden, um in der Luft zu verbleiben – dann fallen sie als Regen oder in anderer Form von Niederschlag herab.⁴

Die Studie weist darauf hin, dass diese Technologie zur *precipitation enhancement* [Niederschlagsverstärkung] am besten „auf der windzugewandten Seite von Küsten mit auflandigem Wind“ funktioniert. Der als *lake-effect snow* [Seeeffekt-Schnee] bekannte Schneefall entlang der Südküste der Großen Seen ist ein natürlich auftretendes Phänomen, das auf ähnlichen Dynamiken basiert.

Kann diese Art von *precipitation enhancement technology* [Niederschlagsverstärkungstechnologie] militärische Anwendungen haben? Ja – wenn die richtigen Bedingungen vorliegen.

Beispielsweise könnte, wenn sich ein ausreichend großes Gewässer auf der windzugewandten Seite des Zielschlachtfelds befindet, *carbon dust [Rußstaub]* in der Atmosphäre über diesem Gewässer freigesetzt werden. Vorausgesetzt, die atmosphärischen Dynamiken sind günstig, würde die aufsteigende gesättigte Luft schließlich Wolken bilden, die im Lee über dem Land Regenfälle erzeugen.⁵ Auch wenn die Wahrscheinlichkeit, dass sich ein solches Gewässer auf der windzugewandten Seite eines Schlachtfelds befindet, nicht vorhersehbar ist, könnte die Technologie unter den richtigen Bedingungen äußerst nützlich sein. Nur weitere Experimente werden zeigen, in welchem Ausmaß sich die Niederschlagsverstärkung tatsächlich kontrollieren lässt.

Falls Techniken zur Niederschlagsverstärkung erfolgreich entwickelt werden und gleichzeitig die passenden natürlichen Bedingungen gegeben sind, muss außerdem die Möglichkeit bestehen, den Rußstaub am gewünschten Ort auszubringen. Der Transport in einer vollständig kontrollierten, sicheren, kostengünstigen und zuverlässigen Weise erfordert Innovation.

Zahlreiche Ausbringungstechniken wurden bereits untersucht, doch die bequemste, sicherste und kostengünstigste Methode ist nach der Diskussion der Einsatz von Nachbrenner-Triebwerken, die beim Flug durch das Zielgebiet *carbon particles [Rußpartikel]* erzeugen. Diese Methode basiert auf der Einspritzung von flüssigem Kohlenwasserstofftreibstoff in die Verbrennungsgase des Nachbrenners. Diese direkte Erzeugungsmethode erwies sich als vorteilhafter als eine andere denkbare Methode – nämlich den Transport großer Mengen bereits hergestellter und auf die richtige Größe gebrachten Rußstaubs in die gewünschte Höhe.

Die *carbon dust [Rußstaub]*-Studie zeigte, dass eine Niederschlagsverstärkung im kleinen Maßstab möglich ist und unter bestimmten atmosphärischen Bedingungen erfolgreich nachgewiesen wurde. Seit der Durchführung der Studie sind jedoch keine bekannten militärischen Anwendungen dieser Technologie realisiert worden. Wir können jedoch darüber spekulieren, wie diese Technologie in Zukunft genutzt werden könnte, indem wir einige der Trägersysteme betrachten, die im Jahr 2025 möglicherweise für eine wirksame Ausbringung von Rußstaub oder anderen geeigneten Beeinflussungsmitteln zur Verfügung stehen.

Eine von uns vorgeschlagene Methode würde die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Technologie weiter maximieren, indem der menschliche Faktor praktisch ausgeschaltet wird. Bis heute wurde viel an UAVs gearbeitet, die den Fähigkeiten bemannter Flugzeuge nahezu – wenn nicht sogar vollständig – entsprechen können. Wenn diese UAV-Technologie mit *stealth technology [Tarnkappentechnologie]* und Rußstaub-Technologien kombiniert würde, könnte daraus ein UAV-Flugzeug entstehen, das auf dem Weg zum Zielgebiet für Radar unsichtbar ist und an jedem Ort spontan Rußstaub erzeugen könnte.

Die Minimierung der Anzahl von UAVs, die für die Erfüllung der Mission erforderlich sind, hängt jedoch von der Entwicklung eines neuen und effizienteren Systems zur Erzeugung von Rußstaub ab – als Nachfolgetechnologie zu den zuvor erwähnten *afterburner-type jet engines [Nachbrenner-Triebwerken]*. Um die Tarnkappentechnologie wirksam einsetzen zu können, müsste dieses System außerdem die Fähigkeit besitzen, Rußstaub auszubringen, während gleichzeitig die Infrarot-Wärmesignatur des UAV minimiert oder ganz beseitigt wird.

Zusätzlich zum Einsatz von Tarnkappen-UAVs und der Rußstaub-Absorptionstechnologie zur Niederschlagsverstärkung könnte diese Ausbringungsmethode auch für die Niederschlagsunterdrückung genutzt werden.

Obwohl die zuvor erwähnte Studie die Möglichkeit des *cloud seeding [Wolkenimpfung]* zur Niederschlagsunterdrückung nicht eingehend untersucht hat, existiert diese Möglichkeit. Wenn Wolken – entweder mit chemischen Kernen, wie sie heute bereits verwendet werden, oder mit

einem durch weitere Forschung entdeckten, wirksameren Mittel – geimpft würden, bevor sie mit dem Wind das gewünschte Zielgebiet erreichen, könnte dies zur Unterdrückung von Niederschlag führen.

Anders gesagt: Niederschlag könnte „erzwungen“ werden, bevor er das gewünschte Gebiet erreicht – wodurch dieses Gebiet „trocken“ bleibt. Die strategischen und operativen Vorteile eines solchen Vorgehens wurden bereits zuvor erörtert.

Nebel

Im Allgemeinen erfordert eine erfolgreiche *fog dissipation* [Nebelauflösung] entweder ein Heiz- oder ein *seeding process* [Impfverfahren]. Welche Technik am besten funktioniert, hängt von der Art des Nebels ab. Vereinfacht gesagt gibt es zwei Grundtypen von Nebel – kalten und warmen.

Kalter Nebel tritt bei Temperaturen unter 32 °F (0 °C) auf. Die bekannteste Methode zur Auflösung von kaltem Nebel ist die *cloud seeding* [Wolkenimpfung] aus der Luft mit Substanzen, die das Wachstum von Eiskristallen fördern.⁶

Warmer Nebel tritt bei Temperaturen über 32 °F (0 °C) auf und ist für 90 Prozent der nebelbedingten Probleme bei Flugoperationen verantwortlich.⁷ Die bekannteste Methode zur Auflösung ist das Heizen, da schon eine geringe Temperaturerhöhung in der Regel ausreicht, um den Nebel zu verdampfen. Da Heizen jedoch meist unpraktisch ist, gilt die nächstwirksamste Technik als *hygroscopic seeding* [hygroskopische Impfung].

Bei diesem Verfahren werden Substanzen eingesetzt, die Wasserdampf absorbieren. Am wirksamsten ist es, wenn es aus der Luft durchgeführt wird, es kann aber auch vom Boden aus erfolgen.⁸ Für optimale Ergebnisse sind Vorabinformationen über Nebeltiefe, Flüssigwassergehalt und Wind erforderlich.⁹

Jahrzehntelange Forschung zeigt, dass die *fog dissipation* [Nebelauflösung] eine wirksame Anwendung der Wetterbeeinflussungstechnologie darstellt, die sowohl für das Militär als auch für die zivile Luftfahrt nachweislich enorme Einsparungen gebracht hat.¹¹ Auch lokale Gemeinden haben Interesse daran gezeigt, diese Techniken einzusetzen, um die Sicherheit auf Schnellstraßen zu erhöhen, die regelmäßig von dichtem Nebel betroffen sind.¹²

Es gibt einige neue Technologien, die wichtige Anwendungen für die *fog dispersal* [Nebeldispersion] haben könnten. Wie bereits erwähnt, ist Erwärmung die wirksamste Methode zur Auflösung der am häufigsten auftretenden Nebelart. Leider hat sich diese Methode in den meisten Situationen als unpraktisch erwiesen und wäre allenfalls schwer in Notfalleinsätzen durchführbar.

Die Entwicklung gerichteter Strahlungsenergiotechnologien, wie *microwaves* [Mikrowellen] und *lasers* [Laser], könnte jedoch neue Möglichkeiten eröffnen.

Laborversuche haben gezeigt, dass Mikrowellen zur Wärmeauflösung von Nebel wirksam sein können. Allerdings zeigen die Ergebnisse auch, dass die erforderlichen Energieniveaus den US-Grenzwert für hohe Leistungsdichte-Exposition von 100 Watt/m² überschreiten und sehr teuer wären.¹³ Feldversuche mit Lasern haben die Fähigkeit demonstriert, warmen Nebel an einem Flugfeld mit null Sicht aufzulösen. Bei einer Erzeugung von 1 Watt/cm² – was ungefähr dem US-Grenzwert für hohe Leistungsdichte-Exposition entspricht – erhöhte das System die Sichtweite innerhalb von 20 Sekunden auf ein Viertel einer Meile.¹⁴

Lasersysteme, wie sie im Abschnitt *Space Operations [Weltraumoperationen]* dieser AF-2025-Studie beschrieben werden, könnten diese Fähigkeit sicherlich als eine ihrer vielen möglichen Anwendungen bereitstellen.

Hinsichtlich der *seeding techniques [Impfverfahren]* sind Verbesserungen bei den Materialien und den Ausbringungsmethoden nicht nur denkbar, sondern wahrscheinlich. *Smart materials [intelligente Materialien]*, die auf Nanotechnologie basieren, werden derzeit mit *gigaops computer capability [Rechenleistung im Gigaflop-Bereich]* im Kern entwickelt. Sie könnten ihre Größe auf optimale Dimensionen für eine bestimmte Nebelimpfungssituation anpassen und während des Prozesses sogar weitere Anpassungen vornehmen.

Darüber hinaus könnten sie ihre Ausbreitungseigenschaften verbessern, indem sie ihre Auftriebskraft anpassen, miteinander kommunizieren und sich im Nebel selbst steuern. Sie wären in der Lage, sofortige und kontinuierliche Rückmeldungen über ihre Wirksamkeit zu liefern, indem sie in ein größeres Sensornetzwerk integriert werden. Zudem könnten sie ihre Temperatur und Polarität verändern, um ihre Impfwirkung zu verstärken.¹⁵ Wie bereits erwähnt, könnten UAVs eingesetzt werden, um diese intelligenten Materialien auszubringen und zu verteilen.

Kürzlich haben Experimente eines Armeeforschungslabors die Machbarkeit der Erzeugung von Nebel nachgewiesen. Mit handelsüblicher Ausrüstung wurde ein dichter Nebel über eine Fläche von 100 Metern Länge erzeugt. Weitere Untersuchungen haben gezeigt, dass Nebel wirksam einen großen Teil des *UV/IR/visible spectrum [UV-/IR-/sichtbaren Spektrums]* blockiert und so die Emission solcher Strahlung vor IR-Waffen effektiv abschirmt.¹⁶

Diese Technologie würde es einer kleinen Militäreinheit ermöglichen, sich im IR-Spektrum der Entdeckung zu entziehen. Nebel könnte erzeugt werden, um schnell die Bewegung von Panzern oder Infanterie zu verschleiern, oder um militärische Operationen, Einrichtungen oder Ausrüstung zu verdecken. Solche Systeme könnten auch nützlich sein, um die Beobachtung sensibler rückwärtiger Operationen durch elektro-optische Aufklärungsplattformen zu verhindern.¹⁷

Stürme

Der Wunsch, Stürme zu verändern, um militärische Ziele zu unterstützen, stellt die aggressivste und zugleich umstrittenste Form der Wetterbeeinflussung dar. Der Schaden, den Stürme verursachen, ist in der Tat verheerend. So entspricht die Energie eines tropischen Sturms der von 10.000 Wasserstoffbomben mit einer Sprengkraft von je einer Megatonne.¹⁸ Im Jahr 1992 zerstörte Hurrikan *Andrew* die Homestead AFB in Florida vollständig, führte zur Evakuierung der meisten Militärflugzeuge im Südosten der USA und verursachte Schäden in Höhe von 15,5 Milliarden US-Dollar.¹⁹

Wie man angesichts des enormen Energiepotenzials eines Sturms erwarten würde, weist die aktuelle wissenschaftliche Literatur jedoch darauf hin, dass es klare physikalische Grenzen für die Fähigkeit des Menschen gibt, Sturmsysteme zu beeinflussen. Unter Berücksichtigung dieser Grenzen sowie politischer, ökologischer, wirtschaftlicher, rechtlicher und moralischer Faktoren beschränken wir unsere Analyse von Stürmen daher auf lokale Gewitter und betrachten keine großräumigen Sturmsysteme wie Hurrikane oder starke Tiefdrucksysteme.

Zu jedem beliebigen Zeitpunkt finden weltweit etwa 2.000 Gewitter statt. Tatsächlich bilden sich täglich rund 45.000 Gewitter mit Starkregen, Hagel, Mikroburst, Windscherung und Blitzen.²⁰

Jeder, der häufig mit Linienflugzeugen reist, hat wahrscheinlich schon bemerkt, wie weit Piloten gehen, um Gewitter zu vermeiden.

Die Gefährlichkeit von Gewittern wurde im August 1985 deutlich, als ein Jumbojet nach dem Zusammentreffen mit Mikroburst-Windscherungen während eines Regenschauers abstürzte – 137 Menschen kamen dabei ums Leben.²¹ Diese Naturgewalten wirken auf alle Flugzeuge ein, und selbst die modernsten Jagdflugzeuge des Jahres 1996 versuchen mit allen Mitteln, einem Gewitter auszuweichen.

Wird schlechtes Wetter auch im Jahr 2025 ein Risiko für die Luftfahrt darstellen? Die Antwort lautet leider: „Ja.“ Doch die erwarteten technologischen Fortschritte in den nächsten 30 Jahren werden das Gefahrenpotenzial verringern.

Computergesteuerte Flugsysteme werden in der Lage sein, Flugzeuge im Autopilot-Modus sicher durch sich schnell verändernde Winde zu steuern. Flugzeuge werden zudem über hochpräzise Bordsensorsysteme verfügen, die in der Lage sind, eine Sturmzelle sofort zu „kartieren“ und das Flugzeug automatisch durch den sichersten Bereich zu leiten. Es ist vorgesehen, dass Flugzeuge über gehärtete Elektronik verfügen, die den Auswirkungen von Blitzeinschlägen standhalten kann, und möglicherweise sogar die Fähigkeit besitzen, ein umgebendes elektropotentiell Feld zu erzeugen, das Blitzeinschläge neutralisiert oder abwehrt.

Angenommen, die USA erreichen einige oder alle der oben skizzierten technischen Fortschritte für Flugzeuge und behalten ihren technologischen „weather edge [Wettervorteil]“ gegenüber potenziellen Gegnern bei, können wir im nächsten Schritt betrachten, wie sich das Wetter im Gefechtsraum verändern ließe, um diesen technischen Vorteil optimal zu nutzen.

Wetterbeeinflussungstechnologien könnten Verfahren umfassen, die die Freisetzung latenter Wärme in der Atmosphäre erhöhen, zusätzlichen Wasserdampf für die Entwicklung von Wolkenzellen bereitstellen und zusätzliche Erwärmung an der Erdoberfläche und in der unteren Atmosphäre erzeugen, um die atmosphärische Instabilität zu verstärken. Entscheidend für den Erfolg jedes Versuchs, eine Sturmzelle auszulösen, sind jedoch die vorherrschenden atmosphärischen Bedingungen auf lokaler und regionaler Ebene. Die Atmosphäre muss bereits bedingt instabil sein, und die großräumige Dynamik muss die vertikale Wolkenentwicklung unterstützen.

Der Schwerpunkt der Wetterbeeinflussung läge also darin, zusätzliche „Bedingungen“ bereitzustellen, die die Atmosphäre instabil genug machen, um die Bildung von Wolken und schließlich von Sturmzellen zu ermöglichen. Der Weg, den Sturmzellen nach ihrer Entstehung oder Verstärkung nehmen, hängt nicht nur von den mesoskaligen Dynamiken des Sturms ab, sondern auch von den regionalen und synoptischen (globalen) atmosphärischen Windströmungen – die derzeit nicht durch den Menschen beeinflussbar sind.

Wie angedeutet, sind die technischen Hürden für die Entwicklung von Stürmen zur Unterstützung militärischer Operationen offensichtlich größer als bei der Verstärkung von Niederschlag oder der Auflösung von Nebel, wie zuvor beschrieben. Ein Forschungsfeld im Bereich Stürme, das militärische Operationen erheblich begünstigen könnte, ist die Modifikation von Blitzen. Die meisten Forschungsarbeiten zielen darauf ab, Techniken zu entwickeln, die das Auftreten von Blitzen verringern oder die damit verbundenen Gefahren mindern. Dies ist eine wichtige Forschung für militärische Operationen und den Schutz von Ressourcen, aber ein gewisser offensiver militärischer Nutzen könnte auch daraus entstehen, die Wahrscheinlichkeit und Intensität von Blitzen gezielt zu erhöhen.

Zu untersuchende Konzepte könnten die Steigerung der grundlegenden Effizienz des Gewitters, die Anregung des Auslösemechanismus, der den Blitz hervorruft, oder das Auslösen von Blitzen wie

jenem, das 1968 Apollo 12 traf, umfassen.²² Mögliche Mechanismen, die untersucht werden könnten, wären Verfahren zur Veränderung der elektropotentiellen Eigenschaften über bestimmten Zielen, um Blitzeinschläge auf die gewünschten Ziele zu induzieren, während der Sturm über deren Standort hinwegzieht.

Zusammenfassend lässt sich sagen: Die Fähigkeit, das Wetter im Gefechtsraum durch das Auslösen oder Verstärken von Sturmzellen zu beeinflussen, würde es uns ermöglichen, die technologischen „Wetter“-Fortschritte unserer Flugzeuge im Jahr 2025 auszuschöpfen. Dieses Gebiet besitzt enormes Potenzial und sollte durch zukünftige Forschungs- und Konzeptentwicklungsprogramme weiter erschlossen werden.

Nutzung des „nahen Weltraums“ zur Weltraumkontrolle

In diesem Abschnitt werden Möglichkeiten zur Kontrolle und Modifikation der Ionosphäre und des nahen Weltraums zur Kräfteverstärkung erörtert – insbesondere, um unsere eigenen Kommunikations-, Sensor- und Navigationsfähigkeiten zu verbessern und/oder die unseres Gegners zu beeinträchtigen. Eine kurze technische Beschreibung der Ionosphäre und ihrer Bedeutung in heutigen Kommunikationssystemen findet sich in Anhang A.

Bis 2025 könnte es möglich sein, die Ionosphäre und den nahen Weltraum zu modifizieren und damit eine Vielzahl potenzieller Anwendungen zu schaffen, wie im Folgenden beschrieben. Bevor eine Modifikation der Ionosphäre jedoch möglich wird, sind eine Reihe schrittweiser Fortschritte in der *space weather forecasting* [Weltraumwettervorhersage] und -beobachtung notwendig. Viele dieser Anforderungen wurden in einer *Spacecast 2020*-Studie (*Space Weather Support for Communications* [Weltraumwetter-Unterstützung für Kommunikation]) beschrieben.²³ Einige der Vorschläge aus dieser Studie sind in Anhang B enthalten; es ist wichtig zu beachten, dass unsere Fähigkeit, den nahen Weltraum durch aktive Modifikation zu nutzen, davon abhängt, dass zuverlässige Beobachtungs- und Vorhersagefähigkeiten erfolgreich entwickelt werden.

Möglichkeiten durch Weltraumwetter-Modifikation

Die Modifikation des nahen Weltraums ist entscheidend für die Dominanz im Gefechtsraum. General Charles Horner, ehemaliger *commander in chief* [Oberbefehlshaber] des *United States Space Command* [Weltraumkommandos der Vereinigten Staaten], beschrieb sein schlimmstes Szenario als „die Vernichtung eines gesamten Marinebataillons auf einem fremden Landungsplatz, weil er dem Feind nicht die Nutzung von aus dem Weltraum gewonnenen Geheimdienst- und Bilddaten verwehren konnte.“²⁴

Aktive Modifikation könnte eine „technologische Lösung“ bieten, um die aktiven und passiven Überwachungs- und Aufklärungssysteme des Gegners zu stören. Kurz gesagt: Eine operationelle Fähigkeit zur Modifikation des nahen Weltraums würde 2025 die Weltraumüberlegenheit sicherstellen. Diese Fähigkeit würde es uns ermöglichen, den Gefechtsraum zu gestalten und zu kontrollieren – durch verbesserte Kommunikation, Sensorik, Navigation und Präzisionswaffensysteme.

Auch wenn wir davon ausgehen, dass technologische Fortschritte die Bedeutung bestimmter elektromagnetischer Frequenzbänder für die US-Luft- und Raumstreitkräfte im Jahr 2025 mindern könnten – etwa der *radio frequency (RF)* [Funkfrequenzen], der *high frequency (HF)* [Kurzwelle] und der *very high frequency (VHF)* [Ultrakurzwellen, UKW] – bleiben die im Folgenden beschriebenen Fähigkeiten dennoch relevant. Unsere nicht gleichwertigen Gegner werden sich

voraussichtlich weiterhin auf diese Frequenzen für Kommunikation, Sensorik und Navigation stützen und wären daher besonders anfällig für Störungen durch Weltraumwetter-Modifikation.

Kommunikationsüberlegenheit durch Modifikation der Ionosphäre

Die Modifikation der Ionosphäre zur Verbesserung oder Störung von Kommunikation ist in jüngerer Zeit Gegenstand aktiver Forschung geworden. Nach Angaben von Lewis M. Duncan und Robert L. Showen betrieb die *Former Soviet Union (FSU) [ehemalige Sowjetunion]* in diesem Bereich theoretische und experimentelle Forschung in einem Umfang, der vergleichbare Programme im Westen deutlich übertraf.²⁵

Die Motivation für diese Forschung ist groß, da induzierte Modifikationen der Ionosphäre den Betrieb von Funksystemen, die auf Ausbreitung durch die modifizierte Region angewiesen sind, beeinflussen oder sogar stören können. Die kontrollierte Erzeugung oder beschleunigte Auflösung von Ionosphärenstörungen könnte genutzt werden, um neue Ausbreitungswege zu schaffen, die ansonsten nicht verfügbar wären – geeignet für ausgewählte RF-Missionen [Funkfrequenz-Missionen].²⁶

Eine Reihe von Methoden wurde untersucht oder vorgeschlagen, um die Ionosphäre zu modifizieren, darunter die Injektion chemischer Dämpfe sowie das Erhitzen oder Laden durch elektromagnetische Strahlung oder Teilchenstrahlen (z. B. Ionen, neutrale Teilchen, Röntgenstrahlen, MeV-Teilchen und energiereiche Elektronen).²⁷ Es ist wichtig zu beachten, dass viele Techniken zur Modifikation der oberen Atmosphäre bereits erfolgreich experimentell nachgewiesen wurden.

Von der ehemaligen Sowjetunion eingesetzte bodengestützte Modifikationsmethoden umfassten *vertical HF heating [vertikale Kurzwellen-Erhitzung]*, *oblique HF heating [schräge Kurzwellen-Erhitzung]*, *microwave heating [Mikrowellen-Erhitzung]* und *magnetospheric modification [Magnetosphären-Modifikation]*.²⁸ Bedeutende militärische Anwendungen solcher Operationen sind unter anderem die Erzeugung von *low frequency (LF) [Niederfrequenz]-Kommunikation*, *HF ducted communications [kanalisierte Kurzwellen-Kommunikation]* sowie die Schaffung einer künstlichen Ionosphäre (im Folgenden ausführlich erörtert).

Darüber hinaus erkennen auch Entwicklungsländer den Nutzen der Ionosphärenmodifikation: „In den frühen 1980er-Jahren führte Brasilien ein Experiment zur Modifikation der Ionosphäre durch chemische Injektion durch.“²⁹

Einige besonders vielversprechende Fähigkeiten, die sich aus der Modifikation der Ionosphäre oder des nahen Weltraums ergeben könnten, werden im Folgenden kurz beschrieben. Es sei betont, dass diese Liste nicht umfassend ist: Die Modifikation der Ionosphäre ist ein Gebiet mit großem Anwendungspotenzial, und es ist wahrscheinlich, dass es auch noch nicht absehbare Nebenanwendungen geben wird.

Ionosphärische Spiegel für präzise Kommunikation oder *over-the-horizon (OTH) radar transmission [Überhorizonradar-Übertragung]*. Die Eigenschaften und Einschränkungen der Ionosphäre als reflektierendes Medium für Hochfrequenzstrahlung sind in Anhang A beschrieben. Der größte Nachteil der Abhängigkeit von der Ionosphäre zur Reflexion von Radiowellen ist ihre Variabilität, die durch normales Weltraumwetter sowie durch Ereignisse wie Sonnenstürme und geomagnetische Stürme verursacht wird.

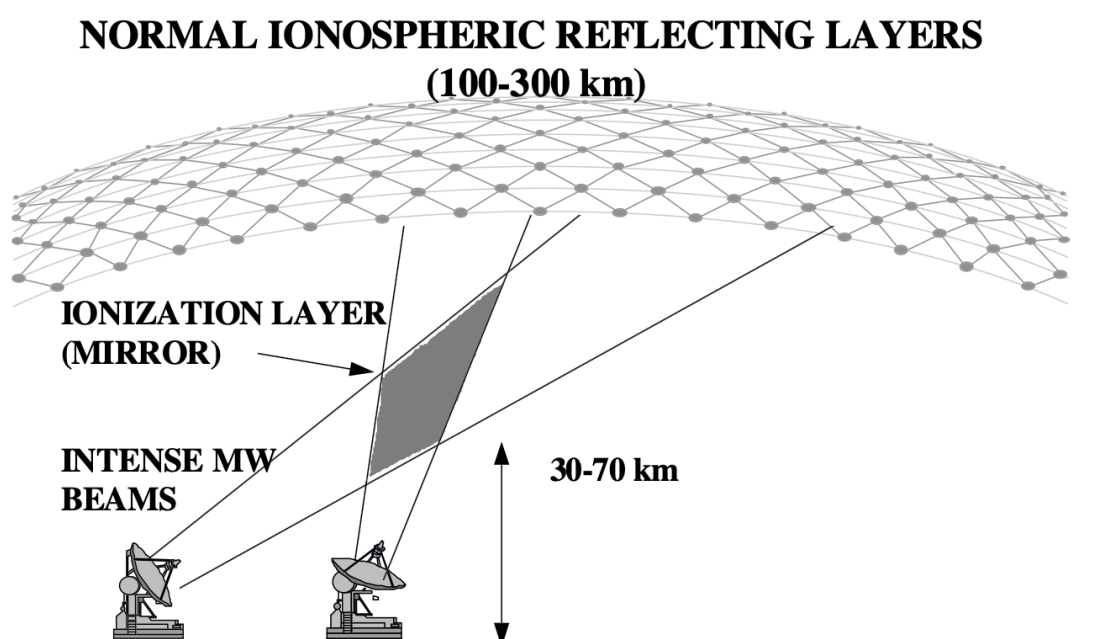
Die Ionosphäre wurde einmal mit einem zerknitterten Blatt Wachspapier verglichen, dessen relative Position je nach Wetterbedingungen steigt und sinkt. Auch die Oberflächenstruktur des zerknitterten Papiers verändert sich ständig, was zu einer Variabilität ihrer Reflexions-, Brechungs- und Transmissionseigenschaften führt.

Die Schaffung einer *artificial uniform ionosphere* [künstlich einheitlichen Ionosphäre] wurde erstmals Mitte der 1970er-Jahre von dem sowjetischen Forscher A. V. Gurevich vorgeschlagen. Ein *artificial ionospheric mirror (AIM)* [künstlicher ionosphärischer Spiegel] würde als präziser Spiegel für elektromagnetische Strahlung einer ausgewählten Frequenz oder eines Frequenzbereichs dienen. Damit wäre er sowohl für die gezielte Steuerung eigener Kommunikationsverbindungen als auch für das Abfangen feindlicher Übertragungen nützlich.

Dieses Konzept wurde von Paul A. Kossey et al. in einem Aufsatz mit dem Titel „*Artificial Ionospheric Mirrors (AIM) [Künstliche ionosphärische Spiegel]*“ ausführlich beschrieben.³⁰ Die Autoren erläutern, wie sich der Ort und die Höhe der Region künstlich erzeugter Ionisation mithilfe gekreuzter *microwave (MW) beams* [Mikrowellenstrahlen] präzise steuern ließen, die den atmosphärischen Durchbruch (Ionisation) neutraler Teilchen hervorrufen.

Die Implikationen einer solchen Steuerung sind enorm: Man wäre nicht länger den Unwägbarkeiten der natürlichen Ionosphäre ausgeliefert, sondern hätte stattdessen die direkte Kontrolle über die Ausbreitungs Umgebung. Idealerweise könnte ein AIM schnell erzeugt und dann nur für einen kurzen operationellen Zeitraum aufrechterhalten werden. Eine schematische Darstellung des Kreuzstrahl-Verfahrens zur Erzeugung eines AIM ist in Abbildung 4-1 dargestellt.³¹

Ein AIM könnte theoretisch Radiowellen mit Frequenzen bis zu 2 GHz reflektieren – fast zwei Größenordnungen höher als jene Wellen, die von der natürlichen Ionosphäre reflektiert werden. Die Leistungsanforderungen der MW-Strahler für ein solches System liegen etwa eine Größenordnung über den 1992 verfügbaren Spitzensystemen; bis 2025 jedoch wird erwartet, dass eine solche Leistung problemlos erreichbar sein wird.

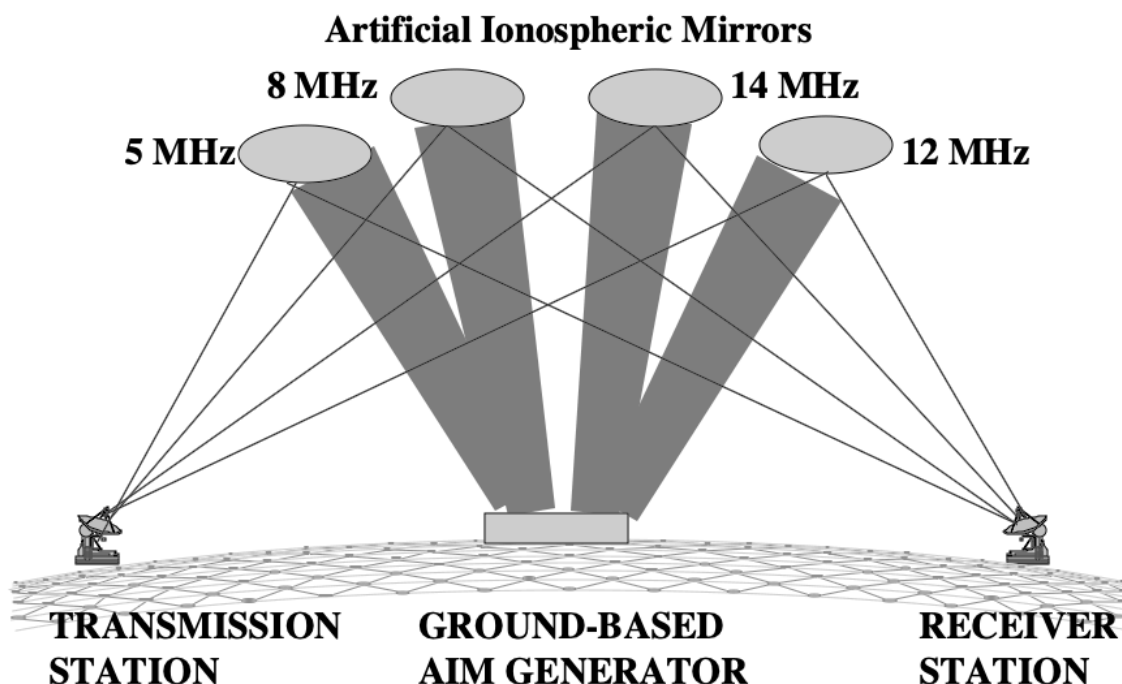


Source: Microsoft Clipart Gallery © 1995 with courtesy from Microsoft.

Figure 4-1. Crossed-Beam Approach for Generating an Artificial Ionospheric Mirror

Neben der Bereitstellung präziser Kommunikationskontrolle und einer potenziellen Abhörfähigkeit würde diese Technologie auch die Möglichkeit eröffnen, Kommunikation auf spezifisch gewünschten Frequenzen durchzuführen. Abbildung 4-2 zeigt, wie ein bodengestützter Strahler eine Reihe von *AIMs* [Artificial Ionospheric Mirrors / künstlichen ionosphärischen Spiegeln] erzeugen könnte, von denen jeder so ausgelegt wäre, dass er eine ausgewählte Übertragungsfrequenz reflektiert.

Eine solche Anordnung würde die verfügbare Bandbreite für Kommunikation erheblich erweitern und gleichzeitig das Problem von Interferenzen und Übersprechen beseitigen – da es möglich wäre, gezielt das erforderliche Leistungsniveau einzusetzen.



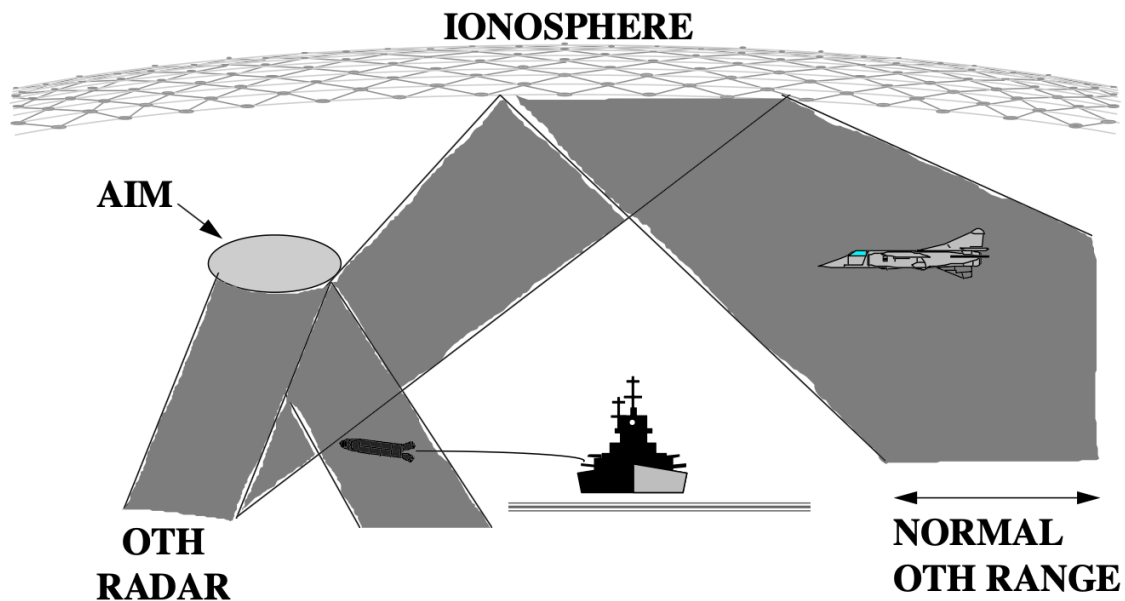
Source: Microsoft Clipart Gallery © 1995 with courtesy from Microsoft.

Figure 4-2. Artificial Ionospheric Mirrors Point-to-Point Communications

Kossey et al. beschreiben außerdem, wie *AIMs* [Artificial Ionospheric Mirrors / künstliche ionosphärische Spiegel] zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit von *OTH radar* [Überhorizonradar] eingesetzt werden könnten:

*,„Radar auf AIM-Basis könnte auf einer Frequenz betrieben werden, die zur Optimierung der Zielerfassung gewählt wird, anstatt durch die jeweils herrschenden ionosphärischen Bedingungen eingeschränkt zu sein. In Kombination mit der Möglichkeit, die Polarisation der Radarwellen zu steuern, um Störeffekte zu verringern, könnte dies zu einer zuverlässigen Erfassung von Marschflugkörpern und anderen schwer erfassbaren Zielen führen.“*³²

Eine schematische Darstellung dieses Konzepts ist in Abbildung 4-3 zu sehen. Potenzielle Vorteile gegenüber herkömmlichen Überhorizonradarsystemen umfassen Frequenzkontrolle, die Verringerung auroraler Effekte, Kurzstreckenbetrieb sowie die Erfassung von Zielen mit kleinerer Radarquerschnittsfläche.



Source: Microsoft Clipart Gallery © 1995 with courtesy from Microsoft.

Figure 4-3. Artificial Ionospheric Mirror Over-the-Horizon Surveillance Concept.

Störung von Kommunikation und Radar durch Kontrolle der Ionosphäre

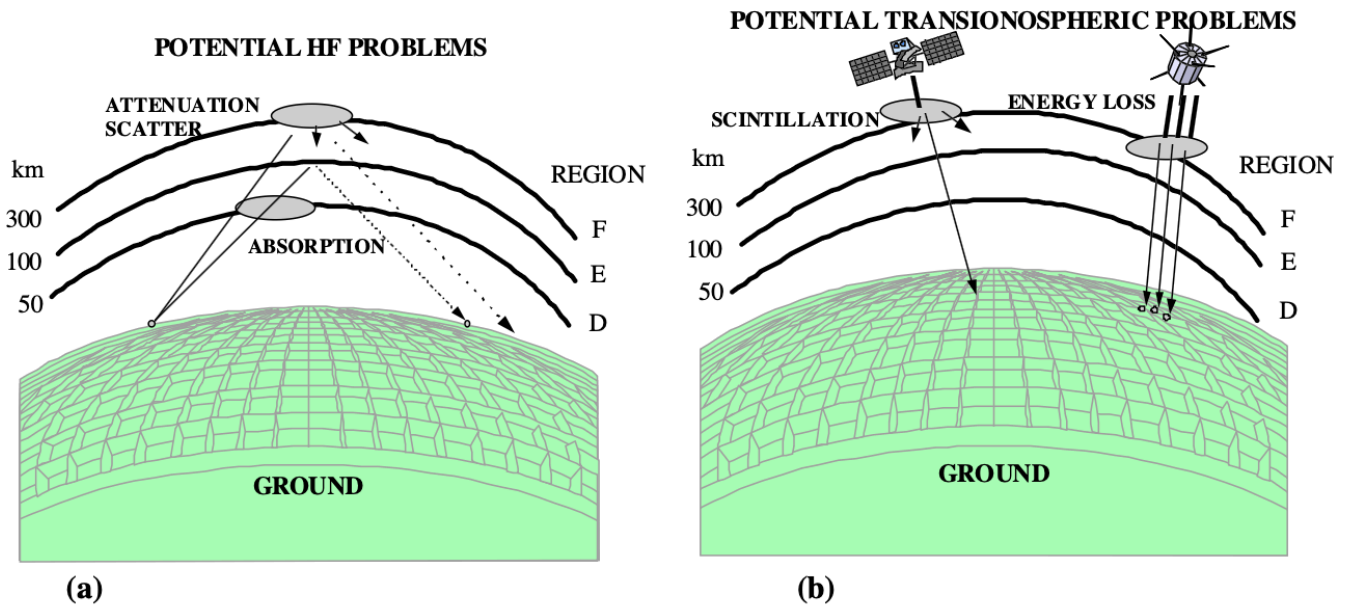
Eine Variante der oben vorgeschlagenen Fähigkeit ist die Modifikation der Ionosphäre, um die Kommunikations- oder Radarübertragungen eines Gegners zu stören. Da HF-Kommunikation direkt von den Eigenschaften der Ionosphäre abhängt, könnte eine künstlich erzeugte Ionisationsregion möglicherweise die elektromagnetischen Übertragungen des Gegners unterbrechen.

Selbst ohne einen künstlichen Ionisationsbereich erzeugt die Hochfrequenzmodifikation großräumige ionosphärische Variationen, die die Ausbreitungscharakteristika von Kurzwellen verändern. Die Ergebnisse der Forschung, die darauf abzielt zu verstehen, wie sich diese Variationen steuern lassen, könnten von großem Wert sein, da sich die HF-Kommunikation dadurch sowohl verbessern als auch gezielt stören ließe. Eine offensive Störung dieser Art wäre vermutlich nicht von natürlich auftretendem Weltraumwetter zu unterscheiden. Diese Fähigkeit könnte auch eingesetzt werden, um die Quelle feindlicher elektromagnetischer Übertragungen präzise zu lokalisieren.

Very High Frequency (VHF) [Ultrakurzwellen, UKW], Ultra High Frequency (UHF) [Dezimeterwelle, 300 MHz–3 GHz] und Super High Frequency (SHF) [Zentimeterwelle, 3–30 GHz]-Satellitenkommunikation könnten durch die Erzeugung künstlicher ionosphärischer *scintillation [Funkwellenfuktuation]* gestört werden. Dieses Phänomen verursacht Schwankungen in Phase und Amplitude von Radiowellen über ein sehr breites Frequenzspektrum (30 MHz bis 30 GHz).

HF-Modifikation erzeugt Elektronendichte-Unregelmäßigkeiten, die Signalfuktuationen über ein breites Frequenzspektrum hervorrufen. Die Größe dieser Unregelmäßigkeiten bestimmt, welches Frequenzband betroffen ist. Zu verstehen, wie sich das Spektrum der künstlichen Unregelmäßigkeiten, die im Prozess der HF-Modifikation entstehen, steuern lässt, sollte ein zentrales Ziel der Forschung in diesem Bereich sein. Darüber hinaus könnte es möglich sein, das Wachstum natürlicher Unregelmäßigkeiten zu unterdrücken und so das Ausmaß natürlicher Signalfuktuationen zu verringern.

Die Erzeugung künstlicher Signalfuktuationen würde es ermöglichen, Satellitenübertragungen über ausgewählten Regionen zu stören. Wie die oben beschriebene HF-Störung wären auch solche Maßnahmen wahrscheinlich nicht von natürlich auftretenden Umwelt ereignissen zu unterscheiden. Abbildung 4-4 zeigt, wie künstlich ionisierte Regionen genutzt werden könnten, um HF-Kommunikation durch Abschwächung, Streuung oder Absorption zu stören (Abb. 4-4a) oder Satellitenkommunikation durch Signalfuktuationen oder Energieverlust zu beeinträchtigen (Abb. 4-4b) (aus Ref. 25).



Source: Microsoft Clipart Gallery © 1995 with courtesy from Microsoft.

Figure 4-4. Scenarios for Telecommunications Degradation

Sprengung/Deaktivierung von Weltraumressourcen beim Durchqueren des nahen Weltraums. Die Ionosphäre könnte potenziell künstlich aufgeladen oder mit Strahlung angereichert werden, sodass sie für Satelliten oder andere Weltraumstrukturen unbewohnbar wird. Das Ergebnis könnte von einer vorübergehenden Deaktivierung des Ziels bis hin zu seiner vollständigen Zerstörung durch eine induzierte Explosion reichen. Die wirksame Anwendung einer solchen Fähigkeit hängt natürlich davon ab, ob es möglich ist, sie selektiv auf bestimmte Regionen im Weltraum zu beschränken.

Aufladung von Weltraumressourcen durch Energieübertragung im nahen Weltraum.

Im Gegensatz zu der oben beschriebenen zerstörerischen Fähigkeit könnten Regionen der Ionosphäre potenziell modifiziert oder unverändert genutzt werden, um Weltraumressourcen zu revitalisieren – etwa durch das Aufladen ihrer Energiesysteme. Die natürliche Ladung der Ionosphäre könnte dabei den größten Teil oder sogar die gesamte Energiezufuhr für den Satelliten bereitstellen.

In den letzten zehn Jahren wurden zahlreiche Arbeiten zum elektrischen Aufladen von Raumfahrzeugen veröffentlicht; jedoch stellt ein Autor fest: „Trotz der beträchtlichen

theoretischen und experimentellen Bemühungen in diesem Bereich ist das Problem der Aufladung von Raumfahrzeugen noch längst nicht vollständig verstanden.“*³³

Obwohl die technische Herausforderung erheblich ist, wäre das Potenzial, elektrostatische Energie zur Versorgung der Energiezellen von Satelliten zu nutzen, äußerst wertvoll: Es würde eine Lebensdauerverlängerung von Weltraumressourcen bei vergleichsweise geringen Kosten ermöglichen. Darüber hinaus könnte die Nutzung leistungsstarker *HF [Kurzwellen]*-Radiowellen, um Elektronen auf relativ hohe Energien zu beschleunigen, auch die Degradierung feindlicher Weltraumressourcen erleichtern – durch gezielten Beschuss mit HF-induzierten Elektronenstrahlen.

Wie bei künstlich erzeugten HF-Kommunikationsstörungen und induzierter *Scintillation [Signalfluktuation]* wäre auch die Schädigung feindlicher Raumfahrzeuge mit solchen Techniken praktisch nicht von natürlich auftretenden Umwelteinflüssen zu unterscheiden. Die Untersuchung und Optimierung von HF-Beschleunigungsmechanismen – sowohl für eigene als auch für gegnerische Zwecke – stellt daher ein wichtiges Feld zukünftiger Forschungsanstrengungen dar.

Künstliches Wetter

Während sich die meisten Wetterbeeinflussungsmaßnahmen auf das Vorhandensein bestimmter vorbestehender Bedingungen stützen, könnte es möglich sein, einige Wettereffekte künstlich zu erzeugen – unabhängig von solchen Bedingungen. So ließe sich etwa „virtuelles Wetter“ erschaffen, indem die Wetterinformationen, die ein Endnutzer erhält, gezielt beeinflusst werden. Seine Wahrnehmung von Parameterwerten oder Bildern aus globalen oder lokalen meteorologischen Informationssystemen würde sich von der Realität unterscheiden. Diese verzerrte Wahrnehmung könnte den Endnutzer dazu bringen, fehlerhafte operative Entscheidungen zu treffen.

Auch die Nanotechnologie eröffnet Möglichkeiten zur Erzeugung simulierten Wetters. Eine Wolke – oder mehrere Wolken – aus mikroskopisch kleinen Computerpartikeln, die alle miteinander und mit einem übergeordneten Kontrollsystem kommunizieren, könnte enorme Fähigkeiten bereitstellen. Solche Wolken, die untereinander vernetzt, atmosphärisch schwebefähig und in drei Dimensionen navigationsfähig wären, könnten so gestaltet werden, dass sie eine breite Palette von Eigenschaften besitzen.

Sie könnten beispielsweise ausschließlich optische Sensoren blockieren oder sich so anpassen, dass sie auch für andere Überwachungsmethoden undurchlässig werden. Ebenso könnten sie ein atmosphärisches elektrisches Potenzialgefälle bereitstellen, das sonst nicht existieren würde, um gezielte und zeitlich abgestimmte Blitzeinschläge zu ermöglichen. Selbst wenn die erzielten Energiemengen nicht ausreichen würden, um eine wirksame Blitzwaffe darzustellen, könnte das Potenzial für psychologische Operationen in vielen Situationen gewaltig sein.

Ein wesentlicher Vorteil des Einsatzes von simuliertem Wetter zur Erreichung eines gewünschten Effekts besteht darin, dass – im Gegensatz zu anderen Methoden – die Ergebnisse gezielter Maßnahmen wie natürliche Wetterphänomene wirken. Darüber hinaus wäre es potenziell relativ kostengünstig.

Nach Angaben von J. Storrs Hall, einem Wissenschaftler an der Rutgers University, der im Bereich Nanotechnologie forscht, könnten die Produktionskosten dieser Nanopartikel etwa dem Preis pro Pfund von Kartoffeln entsprechen.³⁴ Dies berücksichtigt selbstverständlich nicht die Forschungs- und Entwicklungskosten, die in erster Linie vom privaten Sektor getragen würden und bis 2025 – vermutlich sogar schon früher – als versunkene Kosten betrachtet werden könnten.

Zusammenfassung des Einsatzkonzepts

Wetter beeinflusst alles, was wir tun – und Wetterbeeinflussung kann unsere Fähigkeit, das Luftraum- und Weltraumumfeld zu beherrschen, erheblich verstärken. Sie gibt dem Kommandeur Werkzeuge an die Hand, um den Gefechtsraum zu gestalten. Sie gibt dem Logistiker Mittel, um Abläufe zu optimieren. Sie gibt den Piloten im Cockpit ein Einsatzumfeld, das buchstäblich auf ihre Bedürfnisse zugeschnitten ist.

Einige der potenziellen Fähigkeiten, die ein Wetterbeeinflussungssystem einem kriegsführenden *CINC [Commander in Chief / Oberbefehlshaber]* bereitstellen könnte, sind in Tabelle 1 der Executive Summary zusammengefasst.

Notes

1 A pilot program known as Project Popeye conducted in 1966 attempted to extend the monsoon season in order to increase the amount of mud on the Ho Chi Minh trail thereby reducing enemy movements. A silver iodide nuclei agent was dispersed from WC-130, F4 and A-1E aircraft into the clouds over portions of the trail winding from North Vietnam through Laos and Cambodia into South Vietnam. Positive results during this initial program led to continued operations from 1967 to 1972. While the effects of this program remain disputed, some scientists believe it resulted in a significant reduction in the enemy's ability to bring supplies into South Vietnam along the trail. E. M. Frisby, "Weather-modification in Southeast Asia, 1966–1972," *The Journal of Weather-modification* 14, no. 1 (April 1982): 1–3.

2 William M. Gray et al., "Weather-modification by Carbon Dust Absorption of Solar Energy," *Journal of Applied Meteorology* 15 (April 1976): 355.

3 Ibid.

4 Ibid.

5 Ibid., 367.

6 AWS PLAN 813 Appendix I Annex Alfa (Scott AFB, Ill.: Air Weather Service/(MAC) 14 January 1972), 11. Hereafter cited as Annex Alfa.

7 Capt Frank G. Coons, "Warm Fog Dispersal—A Different Story," *Aerospace Safety* 25, no. 10 (October 1969): 16.

8 Annex Alfa, 14.

9 Warren C. Kocmond, "Dissipation of Natural Fog in the Atmosphere," *Progress of NASA Research on Warm Fog Properties and Modification Concepts*, NASA SP-212 (Washington, D.C.: Scientific and Technical Information Division of the Office of Technology Utilization of the National Aeronautics and Space Administration, 1969), 74. 10 James E. Jiusto, "Some Principles of Fog Modification with Hygroscopic Nuclei," *Progress of NASA*

Research on Warm Fog Properties and Modification Concepts, NASA SP-212 (Washington, D.C.: Scientific and Technical Information Division of the Office of Technology Utilization of the National Aeronautics and Space Administration, 1969), 37. 11 Maj Roy Dwyer, *Category III or Fog Dispersal*, M-U 35582-7 D993a c.1 (Maxwell AFB, Ala.: Air

University Press, May 1972), 51. 12 James McLare, *Pulp & Paper* 68, no. 8 (August 1994): 79.

13 Milton M. Klein, *A Feasibility Study of the Use of Radiant Energy for Fog Dispersal*, Abstract (Hanscom AFB, Mass.: Air Force Material Command, October 1978).

14 Edward M. Tomlinson, Kenneth C. Young, and Duane D. Smith, *Laser Technology Applications for Dissipation of Warm Fog at Airfields*, PL-TR-92-2087 (Hanscom AFB, Mass.: Air Force Material Command, 1992).

15 J. Storrs Hall, "Overview of Nanotechnology," adapted from papers by Ralph C. Merkle and K. Eric Drexler, Internet address: <http://nanotech.rutgers.edu/nanotech-/intro.html>, Rutgers University, November 1995.

16 Robert A. Sutherland, "Results of Man-Made Fog Experiment," *Proceedings of the 1991 Battlefield Atmospheric Conference* (Fort Bliss, Tex.: Hinman Hall, 3–6 December 1991).

17 Christopher Centner et al., "Environmental Warfare: Implications for Policymakers and War

Planners” (Maxwell AFB, Ala.: Air Command and Staff College, May 1995), 39. 18 Louis J. Battan, *Harvesting the Clouds* (Garden City, N.Y.: Doubleday & Co., 1960), 120.

19 Facts on File 55, no. 2866 (2 November 95).

20 Gene S. Stuart, “Whirlwinds and Thunderbolts,” *Nature on the Rampage* (Washington, D.C.: National Geographic Society, 1986), 130. 21 *Ibid.*, 140.

22 Heinz W. Kasemir, “Lightning Suppression by Chaff Seeding and Triggered Lightning,” in Wilmot N. Hess, ed., *Weather and Climate Modification* (New York: John Wiley & Sons, 1974), 623–628.

23 SPACECAST 2020, *Space Weather Support for Communications*, white paper G, (Maxwell AFB, Ala.: Air War College/2020, 1994). 24 Gen Charles Horner, “Space Seen as Challenge, Military’s Final Frontier,” *Defense Issues*, (Prepared Statement to the Senate Armed Services Committee), 22 April 1993, 7. 25 Lewis M. Duncan and Robert L. Showen, “Review of Soviet Ionospheric Modification Research,” in *Ionospheric Modification and Its Potential to Enhance or Degrade the Performance of Military Systems*, (AGARD Conference Proceedings 485, October, 1990), 2-1.

26 *Ibid.*

27 Peter M. Banks, “Overview of Ionospheric Modification from Space Platforms,” in *Ionospheric Modification and Its Potential to Enhance or Degrade the Performance of Military Systems* (AGARD Conference Proceedings 485, October 1990) 19-1. 28 Capt Mike Johnson, *Upper Atmospheric Research and Modification—Former Soviet Union* (U), DST-18205-475-92 (Foreign Aerospace Science and Technology Center, AF Intelligence Command, 24 September 1992), 3. (Secret) Information extracted is unclassified. 29 Capt Edward E. Hume, Jr., *Atmospheric and Space Environmental Research Programs in Brazil* (U) (Foreign Aerospace Science and Technology Center, AF Intelligence Command, March 1993), 12. (Secret) Information extracted is unclassified.

30 Paul A. Kossey et al. “Artificial Ionospheric Mirrors (AIM),” in *Ionospheric Modification and Its Potential to Enhance or Degrade the Performance of Military Systems* (AGARD Conference Proceedings 485, October 1990), 17A-1.

31 *Ibid.*, 17A-7.

32 *Ibid.*, 17A-10.

33 B. N. Maehlum and J. Troim, “Vehicle Charging in Low Density Plasmas,” in *Ionospheric Modification and Its Potential to Enhance or Degrade the Performance of Military Systems* (AGARD Conference Proceedings 485, October 1990), 24-1.

34 Hall.

Kapitel 5

Empfehlungen für weitere Untersuchungen

Wie kommen wir von hier nach dort?

Um die Entwicklung der spezifischen operationellen Fähigkeiten, die Wetterbeeinflussung dem Kriegführenden bieten könnte, vollständig zu verstehen, müssen wir ihre Beziehung zu den zugrunde liegenden Kernkompetenzen sowie zur Entwicklung der dafür erforderlichen Technologien untersuchen und nachvollziehen. Abbildung 5-1 fasst die in Tabelle 1 aufgeführten spezifischen operationellen Fähigkeiten in sechs Kernfähigkeiten zusammen und zeigt ihre relative Bedeutung im Zeitverlauf.

Beispielsweise sind Nebel- und Wolkenmodifikation derzeit von Bedeutung und werden es auch noch einige Zeit bleiben – sei es, um unsere Mittel vor Aufklärung zu verbergen oder die Landungssicht an Flugplätzen zu verbessern. Mit zunehmender Unabhängigkeit von optischen Aufklärungsmitteln und dem Erreichen einer wirklich globalen Allwetter-Landefähigkeit von Flugzeugen verlieren Anwendungen der Nebel- und Wolkenmodifikation jedoch an Relevanz.

Im Gegensatz dazu existieren Technologien für künstliches Wetter derzeit nicht. Sobald sie jedoch entwickelt werden, steigt die Bedeutung ihrer potenziellen Anwendungen rasch an. So wird die erwartete Verbreitung von Aufklärungstechnologien in der Zukunft die Fähigkeit, Aufklärung zu verwehren, zunehmend wertvoll machen. In einem solchen Umfeld könnten Wolken aus „intelligenten Partikeln“, wie in Kapitel 4 beschrieben, eine herausragende Fähigkeit darstellen.

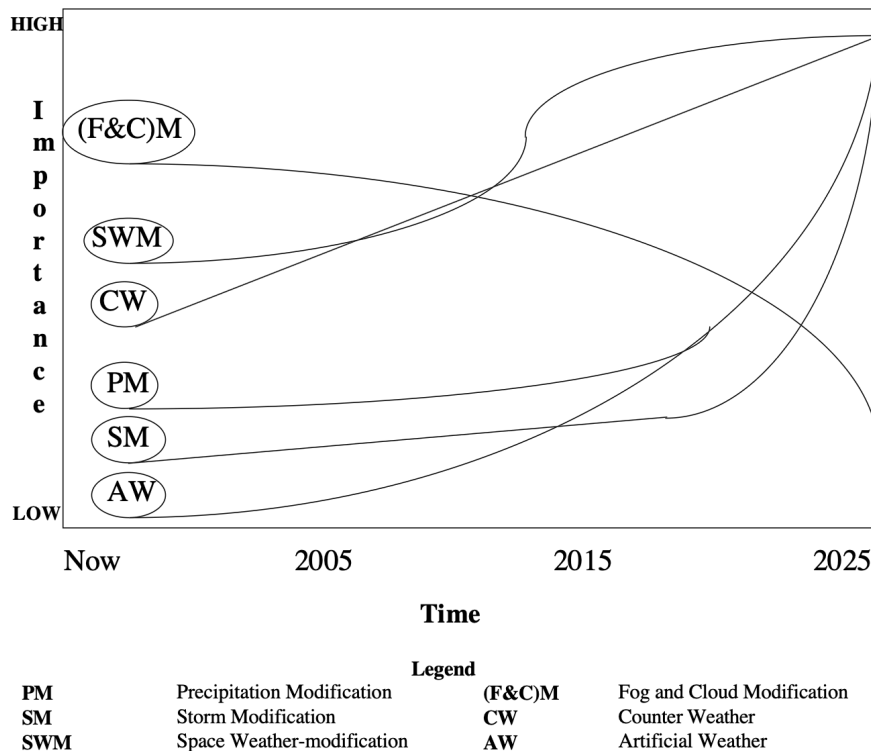


Figure 5-1. A Core Competency Road Map to Weather Modification in 2025.

Selbst die technologisch fortschrittlichsten Armeen von heute ziehen es in der Regel vor, bei klarem Wetter und blauem Himmel zu kämpfen. Doch mit der zunehmenden Verbreitung kriegsführender Technologien wird die Seite mit dem technologischen Vorteil es vorziehen, bei Wetterbedingungen zu kämpfen, die ihr einen zusätzlichen Vorteil verschaffen. Die US Army hat diesen Ansatz bereits in ihrem Konzept des „*owning the weather*“ [*das Wetter beherrschen*]angedeutet.¹ Dementsprechend wird die Sturmmodifikation mit der Zeit an Bedeutung gewinnen.

Auch die Bedeutung der Niederschlagsmodifikation dürfte steigen, da nutzbare Wasserquellen in instabilen Regionen der Welt zunehmend knapp werden.

Da immer mehr Länder zunehmend unterschiedliche Arten und Grade von Wetterbeeinflussungstechnologien verfolgen, entwickeln und nutzen, müssen wir in der Lage sein, ihre Bemühungen zu erkennen und ihre Aktivitäten, wenn nötig, zu kontern. Wie dargestellt, werden die Technologien und Fähigkeiten, die mit einer solchen Gegen-Wetterrolle verbunden sind, zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Die Bedeutung der Weltraumwetter-Modifikation wird mit der Zeit wachsen. Ihr Aufstieg wird zunächst schneller verlaufen, da sich die Technologien, die sie am wirkungsvollsten unterstützen oder neutralisieren kann, in dieser Phase am rasantesten verbreiten. Später, wenn diese Technologien ausgereift oder obsolet geworden sind, wird die Bedeutung der Weltraumwetter-Modifikation weiter steigen, allerdings nicht mehr so schnell.

Um die in Abbildung 5-1 dargestellten Kernfähigkeiten zu erreichen, könnten die erforderlichen Technologien und Systeme nach dem in Abbildung 5-2 dargestellten Prozess entwickelt werden. Diese

Abbildung verdeutlicht die Entwicklungszeit und -abfolge der Systeme, die notwendig sind, um bis 2025 eine Wetterbeeinflussungsfähigkeit für den Gefechtsraum zu realisieren. Die horizontale Achse stellt die Zeit dar. Die vertikale Achse gibt an, in welchem Maße eine bestimmte Technologie für die Wetterbeeinflussung eingesetzt werden wird.

Als Hauptnutzer wird das Militär der primäre Entwickler für die mit einem Sternchen gekennzeichneten Technologien sein. Der zivile Sektor wird die Hauptquelle für die übrigen Technologien darstellen.

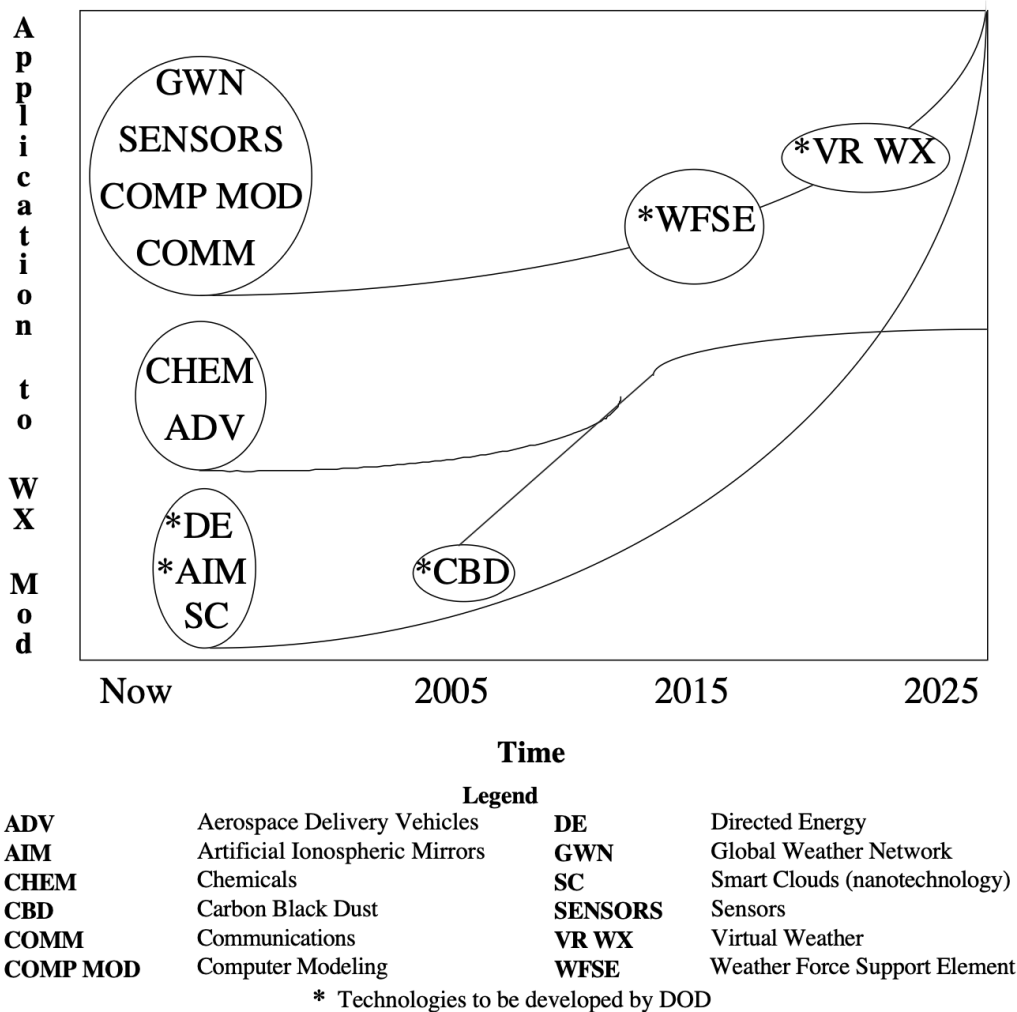


Figure 5-2. A Systems Development Road Map to Weather Modification in 2025.

Schlussfolgerungen

Die endlichen Ressourcen der Welt und der fortwährende Bedarf werden das Bestreben vorantreiben, Menschen und Eigentum zu schützen sowie unsere Ackerflächen, Wälder und Weideflächen effizienter zu nutzen. Die Fähigkeit, das Wetter zu beeinflussen, könnte sowohl aus wirtschaftlichen als auch aus verteidigungspolitischen Gründen wünschenswert sein.

Das globale Wettersystem wurde als eine Reihe von Sphären oder Blasen beschrieben. Drückt man eine nach unten, tritt an einer anderen Stelle eine hervor.² Wir müssen wissen, wann eine andere Macht in ihrer Region auf eine solche Sphäre „drückt“ – und wie sich das auf unser eigenes Territorium oder auf für die USA wirtschaftlich und politisch bedeutende Regionen auswirken wird.

Bereits heute laufen Anstrengungen, umfassendere Wettermodelle zu entwickeln – in erster Linie, um die Vorhersagen zu verbessern. Forscher versuchen jedoch auch, die Ergebnisse dieser Modelle zu beeinflussen, indem sie zur richtigen Zeit und am richtigen Ort kleine Energiemengen hinzufügen. Diese Programme sind derzeit noch äußerst begrenzt und nicht validiert, doch besteht großes Potenzial, sie in den kommenden 30 Jahren zu verbessern.³

Die Lehren der Geschichte zeigen, dass eine echte Wetterbeeinflussungsfähigkeit trotz der Risiken letztlich entstehen wird. Der Antrieb dazu ist vorhanden. Menschen haben schon immer das Wetter

kontrollieren wollen, und dieses Verlangen wird sie dazu bringen, ihr Ziel kollektiv und beharrlich zu verfolgen. Die Motivation ist vorhanden. Die potenziellen Vorteile und die Macht sind äußerst lukrativ und verlockend für diejenigen, die über die Ressourcen zur Entwicklung verfügen.

Diese Kombination aus Antrieb, Motivation und Ressourcen wird die Technologie schließlich hervorbringen. Die Geschichte lehrt außerdem, dass wir es uns nicht leisten können, ohne eine Wetterbeeinflussungsfähigkeit zu bleiben, sobald die Technologie von anderen entwickelt und genutzt wird. Selbst wenn wir keine Absicht hätten, sie einzusetzen – andere werden es tun. Um die Analogie zur Atombombe erneut zu bemühen: Wir müssen in der Lage sein, ihre Fähigkeit mit unserer eigenen abzuschrecken oder zu kontern. Deshalb müssen die Wetter- und Nachrichtendienste die Handlungen anderer genau im Auge behalten.

Wie die vorangegangenen Kapitel gezeigt haben, ist Wetterbeeinflussung ein **force multiplier [Kraftverstärker]** mit enormem Potenzial, das über das gesamte Spektrum kriegerischer Einsatzumgebungen hinweg genutzt werden könnte. Von der Unterstützung eigener Operationen oder der Störung gegnerischer Aktivitäten durch kleinräumige Anpassung natürlicher Wetterphänomene bis hin zur vollständigen Dominanz globaler Kommunikation und zur Kontrolle des Weltraums – Wetterbeeinflussung bietet dem Kriegführenden eine breite Palette möglicher Optionen, um einen Gegner zu besiegen oder zu zwingen.

Doch auch wenn offensive Wetterbeeinflussungsmaßnahmen von US-Streitkräften mit großer Vorsicht und Zurückhaltung unternommen würden, ist klar, dass wir es uns nicht leisten können, einem Gegner eine exklusive Wetterbeeinflussungsfähigkeit zu überlassen.

Notes

1 Mary Ann Seagraves and Richard Szymer, "Weather a Force Multiplier," *Military Review*, November/December 1995, 69.

2 Daniel S. Halacy, *The Weather Changers* (New York: Harper & Row, 1968), 202.

3 William Brown, "Mathematicians Learn How to Tame Chaos," *New Scientist*, 30 May 1992, 16.

Anhang A

Warum ist die Ionosphäre wichtig?

Die Ionosphäre ist der Teil der Erdatmosphäre, der in einer Höhe von etwa 30 Meilen (ca. 48 km) beginnt und sich über 1.200 Meilen (ca. 1.900 km) oder mehr hinaus erstreckt. Diese Region besteht aus Schichten frei beweglicher, elektrisch geladener Teilchen, die Radiowellen übertragen, brechen und reflektieren und es so ermöglichen, diese über große Entfernungen rund um die Erde zu senden.

Die Wechselwirkung der Ionosphäre mit einfallender elektromagnetischer Strahlung hängt von den Eigenschaften der jeweiligen ionosphärischen Schicht, der Geometrie der Übertragung und der Frequenz der Strahlung ab. Für einen bestimmten Signalpfad durch die Atmosphäre existiert ein Bereich nutzbarer Frequenzbänder. Dieser Bereich – zwischen der *maximum usable frequency (MUF)* [*maximal nutzbare Frequenz*] und der *lowest usable frequency (LUF)* [*minimal nutzbare Frequenz*] – ist der Bereich, in dem Radiowellen von der Ionosphäre reflektiert und gebrochen werden, ähnlich wie ein **teilweise durchlässiger Spiegel, der sichtbares Licht zum Teil reflektiert und zum Teil hindurch lässt oder bricht**.¹

Die reflektierenden und brechenden Eigenschaften der Ionosphäre ermöglichen es, Funksignale über die direkte „line-of-sight“-Verbindung (Sichtverbindung) zwischen Sender und Empfänger hinaus zu übertragen. Ionosphärische Reflexion und Brechung wurden daher fast ausschließlich für Fernkommunikation im *HF-Bereich* [*High Frequency, Kurzwelle*] von 3 bis 30 MHz genutzt.

Radiowellen mit Frequenzen oberhalb von 30 MHz bis 300 GHz werden in der Regel für Kommunikationssysteme verwendet, die eine direkte Sichtverbindung erfordern, wie etwa Satellitenkommunikation. In diesen höheren Frequenzbereichen durchdringen Radiowellen die Ionosphäre, wobei nur ein kleiner Bruchteil der Welle in einem Muster zurückgestreut wird, das einer Himmelswelle (*sky wave*) ähnelt.

Kommunikationssysteme profitieren erheblich von der Nutzung dieser Frequenzen, da sie wesentlich größere Bandbreiten und damit eine höhere Datenübertragungskapazität bieten; zudem sind sie weniger anfällig für natürliche Störungen (Rauschen).

Obwohl die Ionosphäre als natürlicher „*mirror*“ (*Spiegel*) für *HF* (*High Frequency, Kurzwellen*)-Radiowellen wirkt, befindet sie sich in einem ständigen Fluss, sodass ihre „*mirror property*“ (*Spiegeleigenschaft*) zeitweise eingeschränkt sein kann. Ähnlich wie beim terrestrischen Wetter verändern sich die Eigenschaften der Ionosphäre von Jahr zu Jahr, von Tag zu Tag und sogar von Stunde zu Stunde.

Diese ionosphärische Variabilität, die als *space weather* (*Weltraumwetter*) bezeichnet wird, kann zu Unzuverlässigkeit in boden- und weltraumgestützten Kommunikationssystemen führen, die auf ionosphärische Reflexion oder Transmission angewiesen sind. Die Variabilität des *space weather* beeinflusst, wie die Ionosphäre Radiowellen abschwächt, absorbiert, reflektiert, bricht und deren Ausbreitung, Phasen- und Amplitudeneigenschaften verändert.

Diese wetterabhängigen Veränderungen können aus bestimmten *space-weather* Bedingungen entstehen, wie etwa:

1. der Variabilität der *solar radiation* (*solaren Strahlung*), die in die obere Atmosphäre eintritt;
2. dem Eindringen des *solar plasma* (*solaren Plasmas*) in das Magnetfeld der Erde;

3. den *gravitational atmospheric tides* (*gravitiven atmosphärischen Gezeiten*), die von Sonne und Mond erzeugt werden;
4. der vertikalen Ausdehnung der Atmosphäre infolge der täglichen Erwärmung durch die Sonne.²

Das *space weather* wird außerdem stark beeinflusst durch *solar flares* (*Sonnenstürme*), die Neigung des *geomagnetic field* (*geomagnetischen Feldes*) der Erde sowie plötzliche ionosphärische Veränderungen, die durch Ereignisse wie *geomagnetic storms* (*geomagnetische Stürme*) verursacht werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die inhärente Reflektivität der Ionosphäre ein natürliches Geschenk ist, das der Mensch genutzt hat, um Fernkommunikation zu ermöglichen und weit entfernte Punkte auf dem Globus miteinander zu verbinden. Allerdings verringert die natürliche Variabilität der Ionosphäre die Zuverlässigkeit unserer Kommunikationssysteme, die auf ionosphärische Reflexion und Brechung angewiesen sind (vor allem im *HF-Bereich* [*High Frequency, Kurzwelle*]).

Höhere Frequenzbänder wie *UHF* (*Ultra High Frequency, Ultrakurzwelle*), *SHF* (*Super High Frequency, Superhochfrequenz*) und *EHF* (*Extremely High Frequency, Extremhochfrequenz*) durchdringen die Ionosphäre größtenteils ohne Verzerrung. Allerdings können auch diese Bänder durch ionosphärische *scintillation* (*Signalfluktuation*) beeinträchtigt werden – ein Phänomen, das durch plötzliche Variationen der *electron density* (*Elektronendichte*) entlang des Signalwegs ausgelöst wird. Dies führt zu *signal fade* (*Signalabschwächung*), hervorgerufen durch schnelle Schwankungen im Signalweg sowie durch Defokussierung der Amplitude und/oder Phase des Signals.

Das Verständnis und die Vorhersage der ionosphärischen Variabilität und ihres Einflusses auf die Übertragung und Reflexion elektromagnetischer Strahlung ist seit langem ein viel untersuchtes Gebiet wissenschaftlicher Forschung. Die Verbesserung unserer Fähigkeit, *space weather* (*Weltraumwetter*) zu beobachten, zu modellieren und vorherzusagen, wird unsere Kommunikationssysteme – sowohl boden- als auch weltraumgestützt – erheblich verbessern.

Sowohl im *DOD* (*Department of Defense, US-Verteidigungsministerium*) als auch im kommerziellen Sektor wird umfangreiche Arbeit geleistet, um die Beobachtung, Modellierung und Vorhersage des *space weather* zu verbessern. Obwohl erhebliche technische Herausforderungen bestehen bleiben, gehen wir für die Zwecke dieser Studie davon aus, dass es in diesen Bereichen in den kommenden Jahrzehnten zu erheblichen Verbesserungen kommen wird.

¹ AU-18, *Space Handbook, An Analyst's Guide Vol. II*. (Maxwell AFB, Ala.: Air University Press, December 1993), 196.

² Thomas F. Tascione, *Introduction to the Space Environment* (Colorado Springs: USAF Academy Department of Physics, 1984), 175.

Anhang B

Forschung zum besseren Verständnis und zur genaueren Vorhersage ionosphärischer Effekte

Laut einer *SPACECAST 2020*-Studie mit dem Titel “*Space Weather Support for Communications*” sind die Hauptfaktoren, die unsere Fähigkeit zur Beobachtung und genauen Vorhersage des *space weather* (Weltraumwetters) einschränken:

1. die derzeitige Fähigkeit zur ionosphärischen Messung,
2. die Dichte und Häufigkeit der ionosphärischen Beobachtungen,
3. der Grad an Komplexität und Genauigkeit ionosphärischer Modelle,
4. sowie das aktuelle wissenschaftliche Verständnis der Physik der Kopplungsmechanismen zwischen Ionosphäre, Thermosphäre und Magnetosphäre.¹

Der Bericht empfiehlt, unsere Fähigkeit zur vertikalen und räumlichen Messung der Ionosphäre zu verbessern; zu diesem Zweck wurde eine Architektur für ein *ionospheric mapping* (Ionosphären-Mapping) vorgeschlagen. Ein solches System würde aus *ionospheric sounders* (Ionosphärensondierern) und anderen Messgeräten bestehen, die auf DoD (Department of Defense, US-Verteidigungsministerium)- und kommerziellen Satellitenkonstellationen installiert wären (insbesondere unter Nutzung des vorgeschlagenen *IRIDIUM*-Systems und der Auffrischung des *GPS*), sowie aus einem erweiterten bodengestützten Netz vertikaler Ionosphärensondierer in den USA und anderen Ländern.

Das Verständnis und die Vorhersage ionosphärischer *scintillation* (Signalfluktuation) würde zudem den Start eines äquatorialen Fernerkundungssatelliten erfordern – zusätzlich zu den derzeit geplanten oder bereits eingesetzten DoD- und kommerziellen Satellitenkonstellationen.

Der Nutzen eines solchen Systems bestünde in einer Verbesserung der Genauigkeit ionosphärischer Vorhersagen von derzeit 40–60 Prozent auf voraussichtlich 80–100 Prozent. Eine tägliche weltweite Ionosphärenkartierung würde die Daten liefern, die erforderlich sind, um die globalen täglichen terrestrischen Ausbreitungscharakteristika elektromagnetischer Energie im Bereich von 3–300 MHz genau vorherzusagen. Diese verbesserte Vorhersage würde Satellitenbetreibern und -nutzern helfen und so die operationale Effizienz von Weltraumsystemen steigern. Sie würde außerdem eine um den Faktor zehn verbesserte Lokalisierung von Quellen taktischer Funkkommunikation ermöglichen und damit das Orten und Verfolgen feindlicher wie auch befreundeter Plattformen.²

Eine verbesserte Fähigkeit zur Vorhersage ionosphärischer *scintillation* würde die Kommunikationszuverlässigkeit erhöhen – etwa durch die Nutzung alternativer Strahlungspfade oder Relaisstationen in ungestörten Regionen. Sie würde Einsatzkräften zudem ermöglichen festzustellen, ob Ausfälle auf natürlich auftretende ionosphärische Variabilität zurückzuführen sind – oder auf feindliche Aktivitäten bzw. Hardwareprobleme.

Diese Fortschritte in der ionosphärischen Beobachtung, Modellierung und Vorhersage würden die Zuverlässigkeit und Widerstandsfähigkeit unseres militärischen Kommunikationsnetzwerks verbessern. Neben ihren erheblichen Vorteilen für das bestehende Kommunikationsnetz sind solche Fortschritte zudem eine Voraussetzung für die weitergehende Nutzung der Ionosphäre durch aktive Modifikation.

Notes

1 SPACECAST 2020, *Space Weather Support for Communications*, white paper G, (Maxwell AFB, Ala.: Air War College/202

Anhang C

Abkürzungen und Definitionen

- **AOC** – *air operations center (Luftoperationszentrum)*
- **AOR** – *area of responsibility (Verantwortungsbereich)*
- **ATO** – *air tasking order (Luftoperationsbefehl)*
- **EHF** – *extra high frequency (Extremhochfrequenz)*
- **GWN** – *global weather network (Globales Wetternetzwerk)*
- **HF** – *high frequency (Kurzwelle/Hochfrequenzbereich)*
- **IR** – *infrared (Infrarot)*
- **LF** – *low frequency (Niederfrequenzbereich)*
- **LUF** – *lowest usable frequency (niedrigste nutzbare Frequenz)*
- **Mesoscale** – *less than 200 km² (Mesoskala, < 200 km²)*
- **Microscale** – *immediate local area (Mikroskala, unmittelbares lokales Gebiet)*
- **MUF** – *maximum usable frequency (höchste nutzbare Frequenz)*
- **MW** – *microwave (Mikrowelle)*
- **OTH** – *over-the-horizon (Überhorizontradiosystem/-radar)*
- **PGM** – *precision-guided munitions (Präzisionsgelenkte Munition)*
- **RF** – *radio frequency (Funkfrequenz)*
- **SAR** – *synthetic aperture radar (Radar mit synthetischer Apertur)*
- **SARSAT** – *search and rescue satellite-aided tracking (Satellitengestützte Such- und Rettungsverfolgung)*
- **SHF** – *super high frequency (Superhochfrequenz)*
- **SPOT** – *satellite positioning and tracking (Satellitenpositionierungs- und Verfolgungssystem)*
- **UAV** – *uninhabited aerospace vehicle (Unbemanntes Luft- und Raumfahrzeug)*
- **UV** – *ultraviolet (Ultraviolett)*

- **VHF** – very high frequency (*Ultrakurzwelle*)
- **WFS** – weather force specialist (*Wetterkraft-Spezialist*)
- **WFSE** – weather force support element (*Wetterunterstützungselement*)
- **WX** – weather (*Wetter*)

Bibliography

- Appleman, Herbert S. *An Introduction to Weather-modification*. Scott AFB, Ill.: Air Weather Service (MAC), September 1969.
- AU-18, *Space Handbook, An Analyst's Guide Vol. II*. Maxwell AFB, Ala.: Air University Press, December 1993.
- AWS PLAN 813, Appendix I, Annex Alfa. Scott AFB, Ill.: Air Weather Service (MAC), 14 January 1972.
- Banks, Peter M. "Overview of Ionospheric Modification from Space Platforms." In *Ionospheric Modification and Its Potential to Enhance or Degrade the Performance of Military Systems*, AGARD Conference Proceedings 485, October 1990.
- Batton, Louis J. *Harvesting the Clouds*. Garden City, N.Y.: Doubleday & Co., 1969.
- Brown, William. "Mathematicians Learn How to Tame Chaos." *New Scientist*, 30 May 1992.
- Byers, Horace R. "History of Weather-modification." In Wilmot N. Hess, ed., *Weather and Climate Modification*. New York: John Wiley & Sons, 1974.
- Centner, Christopher, et al., "Environmental Warfare: Implications for Policymakers and War Planners." Maxwell AFB, Ala.: Air Command and Staff College, May 1995.
- Coons, Capt Frank G. "Warm Fog Dispersion—A Different Story." *Aerospace Safety* 25, no. 10 (October 1969).
- CJCSI 3810.01, Meteorological and Oceanographic Operations, 10 January 1995.
- Dawson, George. "An Introduction to Atmospheric Energy." In Wilmot N. Hess, ed., *Weather and Climate Modification*. New York: John Wiley & Sons, 1974.
- Duncan, Lewis M., and Robert L. Showen "Review of Soviet Ionospheric Modification Research." In *Ionospheric Modification and Its Potential to Enhance or Degrade the Performance of Military Systems* AGARD Conference Proceedings 485, October 1990.
- Dwyer, Maj Roy. *Category III or Fog Dispersion*, M-U 35582-7 D993a. Maxwell AFB, Ala.: University Press, May 1972.
- Air
- Eisenhower, Dwight E. "Crusade in Europe" quoted in John F. Fuller, ed., *Thor's Legions*. Boston: American Meteorology Society, 1990.
- Facts on File 55, No. 2866 (2 November 1995).
- Frisby, E. M. "Weather-modification in Southeast Asia, 1966–1972." *The Journal Of Weather-modification* 14, no. 1 (April 1982).
- Frisby, E. M. "Weather-modification in Southeast Asia, 1966-1972." *Journal of Applied Meteorology* 15 (April 1976).
- Gray, William M., et al. "Weather-modification by Carbon Dust Absorption of Solar Energy." *Journal of Applied Meteorology* 15, (April 1976).
- Halacy, Daniel S. *The Weather Changers*. New York: Harper & Row, 1968.
- 42Hall, J. Storrs. "Overview of Nanotechnology" Adapted from papers by Ralph C. Merkle and K. Eric Drexler. Internet address: <http://nanotech.rutgers.edu/nanotech/-intro.html> (Rutgers University, November 1995).
- Horner, Gen Charles. "Space Seen as Challenge, Military's Final Frontier" (Prepared Statement to the Senate

Armed Services Committee) *Defense Issues*, 22 April 1993.

Hume, Capt Edward E., Jr. Atmospheric and Space Environmental Research Programs in Brazil (U), March 1993. Foreign Aerospace Science and Technology Center, AF Intelligence Command, 24 September 1992. (Secret) Information extracted is unclassified.

James, G. E. "Chaos Theory: The Essentials for Military Applications" *ACSC Theater Air Campaign Studies Coursebook*, AY96, Vol. 8. Maxwell AFB, Ala.: Air University Press, 1995.

Jiusto, James E. "Some Principles of Fog Modification with Hygroscopic Nuclei" *Progress of NASA Research on Warm Fog Properties and Modification Concepts*, NASA SP-212. Washington, D.C.: Scientific and Technical Information Division of the Office of Technology Utilization of the National Aeronautics and Space Administration, 1969.

Johnson, Capt Mike. *Upper Atmospheric Research and Modification—Former Soviet Union* (U) supporting document DST-18205-475-92, Foreign Aerospace Science and Technology Center, AF Intelligence Command, 24 September 1992. (Secret) Information extracted is unclassified.

Kasemir, Heinz W. "Lightning Suppression by Chaff Seeding and Triggered Lightning." In Wilmot N. Hess, ed., *Weather and Climate Modification*. New York: John Wiley & Sons, 1974.

Keaney, Thomas A., and Eliot A. Cohen, *Gulf War Air Power Survey Summary Report*. Washington D.C.: GPO, 1993.

Klein, Milton M. *A Feasibility Study of the Use of Radiant Energy for Fog Dispersal* Abstract. Hanscom AFB, Mass.: Air Force Materiel Command, October 1978.

Kocmond, Warren C. "Dissipation of Natural Fog in the Atmosphere," *Progress of NASA Research on Warm Fog Properties and Modification Concepts*, NASA SP-212. Washington, D.C.: Scientific and Technical Information Division of the Office of Technology Utilization of the National Aeronautics and Space Administration, 1969.

Kossey, Paul A., et al. "Artificial Ionospheric Mirrors (AIM) A. Concept and Issues," In *Ionospheric Modification and its Potential to Enhance or Degrade the Performance of Military Systems*, AGARD Conference Proceedings 485, October 1990.

Maehlum, B. N., and J. Troim, "Vehicle Charging in Low Density Plasmas" In *Ionospheric Modification and Its Potential to Enhance or Degrade the Performance of Military Systems* AGARD Conference Proceedings 485, October 1990.

McLare, James. *Pulp & Paper* 68, no. 8, August 1994.

Meyer, William B. "The Life and Times of US Weather: What Can We Do About It?" *American Heritage* 37, no. 4 (June/July 1986).

Petersen, Rear Adm Sigmund. "NOAA Moves Toward The 21st Century." *The Military Engineer* 20, no. 571 (June-July 1995).

Riley, Lt Col Gerald F. Staff Weather Officer to CENTCOM OIC of CENTAF Weather Support Force and Commander of 3d Weather Squadron. In "Desert Shield/Desert Storm Interview Series," interviewed by Dr William E. Narwyn, AWS Historian, 29 May 1991.

Seagraves, Mary Ann, and Richard Szymer "Weather a Force Multiplier." *Military Review*, November/December 1995.

SPACECAST 2020. *Space Weather Support for Communications* White paper G. Maxwell AFB, Ala.: Air War College/2020, 1994.

43Stuart, Gene S. "Whirlwinds and Thunderbolts," In *Nature on the Rampage*. Washington D.C.: National Geographic Society, 1986.

Sullivan, Gen Gordon R. "Moving into the 21st Century: America's Army and Modernization" *Military Review*. July 1993. Quoted in Mary Ann Seagraves and Richard Szymer "Weather a Force Multiplier" *Military Review*, November/December 1995.

Sutherland, Robert A. "Results of Man-Made Fog Experiment," In *Proceedings of the 1991 Battlefield Atmospherics Conference*. Fort Bliss, Tex.: Hinman Hall, 3–6 December 1991.

Tascione, Thomas F. *Introduction to the Space Environment*. Colorado Springs: USAF Academy Department of Physics, 1984. Tomlinson, Edward M., Kenneth C. Young, and Duane D. Smith *Laser Technology Applications for Dissipation of Warm Fog at Airfields*, PL-TR-92-2087. Hanscom AFB, Mass.: Air Force Materiel Command, 1992.

USAF Scientific Advisory Board. *New World Vistas: Air and Space Power for the 21st Century*, Summary Volume. Washington, D.C.: USAF Scientific Advisory Board, 15 December 1995.

US Department of State. *The Department of State Bulletin* 76, no. 1981 (13 June 1977).