



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Verteidigung  
Bevölkerungsschutz und Sport VBS  
**armasuisse**  
Wissenschaft + Technologie

PERSPEKTIVEN

# Technologie früherkennung

Trends und Potenziale 2015-2025

Thun 2015



## **Danksagung**

Herausgeber	Eidgenössisches Departement für Verteidigung Bevölkerungsschutz und Sport VBS armasuisse Wissenschaft + Technologie Forschungsmanagement  <a href="http://www.armasuisse.ch/wt">www.armasuisse.ch/wt</a> <a href="http://www.deftech.ch">www.deftech.ch</a>
Autor	Dr. Quentin Ladetto Research Director - Technology Foresight <a href="mailto:quentin.ladetto@armasuisse.ch">quentin.ladetto@armasuisse.ch</a>
Version	1.3
Erstellt am	21. Juni 2016 um 16:44

# Vorwort

Die Zukunft wird zur Gegenwart. Was uns in der Trilogie *Back zu the Future* von Drehbuchautor Bob Gale und Regisseur Robert Zemeckis vor dreissig Jahren noch als Science-Fiction und Zukunftsvision des letzten Jahrhunderts ideenreich erzählt wurde, konnte teilweise an technologischen Entwicklungen sogar übertroffen werden. Auch in der Kriegsführung hat die schnelle Entwicklung in der Technologie nicht Halt gemacht und ist ein wichtiger und nicht zu unterschätzender Auslöser für Veränderungen zwischen deren Generationen.

Für ein Land wie die Schweiz ist Technologiefrüherkennung bezogen auf militärische Fähigkeiten ausschlaggebend, um die Chancen und Risiken zu identifizieren. Die Nutzung von Dual-Use-Technologien im Verteidigungs- und Sicherheits-Ökosystem wird Realität.

Mit dem Programm Technologiefrüherkennung wird es möglich, dank einem Frühwarnsystem neuartige und relevante Fortschritte in der Technologie zu erfassen. Durch die Erkennung verschaffen wir uns einerseits eine solide Übersicht, was uns andererseits auch Zeit gibt, die benötigten Kompetenzen, Fachkenntnisse und Expertenwissen in den verschiedenen Bereichen aufzubauen. Es ist das Kernanliegen von W+T in der Planung und den Beschaffungsprozessen der Armee immer einen Schritt voraus zu sein.

Nur mit dieser strategischen Zukunftsvision ist die Schweizer Armee in der Lage, die kommenden Entwicklungen und Herausforderungen ökonomisch und operativ zu bewältigen.



Dr. Thomas Rothacher  
Leiter armasuisse Wissenschaft und Technologie



# Preface

Aufgrund von exponentiellen Fortschritten bei den Technologien, zusammen mit Veränderungen im Wesen der Konflikte und Kriege, wäre jede fixe Prognose illusorisch, dies angesichts des evolutionären Charakters des Umfelds. Die Verbreitung und die Zugänglichkeit von militärischen sowie Dual-Use Spitzentechnologien - einst fast ausschliesslich staatlichen Akteuren vorbehalten - zu nichtstaatlichen Akteuren wie etwa terroristischen Organisationen, macht nicht nur die Vorhersage, sondern auch die Erkennung von Bedrohungen zu einer echten Herausforderung. Sinkende Kosten und rasche Veränderungen in der Herstellung (Maker-Bewegung, Fablabs, etc.) erhöhen auch die Verfügbarkeit von kostengünstigen Waffen, die höher entwickelte militärische Systeme ausgleichen können.

Mit Fokussierung auf aufkommende Technologien und deren möglichen Auswirkungen auf das Schlachtfeld von morgen, kann dieser Bericht als Bestandteil einer fortlaufenden Arbeit betrachtet werden. Er ist das Ergebnis eines Forschungsprogramms zur Erfassung und Strukturierung von Informationen aus diversen Quellen, so dass ein strategischer Überblick über den Technologiehorizont der kommenden Jahre geboten wird.

Dieser Bericht hat die Technologien in drei Stufen gegliedert und ermöglicht es dem Leser, auf technologische Informationen auf einer strategischen, taktischen oder operativen (detaillierten) Ebene zuzugreifen, siehe Abbildung 1. Die verschiedenen Abschnitte stehen in Wechselwirkung zueinander und werden in regelmässigen Zeitabständen mit Inhalten aufdatiert, die aus der DEFTECH (Defence Future Technologies) Plattform generiert werden. Der Zweck dieser Plattform ist erstens eine Zentralisierung aller Informationen und die zweitens die Möglichkeit einer semantischen Suche sowie das Hervorbringen von versteckten Zusammenhängen zwischen Technologien, industriellen Akteuren und militärischen Fähigkeiten.

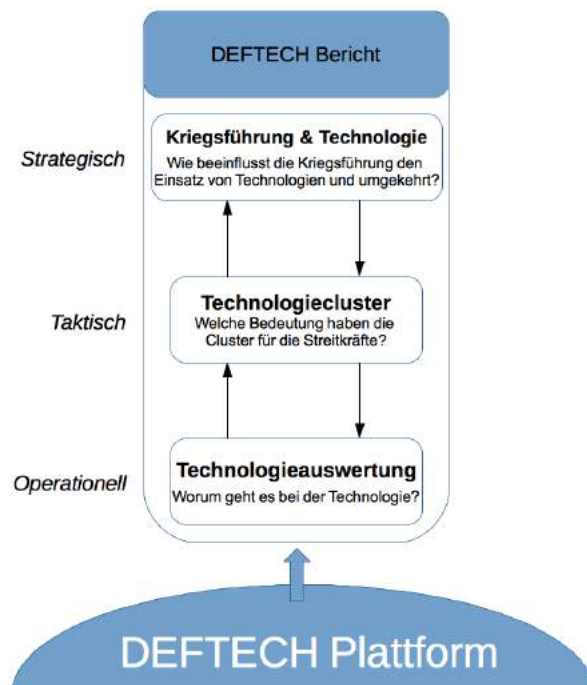
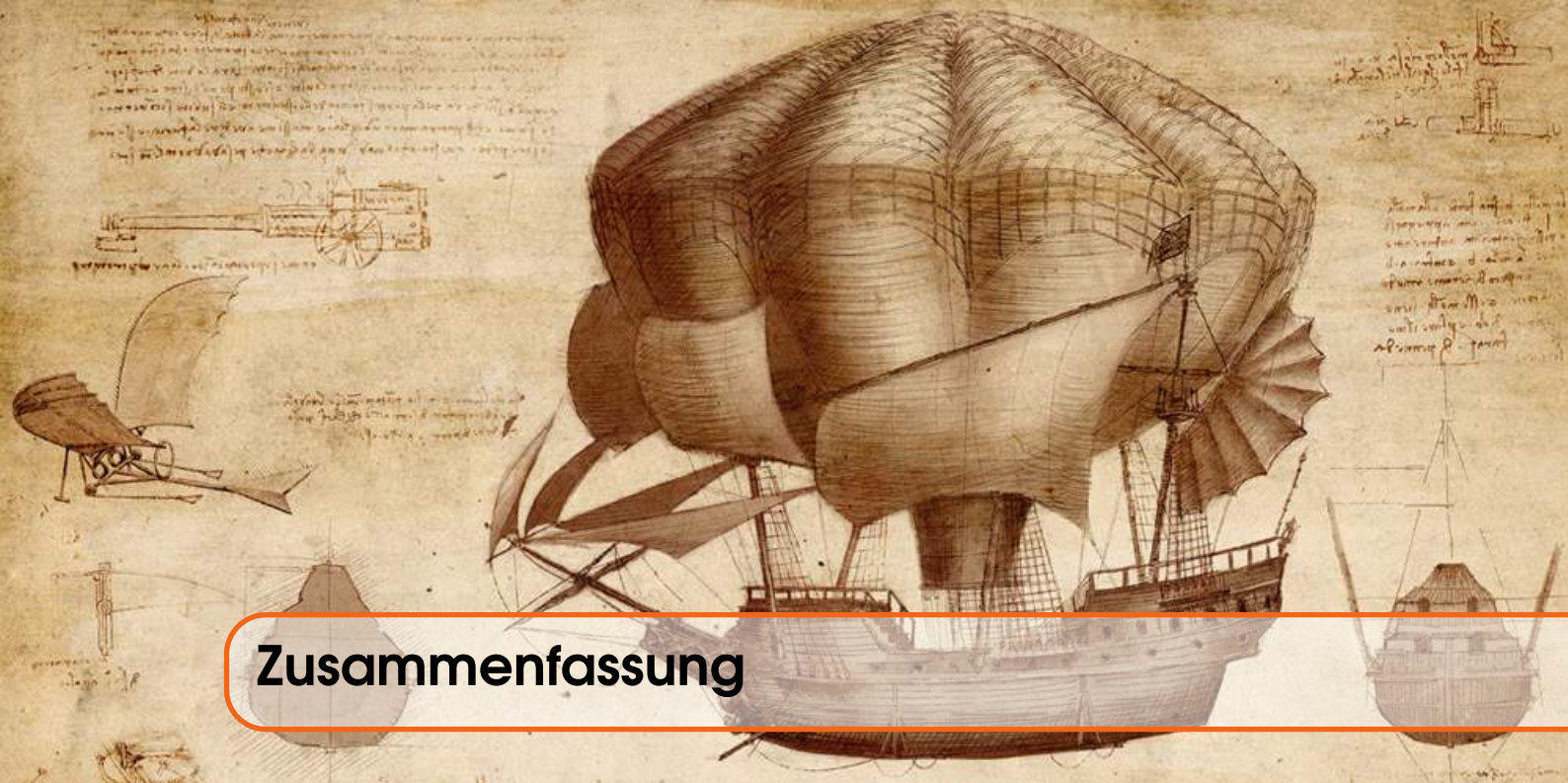


Abbildung 1: Die Philosophie des Berichts mit drei Ebenen von in sich verschachtelten Informationen, von einer strategischen Übersicht hin zu einer operativen und einer anschaulichen Ebene. Die Informationen werden automatisch der DEFTECH Plattform entnommen, bevor sie in einen militärischen Kontext gestellt werden.







## Zusammenfassung

Technologiefrüherkennung ist ein Instrument für die langfristige Vorausschau, die auf die Unterstützung von strategischen Entscheidungen abzielt.

Investitionen im zivilen Bereich sowie technologische Entwicklungen haben die militärischen Ressourcen in vielen Forschungsbereichen überwältigt; dies bedeutet, dass Dual-Use-Technologien auf dem Schlachtfeld immer präsenter und wichtig werden, da neue Kombinationen existierender Komponenten in erheblich leistungsfähiger Art und Weise verwendet werden. Gleichzeitig bringt die Entwicklung bei der Kriegsführung die etablierten Streitkräfte in Wechselwirkung mit neuen Akteuren, die neue Kampfmethoden benutzen. Die resultierende Asymmetrie der Konflikte bietet einen fruchtbaren Boden für den Einsatz und die Verbindung von neuen Technologien.

Die wichtigsten Entwicklungen unterstützen ein Wachstum in vier Richtungen; diese Entwicklungen betreffen folgende vier im Kampf vorhandenen Elemente: Geschwindigkeit, Lagebild & Vernetzung, Präzision und Entfernung/Reichweite. Die vier Typen von Trends mit ihren zugrunde liegenden Technologien stützen und verbessern die Zuverlässigkeit und die Geschwindigkeit in jeder Phase des OODA (Observe-Orient-Decide-Act) Loops direkt; der für den Sieg in jedem Kampf als zentral angesehen wird.

Das Programm Technologiefrüherkennung für die Verteidigung befasst sich mit allen beobachtbaren technologischen Trends, die Auswirkungen auf die Verteidigungslandschaft haben könnten. Die Verwendung einer gemeinsamen Taxonomie verknüpft die Technologien mit der Industrie und den militärischen Fähigkeiten. Unter Einsatz von gezielten Forschungsmethoden für neue Entwicklungen können fünf Hauptkategorien mit ihren zugrunde liegenden, unterstützenden Clustern identifiziert werden. Es gibt eine signifikante Wechselwirkung zwischen allen Aspekten in einer stets dynamischen und wandelbaren Landschaft; denn eine Technologie unterstützt sowohl andere Technologien und wird auch durch diese für mehrfache Anwendungsrichtungen unterstützt. Indem die verschiedenen Technologiefelder in die nachgenannten Kategorien umgruppiert werden, lassen

<b>Geschwindigkeit</b>	Die Geschwindigkeit nimmt zu, unterstützt durch Entwicklungen in Bereichen von Mobilität bis Informatik.
<b>Lagebild &amp; Vernetzung</b>	Ein Lagebild über mehrere Elemente wie Standort, physikalische Indikatoren, Situation steht dank Kommunikation und vernetzten Sensoren überall und jederzeit zur Verfügung.
<b>Präzision</b>	Von der Beobachtung bis zum Eingreifen ermöglichen Sensoren und Rechenleistung den stochastischen Modellen, Munition besser zu lenken oder Entscheidungen zu validieren.
<b>Distanz &amp; Reichweite</b>	Distanz ist kein Thema mehr, denn Systeme können aus dem Einsatzgebiet ferngesteuert werden.

sich die folgenden Trends identifizieren.

### **Information & Kommunikation** - *Herausforderung von Big Data und künstlicher Intelligenz*

Mit zunehmender Rechenleistung und der Vielfalt von Datenquellen, von Sensoren bis zu sozialen Netzwerken, wächst die Menge an verfügbaren Informationen über alles und jedes exponentiell mit der Zeit. Da die Kommunikationsmittel sich parallel entwickeln, wird jede beliebige Information an jedem Ort und zu jeder Zeit verfügbar sein. Netzwerkzentrierte Kriegsführung weitet sich aus, ebenso die Bedrohung der Cyber-Sicherheit.

Mit erhöhtem Rechenvermögen werden die künstliche Intelligenz und das maschinelle Lernen dazu verhelfen, aus der Big Data Herausforderung Sinn zu generieren, und die Vorhersage zukünftiger Verhaltensweisen sowie die Echtzeit-Darstellung von Szenarien zu ermöglichen, die ein verbessertes situationsbezogenes Lagebild und verbesserte Entscheidungsprozesse begünstigen können.

Die in dieser Kategorie betrachteten Technologiecluster sind: *Kommunikation, Informatik, Cyber-Sicherheit, Internet der Dinge, Schnittstellen, Monitoring, Simulation, Social Crowd*

### **Energie** - *Der Schwerpunkt auf Effizienz und Diversität*

Die Möglichkeiten zur Beschaffung von Energie verdichten sich zunehmend, da alternative Methoden in diesem Bereich den Weg zu erneuerbaren Energiequellen wie Sonne, Wind oder Biokraftstoffe öffnen. Die Fortschritte bei der Lagerung, Ladung/Erzeugung und dem Gewicht sind einige der Schlüsselfaktoren für autonome und ferngesteuerte Systeme.

Gleichzeitig mit den erneuerbaren Energien erhofft man von kompakter Kernfusion und Mikrokernreaktoren, die Notwendigkeit von funktionsfähigen, logistischen Energieleitungen zu reduzieren. Strahlenwaffen auf Basis von Lasern und Hochleistungs-Mikrowellen werden die herkömmlichen Mittel der Kriegsführung ergänzen.

Die betrachteten Technologiecluster sind: *Effizienz, Management, Antriebe, Lagerung, Transformation*

### **Nanotechnologie & Werkstoffe** - *Ermöglichen von Hochleistung und Anpassungsfähigkeit*

Nanotechnologien ermöglichen die Herstellung von leichteren, stärkeren, zuverlässigeren, kostengünstigeren, leistungsfähigeren und flexibleren elektronischen, magnetischen, optischen und



mechanischen Geräten. Materialien mit neuen, unterschiedlichen Eigenschaften werden erscheinen; so etwa selbst-adaptierende Materialien, die auf die Umwelt reagieren, einschliesslich selbstheilende Materialien.

Verschiedene Herstellungsmethoden, wie etwa Atomically Precise Manufacturing (APM) und Additive Manufacturing (3D-Druck) bieten neue Möglichkeiten für die Logistik und ermöglichen die Schaffung und Produktion von neuen Formen und Gebilden.

Die betrachteten Technologiecluster sind: *chemische Basisverbindungen, Biologie, Konstruktion, Geräte, Reaktivität*

#### **Biowissenschaften** - *Die genetische, synthetische Revolution und der erweiterte Soldat*

Mit dem rasch zunehmenden Vermögen zur Manipulation von DNA und zur Erschaffung von synthetischen Organismen ist es nun möglich, menschliche genetische Defekte oder Schwachstellen besser zu verstehen und Einzelpersonen oder Gruppen spezifisch anzuvisieren. Die Rekrutierung von Soldaten könnte bereits vor der Geburt beginnen. Neuartige chemische und biologische Waffen könnten immer häufiger erscheinen; was einfach durch die kostengünstige Herstellung von Mikroorganismen ermöglicht wird.

Erweiterungen beim Menschen reichen von externen Systemen wie Exoskeletten bis zu internen Systemen wie wahrnehmungsverstärkenden Nootropika, welche die Leistung des menschlichen Gehirns erhöhen. Sie zielen darauf ab, robustere und ausdauerndere Soldaten zu produzieren, bei denen die Gesundheit ständig überwacht und ihre Fähigkeiten verbessert werden.

Die betrachteten Technologiecluster sind: *Biomedizinaltechnik, Biotechnologien, kognitive & umweltbezogene Datenerfassung, medizinische Gesundheit, Vernetzung, Sensoren, Sozialwissenschaften*

#### **Systeme** - *Die Robotik, autonome Systeme und Unterfangen im Weltall*

Die Zahl von unbemannten militärischen Systemen nimmt zu. Ausgehend von einem Menschen **im** Loop (wie etwa ferngesteuerte Drohnen), geht der Trend in Richtung von Systemen und Schwärmen von Systemen, die in der Lage sind, ohne einen menschlichen Bediener zu funktionieren und umfangreiche Aufgaben in komplizierten Umgebungen für längere Zeiträume zu bewältigen (Mensch **ausserhalb** des Loops). Unbemannte Systeme werden einen bedeutenden Einfluss auf die Logistik haben sowie auf die Art und Weise, wie Mensch und Maschine miteinander wechselwirken um in Schlachten zu kämpfen.


Kostengünstige Raumfahrt und Plattformen oberhalb der Atmosphäre bieten neue Chancen wie auch Gefahren für die kontinuierliche Beobachtung und Kommunikation.

Neue Präzisionslenkwaffen zusammen mit Hyperschall-Flugkörpern und verbesserte Gefechtskopf-Technologien werden eine wichtige Rolle bei der Durchführung von Operationen spielen.

Die betrachteten Technologiecluster sind: *Luftfahrt, Infrastruktur, Logistik, Robotik, Waffen*

Die derzeitige und natürliche Sichtweise über technologische Fortschritte besteht in einer Zeitachse, wo der Fortschritt als ein linearer Prozess angenommen wird; währenddessen er in Wirklichkeit unerschwinglich zu unseren Sichtweisen an Dynamik gewinnen kann, um dann explosionsartig ausser Kontrolle zu geraten. Ideen zu haben ist die Devise, und einfache Anwendungen können einen massiven Wirkungseffekt haben. Aus diesem Grund wird das gegenwärtige Ökosystem permanent beobachtet und ausgeweitet werden, damit die nächste Technologiewelle vorausgesehen wird!





# Inhaltsverzeichnis

I	Teil Eins	
<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Technologien &amp; die Zukunft der Kriegsführung</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Die verschiedenen Generationen der Kriegsführung</b>	<b>17</b>
2.1.1	Kriegsführung der ersten Generation .....	18
2.1.2	Kriegsführung der zweiten Generation .....	18
2.1.3	Dritte Generation der Kriegsführung .....	19
2.1.4	Vierte Generation der Kriegsführung .....	19
2.1.5	Fünfte Generation der Kriegsführung .....	19
2.1.6	Sechste Generation der Kriegsführung .....	20
<b>2.2</b>	<b>Weshalb neue Technologien übernehmen?</b>	<b>20</b>
<b>2.3</b>	<b>Militärische Technologie-Landschaft der Zukunft</b>	<b>21</b>
<b>2.4</b>	<b>OODA - Beobachten</b>	<b>23</b>
<b>2.5</b>	<b>OODA - Orientieren</b>	<b>25</b>
<b>2.6</b>	<b>OODA - Entscheiden</b>	<b>27</b>
<b>2.7</b>	<b>OODA - Handeln</b>	<b>28</b>
<b>3</b>	<b>Technology Foresight</b> .....	<b>31</b>
<b>3.1</b>	<b>Energie und Energiequellen</b>	<b>31</b>
3.1.1	Effizienz .....	32
3.1.2	Management .....	33

3.1.3	Antriebe	33
3.1.4	Speicherung	33
3.1.5	Energieumwandlung	34
<b>3.2</b>	<b>Information und Kommunikation</b>	<b>35</b>
3.2.1	Kommunikation	35
3.2.2	Informatik	35
3.2.3	Internet der Dinge	36
3.2.4	Cyber-Sicherheit	36
3.2.5	Schnittstellen	37
3.2.6	Simulation	37
3.2.7	Social Crowd	37
3.2.8	Beobachtung	38
<b>3.3</b>	<b>Biowissenschaften</b>	<b>39</b>
3.3.1	Biomechanik	39
3.3.2	Erfassen von Kognition und Umwelt	39
3.3.3	Biotechnologie	40
3.3.4	Medizinische Gesundheit	40
3.3.5	Netzwerke	41
3.3.6	Sensoren	41
3.3.7	Sozialwissenschaften	42
<b>3.4</b>	<b>Nanotechnologie und Werkstoffe</b>	<b>43</b>
3.4.1	Grundverbindungen	43
3.4.2	Biologie	43
3.4.3	Strukturgebung	44
3.4.4	Geräte	44
3.4.5	Werkstoffe	45
3.4.6	Reaktiv	46
<b>3.5</b>	<b>Systeme</b>	<b>47</b>
3.5.1	Luffahrt	47
3.5.2	Logistik	47
3.5.3	Robotik	48
3.5.4	Waffen	49
<b>4</b>	<b>Schlussfolgerung</b>	<b>51</b>

## II

## Teil Zwei

<b>5</b>	<b>Methodik</b>	<b>55</b>
5.1	Einführung	55
5.2	Erhebung der Informationen	57
5.3	Informationsplattform	59
5.4	Reifegrad	60
5.5	Verbreitung der Information	63
5.6	DEFTECH-Plattform	64

<b>6</b>	<b>Technologien</b> .....	<b>67</b>
6.1	3D Speicher-Chips	68
6.2	Augmented Reality	70
6.3	Bio-Authentifizierung	72
6.4	Biologisch erweiterte Sinne	74
6.5	Bionische Implantate	76
6.6	Schnittstelle Gehirn zu Gehirn	78
6.7	Maschinelles Sehen	80
6.8	Context-aware computing	82
6.9	Aufspüren von Emotionen	84
6.10	Holographische Technologien	86
6.11	Hypersonische Missiles	88
6.12	Immersive virtuelle Realität	90
6.13	Intelligente autonome Schwärme	92
6.14	Internet der Dinge	94
6.15	Labs on chips	96
6.16	Laser-Kommunikation	98
6.17	Maschinelles Lernen	100
6.18	Medizinische Nanobots	102
6.19	MEMS	104
6.20	Nano-Biotechnologie	106
6.21	Nano-Elektronik	108
6.22	Nano-Materialien	110
6.23	Transparentes photovoltaisches Glas	112
6.24	Tragbare Energieversorgung	114
6.25	Prädiktive Verhütung von Verbrechen	116
6.26	Quantencomputer	118
6.27	Selbstheilende Materialien	120
6.28	Smart Dust	122
6.29	Selbstanpassung Material	124
6.30	Meta-Materialien und dynamische Tarnung	126
6.31	Synthetische Biologie	128
6.32	Telepräsenz-Roboter	130
6.33	In die Kleidung integrierte Computer	132
	<b>Bibliography</b> .....	<b>135</b>
	Articles	135
	Reports	135
	Online	136
	<b>Index</b> .....	<b>137</b>





# Abbildungsverzeichnis

1	Die Philosophie des Berichts	5
1.1	Die Beschleunigung des menschlichen Fortschritts	14
1.2	Verwendung ziviler Technologien für militärische Zwecke	15
1.3	Die Komplexität der Aufgabe, Technologiefrüherkennung zu betreiben	16
2.1	Diagramm des als OODA-Loop bekannten Entscheidungszyklus	22
3.1	Querschnittstechnologien mit spezieller Relevanz für die Verteidigung	32
5.1	Von Technologiefrüherkennung bis zum Nutzen der Technologie	56
5.2	Darstellung des Technologiefrüherkennung angewandten Prozesses	57
5.3	Das Swissnex-Netzwerk über die Welt	58
5.4	Beziehungen zwischen Technologien, Industrie und (Schweizer) Armee	60
5.5	Bedeutung einer Technologie für die militärischen Fähigkeiten.	61
5.6	Berechnung des harmonischen Mittels als Indikator für den Reifegrad	62
5.7	Darstellung des Reifegrad-Indikators für die Lieferdrohne	63
5.8	Printscreen der DEFTECH Visualisierungsanwendung	64
5.9	DEFTECH Vision 2015	65
6.1	Querverweise bei den verschiedenen Technologien	67







# Teil Eins

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Technologien &amp; die Zukunft der Kriegsführung</b> .....	<b>17</b>
2.1	Die verschiedenen Generationen der Kriegführung	
2.2	Weshalb neue Technologien übernehmen?	
2.3	Militärische Technologie-Landschaft der Zukunft	
2.4	OODA - Beobachten	
2.5	OODA - Orientieren	
2.6	OODA - Entscheiden	
2.7	OODA - Handeln	
<b>3</b>	<b>Technology Foresight</b> .....	<b>31</b>
3.1	Energie und Energiequellen	
3.2	Information und Kommunikation	
3.3	Biowissenschaften	
3.4	Nanotechnologie und Werkstoffe	
3.5	Systeme	
<b>4</b>	<b>Schlussfolgerung</b> .....	<b>51</b>



The image shows a red Swiss flag with a white cross, flying on a black pole. In the background, there are several snow-capped mountain peaks under a clear blue sky. The scene is set in a high-altitude, alpine environment.

## 1. Einleitung

Um die Zukunft der Streitkräfte und ihrer operativen Fähigkeiten vorauszusehen, ist es von grösster Bedeutung, den Fortschritten in den zahlreichen zivilen und militärischen Technologiefeldern zu folgen. Der Hauptgrund dafür ist die wechselseitige Beziehung zwischen Doktrin und Technologie. Während die Doktrin aufzeigt, auf welche Art die Streitkräfte eingesetzt werden, werden durch die Technologien diese Einsätze erst ermöglicht, wobei die Art der Einsätze ihrerseits wieder die Verwendung der Technologien beeinflusst. Technologische Überlegenheit führt nicht unbedingt zum Erfolg. Jedoch nutzt eine erfolgreiche Doktrin oft das ganze verfügbare technologische Potenzial. Gleichzeitig ist es wichtig sicherzustellen, dass eine Doktrin dank technologischen Innovationen und anderen Entwicklungen wettbewerbsfähig gegen jeden Gegner sowie jede Form von Opposition bleibt. Unvertrautheit darf nicht mit Unwahrscheinlichkeit verwechselt werden. Somit besteht die Anforderung, ein profundes Wissen über die Richtung der technologischen Fortschritte aufrechtzuerhalten und die Möglichkeiten zu kennen, wie diese konvergieren und somit möglichen Gegnern einen Vorteil verschaffen könnten. Technologiscanning und Technologiemonitoring sind von zentraler Bedeutung für diesen Zweck. Durch Nutzung von Chancen sowie durch Risikobewertung und -beherrschung sind beide für die Entwicklung der nationalen Doktrin erforderlich, ebenso für die kontinuierliche Überarbeitung der Planungsszenarien [Defa].

Eine effektive Technologiefrüherkennung muss die Aufmerksamkeit auf neue Technologien und relevante Technologieentwicklungen richten, die sich auf die Sicherheitskräfte auswirken werden. Durch Technologiemonitoring, das einen etwas näheren Zeithorizont als Technologiefrüherkennung hat, können Sicherheitskräfte beraten werden, ob sie sich auf eine neue Technologie verlassen können oder nicht, ob sie sie übernehmen sollen (z.B. Austausch einer Technologie), und wann der richtige Zeitpunkt ist es zu tun. Auf der einen Seite wird gewährleistet, dass nur in ausgereifte Technologien investiert wird, und auf der anderen Seite wird sichergestellt, dass keine aufkommenden technologischen Fortschritte verpasst werden. Nur auf diese Weise können die finanziellen Mittel effizient in geeignete Technologien investiert werden [Defb].

Um das Risiko von Fehlinvestitionen zu minimieren, müssen Technologiebewertungen in die frühen Stadien von militärischen Projekten und Beschaffungsprozessen einbezogen werden. Zu

diesem Zweck werden die aktuellen technologischen Trends und Entwicklungen dank einer umfassenden Prognose und einem darauf ausgerichteten Monitoring ständig beobachtet. Der Schwerpunkt sollte nicht zu eng auf reine Verteidigungstechnologien gelegt werden; zivile Technologien mit Dual-Use Potenzial spielen eine zunehmend wichtige Rolle, da die Entwicklungszyklen sich tendenziell verkürzen, parallel zur Verkleinerung von militärischen Budgets für Forschung und Entwicklung.

Dieses breite Blickfeld ist die direkte Folge eines Paradigmenwechsels in der Technologieentwicklung, der in den vergangenen zwei Jahrzehnten stattgefunden hat. Während es früher offenkundig war, dass sowohl die militärische wie auch die Raumfahrtforschung, stets auf der Suche nach besserer Ausrüstung, den technologischen Fortschritt in den letzten Jahrhunderten angetrieben haben, wird das Tempo heute in vielen Bereichen durch den zivilen Markt und der schnelleren Entwicklung durch die Verbindung verschiedener Technologien diktiert, Abbildung 1.1.

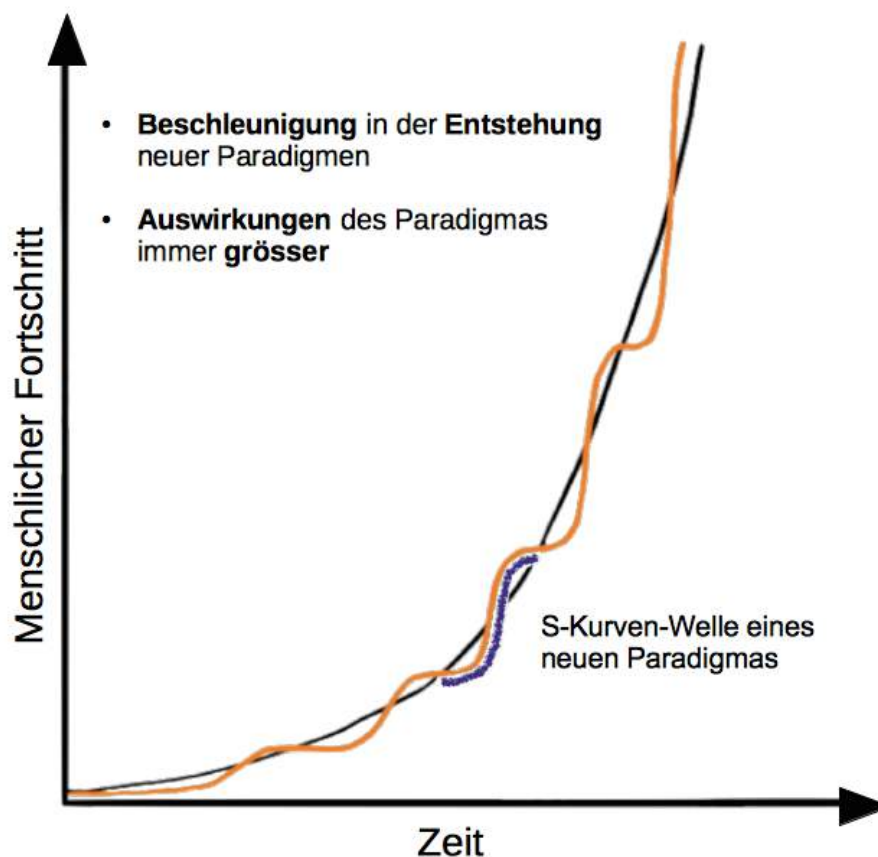


Abbildung 1.1: Die Beschleunigung des menschlichen Fortschritts wird nicht ausschliesslich, aber stark durch Verbesserungen bei den Technologien und der Verbindung derselben beeinflusst.

Da immer mehr Technologien sowohl im zivilen als auch im militärischen Umfeld einsetzbar sind, müssen die Sicherheitskräfte zunehmend Technologien aus dem zivilen Markt übernehmen. Dies kann in der Tat interessant sein, wenn man die ökonomische Perspektive betrachtet. Allerdings erfüllen absolut zufriedenstellende zivile Technologien nicht immer die Anforderungen der Notfalldienste, was zu teuren Anpassungen führt. In der Folge geschieht hier die Übernahme der neuesten Technologien weniger schnell als im zivilen. Während die Sicherheitskräfte in der Vergangenheit immer die neuesten verfügbaren Technologien verwendet haben, scheinen sie heute auf einer Verfolgungsjagd mit ihnen zu sein, Abbildung 1.2 (inspiriert durch [FH14]).

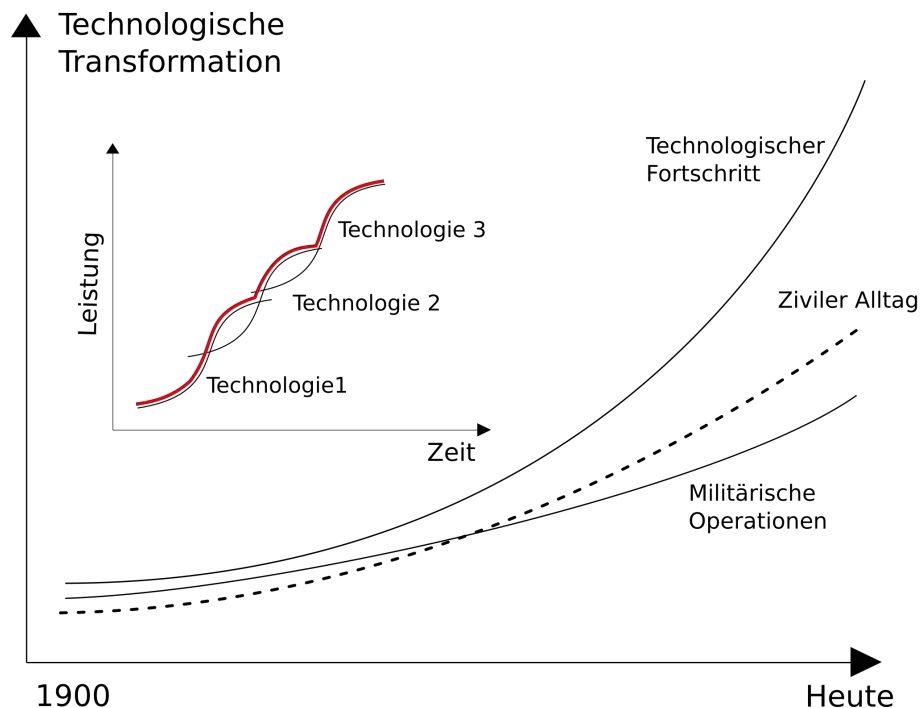


Abbildung 1.2: Der technologische Fortschritt spielt eine wichtige Rolle im täglichen Leben. Allerdings ist seine Einführung durch die Gesellschaft langsamer als das technologische Fortschreiten selbst. In den vergangenen Jahren wurden technologische Fortschritte jeweils für militärische vor den zivilen Operationen genutzt. In den letzten Jahren hat ein Paradigmenwechsel stattgefunden, was zu einer zunehmenden Verwendung ziviler Technologien für militärische Zwecke (Dual-Use) führt. Auf der roten Linie ist zu sehen, wie unterschiedliche Technologien im Laufe der Zeit eingesetzt werden können, um die Leistung einer Funktion zu verbessern.

Die Entwicklung der zivilen Technologien geschieht in einigen Bereichen sehr dynamisch, teilweise komplementär, manchmal parallel und in grosser Vielfalt. Das Ergebnis sind Produkte, die neue Möglichkeiten und Anwendungen eröffnen, aber auch neue Geschäftsmodelle, die alte zu verschwinden bringen. Dieses Phänomen wird *disruptiv* genannt. Weil sich disruptive Entwicklungen auf die Nachhaltigkeit von wirtschaftlichen, sozialen, rechtlichen, ethischen und betrieblichen Umgebungen auswirken können, müssen sie von den Sicherheitskräften erkannt und in ihren Entwicklungs- und Planungsprozesse einbezogen werden. Das Verständnis dieser Technologien ermöglicht es, sie besser einzubeziehen, aber auch die Bedrohung besser einzuschätzen, wenn sie vom Gegner verwendet werden.

Im allgemeinen sind Technologien in militärische Systeme integrierbar. Um erfolgreich zu sein, benötigen Systeme normalerweise mehrere befähigende oder komplementäre Technologien, die alle realisiert werden müssen, bevor das System selbst überlebensfähig wird, Abbildung 1.3, inspiriert von [Grü12]. Das macht das Prognostizieren zur schwierigen Aufgabe, denn man muss den Fortschritt in allen unterstützenden technologischen Komponenten begutachten, bevor das Gesamtsystem betrachtet werden kann [Toc14].

Als Teilbereich des Forschungsprogramms *Technologiefrüherkennung* werden technologische Entwicklungen beobachtet und ihre Relevanz für die staatlichen Sicherheitskräfte beschrieben. Es geht nicht so sehr darum, technologische Fortschritte vorauszusagen, sondern eher darum,

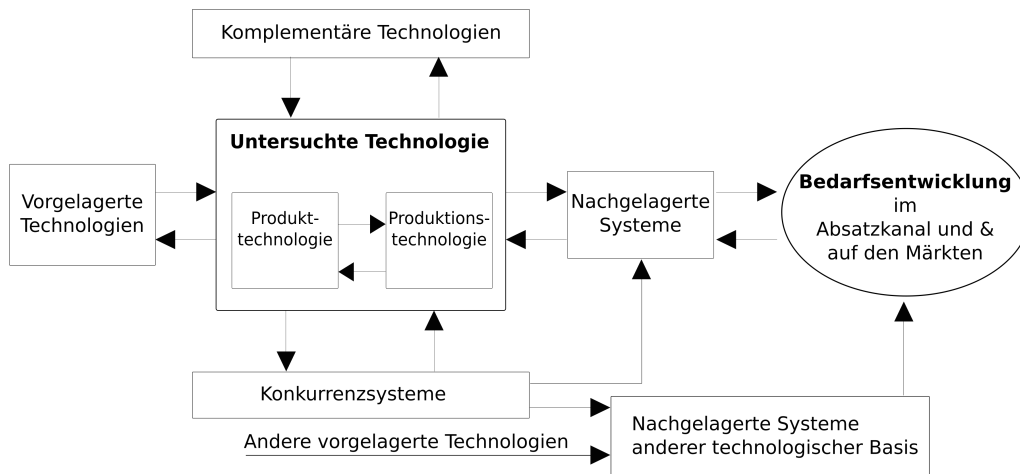


Abbildung 1.3: Die Komplexität der Aufgabe, Technologiefrüherkennung zu betreiben. Um zu verstehen, wie eine Technologie sich entwickeln wird, ist es gefährlich, sie für sich allein zu betrachten. Durch das Studium ihres Ökosystems und der Systeme, in denen sie eingebettet ist, erhält man eine bessere Vorstellung von ihrem Reifegrad und potenziell disruptiven Charakter.

zukünftig mögliche Szenarien mit einem strukturierten und kontinuierlich gesteuerten Ansatz zu skizzieren. Das Ergebnis wird dann mit den Interessenten diskutiert und einen Beitrag für die Entwicklungs- und Planungsprozesse der Streitkräfte liefern. Die Beschaffungsstelle sollte rechtzeitig und möglichst genau wissen, welche neuen Technologien am Aufkommen sind und welche Relevanz sie für die militärische Ausrüstung haben. Sie muss mit Sicherheit wissen, ob die Einführung einer neuen Technologie entbehrlich, nützlich oder unbedingt notwendig ist.





## 2. Technologien & die Zukunft der Kriegsführung

Die Einschätzung über die Auswirkung von Technologien auf die zukünftige Kriegsführung kann nicht für sich allein gemacht werden, ohne die Entwicklung bei der Kriegsführung wie auch das soziale und politische Umfeld zu berücksichtigen, in dem sich diese entwickelt hat. *Wie, wo und wer* auch immer kämpft, die neuen Konflikte haben einen Einfluss auf die Technologien, die eingesetzt werden. Auch wenn es nicht klar erscheinen mag, in welcher Art Technologien zukünftig miteinander kombiniert und eingesetzt werden, wird das Verständnis der Zusammenhänge dazu beitragen, sie zu identifizieren und hoffentlich Gegenmassnahmen sowie Probleme, die auftreten werden, vorweg zu nehmen.

Die hier vorgestellte Periodisierung dient vor allem dazu, den Kontext, in dem wir uns in den kommenden Jahren weiterentwickeln werden, zu strukturieren. Die Merkmale der verschiedenen Generationen sind natürlich diskutabel.

### 2.1 Die verschiedenen Generationen der Kriegsführung

Der Begriff der Kriegsführung, so wie auch Sieg und Niederlage, hat sich in der Neuzeit entwickelt, immer eng verknüpft mit Fortschritten und Veränderungen bei den Technologien und bei der Strategie. Es ist wichtig anzumerken, dass diese Generationen trotz der Tatsache, dass sie in verschiedenen Zeiträumen auftreten, koexistieren können, je nachdem wie die Gegner handeln.

### 2.1.1 Kriegsführung der ersten Generation

<b>Titel</b>	Menschliche Kräfte in grossen Massen
<b>Auftreten</b>	1648 (Ende des 30-jährigen Krieges)
<b>Akteure</b>	Staaten, kleine Berufsarmeen
<b>Strategie</b>	Zerstörung der feindlichen Front
<b>Kampfmethode</b>	Mann gegen Mann
<b>Technologien</b>	Gewehre
<b>Wendepunkt</b>	Die erhöhte Genauigkeit und Mündungsgeschwindigkeit der gezogenen Flinte und des Hinterladers machten das Konzept von auf einer Linie kämpfenden Soldaten unausführbar, dies aufgrund der schweren Verluste, die durch diese neuen Technologien verursacht wurden.

Tabelle 2.1: Erste Generation der Kriegsführung

### 2.1.2 Kriegsführung der zweiten Generation

<b>Titel</b>	Wehrpflicht
<b>Auftreten</b>	1793 (Napoleon)
<b>Akteure</b>	Staaten, Milizarmeen
<b>Strategie</b>	Entscheidende Schlachten anstreben, um die Armee des Gegners sowie seine Widerstandskraft zu zerstören.
<b>Kampfmethode</b>	Mann gegen Mann
<b>Technologien</b>	Gewehre, Artillerie
<b>Wendepunkt</b>	Aufstieg einer neuen Ideologie: der Nationalismus. Verwendung der Eisenbahn, um Versorgung und Soldaten zu transportieren.

Tabelle 2.2: Zweite Generation der Kriegsführung

### 2.1.3 Dritte Generation der Kriegführung

<b>Titel</b>	Geballte Feuerkraft
<b>Akteure</b>	1915
<b>Actors</b>	Staaten
<b>Strategie</b>	Zerstörung der gegnerischen Kampfkraft (militärisch und zivil, falls nötig).
<b>Kampfmethode</b>	Feste Geschütze gegen Soldaten
<b>Technologien</b>	Hinterlader, Mehrlader, Maschinengewehr, Artillerie, Tarn-Uniformen, Radio, Eisenbahn
<b>Wendepunkt</b>	Der Einsatz des Blitzkriegs während der deutschen Invasion in Frankreich demonstrierte die Überlegenheit von Geschwindigkeit und Beweglichkeit über statische Artilleriestellungen und Grabenkrieg.

Tabelle 2.3: Dritte Generation der Kriegführung

### 2.1.4 Vierte Generation der Kriegführung

<b>Titel</b>	Strategisches Manövrieren
<b>Auftreten</b>	1939
<b>Akteure</b>	Staaten
<b>Strategie</b>	Zerstörung der gegnerischen Führung
<b>Kampfmethode</b>	Panzer/Bomber gegen Städte/Armeen
<b>Technologien</b>	Panzer, mechanisierte Infanterie, Flugzeuge, Helikopter, Flugkörper
<b>Wendepunkt</b>	Konflikte mit Einbezug von nicht-staatlichen Akteuren und Verlust des praktisch staatlichen Monopols über die Kampfkräfte, Rückkehr zu Konfliktformen wie in der vormodernen Zeit üblich.

Tabelle 2.4: Vierte Generation der Kriegführung

### 2.1.5 Fünfte Generation der Kriegführung

<b>Titel</b>	Dezentralisierte und psychologische Kriegführung
<b>Auftreten</b>	1945
<b>Akteure</b>	Staaten und nicht-staatliche Akteure
<b>Strategie</b>	Siegen indem man nicht verliert
<b>Kampfmethode</b>	Propagandisten gegen Bevölkerung
<b>Technologien</b>	Militärische Technologien, die sowohl für Staaten als auch für nicht-staatliche Akteure zugänglich sind (Drohnen, Flugkörper, etc.). Gleichzeitige Verwendung von alten und neuen Technologien.
<b>Wendepunkt</b>	Noch nicht erreicht.

Tabelle 2.5: Fünfte Generation der Kriegführung

### 2.1.6 Sechste Generation der Kriegsführung

<b>Titel</b>	Unsichtbare/intellektuelle Kriegsführung [Dan]
<b>Auftreten</b>	9/11 2001
<b>Akteure</b>	Staaten und nicht-staatliche Akteure
<b>Strategie</b>	So agieren, dass die eine Seite nicht weiss, gegen wen sie kämpft, oder besser noch, dass sie sich gar nicht bewusst ist, dass da jemals ein Krieg stattfand.
<b>Kampfmethode</b>	Zellen gegen Staaten, Zellen gegen Bevölkerung
<b>Technologien</b>	Alle Technologien und mögliche neue Verbindungen dieser Technologien.
<b>Wendepunkt</b>	Noch nicht erreicht.

Tabelle 2.6: Sechste Generation der Kriegsführung

Die Entwicklung von Technologien fördert einen kompletten Paradigmenwechsel der Konflikte, wie in Tabelle 2.7 dargestellt. Dies bedeutet nicht, dass diese Konflikte unter Einsatz der neuesten Technologien stattfinden, aber sie werden höchstwahrscheinlich durch sie gefördert und ermöglicht (soziale Medien, Satellitentelefon, etc.)

<b>Paradigma des traditionellen Konflikts</b>	<b>Paradigma des neuartigen Konflikts</b>
Spezifischer Zeitpunkt und Ort <i>Begegnung auf einem Schlachtfeld</i>	Ausweitung der räumlichen Dimension <i>Geografische Unbestimmtheit des Einsatzgebiets</i>
Scharf abgegrenzter sequentieller Zeitrahmen <i>Klar erkennbarer Anfang und Ende des Gefechts</i>	Wandel des zeitlichen Elements <i>Simultane Vielzahl von Interaktionspunkten; simultane Beschleunigung und Entschleunigung des Einsatzes</i>
Wohl-definierte Akteure <i>Soldaten (als Vertreter des Staates), Zivilisten</i>	Veränderung in der Identität der Kriegsteilnehmer <i>Verwischung von kämpfenden/zivilen Gattungen</i>
Armeen greifen Armeen an <i>Militärische Ziele, Belagerungskrieg, Verhältnismässigkeit</i>	Ausweitung der Zielarten <i>Zunehmendes Vermischen von zivilen und militärischen Zielen</i>
Traditionelle Waffen <i>Gezielter Einsatz von kinetischer Energie</i>	Systematisierung von asymmetrischer Kriegsführung <i>Erweiterung der Kampfplattform; Bewaffnung von zivilen Anlagen</i>

Tabelle 2.7: Die Entwicklung der Konflikt-Paradigmen nach 9/11, [Moh05]

## 2.2 Weshalb neue Technologien übernehmen?

Das Prinzip der Einführung von neuen Technologien in der modernen Kriegsführung bestand schon immer in einem vorübergehenden **Vorteil** für denjenigen, der sie besass. Technologie allein,

sei es zivil oder militärisch, genügt nicht, aber die Entwicklung der verschiedenen Generationen von Kriegsführung zeigte, dass sie ein wichtiger Treiber und Befähiger ist. Da das Tempo der technologischen Entwicklung exponentiell anwächst, ist es unerlässlich, der Entwicklung voraus zu bleiben, um einen strategischen Vorteil zu erhalten.

Es ist jedoch ausserordentlich wichtig zu erwähnen, dass Technologie allein nicht genügt. Ein rein technologischer Ansatz wäre irreführend, da es bei der Strategie darum geht, auf welche Weise man Technologie verwendet: deshalb sind Investitionen im Bereich der menschlichen Faktoren sowie Innovation in der Doktrin entscheidend.

Die Einführung neuer Technologien wird auch als notwendig angesehen, um dem Gegner einen einseitigen militärischen Vorteil zu verwehren. Seit der Erschaffung von Kernwaffen ist, angesichts der verheerenden Wirkung bei möglicher Verwendung solcher Waffen, das strategische Ziel für den Besitz einer solchen Technologie die **Nichtverwendung** dieses Mittels. Dies mag in Anbetracht des eigentlichen Zwecks einer Technologieentwicklung paradox erscheinen.

### 2.3 Militärische Technologie-Landschaft der Zukunft

Der hier betrachtete Ansatz zur Voraussage der militärischen Technologie-Landschaft der Zukunft ist das Verständnis der wichtigsten Trends und Wünsche, die zur Entwicklung neuer Technologien führen, noch bevor die verschiedenen Technologien selbst präsentiert werden. Wie in Abschnitt 2.1, angesprochen, gibt es eine durch Technologien unterstützte Entwicklung in der Kriegsführung. Die zukünftigen Entwicklungen können mit den vier folgenden, in Tabelle 2.8 vorgestellten Trends in Verbindung gebracht werden.

---

<b>Geschwindigkeit</b>	Die Geschwindigkeit nimmt zu, unterstützt durch Entwicklungen in Bereichen von Mobilität bis Informatik.
<b>Lagebild &amp; Vernetzung</b>	Ein Lagebild über mehrere Elemente wie Standort, physikalische Indikatoren, Situation steht dank Kommunikation und vernetzten Sensoren überall und jederzeit zur Verfügung.
<b>Präzision</b>	Von der Beobachtung bis zum Eingreifen ermöglichen Sensoren und Rechenleistung den stochastischen Modellen, Munition besser zu lenken oder Entscheidungen zu validieren.
<b>Distanz &amp; Reichweite</b>	Distanz ist kein Thema mehr, denn Systeme können aus dem Einsatzgebiet ferngesteuert werden.

---

Tabelle 2.8: Die vier wichtigsten Trends, welche die Zukunft der Kriegsführung beeinflussen werden.

Setzt man die vier Trends in den Kontext des OODA-Loops (Observe-Orient-Decide-Act, d.h. beobachten, orientieren, entscheiden, handeln), Abbildung 2.1, erkennt man, dass die militärische Technologie-Landschaft der Zukunft zur Optimierung jedes Teils des Loops sowie auch des Gesamten beiträgt. Dies geschieht auf verschiedenen Ebenen; von der Verbesserung der Verlässlichkeit der Informationen bis zur vollständigen Automatisierung des Entscheidungsprozesses. Der Mehrwert des OODA-Loops ist, dass er die Essenz des Entscheidungsprozesses erfasst und auf die gesamte Hierarchie der Streitkräfte anwendet; vom einzelnen Soldaten einer lebensbedrohlichen Situation

gegenüber bis hin zum strategisch führenden General einer Armee. Man ist davon überzeugt, dass der Akteur, der durch alle vier Phasen (und nicht nur die letzte) so schnell wie möglich gehen kann, Überlegenheit erreichen und letztlich eine direkte Konfrontation gewinnen wird.

*Unter der OODA-Loop-Theorie beobachtet jeder Kämpfer die Situation, orientiert sich, entscheidet was zu tun ist und tut es dann. Wenn sein Gegner dies jedoch schneller tun kann, werden seine eigenen Handlungen überholt und von der wahren Situation abgekoppelt, und der Vorteil seines Gegners wächst geometrisch an. - John Boyd*

In den folgenden Unterabschnitten wird versucht, die verschiedenen Technologietrends, die jede Phase des Prozesses beeinflussen, vorzuführen. Man beachte, dass OODA auf den Prozess der Technologiefrüherkennung selbst angewendet wird.

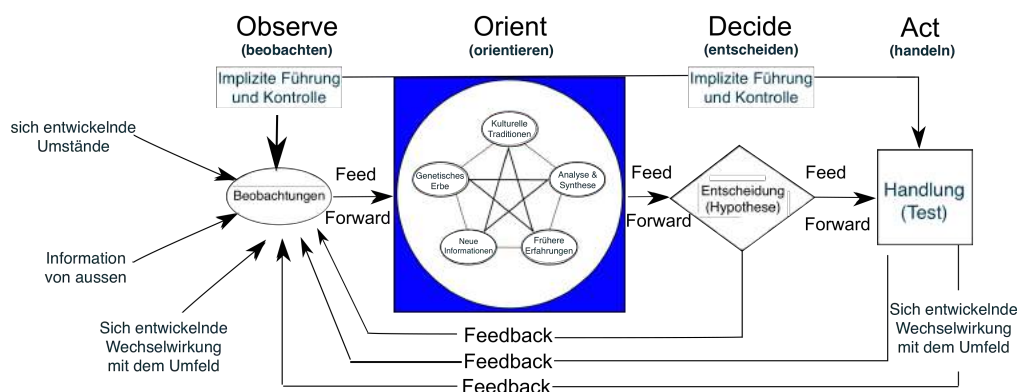


Abbildung 2.1: Diagramm des als OODA-Loop bekannten Entscheidungszyklus (allgemein auch Boyd-Zyklus genannt).

*Man beachte, wie die Orientierung die Beobachtung prägt, diese die Entscheidung prägt, diese die Handlung prägt und selbst wiederum geprägt wird durch andere Phänomene, die in unser Wahrnehmungs- oder Beobachtungsintervall gelangen.*

*Ebenso beachte man, wie der gesamte Loop (nicht nur die Orientierung) ein fortlaufender, vielseitiger, impliziter Prozess mit Querverweisen aus Vorausschau, Einfühlung, Wechselbeziehung und Verwerfung ist. [Boy95]*



## 2.4 OODA - Beobachten

---

<b>Vorausschau</b>	<p>Ununterbrochene und allgegenwärtige Beobachtung wird durch eine Vielfalt von miteinander verbundenen Sensoren in allen Umgebungen ermöglicht: Meer, Land, Luft und Weltraum.</p> <p>Gleichzeitiger Zugriff auf eine mikro-/detaillierte und makro-/breite Skala von Informationen steht für alle Arten von Werten (individuelle, ökologische, kontextbezogene, politische, etc.) zur Verfügung.</p> <p>Verhalten und Muster von physischen und digitalen Aktivitäten sind abrufbar, ebenso die Messwerte aller interessierenden Substanzen (chemisch, biologisch, etc).</p> <p>Zuverlässige und sichere Verbindungen werden zur einer Schlüsselkomponente, um die Überlegenheit über das aktuelle Lagebild aufrechtzuerhalten. Ein umfassendes Lagebild wird erreicht im Sichtbaren, im Messbaren und im Nachweisbaren, womit die notwendigen Eingaben für die Vorhersage bereitgestellt werden.</p>
<b>Geschwindigkeit</b>	<p>Die Zeitfolge zwischen dem Auftreten und der Bestätigung eines Ereignisses ist beinahe unmittelbar.</p>
<b>Lagebild &amp; Vernetzung</b>	<p>Zahlreiche Quellen von verschiedenen Informationsformen (schriftlich, sprachlich, bildhaft, messbar, etc.) werden zusammengeführt, um synthetische und verlässliche Inhalte zu liefern. Die Informationen werden unmittelbar allen interessierten Beteiligten zugänglich gemacht, unabhängig von deren Standort.</p>
<b>Präzision</b>	<p>Von <i>Smart Dust</i> bis hin zu Satelliten erlaubt die Vielfalt von verfügbaren Sensoren eine massgeschneiderte Aufarbeitung der gesammelten Informationen, die dem genauen Zweck der Anforderungen dient.</p>
<b>Reichweite</b>	<p>Der Begriff des physikalischen Abstands wird hier durch die Zugänglichkeit zu den ursprünglichen Beobachtungen/Daten ersetzt.</p>

---



### Situationsbezogene Technologietrends

Durch eine Vielzahl von verteilten, vernetzten Sensoren im/auf dem Meer, Land, Luft und Weltraum generiert, werden Signale von Detektoren unterschiedlicher Art (*Labs on the Chip*) in Echtzeit verarbeitet und zusammengeführt, um einen kontinuierlichen Fluss von Analysen zu gewünschten Themen zu ermöglichen. On-Board-Verarbeitung ermöglicht Bild-, Video- und Spracherkennung direkt auf den Sensoren, die durch selbst ladende Akkus betrieben werden und dem Sensor Autonomie gewähren. Der Zustand aller Objekte wie Menschen (*Quantified Self*), Systeme, Umgebungen und Prozesse ist ununterbrochen bekannt und unter Kontrolle. Fortschritte bei der Beobachtung fordern auch jede neue Stealth-Strategie und Freund-Feind-Identifizierung heraus.

Gesicherte drahtlose Massenkommunikation ermöglicht permanenten Zugang zu einer wachsenden Menge an Daten von überall her. Die Besorgnis um die Cyber-Sicherheit nimmt zu, da die Zugänglichkeit und die Zuverlässigkeit der Daten ebenso wie die ihrer Quellen von grösster Bedeutung ist. Big-Data-Analyse und Visualisierung bieten die notwendige Unterstützung, um aus dem Rauschen synthetische Informationen und Sinn zu erzeugen.

Semantische Analyse, automatische Übersetzer und künstliche Intelligenz angewandt auf menschliche Wechselbeziehungen, von sozialen Netzwerken bis hin zur persönlichen Kommunikation, vermitteln besseres Verständnis wie auch Möglichkeiten zur Wechselwirkung zwischen Akteuren verschiedener Art, Herkunft und Traditionen.

Die Konvergenz aller Fortschritte in den verschiedenen Bereichen führt in Richtung eines zunehmend unbefangenen *mental*en Modells der Wirklichkeit, da die Entwicklungen sofort durch die Beobachtungen wiedergegeben werden.

### Verwandte Technologie-Cluster

- Kognitive Umwelt
- Kommunikation
- Informatik
- Cyber-Sicherheit
- Energiespeicher
- Medizinische Sensoren
- Beobachtung
- Sozialwissenschaften

## 2.5 OODA - Orientieren

---

<b>Vorausschau</b>	<p>Vorherrschaft von Datenfusion und Statistik um die Informationen darzustellen und um dazu zu verhelfen, die Situation auf objektive Weise zu verstehen.</p> <p>Direkter Zugang zu globalem Wissen in allen Bereichen und zu früheren Erfahrungen ermöglicht die Validierung der Annahmen und die Aufstellung möglicher Szenarien.</p> <p>Die Darstellung der Informationen ist intuitiv und gegebenenfalls integriert in eine virtuelle Umgebung, überlagert mit der Realität.</p>
<b>Geschwindigkeit</b>	<p>Intuitive Darstellung der Informationen hilft dem Menschen, die Situation schneller zu verstehen und minimiert daher die Verzögerung zwischen der Beobachtung und ihrer Interpretation. Die Anpassungsfähigkeit wird verbessert.</p>
<b>Lagebild &amp; Vernetzung</b>	<p>Die Verschmelzung von bisherigen Erfahrungen und allen relevanten Informationsquellen unterstützt die Bildung einer zuverlässigen Darstellung der Situation.</p>
<b>Precision</b>	<p>Subjektive Interpretationen werden vermindert, was zu einer genaueren Einschätzung der Situation führt.</p>
<b>Reichweite</b>	<p>Alle Informationen, die notwendig sind um zum Entscheid zu kommen, werden an die betreffende Person unabhängig von ihrem Standort geliefert.</p>

---

### Situationsbezogene Technologietrends

Die ständige Verbesserung der Rechenleistung ermöglicht die Berechnung von wesentlichen Datenmengen - Big Data. Visualisierung von Big Data und Analytik ermöglichen die Beobachtung von Trends, die das menschliche Gehirn aufgrund der Komplexität der Daten nicht verarbeiten kann. Zudem ermöglichen sie der künstlichen Intelligenz (KI), Analysen, Vorhersagen und Prognosen für die Situation über mögliche Zukunftsszenarien zu geben und folgenbewusste Massnahmen vorzuschlagen. Angesichts der zahlreichen berücksichtigten Parameter werden Computermodelle meist das mentale Modell der Situation beeinflussen.

Erweiterte und virtuelle Realität erleichtern das Verständnis und die Darstellung der Situation. Die Orientierung kann direkt da geschehen, wo die Beobachtung oder die Handlung erfolgt, selbst wenn der Integrationsprozess für alle verschiedenen Informationsquellen anderswo stattfindet. Die Leute im Feld werden beispielsweise mit Systemen und Displays ausgerüstet, auf denen synthetisierte Informationen zur Unterstützung des Entscheidungsprozesses erscheinen. Die Schnittstelle Mensch-Maschine wird verbessert, um auf digitale Informationen direkt zuzugreifen. Die Feedback-Schleife mit den Beobachtungen ist verkürzt und auch sogar eine komplexe Neuorientierung kann unverzüglich geschehen.

Informationen und Wissen sind nicht mehr die Privilegien von Befehlshabern (Internet, soziale Medien, Experten, etc.).

### Verwandte Technologie-Cluster

- Biomechanik
- Informatik
- Vernetzung
- Robotik
- Simulationen
- Schnittstellen

## 2.6 OODA - Entscheiden

---

<b>Vorausschau</b>	Entscheidungen werden durch Statistiken und künstliche Darstellungsweisen gestützt und vorgeschlagen. Die verschiedenen Alternativen sowie deren jeweilige Folgen werden aufgezeigt und diejenige, welche die festgelegten Kriterien optimiert, ausgewählt. Unter Umständen werden die Entscheidungen nicht mehr von Menschen gemacht.
<b>Geschwindigkeit</b>	Unterstützte (empfohlen) Entscheidungen sind die Ergebnisse von algorithmischen Modellen und kommen direkt aus dem Orientierungsphase.
<b>Lagebild &amp; Vernetzung</b>	Entscheidungen werden nach Simulation und Bewertung von deren Folgen gefällt.
<b>Präzision</b>	Die Entscheidung wird als die geeignetste Wahl zwischen mehreren Alternativen (im Idealfall) betrachtet.
<b>Reichweite</b>	Da die Entscheidungen durch Maschinen gestützt werden, besteht im Verantwortungsgefühl für eine Handlung eine Distanz.

---

### Situationsbezogene Technologietrends

Aufgrund der Entwicklung von Waffen mit zunehmender Leistungsfähigkeit bezüglich Geschwindigkeit, müssen die Entscheidungen unter Berücksichtigung von immer mehr Elementen immer schneller gemacht werden. In der Folge öffnen vorgeschlagene Entscheidungen, resultierend aus berechneten Szenarien und Optimierungsaufgaben, den Weg zur Autonomie und zu Systemen mit dem Mensch ausserhalb des Loops.

Eine grosse Herausforderung, mit der man wegen der zukünftigen Bedeutung der künstlichen Intelligenz konfrontiert wird, ist die Ausbreitung der Entscheidungsfindung hin zu nicht-menschlichen Objekten.

### Verwandte Technologiecluster

- Robotik
- Vernetzung
- Sozialwissenschaften
- Biomechanik
- Informatik
- Schnittstellen

## 2.7 OODA - Handeln

---

<b>Vorausschau</b>	Mögliche Handlungen werden gleichzeitig geprüft und diejenige mit der dem am meisten zufrieden stellenden Resultat ausgewählt. Die Systeme können durch Akteure oder aus der Ferne mit einem Mensch im, auf dem oder aus dem Loop betätigt werden. Die Akteure, Mensch und Maschine, sind für auf beantragten Massnahmen zugeschnitten und optimiert.
<b>Geschwindigkeit</b>	Die Handlungen können mit einem so hohen Tempo geschehen, dass der Gegner dadurch überrumpelt wird.
<b>Lagebild &amp; Vernetzung</b>	Simulation ermöglicht Vorbereitung und Training für eine Handlung. Menschen auf und neben dem Schlachtfeld sind dauerhaft miteinander vernetzt, was die Zusammenarbeit zwischen Kader-Mitgliedern verbessert. Die Folgen der Handlungen sind direkt beobachtbar und sorgen für ein Feedback zur ersten Phase der Sequenz.
<b>Präzision</b>	Handlungen fokussieren nur auf ausgewählte Ziele und minimieren damit Kollateralschäden.
<b>Reichweite</b>	Handlungen können aus der Ferne ausgeführt werden.

---

### Situationsbezogene Technologietrends

In der fünften und sechsten Generation der Kriegsführung werden Handlungen durch eine Vielzahl von Instanzen, einschliesslich Menschen, Maschinen, Programme und einer Kombination all dieser, erbracht werden. Wechselwirkungen zwischen Mensch und Maschine sind allgegenwärtig.

Soldaten werden immer mehr mit ihren physikalischen und physiologischen Grenzen konfrontiert. Aus diesem Grund geht der Trend in die Richtung, ihre menschlichen Bedürfnisse (wie Essen, Trinken, Schlafen, Schmerzempfinden, etc.) mittels Medikamenten und/oder Training zu verringern und gleichzeitig ihre maschinenähnlichen Fähigkeiten mit Hilfe von Sensoren (Augmented-Reality-Brille, Nachtsicht, Exoskelett, etc.) zu erweitern und verstärken.

Ferngesteuerte, semi- und vollautonome Systeme sowie Hyperschall-Lenk Waffen bilden eine zunehmende Distanz zwischen den Akteuren.

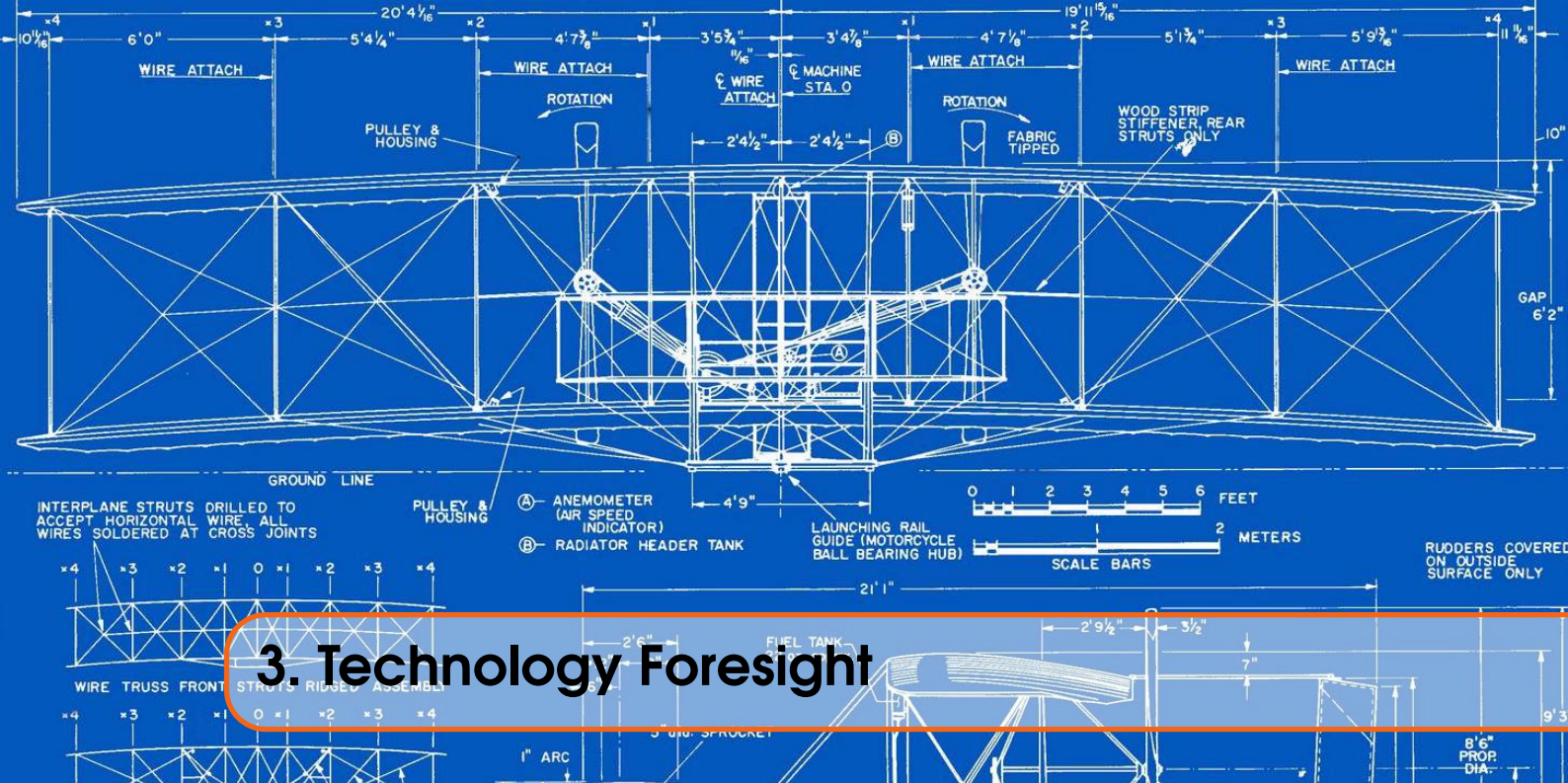
Entwicklungen in der Nanotechnologie, Genomik und synthetischen Biologie können auch zur selektiven Auswahl von Einzelpersonen oder einer Gruppe von Personen mit bestimmten Besonderheiten beitragen. Dies kann mit der Verwendung von Vektoren, die leicht zu bauen, schwer zu überwachen und fast unmittelbar nach Gebrauch obsolet sind, bewerkstelligt werden. Während in der Regel gut ausgestattete Laboratorien und qualifizierte Forscher benötigt werden, werden auf dem Markt erhältliche Bausätze die Instrumente der Gentechnik für viele zugänglich machen, was aus dem Lager des B-Schutzes Bedenken herruft [DAR15].

### Verwandte Technologiecluster

- Biomechanik
- Biologie
- Biotechnologie
- Cyber-Sicherheit
- Energetische Antriebe
- Logistik
- Reaktive Materialien
- Robotik
- Waffen

Wie wir aus der fünften und sechsten Generation der Kriegsführung erwarten können, werden zivile sowie Dual-Use-Technologien eine zunehmend wichtige Rolle bei asymmetrischen Konflikten mit Einbezug von nichtstaatlichen Akteuren spielen. Ein Überblick über diese Technologien und weshalb sie für militärische Aktivitäten relevant sind, wird im folgenden Kapitel dargestellt.





Wie es Alex Churchill, Stellvertretender Leiter Strategie von UK Defence Science & Technology, treffend feststellte, geht es bei der Technologiefrüherkennung eher um die *Identifikation der relevanten Wettrennen*, welche die Verteidigungs- und Sicherheitsorganisationen thematisieren müssen, *als um das Auswählen der Gewinner*. Zur Komplexität kommt noch hinzu, dass die Vielfalt und das Tempo der Entwicklungen bei den zivilen Technologien, die einen Einfluss auf militärische Anwendungen haben können, rasant wächst und nicht ignoriert werden kann. Darüber hinaus geschehen sämtliche Entwicklungen in den verschiedenen Bereichen beinahe gleichzeitig, deshalb können die Ergebnisse in einem Gebiet die Fortschritte in einem anderen Gebiet schnell beeinflussen. Abbildung 3.1 gibt einen Überblick über die ermittelten relevanten Technologiefelder für das Vereinigte Königreich [PHB13].

Strukturiert man die Übersicht der Technologietrends, verlangen die Kompatibilität der Informationen mit anderen Studien sowie die Entwicklung ihres Inhalts nach der Einführung einer Klassifizierung in die fünf Hauptbereiche gemäss der BRINES American National Defense University [Toc14]: Energie und Energiequellen, Information und Kommunikation, Nanotechnologie und Werkstoffe, Biowissenschaften und Systeme.

### 3.1 Energie und Energiequellen

Energiesicherheit ist von höchster Bedeutung und eine inhärente Voraussetzung für alle militärischen Operationen. Energiesicherheit wird von einer gegenseitigen Wechselbeziehung herkommen, die in vier Richtungen verfolgt werden kann:

1. Energieeffizienz
2. Diversifizierung der Energieversorgung
3. Entwicklung einer Partnerschaft von Angebot/Nachfrage
4. Zunahme von erneuerbaren Energiequellen

Die enorme Menge an militärisch genutzter Energie bedeutet, dass Effizienz an und für sich eine sehr kurze Amortisationszeit haben wird. Aus operativer Sicht sind die Energieleitungen für die



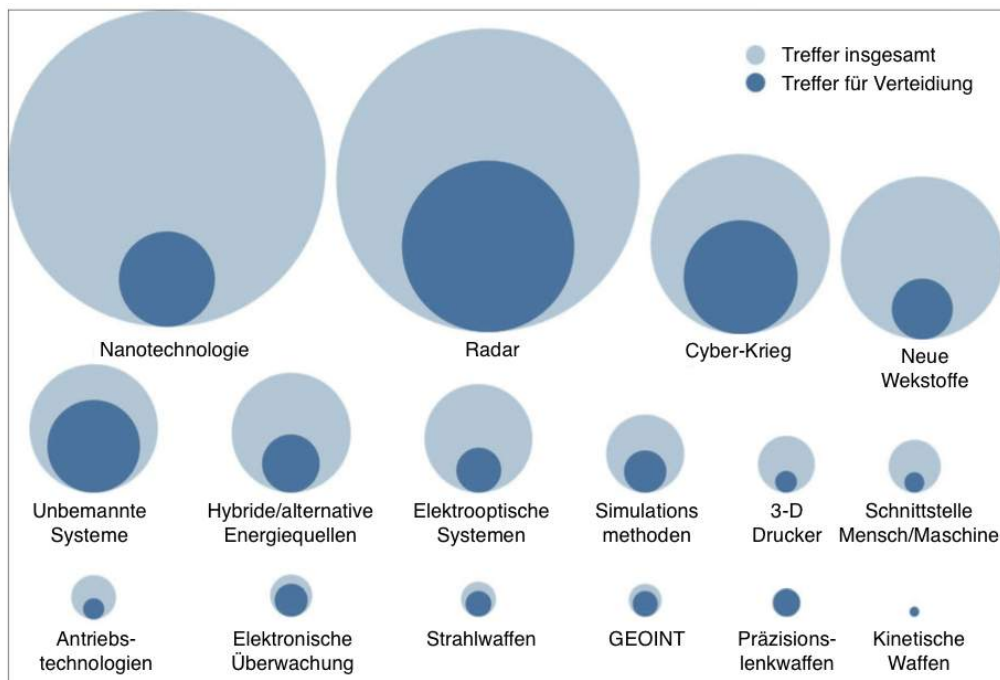


Abbildung 3.1: 16 aufkommende Querschnittstechnologien mit spezieller Relevanz für die Verteidigung; dargestellt sind die gesamte publizistische Aktivität nach Technologiebereich und die Aufteilung nach gesamten und verteidigungsspezifischen Treffern.

Kommunikation verletzlich und teuer im Unterhalt, deshalb ist es logisch aus finanzieller wie auch aus operationeller Perspektive, das Hauptaugenmerk von der Angebotsseite zur Nachfrageseite zu verschieben.

### 3.1.1 Effizienz

Die Fähigkeit schnell und effizient zu sein kann über Erfolg oder Misserfolg im Feld entscheiden. Da eine zunehmende Zahl an Hilfsmitteln mit Elektrizität betrieben werden muss, sollte der steigende Bedarf überwunden werden. Beschaffung, Übertragung und effektive Nutzung von Energie gewähren einen Vorteil für die eingesetzten Mittel betreffend ihrem Vermögen, eigenständig zu bleiben und die Ausgaben für unnötige Verluste zu reduzieren.

#### Trends

- E-Mili
- Energetisch intelligente Gebäude
- Schnell ladende Batterien
- Portable Solarenergie
- Ultra-effiziente Solarenergie

#### Anwendungen

Fortschritte in der Einsatzdauer der Mittel; zudem nimmt die Arbeitsleistung dieser Mittel zu. Die Möglichkeit, Energie im Feld zu verwenden, führt zu einer erweiterten Nutzung von aktuellen, allenfalls energiesparenden Technologien.

#### Militärische Relevanz

Die enorme Menge an Energie, die durch das Militär verbraucht wird, bedeutet, dass Effizienz an und für sich eine sehr kurze Amortisationszeit haben wird. Aus operativer Sicht sind Energieleitungen für die Kommunikation verletzlich und teuer im Unterhalt, deshalb ist es logisch, das Augenmerk von der Angebotsseite zur Nachfrageseite zu verschieben, sowohl aus finanzieller

wie auch aus operationeller Sicht. Effizientere und diversifiziertere Mittel der Energieerzeugung werden die Widerstandsfähigkeit innerhalb der Netzwerke erhöhen, da einzelne Inselösungen nicht von Ausfällen mit Dominoeffekt eingeholt würden und schwieriger anzuvisieren wären. Energietransport über grosse Entfernungen würde ebenfalls reduziert.

### 3.1.2 Management

Derzeit erfährt die Energieinfrastruktur eine Anfälligkeit, dies aufgrund ihrer stark örtlichen Konzentration und veralteten Methodik. Die Systeme sind anfällig auf invasive Cyber-Attacken, und zudem auf Systemfluktuationen. Da der globale Bedarf an Energie zunimmt, nimmt auch das Bedürfnis an dynamischen und effektiven Lösungen des Energiemanagements zu.

#### Trends

- Dezentralisierte Energieerzeugung
- Intelligentes Stromnetz (Smart Grid) der ersten Generation
- Drahtloses Laden mit grosser Reichweite
- Kleine, modulare Nuklearreaktoren
- Intelligentes Energienetz
- Intelligente Wind- und Sonnenenergie
- Supergrid

#### Anwendungen

Abwehr von neuen Bedrohungen gegen zivile Energieinfrastrukturen. Dynamische Bereitstellung von Energieversorgung zu den Objekten. Erkennen von auftretenden Schwächen und Risiken.

#### Militärische Relevanz

Die Fähigkeit, heterogene Stromnetze zu erstellen und mit ihnen zu verbinden, kommt dem flexiblen Einsatz und der Wiederherstellung von beschädigten Netzen zugute. Geschicktes Energiemanagement ist auf jeder Ebene und für jede Art von Geräten wichtig. Die Fähigkeit zur Stromversorgung aus Distanz kann Fortschritte bei menschlich betriebenen sowie autonomen Systemen unterstützen.

### 3.1.3 Antriebe

Güter von einem Ort zum anderen zu verschieben ist ein wesentlicher Teil jeder Operation, sei es für die Überwachung, die Aufklärung oder für den Einsatz. Fortschritte in andern Energiebereichen können zu schlagartigen Verbesserungen in diesem Sektor führen.

#### Trends

- Elektrische Fahrzeuge
- Elektromagnetischer Antrieb
- Pulsstrahltriebwerk
- Sonnensegel

#### Applications

Transport, Reisen, Überwachung, Erkundung

#### Militärische Relevanz

Der Schwerpunkt bei Geschwindigkeit und Ausdauer hat einen direkten Einfluss auf die Manövrierbarkeit, aber auch auf die Erzeugung von Lärm, Verschmutzung und Hitze. Neue Fahrzeuge und Anlagen können neue Stealth-Fähigkeiten entfalten, indem sie leiser sind und geringere Wärmesignaturen haben. Leistungsvermögen im Hochgeschwindigkeitsbereich kann auch die Reaktionszeit verringern und einige Verteidigungssysteme obsolet machen. Infolge Einführung eines bestimmten Typs von Antrieb könnte sich die militärische Logistik und Versorgungskette komplett ändern.

### 3.1.4 Speicherung

Speicherung und Transport von Energie erfuhren schon seit geraumer Zeit sehr wenig Innovation; diese Chance wurde von grossen kommerziellen Unternehmen wie auch von Forschungsinstituten erkannt. Erneutes Interesse hat Innovation und Anreize für die Transformation des Sektors angespornt. Die jüngsten Entwicklungen zeigen sich vielversprechend für spürbare Leistungssteigerungen.

**Trends**

- Luft- und Wassertreibstoffe
- Künstliche Photosynthese
- Biologische Batterien
- Energie aus Wasserstoff
- Lithium-Luft-Batterien
- Gedruckte Batterien
- Biotreibstoffe der zweiten Generation
- Festkörper-Batterien
- Tragbare Batterien
- Zinc Poly

**Anwendungen**

Infrastruktur; Einsatz von Ressourcen; Remote Systeme; Batterien; Tragbare Energieversorgung; Treibstoffe.

**Militärische Relevanz**

Verbesserung der Energiespeicher auf dem Soldat kann das Gewicht und die zum Betrieb der modernen Kriegsausrüstungen benötigte Logistik stark reduzieren. Da Energiespeicherung für den Betrieb autonomer Systeme wesentlich ist, wird jede Gewichtsreduktion die mögliche Dauer ihrer Missionen erhöhen.

**3.1.5 Energieumwandlung**

Das Ökosystem der Energieumwandlung wächst zu einer stärker diversifizierten Ansammlung von technologischen Fortschritten, da immer mehr Bestandteile potentielle Energiegeneratoren sind.

**Trends**

- Luftgestützte Windenergiesysteme
- Fusion
- Kalte Fusion (Low Energy Nuclear Reactions)
- Mikro-nukleare Reaktoren
- Perowskit-basierte Solarzellen
- Piezoelektrische Energie
- Abwassernutzung
- Sonnenkollektor-Fenster
- Gezeitenkraftwerke
- Transparentes photovoltaisches Glas

**Anwendungen**

Dual-Use-Infrastrukturen, Versorgung, unabhängige Stromerzeuger.

**Militärische Relevanz**

Effizientere und diversifiziertere Mittel der Energieerzeugung steigern die Widerstandsfähigkeit innerhalb des Netzes sowie die Möglichkeiten zur Schaffung von lokalen Netzwerken. Unabhängige und mobile Stromgeneratoren wären schwieriger anzuzielen. Energietransport über grosse Entfernung kann ebenfalls minimiert werden.

## 3.2 Information und Kommunikation

Das Volumen und die Vielfalt von Informationen, die jeden Tag rund um die Welt ausgetauscht werden, drahtgebunden oder kabellos, das Erscheinen neuer Möglichkeiten für die Durchführung von Aufgaben, für die Darstellung von globaler und individueller, realer, virtueller und erweiterter Realität (oder Realitäten!) wird durch die Kombination von Schlüsseltechnologien unterstützt. Sie haben bereits unseren Alltag verändert und werden Militäroperationen völlig verändern.

### 3.2.1 Kommunikation

Engpässe bei den Kommunikations-Infrastrukturen können katastrophale Ausfälle verursachen. Die Datenmenge wächst exponentiell und muss zwischen einer Vielzahl von neuen Geräten übertragen werden. Es gibt mehrere Methoden, die untersucht und aufgestellt werden, damit die neuen Belastungen gehandhabt werden können.

#### Trends

- 5G Mobilnetz
- Antennengebundenes drahtloses Netz
- Cloud-Kommunikation
- Schnelleres Internet
- Hidden / DarkNet / Deep Web
- Laser-Kommunikation
- Software-Defined Radio (SDR)

#### Anwendungen

Kommunikation zwischen allem und jedem, Transport, Logistik, simulierte Umgebungen, Information

#### Militärische Relevanz

Militärische Führung (Command and Control C2) wird weltraumgestützte Systeme gepaart mit Mesh-Netzwerk-Systemen einsetzen, um die Operationen im Einsatz zu unterstützen und um den Datenaustausch in unwirtlichen Umgebungen zu ermöglichen. Dabei werden sich die Einheiten an Ad-hoc-Netzwerke anbinden, die auf den Geräten der verbündeten Kräfte aufgebaut sind. Mobile Kommunikationsgeräte (Mobile Communication Devices MCD) werden unter Aufrechterhaltung von Sichtkontakt mit der Umgebung Informationen teilen, Sprachen übersetzen, Navigation, Ziel-daten und die Position von Sicherheitskräften liefern.

### 3.2.2 Informatik

Rechenfähigkeiten werden von mehreren zugrunde liegenden Technologien und Innovationen beeinflusst; und es ist einer der grössten Sektoren auf dem Markt. Die Auswirkungen von Durchbrüchen können drastische Verschiebungen innerhalb von kurzer Zeit bedeuten. Moores Gesetz bleibt weiterhin relevant.

#### Trends

- 3D holographische Datenspeicherung
- 3D Speicher-Chips
- Context-aware computing
- Memristor
- Quantencomputer
- Speckled Computing

#### Anwendungen

Design, Logistik, Mustererkennung, Szenarien-Modellierung, Echtzeit-Aufklärung

#### Militärische Relevanz

Die Rechengeschwindigkeit ist von grösster Bedeutung für militärische Systeme, denn sie muss erlauben, schneller als der Gegner durch den OODA-Loop zu gehen. Die Rechengeschwindigkeit ist auch befähigend oder verhindernd bei verschiedenen Anwendungen wie etwa Big Data-Analyse und Kryptographie.

### 3.2.3 Internet der Dinge

Die Verbindung von Sensortechnologie mit gesteigerter Effizienz erlaubt eine Explosion von neuen Informationen, die für Beobachtung und Interaktion verfügbar sind. Von Infrastruktur und Maschinenbestandteilen über unzählige reale Umfelder wie etwa ein Fussgängerfluss bis zu all dem, was man gerade besitzt.

#### Trends

- Big Data
- Smart Dust
- Ubiquitous Computing
- Wifi der Dinge

#### Anwendungen

Beobachtung und Wechselwirkung mit allem und jedem

#### Militärische Relevanz

Das Internet der Dinge und das damit verknüpfte „alles verbunden“ bietet direkte Input- und Feedback-Chancen für den OODA-Loop. Lagerhaltung und Logistik können dank Rückverfolgbarkeit optimiert werden, so wie es bereits in der Handelsbranche gemacht wird. Freund-Feind-Erkennung, Perimeter-Zugangskontrolle, das Vorhandensein von Sprengstoffen und gefährlichen Gasen sind Beispiele für Anwendungen, die das Internet der Dinge erleichtern wird. Die Bewältigung von Big Data und die Zusammenführung aller Informationen wird eine zoombare, quantitative Darstellung des Schlachtfeldes mit mehreren Skalen liefern.

### 3.2.4 Cyber-Sicherheit

Protokolle der Cyber-Sicherheit müssen von Hand ausgeführt und mit Teams diagnostiziert werden; riesige Sprünge werden bei der algorithmischen Modellierung in mehreren Anwendungsbereichen gemacht, von Genomik zu autonomen, maschinell lernenden Angriffs- und Verteidigungssystemen.

#### Trends

- Bio-Authentifizierung
- Maschinelles Sehen
- Cyber-Härtung
- Deep learning
- Infrastruktur-Sicherheit
- Maschinelles Lernen
- Risiko-Analyse und Entscheidungsfindung
- Selbts-konfigurierend/-heilend/-optimierend/etc.

#### Anwendungen

Verteidigung, Infrastruktur, Daten, geistiges Eigentum, private Informationen, Betriebskontrollen, Authentifizierung

#### Militärische Relevanz

In Anbetracht von Cyber-Angriffen (und nicht nur) ist die Gesamtsicherheit von jedem Netzwerk nur so stark wie das schwächste angeschlossene Glied. Angesichts der Bedeutung von Kommunikation (Sprache und Daten) in den militärischen Anwendungen von morgen, werden zentrale Netzwerkmanagementsysteme nicht in der Lage sein, die neuen Herausforderungen zu bewältigen. Um die Leistungsfähigkeit zu verbessern, werden dynamische Planungsmechanismen auf Basis künstlicher Intelligenz sowie Lernsysteme bei der proaktiven Bereitstellung der Servicebereitstellung zur richtigen Zeit am richtigen Ort unterstützen. Es werden Systeme entwickelt werden, die verbesserte selbstdiagnostizierende / selbstanpassende / selbstheilende Plattformen und Netzwerkfähigkeiten haben werden.

### 3.2.5 Schnittstellen

Schnittstellen erhöhen die Geschwindigkeit und die effektive Handhabung von digitalen Hilfsmitteln für eine vertiefte Kontrolle. Schaffung einer Verbindung zu einer Person über ein Aufnahmemedium, Schaffung neuer realer Räume und Hinterlegen neuer Informationen über die Sinne.

#### Trends

- Annotated Reality Brillen
- Augmented Reality
- Interaktion durch Gesten
- Holographische Technologien
- Immersive räumliche Schnittstellen
- Metaverse
- Accessoires für virtuelle Realität
- In die Kleidung integrierte Computer

#### Anwendungen

Daten-Input, Lieferung von Informationen, strategischer Support, Ausbildung

#### Militärische Relevanz

Militärische Systeme werden laufend aktualisierte Statusmeldungen und ganzheitliche Wissensdatenbanken für die Soldaten im Feld bereitstellen. Da mehr und mehr Informationen verfügbar sind, werden die fünf Sinne verwendet werden, um sie zu interpretieren und mit ihnen zu interagieren. Direkt mit dem Gehirn verbundene Anschlussstellen werden es ermöglichen, Information und Wirklichkeit zu verschmelzen bei gleichzeitiger Verbesserung der Mensch-Maschine-Schnittstelle und Geschwindigkeit.

### 3.2.6 Simulation

Das bessere Verständnis der menschlichen Natur ermöglicht eine schnellere Lieferung und Aufnahme von Informationen für einzelne Personen; dies führt zu besseren Ausbildungs- und Konditionierungsprogrammen mit effektiveren Ergebnissen in kürzerer Zeit durch den Einsatz von Feedback-Simulationen und neuen haptischen Technologien.

#### Trends

- Biofeedback Video-Spiele
- Holoroom
- Immersive virtuelle Realität

#### Applications

HR, Rekrutierung, Ausbildung von Truppen, Schulung, Szenarien, Gestaltung

#### Militärische Relevanz

Durch den Echtzeit-Zugriff auf Risikoanalysen, fortschrittliche Simulationsergebnisse und Fachkenntnisse wird die künstliche Intelligenz den Entscheidungsprozess auf dem Schlachtfeld wandeln, indem sie Vorhersagen macht und die gesamten militärischen Weisheiten und Erfahrungen an die Soldaten im Einsatz bringt. Simulationen bringen auch niedrigere Ausbildungskosten und geringere Exposition zu einsatzkritischen Szenarien.

### 3.2.7 Social Crowd

Das Sammeln von Informationen war gewissermassen immer abhängig von den Kosten und der Verfügbarkeit. Die einzelnen Fähigkeiten sich, mit grossen Gruppen zu verbinden und zu koordinieren, revolutioniert die Art, wie schnell sich Ideologien verbreiten können und Handlungen eingeleitet werden. Die Befähigung soziale Stimmungen zu beobachten war noch nie so umfassend oder so kostengünstig gewesen; und auch nicht die Fähigkeit, Emotionen und Sichtweisen zu manipulieren.

**Trends**

- Biohacking
- Aufspüren von Emotionen
- Empathische Gegenstände
- Quantified self

**Anwendungen**

Stimmungsbeobachtung, soziale Beeinflussung, Herdenverhalten bei Entscheidungen

**Militärische Relevanz**

Analytische Werkzeuge, die Daten aus unterschiedlichen Quellen visualisieren und vereinigen, werden die Daten interpretieren und nach Mustern suchen. Diese Algorithmen werden die Schlachtfelder überwachen und autonom Versorgung und Einsatzkräfte verschieben, basierend auf Indikatoren für den Bedarf und auf Signalen, welche vom Schlachtfeld empfangen und berechnet wurden. Die Offenheit der Informationen bringt Transparenz und wird die militärischen Führungskräfte vermehrt verantwortlich für ihre Handlungen machen. Das Militär wird bei seiner Rekrutierung, seiner Ausbildung und seinen Operationen anpassungsfähig für diese Angelegenheiten sein müssen.

**3.2.8 Beobachtung**

Von den Jagdebenebenen der Wüste vor Tausenden von Jahren bis zur Fähigkeit, eine zahllose Anzahl von Bildern digital zu scannen und nach semantischen Zusammenhängen zu durchsuchen, haben sich moderne Überwachungssysteme aus unseren grundlegenden Fähigkeiten zu sehen und Dinge wahrzunehmen zu einer Erfassung im sehr grossen Massstab mit zahllosen Mitteln entwickelt. Überwachung und Beobachtung bieten unschätzbare Informationen für strategische Entscheidungen.

**Trends**

- Umwelt-Mapping
- Mikroelektromechanische Systeme (MEMS)
- Sequentially Timed All-optical Mapping Photography (STAMP)
- Video- und Bilderkennung

**Anwendungen**

Überwachung, Bewegungen, Bedrohungserkennung, Chancen finden

**Militärische Relevanz**

Kontinuierliche Echtzeit-Überwachung von der Erde und aus dem Weltall ist das ultimative Ziel, wodurch eine aktuelle Lagebilddarstellung des Schlachtfelds ermöglicht wird. Die Beobachtung ist entscheidend für alle Informationsdienste sowie ein notwendiger Befähiger für zukünftige autonome Systeme.



### 3.3 Biowissenschaften

Rasche Fortschritte, in erster Linie durch privatwirtschaftliche Forschung und Anwendungen angetrieben, haben die Biotechnologie und die Gentechnik befähigt, Gene zu verändern und sie miteinander zu kombinieren. Menschliche Erweiterungen, ausgehend von Fremdsystemen wie z.B. Exoskeletten bis zu Wahrnehmungsverstärkern, welche die Leistung des menschlichen Gehirns erhöhen, zielen auf die Erzeugung robusterer und dauerhafterer Soldaten. Deren Gesundheit wird permanent überwacht und deren Fähigkeiten werden verbessert werden.

#### 3.3.1 Biomechanik

Die Technologien in diesem Cluster konzentrieren sich rund um die Synthese von Maschinenteknik mit Kenntnissen der biologischen Funktionen, mit der Absicht eine Effizienzsteigerung in den Bereichen hervorzubringen, wo die beiden überlappen. Von der zunehmenden Effektivität der Prothetik und exoskelettal tragbaren Objekten zu Werkzeugen, Fahrzeugen und Waffen, die einfacher und effizienter zu bedienen sind, findet die Biomechanik ihren Weg zu jeder Facette des menschlichen Lebens.

##### Trends

- 3D gedruckte / hochentwickelte Prothetik
- Bionische Implantate
- Exosuits mit Antrieb
- Puls Oximetrie (O<sub>2</sub> im Blut)

##### Anwendungen

Bildgebung, skelettale Bewegungsmechanik, kardiovaskulär, Weichgewebe, Zellen

##### Militärische Relevanz

Die Integration von Prothesen und digitalen Geräten in den menschlichen Körper, die Entwicklung von Ersatzorganen und anderen menschlichen Erweiterungen wird die Fähigkeit der Soldaten erhöhen, auf dem Schlachtfeld mit grösserer Widerstandsfähigkeit, Geschwindigkeit, Reaktion und Ausdauer zu agieren. Rekrutierungsverfahren und -parameter könnten sich weiterentwickeln, da die betreffenden Fähigkeiten angepasst und auf den Einzelnen zugeschnitten werden können. Was geschieht mit diesen *Erweiterungen*, wenn die Soldaten aus den Streitkräften ausscheiden?

#### 3.3.2 Erfassen von Kognition und Umwelt

Zu den einfachsten, für uns selbstverständlichen Dingen gehören die Sinne, die wir täglich verwenden um die Umgebung, in der wir leben, zu interpretieren. Technologien für das Brain Mapping und neue Erkenntnisse in der kognitiven Neurowissenschaft haben grosse neue Bereiche geöffnet, indem die menschliche Erfahrung aus ihren natürlichen physikalischen Grenzen ausbricht zu neuen Gefilden von Entdeckung und Erfahrung. Dies ermöglicht neue Wege, um Informationen direkt in das Gehirn zu integrieren und externe Geräte direkt zu steuern.

##### Trends

- Biologisch erweiterte Sinne
- Gehirn-Computer-Schnittstelle
- Brain Mapping
- EEG Gehirnaufzeichnung
- Hacking von menschlichen Sinnen
- Neuro-Prothetik
- Nootropika
- Augen-Resampling
- Transkranielle direkte Stimulation

##### Anwendungen

Kognitive Modellierung, Gehirn-Wechselwirkung, Erweiterung der Sinne, Erweiterung der Gehirnsteuerung, neue Methoden um *neue Realitäten* zu erleben.

### Militärische Relevanz

Wahrnehmungsverstärker, die die Leistung des menschlichen Gehirns erhöhen, wie z.B. Verbesserung des Kurzzeitgedächtnisses, Erhöhung der Denkgeschwindigkeit und Verringerung von Angst, werden verfügbar werden. Die Möglichkeit, jemandes Gedanken zu lesen, könnte sich in vielen Aspekten der Ausbildung und der Einsätze sowie für eine bessere Interaktion zwischen den verschiedenen Team- / Kadermitgliedern sehr nützlich erweisen.

### 3.3.3 Biotechnologie

Im Biotechnologie-Cluster sind Technologien zuhause, die darauf abzielen, die genetischen Strukturen zu verändern, entweder einen Organismus zu verbessern oder ihm zu schaden. Fortschritte bei den IT-Ressourcen sowie bei der Entwicklung von Algorithmen führen zu Anwendungen in der Immunologie zugunsten einer erhöhten Widerstandskraft wie auch biologische Waffen und Gentherapien, die in der Lage sind, DNA in einem bestehenden Organismus umzuschreiben.

#### Trends

- Editieren des Genoms
- Vollständige Abbildung des Genoms
- Internet der DNA
- Flüssigbiopsie
- Pränatale DNA-Sequenzierung
- Wissenschaftliche Ideenfindung durch K.I.
- Supercharged Photosynthesis
- Synthetische Biologie
- Transgene Organismen

#### Anwendungen

Interspezies-Transgenik, Immunologie, Gentherapie, Designer-Gene

### Militärische Relevanz

Für das Militär bestehen zunehmend Bedenken bezüglich der Kenntnis von spezifischen menschlichen genetischen Defekten oder Schwachstellen und den Möglichkeiten, solche Defekte zu erzeugen, gleichzeitig nehmen die Bedenken zu bezüglich der Fähigkeit, Mikroorganismen oder Giftstoffe zu modifizieren, so dass ihr Pathogenität erhöht würde. Biotechnologie bietet theoretisch Möglichkeiten für Gegner, bestehende Organismen für spezifische Eigenschaften zu modifizieren, wie etwa erhöhte Virulenz, Infektiosität oder Stabilität. Es gibt einen verborgenen Spielraum dafür, Einzelpersonen oder eine bestimmte Gruppe von Menschen mit ähnlichen genetischen Merkmalen anzuvisieren.

Moderne Fortschritte erlauben auch die kostengünstige Herstellung grosser Mengen von replizierenden Mikroorganismen für den Waffeneinsatz mittels rekombinanter Methoden, sowie die Möglichkeit, neue Wirkmittel für die zukünftige Kriegsführung zu erzeugen, die aktuelle präventive oder therapeutische Interventionen umgehen können.

Natürlich vorkommende Infektionserreger könnten dazu verwendet werden, Epidemien unter dafür anfälligen Truppen auszulösen. Dies könnte zu verwirrenden Krankheitssituationen auf dem Schlachtfeld führen, da die Umweltdetektoren nicht unbedingt in der Lage sind, zwischen natürlichen und vom Menschen erzeugten Verschmutzungen zu unterscheiden. Biologische Stoffe können der Detektion entgehen und können dazu verwendet werden, bestimmte genetische Zielgruppen anzuvisieren.

### 3.3.4 Medizinische Gesundheit

Das Studium und die Anwendung von medizinischen Wissenschaften wird durchgeführt, um nachteilige Zustände, Krankheiten und Verletzungen zu diagnostizieren, zu behandeln oder ihnen vorzubeugen. Viele neue Bereiche und Fortschritte, die zurzeit in der Entwicklung sind, haben bei der Behandlung einiger der hartnäckigsten und verheerendsten dem Menschen bekannten Krankheiten Sprünge nach vorn bewirkt.

**Trends**

- 3D-Druck von Organen
- Gehirn-Organoid
- Extra-uterine fetale Inkubation
- Gentherapie
- Medizinische Nanobots
- Personalisierte Medizin
- Robotische Chirurgie

**Anwendungen**

Impfstoffe, chirurgische Verfahren, Epidemiologie, Diagnostik

**Militärische Relevanz**

Auf dem Gebiet der B-Abwehr werden technologische Fortschritte gezieltere und koordiniertere Ansätze bei der Entwicklung von Impfstoffen gegen biologische Kampfstoffe und endemische Krankheiten ermöglichen. Parallel dazu wird die Herstellung von neuen biologischen Wirkstoffen möglich gemacht werden! Die Entwicklung von Kombinationsimpfstoffen, welche die Notwendigkeit von mehrfachen Impfungen beseitigen, ist von praktischer Bedeutung für das Militär.

**3.3.5 Netzwerke**

Netzwerke können als Mittel für die Kommunikation zwischen zwei individuellen Systemen betrachtet werden und funktionieren als kollaborative Einheit. Da die Effizienz und die Geschwindigkeit der Netze zunehmen, nehmen auch die Möglichkeiten, die Qualität und die Tiefe der Informationen in ihnen zu. Diagnosen, die nur nach ärztlicher Konsultation erhältlich waren, sind jetzt zuverlässig im Feld möglich.

**Trends**

- KI Medizin
- Crowdsourced medicine
- Internet der gesunden Dinge
- Telemedizin
- Universelles medizinisches Archiv

**Anwendungen**

Crowd Sourcing, Archiv für ein universelles medizinisches Wissen, KI Medizin

**Militärische Relevanz**

Medizinische Diagnostik kann im Feld ausgeführt werden, und die Beurteilungen von Situationen können durch das Wissen von Menschen mit Erfahrung in ähnlichen Situationen in Frage gestellt oder validiert werden.

Ferngesteuerte Systeme in Verbindung mit Roboter-Chirurgie könnten eingesetzt werden, um verwundeten Soldaten eine Behandlung direkt im Feld zu verschaffen, was die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass die Behandlung innerhalb der ersten *goldenen Stunde* durchgeführt würde, ohne dass medizinisches Personal einer erhöhten Gefahr ausgeliefert wäre.

**3.3.6 Sensoren**

Der Einsatz von Sensoren zur gesundheitlichen Überwachung der Infanterie im Feld kann eine verbesserte strategische Entscheidungsfindung und gezielte medizinische Reaktionen auf Situationen in Echtzeit ermöglichen. Sensoren können auch dazu dienen Infektionen aufzuspüren, was eine rasche Eindämmung und Minimierung der Auswirkungen von schädlichen Stoffen erlaubt. Die Überwachung von Blutwerten bei der Infanterie ermöglicht Einblick in viele leistungsabhängige Faktoren, wie etwa Stress und Energieniveau.

**Trends**

- Auditiv
- Biometrik
- Kosmetische Aufkleber
- Verschluckbare Sensoren
- Labs-On-Chips
- MMolekularsensoren

**Anwendungen**

Gesundheitszustand einer Einheit, kardiovaskulär, Bewegung, Chemie, Neuro / Hormone, Nachweis von B-Kampfstoffen, Entdeckung und Forschung, Überwachung von Truppe und Betriebsmitteln

**Militärische Relevanz**

Der Einsatz von Sensoren zur gesundheitlichen Überwachung der Infanterie im Feld kann eine verbesserte strategische Entscheidungsfindung und gezielte medizinische Reaktionen auf Situationen in Echtzeit ermöglichen. Sensoren können auch dazu dienen Infektionen aufzuspüren, was eine rasche Eindämmung und Minimierung der Auswirkungen von schädlichen Stoffen erlaubt. Die Überwachung von Blutwerten bei der Infanterie ermöglicht Einblick in viele leistungsabhängige Faktoren, wie etwa Stress und Energieniveau.

Biometrische Technologien, welche die Identifikation von Menschen ermöglichen, werden besonders wichtig bei militärischen Operationen in stark besiedelten Gebieten sein, um ein Instrument zur Katalogisierung und zum Verfolgen von Informationen über die Bewohner zu haben. Dies wird auch die Zukunft der Freund-Feind-Erkennung sein.

**3.3.7 Sozialwissenschaften**

Sozial-Analytik ermöglicht eine breit ausgelegte Analyse und Beeinflussung der Stimmungen in der Bevölkerung. Verständnis des emotionalen Konsens einer Gruppe öffnet die Tür, nicht nur die emotionalen Sichtweisen rund um ein Thema genau zu identifizieren, sondern auch die Möglichkeit, die Wahrnehmungen und Meinungen einer demografischen Population zu lenken, beispielsweise um Unruhe zu stiften oder zu unterdrücken.

**Trends**

- Schnittstelle Gehirn zu Gehirn
- Hacking von Emotionen
- Verhältnis Mensch-Roboter
- Neuro-Beeinflussung
- Personalisierte prädiktive Analyse
- Prädiktive Verhütung von Verbrechen
- Weiterentwicklung von Propaganda

**Anwendungen**

Propaganda, Werbung, Gefühlsmanipulation, Überwachung von Empfindungen, Zielverfolgung

**Militärische Relevanz**

Die Absichten und Bewegungen des Gegners vorauszusehen bedeutet einen klaren Vorteil für den Akteur, der dies beherrscht. Mit Vorhersagemodellen, die in Robotern implementiert sind, kann man nicht nur die Interaktion zwischen Maschinen und Militärs sondern auch zwischen Maschinen und Zivilisten erleichtern.

### 3.4 Nanotechnologie und Werkstoffe

Die Herstellung von Strukturen im Nanobereich ermöglicht die Produktion von leichteren, stärkeren, zuverlässigeren, kostengünstigeren, leistungsstärkeren und flexibleren elektronischen, magnetischen, optischen und mechanischen Geräten.

#### 3.4.1 Grundverbindungen

Die laufende Forschung bei den Verbindungen hat zu interessanten Entdeckungen in der Molekularsynthese geführt mit Eigenschaften, die herkömmliche und traditionelle Strukturen bei weitem übertreffen. Da mehr und mehr Knoten der Forschung und Neuentdeckungen in das Gebiet hereinkommen, werden der Zustrom und die Querverbindungen von Ideen erwartungsgemäß ein Chaos in Gang setzen, womit wiederum bisher unbekannt potenzielle Eigenschaften eröffnet werden.

##### Trends

- 3D-gedruckte Materialien
- Aerogel
- Karbon-Nanoröhrchen
- Carbyne
- Graphene
- Meta-Materialien und dynamische Tarnung

##### Anwendungen

Informatik, Infrastruktur und Konstruktion, Panzerungen, Biologie, Waffen, Chemie

##### Militärische Relevanz

Verbundkonstruktion mit molekularen Bausteinen bietet verbesserte Eigenschaften und Merkmale wie Stärke, Gewicht und Leitfähigkeit; im Vergleich zu bestehenden Methoden sollte mit ihrer Einführung eine Überlegenheit zu erwarten sein.

Während konzeptionelle Technologien schon seit geraumer Zeit, sogar Jahrzehnten, da sein mögen, bevor sie mit anderen Vorstellungen zu einem beschleunigenden Effekt zur Reibungsreduzierung im Betrieb konvergieren, könnten wir sie *inaktive Multiplikatoren* nennen. Ein Beispiel dafür ist JIT, Just-in-Time Produktion, mit der aufkommenden Verbreitung von dezentralisierter, kompakter, additiver Herstellung. Die beobachtete Entwicklungsrichtung auf diesem Gebiet deutet auf einen geringeren Bedarf an Bevorratung von Ersatzteilen hin, da nur ein gewisses Materiallager und ein 3D-Plan für den Druck *auf Verlangen* benötigt werden [Pao+15].

Gleichzeitig beinhaltet dies auch die möglichen Chancen und Risiken des gegenseitigen *Austauschens* von Bauplänen für Waffen, darunter beispielsweise Objekte wie Trigger oder Zünder für Improvised Explosive Devices (IEDs) oder sogar die eigentlichen IEDs selbst.

#### 3.4.2 Biologie

Technologieanwendungen im Nano- und Mikro-Massstab binden Biokompatibilität mit ein, auf diese Weise hoch spezifische und zielgerichtete Anwendungen zulassend. Dies reicht von neuen Methoden für die Bekämpfung von Viren, indem die Blut-Hirn-Schranke durchdrungen wird, über protein-basierte molekulare Maschinen, bis zu bakterienresistenten Oberflächen. Gefahren und Chancen könnten über Nacht entstehen.

##### Trends

- Antimikrobielle Nano-Beschichtungen
- Nano-Biotechnologie
- Nano-Nahrungsmittel
- Kosmetika auf Basis von Nanotechnologie
- Vektor-Steuerung

### Anwendungen

Viral, gesundheitliche Erholung und Pflege, Konditionierung auf Kraft und Ausdauer, Immunresistenz, Aufhebung von Defekten

### Militärische Relevanz

Die Anwendungen reichen von der Nutzung von inhärenten, natürlichen Eigenschaften von Nucleinsäuren um Strukturen auf einer grösseren Skala zu manipulieren und zu erzeugen bis zu synthetischen Nano-Wirkmitteln für spezifische Aufgaben wie Tumorentfernung; Nanotechnologie hat im biologischen Bereich viele Anwendungen. Mit ihren Vorteilen kommen aber auch ebenso wichtige Bedrohungen. Beispielsweise Verbesserungen des menschlichen Immunsystems, die es resistenter gegen Viren machen; oder, wenn als Bedrohung eingesetzt, Manipulationen um die Resistenz eines Organismus gegen Pathogene zu senken. Erzeugung von geruchs- und geschmacksneutralen Substanzen spezifisch für einen gewünschten letalen oder nicht-letalen Effekt, übertragbar durch Umgebungskontakt, Absorption oder Inhalation.

Andere Verwendungen können sich in Schutzcremes gegen Hitze, Sonne, Mücken zeigen oder in Wirkstoffdetektoren bei spezifischen Lagen.

### 3.4.3 Strukturgebung

Dieser Cluster enthält Nanotechnologie mit Schwerpunkt auf dem Bau von Strukturen in der Partikel-Skala. Fertigungs- und Konstruktionstechnologien aus dem weit verbreiteten 3D-Druck, molekulare Selbstorganisation und Veränderungen an der Proteinkette bis zur Verwendung von passiven und inhärenten energetischen Eigenschaften für die Konstruktion im Makro-Massstab, wie auch dynamischer infrastruktureller Support.

#### Trends

- 4D-Druck
- Kontrollierte Selbstorganisation
- 3D-Druck auf der Mikro-Skala
- Nano-Architektur
- Nanofabriken

### Anwendungen

Informatik, Selbstorganisation, Änderungen von Gestalt und Eigenschaften, Konstruktion, Herstellung, Infrastruktur

### Militärische Relevanz

Methoden und Technologien für die Strukturgebung haben einen breiten Anwendungsbereich; von Replikationen auf der Mikro- und Nanoskala über Selbstorganisation zur Fertigung in der vierten Dimension. Die Fähigkeit eine grössere Kontrolle in Bezug auf die reale Schaffung von konzeptualisierten Strukturen auszuüben hat starke potenzielle Auswirkungen auf eine grosse, unbekannte Anzahl von verschiedenen Bereichen und Anwendungen. Dies beinhaltet die Möglichkeit Röhrenstrukturen zu schaffen, die in der Lage wären, ihre Morphologie zu ändern, um die Übertragung von Flüssigkeiten über längere Distanzen durch kalkuliertes Ausdehnen und Zusammenziehen zu unterstützen; zudem unterstützt erhöhte Fertigungsgenauigkeit selbstheilende Eigenschaften, die derzeit bei thermoreaktiven Metallen und bei der kinetischen Absorption ersichtlich sind.

scheinbaren Science-Fiction-Kreationen. Diese *Befähiger* werden neue Produkte oder neue Generationen von Produkten hervorbringen, die die abwechslungsreiche Landschaft der menschlichen Horizonte weiter antreibt.

### 3.4.4 Geräte

Neue Verfahren und Materialien führen zu Architekturen im Mikro-Massstab, die in der Lage sind, beträchtliche Verbesserungen der Messsysteme herbeizuführen, in Gehäusen mit einem Bruchteil

der Grösse ihrer Vorgänger. Man stelle sich ein chemisches Spektrographie-Labor vor, das in einer Tasche getragen und mit einem Super-Computer synchronisiert werden kann, wobei die Daten auf einer Armbanduhr angezeigt werden.

#### Trends

- Kathoden aus Nanomaterialien hergestellt
- Nano-elektromechanische Systeme
- Nano-Elektronik
- Nano-Generator

#### Anwendungen

Detektion von biologischen und chemischen Stoffen, Lieferung von Informationen, Datenverarbeitung

#### Militärische Relevanz

Die ständig zunehmende Fähigkeit zur kompakten Konstruktion und Miniaturisierung dank technischer Methodik und Innovation bei den Werkstoffen führt zu der Möglichkeit von umfassenden tragbaren Geräten. Dies ermöglicht es den Systemen, sich aus dem Labor ins Feld zu bewegen; oder sogar in die Taschen von Einzelpersonen in den eingesetzten Einheiten; Verringerung von Zeit, Kosten und der mit der Probenanalyse verbundenen Gefahr, Verbreiterung des Spektrums des Lagebilds auf dem Schlachtfeld.

Das hier verwendete Beispiel ist ein chemisches Spektrographie-Labor, das in einer Tasche getragen und mit einem Hochleistungsrechner synchronisiert werden kann, mit der Anzeige auf einer Armbanduhr; alarmierend bezüglich Krankheitserregern in der Umgebung.

### 3.4.5 Werkstoffe

Noch nie zuvor in der Natur gesehene Eigenschaften zu erzeugen, sowie die Umstrukturierung von bestehenden Materialien gehören zu den spannendsten Aussichten in diesem Cluster. Unterthemen von Meta-Materialien mit optischen plasmonischen Eigenschaften bis zu geschäumten Metallen ebneten den Weg für Rechner mit Lichtgeschwindigkeit, subatomare Mikroskope, selbstorganisierende Strukturen mit erhöhter Lebensdauer und leichte Schalen-Konstruktionen.

#### Trends

- Auxetische Materialien
- Bio-Materialien
- Unsichtbarkeitsumhänge
- Morph-Materialien
- Nano-Glas
- Nano-Textilien
- Nanokomposit-Plastik
- Nano-bearbeiteter Kupfer
- Nano-Phasen Titan-Legierungen
- Nanotechnologische Solarzellen
- Negativ-Index-Materialien
- Selbstheilende Materialien
- Superomniphobische Materialien

#### Anwendungen

Strukturelle Konstruktion von Fahrzeugen und Gebäuden, thermaler Widerstand, Photo-Optik, Radio-Kommunikation

#### Militärische Relevanz

Komplexere Kombinationen von Grundverbindungen ergeben Chancen, neue Nano-Materialien mit komplexen Eigenschaften herzustellen. Geschäumte Metalllegierungen verheissen eine unglaubliche Festigkeit und eine Thermoeffusion, die an einen nominellen Bruchteil des Normalgewichts gekoppelt ist; ferner helfen nano-bearbeitete Antennen für erhöhte RF Kapazitäten zur Veranschaulichung der vielfältigen Anwendungsbereiche.

Neue Materialien werden auch die Selbstanpassung der Ausrüstung und der Systeme an ihre Umwelt und die Spezifität des Schlachtfeldes (Tag, Nacht, warm, kalt, Farbe, etc.) ermöglichen. Dies wird neue Stealth-Strategien hervorbringen.



### 3.4.6 Reaktiv

Reaktive Nanotechnologie bietet neue Wege in der Anschauung, wie Objekte mit der Umwelt interagieren. Thermische, chemische und andere kontextbezogene reaktive Eigenschaften können mittels Verbundwerkstoffen in tieferen Schichten der Stoffe einprogrammiert werden.

#### Trends

- Kolloid-Tarnung
- Designer-Karbon
- Umweltfreundlicher Beton
- Nano-Katalysatoren
- Photo-Katalysatoren auf Basis von Nanomaterialien
- Nano-Sanierung und Wasseraufbereitung
- Intelligente und interaktive Textilien
- Thermo-Bimetalle

#### Anwendungen

Panzerungen und Waffen, Anpassungen im ökologischen Kontext, thermal, photo-reaktiv, chemische Messungen, Synthese

#### Militärische Relevanz

Die Fähigkeit zur Schaffung und Herstellung von Materialien mit spezifischen und erwünschten Eigenschaften wie etwa Veränderungen von Farbe, Aussehen und Festigkeit bei unterschiedlichen Temperaturen, veränderter Feuchtigkeit und Photo-Reaktivität führen zu neuartigen Anwendungen in manchen Gebieten. Der Einsatz von reaktiver Nanotechnologie hat Anwendungen in der Ausbringung von Thermit in schwer gepanzerte Bunker, als geschichteter Kompositwerkstoff in das Innere eines Zielobjekts abgegeben. Sobald solch ein Gefechtskopf die letzte Barriere durchdringt, werden durch geänderte Reaktion Nano-Thermit als Staub in die Atmosphäre freigegeben; durch Verwendung eines alternativen Zündimpulses zur Auslösung einer Verbrennungsexplosion kann die Letalität der Stosswellen um Größenordnungen um 500% erhöht werden.

## 3.5 Systeme

Die Verbindung der technologischen Fortschritte aus den verschiedenen vorausgegangenen Feldern ermöglicht Verbesserung und Hervorbringung von verschiedenen Systemen, die einen Effekt für militärische Operationen haben.

### 3.5.1 Luftfahrt

Im letzten Jahrhundert war der Himmel ein ausgedehnter Tummelplatz für Fantasien und Gelegenheiten; Next Generation Air Dominance NGAD ist immer noch in den Köpfen. Von Scramjets zu UAV und Kommunikationslogistik. Es gibt ein zunehmendes Interesse auf dem Gebiet als Ganzes, von kommerzieller Kapitalisierung bis zu hobbymässigen Experimentatoren.

#### Trends

- Elektrische Flugzeuge, durch Drohnen wieder aufladbar
- Höhenplattformen
- Hoverbike
- Langstrecken-UAV
- Pocket Drone
- Wiederverwendbare Transportmittel über der Atmosphäre
- Scramjet

#### Anwendungen

Transport, Waffen, Logistik

#### Militärische Relevanz

Die wachsende Abhängigkeit von raumgestützten Systemen für Kommunikation, Navigation, Aufklärung und Wetterbeobachtung könnte kritische Verwundbarkeiten bei Verlust dieser Systeme erzeugen. Rückwärtskompatibilität zur Ausrüstung vorgängig der GPS-Generation, einschliesslich Backup-Systeme für Präzisionsmunition, sowie Beibehaltung der Kernkompetenzen in diesem Bereich wird zukünftige Wiederherstellung erleichtern. Alternative Anwendungen zum Weltraum, wie z.B. Stratosphäre, werden bezüglich Kosten und Einsatzmöglichkeiten untersucht.

Entfernte Einsätze aus der Luft anstelle der Entsendung von Bodentruppen könnte eine Strategie für die ersten Phasen von zukünftigen Operationen sein.

### 3.5.2 Logistik

Komplizierte Tätigkeiten koordiniert mit Verbrauchsanforderungen und Lieferarten kann als Flussmanagement und -vermögen zwischen beliebigen vorgegebenen Typen von Knotenpunkten betrachtet werden. Logistische Systeme sind die Infrastruktur, die alles bewegt und versorgt erhält.

#### Trends

- Autonome Fahrzeuge
- Deliverbots
- Modulare Hardware
- Lastdrohnen
- Roboter-Lastesel
- Intelligente Strukturen
- Intelligente autonome Schwärme
- Telepräsenz-Roboter
- Versorgungslieferungen durch UAV
- Kommunikation von Fahrzeug zu Fahrzeug

#### Anwendungen

Versorgung, Unterhalt, Lieferung, Infrastruktur

#### Militärische Relevanz

Logistische Konvois werden autonome oder ferngesteuerte Fahrzeuge verwenden, um menschliche Verluste zu reduzieren, und werden eine präzise Warenlieferung gewährleisten, wo und wann erforderlich.

Modularität und Austauschbarkeit von Hardware-Teilen werden die Interaktionen zwischen den verschiedenen Akteuren innerhalb einer Koalition erleichtern und gleichzeitig die Lebensdauer der Systeme selbst erhöhen.

Vorausplanung und Selbstorganisation des Unterhalts bei den verschiedenen Gütern im Feld. Vorpositionierung der Güter in einem *Ruhezustand*, bis ihr Inhalt oder ihre Funktion erforderlich ist. Einmal aktiviert könnten sie autonom zur gewünschten Einsatzstelle navigieren.

Tragesel werden auch für die einzelnen Soldaten die Belastung durch Ausrüstung verringern.

### 3.5.3 Robotik

Vom völlig autonomen chirurgischen Hilfsmittel bis zum ansprechbaren persönlichen Assistenten. Das Gebiet der Präzisionsrobotik schreitet durch Verbesserungen in algorithmischer Software und sensorischer Ausrüstung voran, die kontextuell adaptive Roboter mit hoher Geschicklichkeit zulassen, fähig zur Durchführung von Routineaufgaben.

#### Trends

- Fortgeschrittene Navigationssysteme
- Agile Roboter
- Bio-Robotik
- Insekten-Drohnen
- Minibuilder
- Persönliche Roboter
- Robonauts
- Dienstleistungsroboter
- Soft Robotics

#### Anwendungen

Herstellung, Unterstützung, Unterhalt, Routine-Arbeiten

#### Militärische Relevanz

Roboter sind besonders gut für Überwachungsfunktionen geeignet, da sie nicht müde werden oder die Konzentration verlieren.

Robotische Systeme haben die attraktive Eigenschaft, dass sie auf unbestimmte Zeit aufbewahrt werden können, bis sie benötigt werden, wodurch ihre gesamten Betriebs-, Wartungs- und andere Lebenszykluskosten reduziert werden. Möglicherweise ist dies jedoch nicht nachweisbar. Bereitstellungszeiten könnten deutlich reduziert werden, da Robotersysteme in verschiedenen Depots auf der ganzen Welt vorpositioniert werden könnten, bis sie aktiviert und mit einer Mission versehen werden. Roboter sollen billiger als bemannte Systeme herzustellen sein, und dank einer Hebelwirkung durch Nutzung der wachsenden kommerziellen Investitionen in die Roboter könnten die Zukunftschancen Verbrauchsrobotersysteme, die billig und wegwerfbar sind, umfassen.

Innerhalb der Gemeinschaft der Kampfmittelbeseitigung (EOD) verwendet, ermöglichen Roboter die Detektion, Identifikation, den Zugang und das Entschärfen von Gefahren durch Sprengstoffe. Autonome Systeme können in erster Linie auch eingesetzt werden, um sensible Infrastrukturen in Gebieten zu sichern, wo die Anwesenheit eines Menschen bereits per se suspekt wäre [Boi15].

Die Integration von halb- oder vollautonomen Systemen auf dem Schlachtfeld stellt jedoch eine Menge von Unbekannten auf, da die Technologie schneller fortschreitet als die Entwicklung der damit verbundenen politischen, rechtlichen und ethischen Überlegungen. So wie nicht alle möglichen Umgebungen, in denen autonome Roboter eingesetzt werden könnten, und nicht alle möglichen Umstände, unter denen sich diese Roboter befinden könnten, jemals in einem Labor modelliert oder in einem Computer-Code abgebildet werden könnten, wird die Entwicklung von autonomen Systemen nicht einfach ein Programmierungsproblem sein. Die Software-Programme zur Unterstützung dieser Arten von Systemen werden extrem komplex sein und werden zu unvorhergesehen auftauchenden Verhaltensweisen führen. Dies ist ein Teil dessen, was als *Problem der ersten Generation* bezeichnet wird, wo man nicht weiss, welche Arten von Fehlern autonome Systeme begehen könnten, bis sie sie bereits begangen haben.

Es wäre nicht schwer sich etliche paradoxe Situationen vorzustellen, bei denen Roboter vor widersprüchlichen Informationen stehen würden, wo auch Menschen Schwierigkeiten haben würden eine geeignete Entscheidung zu machen.

Im Einsatz werden robotische Systeme unbeeinflusst von Emotionen, Adrenalin und Stress sein und damit weniger anfällig auf Bedingungen, die menschliche Soldaten zu Über- oder Unterreaktionen getrieben hätten. Damit mag es eine zusätzliche Motivation zur Entwicklung solcher Arten von Systemen geben. Schliesslich wird die Mensch-Roboter-Schnittstelle und die Teamdynamik sorgfältig untersucht werden müssen. Wie werden menschliche Soldaten auf die Überwachung durch robotische Systeme reagieren?

### 3.5.4 Waffen

Anti-Materie-Mittel, selbstlenkende Munition und elektromagnetische Schienenkanonen sind die Speerspitze, wenn es um die nächste Generation von Waffensystemen geht. So wie die Fortschritte in diesen Bereichen weiter gehen, so müssen es die Mittel tun, die wir zur Verteidigung gegen sie finden. Der Cluster der Waffen gehört zu den vielfältigsten wie auch hypothetischsten, wobei viele der sich entwickelnden Sparten erschreckend futuristisch sind.

#### Trends

- Anti-Materie-Waffen
- Automatische Zielerkennung
- Strahlenwaffen
- Elektrolaser
- Elektromagnetische Schienenkanone
- Elektrothermisch-chemische Technologie
- Reaktivpanzerung
- High-altitude Electromagnetic Pulse
- Hypersonische Missiles
- Modulare Panzerung
- Nano-Energetik
- Selbstlenkende Projektile
- Schall-Waffen und weitreichende Schallkanonen

#### Anwendungen

Krieg, Immobilisierung, Demoralisierung, Einschüchterung

#### Militärische Relevanz

Präzisionslenkwaffen werden dazu beitragen, selektive Angriffe mit verhältnismässigem und anpassbarem Hard-Kill-Effekt auszuführen, während gleichzeitig die Letalität und Flexibilität in der Anwendung erhöht wird. Steigerung der Geschwindigkeit und Veränderungen bei der Auslösung könnten auch die meisten Strategien und Systeme zur Raketenabwehr obsolet machen. Nicht-letale Waffen spielen zwei Hauptrollen: Anti-Personen (Kontrolle von Menschenmengen, Personen kampfunfähig machen, Flächensperrung, Räumen von Anlagen) und Anti-Material oder Anti-Infrastruktur (Flächensperrung, Fahrzeuge inaktivieren oder neutralisieren, Ausrüstung und elektromagnetische Geräte von Schiffen oder Flugzeugen).





## 4. Schlussfolgerung

Das vorliegende Dokument zeigt auf, was wir heute für die wichtigsten Technologietrends halten, die die Zukunft der Kriegführung in den kommenden Jahren prägen werden. Doch die ständige Weiterentwicklung der Kriegführung, zusammen mit der hohen Entwicklungsgeschwindigkeit von verschiedenen zivilen und Dual-Use-Technologien, machen die Vorhersage zum Zeitpunkt der Veröffentlichung schon beinahe überholt. Die Tätigkeit der **Technologiefrüherkennung** wird daher **fortlaufend** ausgeübt, und die verschiedenen hier präsentierten Trends werden regelmässig aktualisiert und ergänzt mit neuen Trends, die im Laufe der Zeit sichtbar werden.

Die Entwicklungen, die zunehmend im Grenzbereich sowie an den **Schnittstellen und im Konvergenzbereich** von verschiedenen Technologiefeldern stattfinden, eröffnen neue Chancen, wecken aber gleichzeitig das Bewusstsein für mögliche sicherheitsrelevante Auswirkungen dieser aufkommenden Technologien.

Die gewählte Vorgehensweise geht von den Grundlagenwissenschaften mit ihren zugehörigen Technologien aus und projiziert sie in die Zukunft um zu sehen, welche Synergien auftreten können und welche neuen Fähigkeiten möglich sein werden. Gleichzeitig greifen wir auf die Aufstellung der zukünftigen Anforderungen der militärischen Fähigkeiten zu und liefern die Grundlage, um von jeder abzuleiten, welche Technologien und zugrunde liegenden wissenschaftlichen Fortschritte erforderlich wären.

Mit zunehmender Entwicklungsgeschwindigkeit müssen wir uns nicht nur der wachsenden Kluft zwischen Technologie und **Recht**, sondern auch zwischen Technologie und **Ethik** bewusst sein. Oftmals ziehen wir den Nutzen nicht, einen Schritt zurück zu treten, um die realen Chancen oder versteckten Bedrohungen einer Technologie einzuschätzen, und dieses Element kann einige unerwarteten Überraschungen bereit halten.

Dank Verknüpfung der verschiedenen **Technologietrends** mit den Fähigkeiten der Schweizer Armee wie auch mit der Schweizer **Industrie** sind wir überzeugt, dass dieser Beitrag einige neue

Informationen und Indikatoren zur Anregung von Diskussionen und Entscheidungen zum Wohle der **nationalen Sicherheit** bereitstellt.



# Teil Zwei

<b>5</b>	<b>Methodik</b> .....	<b>55</b>
5.1	Einführung	
5.2	Erhebung der Informationen	
5.3	Informationsplattform	
5.4	Reifegrad	
5.5	Verbreitung der Information	
5.6	DEFTECH-Plattform	
<b>6</b>	<b>Technologien</b> .....	<b>67</b>
6.1	3D Speicher-Chips	
6.2	Augmented Reality	
6.3	Bio-Authentifizierung	
6.4	Biologisch erweiterte Sinne	
6.5	Bionische Implantate	
6.6	Schnittstelle Gehirn zu Gehirn	
6.7	Maschinelles Sehen	
6.8	Context-aware computing	
6.9	Aufspüren von Emotionen	
6.10	Holographische Technologien	
6.11	Hypersonische Missiles	
6.12	Immersive virtuelle Realität	
6.13	Intelligente autonome Schwärme	
6.14	Internet der Dinge	
6.15	Labs on chips	
6.16	Laser-Kommunikation	
6.17	Maschinelles Lernen	
6.18	Medizinische Nanobots	
6.19	MEMS	
6.20	Nano-Biotechnologie	
6.21	Nano-Elektronik	
6.22	Nano-Materialien	
6.23	Transparentes photovoltaisches Glas	
6.24	Tragbare Energieversorgung	
6.25	Prädiktive Verhütung von Verbrechen	
6.26	Quantencomputer	
6.27	Selbstheilende Materialien	
6.28	Smart Dust	
6.29	Selbstanpassung Material	
6.30	Meta-Materialien und dynamische Tarnung	
6.31	Synthetische Biologie	
6.32	Telepräsenz-Roboter	
6.33	In die Kleidung integrierte Computer	
	<b>Bibliography</b> .....	<b>135</b>
	Articles	
	Reports	
	Online	
	<b>Index</b> .....	<b>137</b>





## 5. Methodik

### 5.1 Einführung

Technologiefrüherkennung mit einem 360°-Rundumblick zu betreiben ist eine intensive und kontinuierliche Herausforderung. Glücklicherweise verfolgen mehrere militärische und zivile internationale Organisationen das gleiche Ziel. Anstatt das Rad neu zu erfinden, nutzen wir die verschiedenen Berichte, um unsere Untersuchungen zu stützen und bestimmte Technologien sowie deren Reifegrad zu beschreiben. Dies erlaubt es uns, uns vor allem auf die Einordnung der Informationen zu konzentrieren, auf die Bedeutung der Technologien für das Militär und insbesondere für den Schweizer Kontext.

Die Technologiefrüherkennung muss so breit wie möglich bleiben, um irgendeine Überraschung technologischer Art zu vermeiden (siehe Abbildung 5.1).

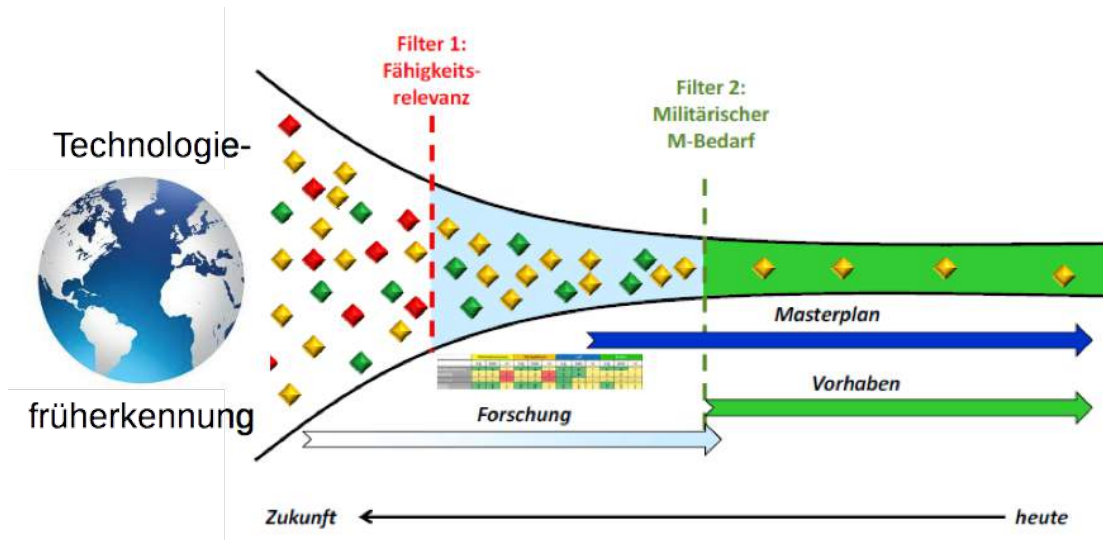


Abbildung 5.1: Von der Technologiefrüherkennung hin zum konkreten Nutzen der Technologie in einem militärischen Projekt. Am Anfang ist eine Bestandsaufnahme aller Technologien notwendig, um ihren möglichen Gebrauch bei militärischen Anwendungen zu ermitteln.

Die angewandte Methodik zur Erfassung der zahlreichen Technologien stellt die Skalierbarkeit ins Zentrum ihrer Eigenschaften, da sie auch bei grossen Schwankungen im Budget und in den Humanressourcen gültig bleiben soll. Eine graphische Darstellung ist in Abbildung 5.2.

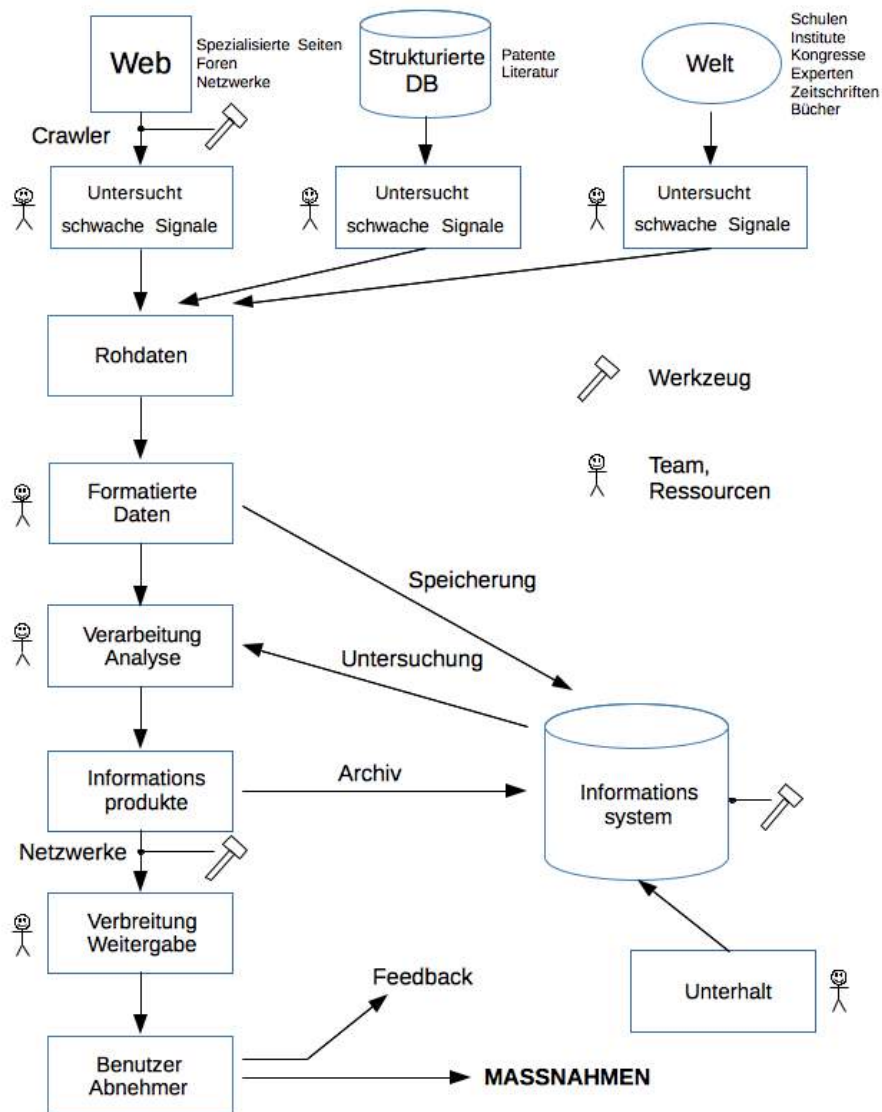


Abbildung 5.2: Darstellung des Technologiefrüherkennung angewandten Prozesses, vom Monitoring von schwachen Signalen bis zur Verbreitung der Informationen und daraus resultierenden Massnahmen.

Die wichtigsten Schritte des Verfahrens können folgendermassen zusammengefasst werden

1. Die **Erhebung** der Informationen
2. Die **Speicherung, Einordnung und Darstellung** der Informationen
3. Die **Übertragung und Verbreitung** der Informationen

## 5.2 Erhebung der Informationen

Das Hauptziel bei der Erhebung der Informationen ist es, einen 360° -Überblick aller Technologien, die einen Einfluss auf die Kriegsführung haben können, zu erhalten. Diese Aufgabe wird ausgeführt mittels Einbezug verschiedener privater und staatlicher Stellen, die zuständig sind für die Erfassung von frühen Trends und schwachen Signalen in Wissenschaft und Forschung (Veröffentlichungen), der Industrie (Patente) und der Gesellschaft (Produkte). Um jede Verzerrung in der Wahrnehmung zu

beseitigen, wurde der Versuch unternommen, Informationen von Stellen zu erhalten, die geografisch um die ganze Welt verteilt sind (Abbildung 5.3), wie auch von einer Art von *Crowdsourcing-Intelligenz*.



Abbildung 5.3: Verteilung des Swissnex-Netzwerks über die Welt ? [www.swissnex.org](http://www.swissnex.org)

Das Ergebnis ist eine Technologie-Liste mit strukturierten Informationen, die als Grundlage für zukünftig vertiefte Untersuchungen gemäss den jeweiligen Bedürfnissen und Interessen dienen wird. Beispielsweise wird die Erhebung von Informationen durch die Firma Envisioning Ltd nach dem folgenden Verfahren durchgeführt:

1. Überblick
  - (a) Scoping (Festlegung des Untersuchungsrahmens)
    - i. Analyse bestehender öffentlicher Quellen
    - ii. Zukunftsstudien
    - iii. Bücher
    - iv. Artikel
    - v. Patente
  - (b) Identifizieren von Experten
    - i. Wissenschaftler
    - ii. Ingenieure
    - iii. Journalisten / Autoren
    - iv. Gründer
    - v. Benutzer
2. Experten (Primäre Forschung)
  - (a) Tiefeninterviews mit Experten auf dem Gebiet durchführen
  - (b) Identifizieren von aktuell verwendeten Schlüsseltechnologien
  - (c) Ableiten / Interpretieren von Schlüsseltechnologien, die auf dem Gebiet erforscht werden
  - (d) Entwickeln eines Zeitplans für die Möglichkeiten
3. Immersion (Sekundäre Forschung)
  - (a) Über der Grenzen der aktuellen Forschung hinausschauen
  - (b) Industrie / Sektor bezüglich aufkommender Technologie-Initiativen analysieren
  - (c) Mapping und Tagging von Technologie-Nachrichten (Wired, Engadget, Techcrunch)
  - (d) Mapping von Crowdfunding-Initiativen (Kickstarter, Startup-Anlässe)

- (e) Mapping und Tagging von öffentlichen Bekanntgaben privater Forschungs- und Entwicklungsinitiativen
4. Analyse
    - (a) Einzigartige Technologien identifizieren
    - (b) Technologien beschreiben
    - (c) Clustering (Konnektivität für Makro- und Mikrotechnologien identifizieren)
    - (d) Reifegrad
    - (e) Auswirkung

Dies ist natürlich eine fortlaufende Tätigkeit, die je nach Zeitdruck und Niveau der erforderlichen Informationen extern oder intern ausgeführt werden kann. Um das Verständnis sowie die Suche durch die verschiedenen Dokumente zu erleichtern, werden die Informationen so weit wie möglich strukturiert, erst als Input und dann auch in den resultierenden Dokumenten (siehe Kapitel 6).

### 5.3 Informationsplattform

Um die Interpretation der Daten zu unterstützen benötigt man eine Plattform, deren Hauptaufgabe es ist

1. Die Informationen zu **speichern** und **indizieren** zwecks eine optimalen **Suche** einschliesslich semantischer Analyse
2. Eine umfassende **Darstellung** der Informationen (Beziehungen, Indikatoren, etc.) zu **ermöglichen**.
3. Output für die Verbreitung sowie Hilfestellung für weitere Massnahmen zu **generieren**.

Einer der wichtigsten Mehrwerte, den die Plattform bietet, ist auch die Möglichkeit, die Technologien mit anderen Umgebungen zu verbinden. Die Verbindung zwischen Technologien und Fähigkeiten der Streitkräfte ist möglich dank der Verwendung einer gemeinsamen Taxonomie. Indem man aufdeckt, welche Technologien welche Fähigkeiten beeinflussen, wird die Bedeutung und die Relevanz der einen und der andern direkt visualisierbar. Prioritäten sowie Szenarien können basierend auf diesen verschiedenen Zusammenhängen aufgebaut werden. Um den Kreis zu schliessen, wird dieselbe Taxonomie auch verwendet, um die nationalen Unternehmen mit strategischer militärischer Relevanz (STIB - Sicherheitsrelevante Technologie- und Industriebasis der Schweiz) in die verschiedenen Industriezweige einzuordnen, wie in Abbildung 5.4 dargestellt.

Angesichts dieser gemeinsamen Sprache sind wir daher in der Lage, strategische Fragen zu beantworten, wie:

1. Welche Technologie beeinflusst welche militärische Fähigkeit, und gibt es ein Schweizer Unternehmen, das in diesem Bereich aktiv ist, Abbildung 5.5?
2. Welche gegenwärtigen und zukünftigen militärischen Schlüsseltechnologien werden nicht durch die nationale Industrie abgedeckt?
3. In welchen Technologien werde ich Kompetenzen aufbauen müssen, wenn die Fähigkeit X grösste Wichtigkeit erhält?



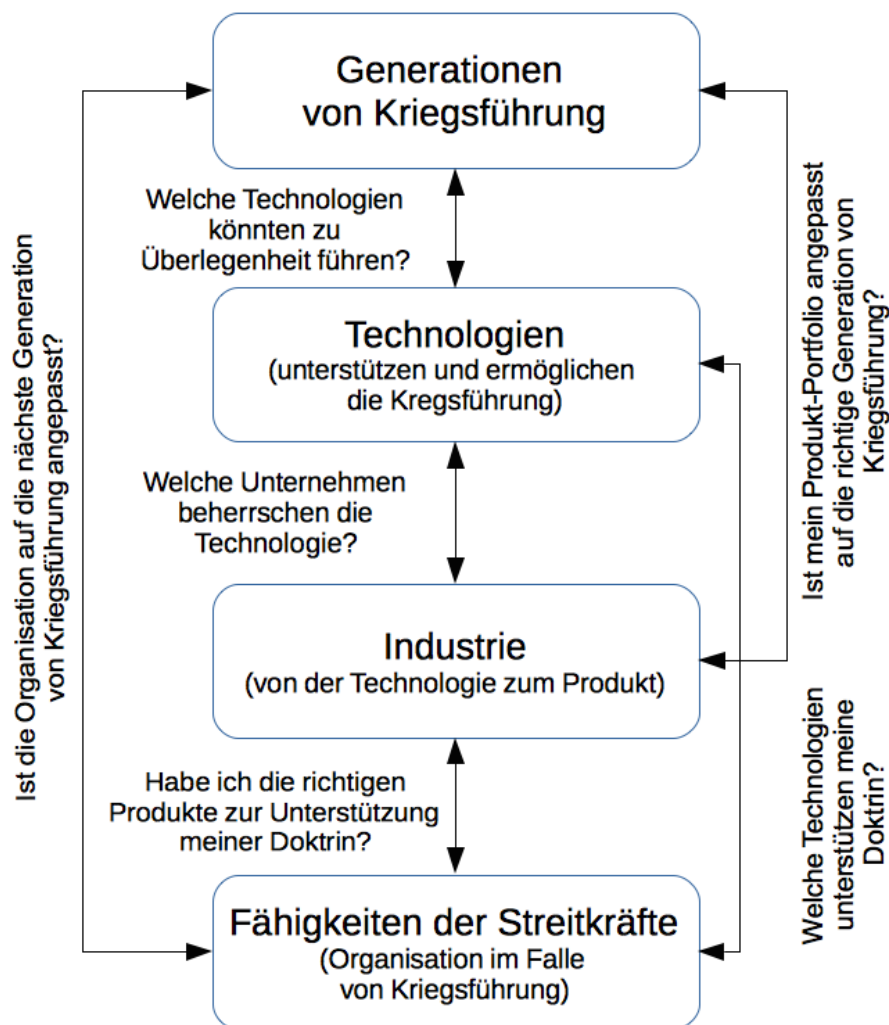


Abbildung 5.4: Dank einer gemeinsamen Taxonomie ist es möglich, Beziehungen zwischen Technologien, Industrie und (Schweizer) Armee herzustellen.

## 5.4 Reifegrad

Anstatt über die am meisten bahnbrechende Technologie in einem Gebiet zu streiten, haben wir die Frage umgekehrt. Wir betrachten fortlaufend alle neuen, interessanten Entwicklungen und versuchen zu verstehen, wie und unter welchen Bedingungen diese Technologien aufkommend, evolutionär, revolutionär oder disruptiv in einem militärischen und zivilen Umfeld sind. Die Definition der verwendeten Terminologie wird hier vorgestellt[Toc14].

- Eine **aufkommende Technologie** ist eine Technologie, die allgemein noch nicht in Verteidigungs- und Sicherheitskreisen wahrgenommen wird und die das Potenzial hat, sich als evolutionär, revolutionär oder disruptiv zu erweisen.
- Eine **evolutionäre Technologie** ist eine schrittweise entwickelte Technologie, die ihre Funktion in einer Komponente, einem Sub-System oder einem System allmählich verbessert, ohne signifikante Auswirkung auf die Gesamtfunktion des Systems.

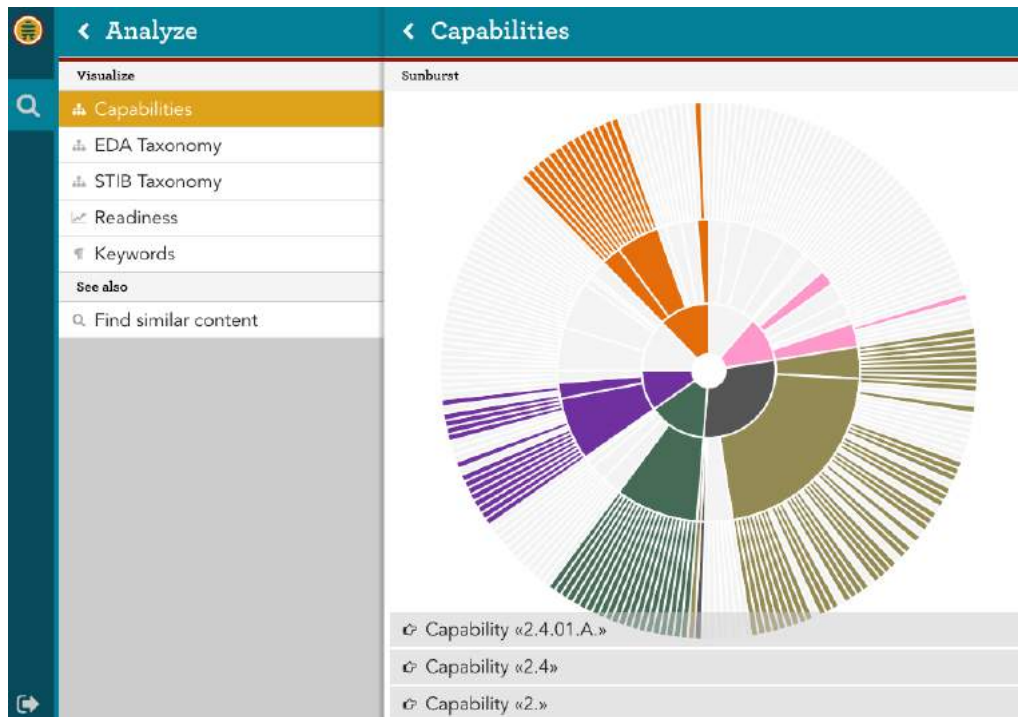


Abbildung 5.5: Konzept einer Darstellung zur Bedeutung einer Technologie für die verschiedenen Fähigkeiten der Schweizer Streitkräfte.

- Eine **revolutionäre Technologie** ist eine Technologie, die eine bestimmte Funktion einer Komponente, eines Sub-Systems oder einem Systems drastisch verbessert. Sie beschleunigt den Technologie-Entwicklungszyklus rasch im Vergleich zu ähnlichen Technologien und / oder erfüllt eine Funktion in einem neuen Markt.
- Eine **disruptive Technologie** stellt eine technologische Entwicklung dar, die über ein realistisches Potenzial für eine qualitative oder wesentliche quantitative Veränderung von nicht-technischen Fähigkeiten verfügt und somit zu einer qualitativen oder wesentlichen quantitativen Veränderung in den Beziehungen zwischen Staaten, Völkern oder Personen und Märkten führen kann. Sie übt ihre disruptive Auswirkung auf die Gesellschaft innerhalb von ein oder zwei Generationen aus und überfordert damit potenziell die Anpassungsfähigkeit der Menschen und des sozialen Systems. Es ist eine technologische Entwicklung, die das Konfliktverhalten oder die Einsatzregeln innerhalb von ein oder zwei Generationen wesentlich verändert und den Planungsprozess zwingt, sich anzupassen und die langfristigen Ziele, Strategien, Konzepte und Pläne zu ändern.

Doch anstatt ohne weitere Erklärung zu entscheiden, ob eine Technologie zur einen oder zur anderen Klasse gehört, glauben wir, dass ein Technologie-Profil ihr Potenzial viel besser beschreibt und ebenso die Risiken, denen sie begegnen könnte. Diese neue Methodik zur Erstellung eines Technologie-Profiles wird **Readiness** (Reifegrad) genannt und wird zusammen mit Envisioning Ltd [Za] entwickelt und validiert.

**Readiness** ist ein mathematisches Modell, das darauf abzielt, den Reifegrad von aufstrebenden Technologien zu bewerten und zu bemessen, wie nahe eine Idee an die Realität heran kommt. Indem man gemeinsame Richtungen der Evolution ermittelt, können Technologien miteinander verglichen werden. Readiness-Modelle bilden eine imaginäre Grenzlinie zwischen Science Fiction und wissen-

schaftlichen der Tatsachen. Man vertritt damit die Ansicht, dass der Technologie-Reifegrad nach folgenden beiden Hauptkriterien bewertet werden kann: *ist es möglich?* and *ist es wichtig?*

Jede Technologie wird durch Beantwortung der folgenden 10 Fragen beurteilt, jeweils mit einer Punktzahl von 1 bis 5. Das Endergebnis wird als harmonisches Mittel der einzelnen Punktzahlen berechnet. Das Endergebnis bezeichnet den gesamten Reifegrad, unterteilt in die Schwellenwerte: *Konzept, Prototyp* and *Produkt*.

#### Ist es möglich?

- **Machbarkeit**  
*Ist die Technologie wissenschaftlich umsetzbar?*
- **Nachweisbarkeit**  
*Ist der Funktionsnachweis erbracht?*
- **Durchbruch**  
*Ist sie merklich besser als Vorgänger-Technologien?*
- **Investition**  
*Wie weit ist sie im Investitionszyklus?*
- **Kosten**  
*Wie verhalten sich die Entwicklungskosten?*

#### Ist es wichtig?

- **Erklärbarkeit**  
*Verstehen es die Leute?*
- **Nützlichkeit**  
*Nutzen es die Leute?*
- **Notwendigkeit**  
*Brauchen es die Leute?*
- **Wettbewerb**  
*Konkurrieren die Leute zu, um es zu entwickeln?*
- **Herausforderung**  
*Befasst es sich nachgewiesenermassen mit den grossen Herausforderungen der Menschheit?*

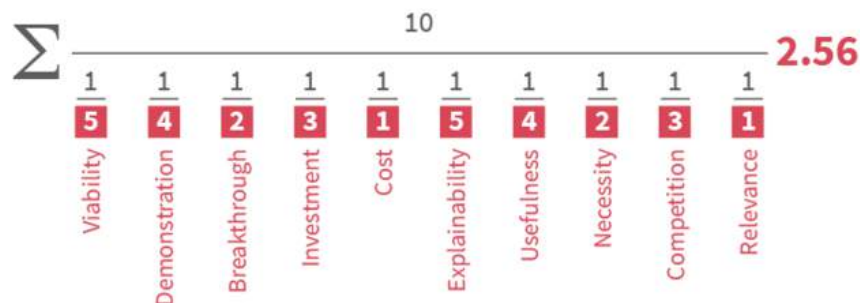


Abbildung 5.6: Berechnung des harmonischen Mittels als Indikator für den Reifegrad. Die Berechnung ist am Beispiel der Lieferdrohne ausgeführt.

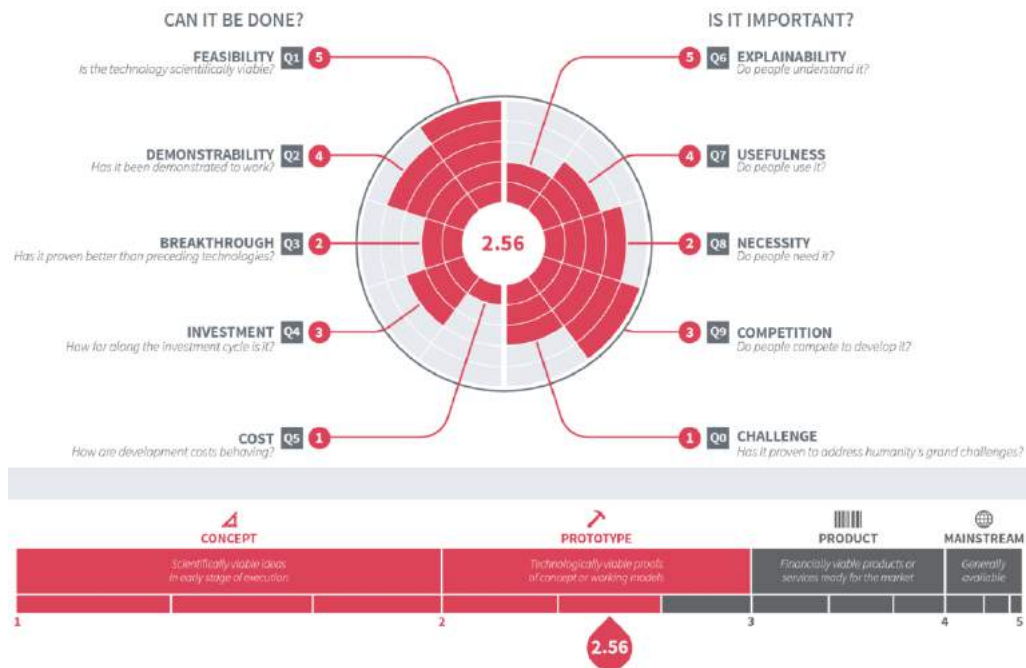


Abbildung 5.7: Darstellung des Reifegrad-Indikators für die Lieferdrohne sowohl als Radarprofil wie auch als Zahlenwert.

## 5.5 Verbreitung der Information

An important step of the work is of course the dissemination of the information. This could be done by simply providing an access to the platform and letting the interested users draw their own conclusions. This approach appears a little bit too passive, and we decided to engage in more *push* activities.

### 1. DEFTECH Workshops:

Eine Serie von eintägigen Workshops durch das Jahr hindurch mit spezifischen technologische Themen, die eine zukünftige potenzielle Relevanz für die Schweizer Streitkräfte darstellen.

### 2. 2. Technologie-Überblick:

Strukturierte Informationen zu jeder Technologie, standardisiert auf einem Layout von zwei Seiten A4.

### 3. DEFTECH Tagungen:

Entdeckungs- und Brainstorming-Aktivitäten zu verschiedenen Themen mit Technologiekarten und viel Phantasie!

## 5.6 DEFTECH-Plattform

Das Visualisierungs-Tool, wie in Abbildung 5.8 dargestellt, und die DEFTECH Technologie-Plattform sind beide im Internet unter folgenden Adressen zugänglich.

- <http://visualization.deftech.ch>
- <http://plattform.deftech.ch>
- <http://vision2015.deftech.ch/>  
*Druckbares Poster im A0-Format; hier ebenfalls in der richtigen Auflösung verfügbar.*

Bitte kontaktieren Sie den Autor um die notwendigen Berechtigungen zu erhalten.

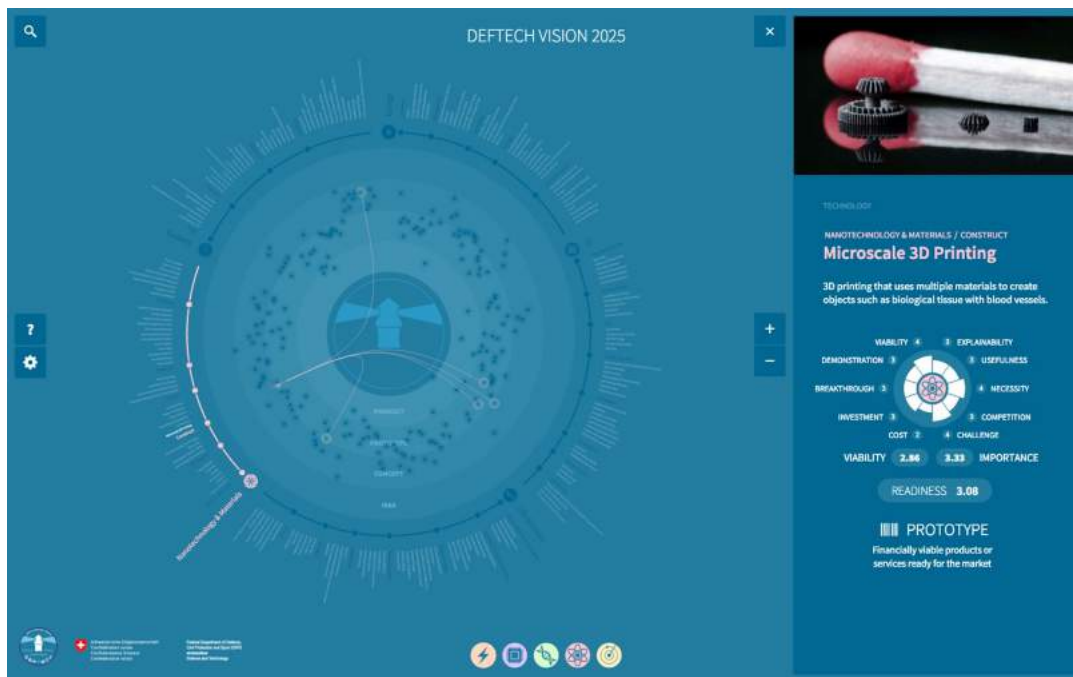


Abbildung 5.8: Printscreen der DEFTECH Visualisierungsanwendung, die für jede Technologie nebst andern Parametern ihren Bereitschaftsgrad angibt und die Beziehungen zwischen den verschiedenen Technologien darstellt.









## 6. Technologien

Die Profile der Technologien, auf denen dieses Kapitel aufgebaut ist, werden automatisch aus der DEFTECH-Plattform generiert. Der Aufbau und die strukturierten Informationen müssen ein globales Verständnis des Themas sowie eine Vision von seiner Verwendung in zivilen und militärischen Zusammenhängen vermitteln. Wenn neue Informationen vorliegen, werden die Profile ergänzt, so dass die Informationen auf dem neuesten Stand gehalten werden und bei Bedarf abrufbar sind.

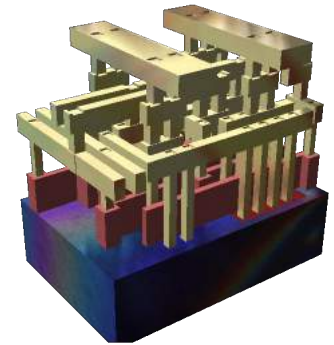
Da die Anzahl der Technologien erheblich anwachsen kann, führen wir die Untersuchungen mittels automatischer Erzeugung der Inhalte durch, einzig ausgehend von der Bezeichnung der Technologie. Indem verschiedene Informationsquellen berücksichtigt werden, strukturiert oder nicht, vermitteln die Herausforderungen von Big Data und künstlicher Intelligenz Erfahrung in Bereichen, die zu einem bestimmten Zeitpunkt mit Sicherheit disruptiv sein werden.

	3D memory chips	Augmented Reality	Bio authentication	Biologically extended senses	Bionic implants	Brain-to-brain interfaces	Comp. Vision	Context-aware computing	Emotion tracking	Holographic technologies	Hypersonic technology	Immersive multi-user VR swarms	Internet of things	Labels on chips	Laser comms	Machine learning	Medical nanobots	MEMS	Nanobiotechnology	Nanoelectronics	Nanoelectronics	Nanomaterials	Photovoltaic transparent	Portable Power	Predictive crime prevention	Quantum computing	Self-healing materials	Smart dust sensors	Smart materials	Stealth/camouflage	Telepresence	Wearable computing	Total connections				
3D memory chips																																					
Augmented Reality	x																																				
Bio authentication																																					
Biologically extended senses																																					
Bionic implants																																					
Brain-to-brain interfaces																																					
Comp. Vision																																					
Context-aware computing																																					
Emotion tracking																																					
Holographic technologies																																					
Hypersonic technology																																					
Immersive multi-user VR swarms																																					
Internet of things																																					
Labels on chips																																					
Laser comms																																					
Machine learning																																					
Medical nanobots																																					
MEMS																																					
Nanobiotechnology																																					
Nanoelectronics																																					
Nanomaterials																																					
Photovoltaic transparent glass																																					
Portable Power																																					
Predictive crime prevention																																					
Quantum computing																																					
Self-healing materials																																					
Smart dust sensors																																					
Smart materials																																					
Stealth technologies & Dynamic camouflage																																					
Telepresence																																					
Wearable computing																																					

Abbildung 6.1: Beispiel für die Analyse, die durch Querverweise bei den verschiedenen Technologien durchgeführt werden kann. Dies wird verhelfen zu erkennen, welche Technologien am meisten kombiniert werden können, und kann daher einige Hinweise über ihr disruptives Potenzial liefern.



# 3D Memory Chips



**Summary**  
Semiconductor  
Fabrication  
Memory  
Silicon

Until recently, computer chips were largely 2D structures, created by a sequence of 2D patterns applied on top of each other through lithography. To keep up with consumer demand for faster, smaller, more power efficient chips, the semiconductor industry has been defined by a race to develop chips with smaller feature sizes. As feature sizes in memory rapidly shrink, quantum effects become more pronounced. Users demand increased memory storage in smaller sizes, but as shrinking the size of components becomes less viable, memory manufacturers developed a new approach: stacking NAND memory cells vertically, rather than horizontally, to effectively fit more cells within a given two dimensional area. AMD's flagship Fiji line of graphical processors uses a technology they call high bandwidth memory that stacks entire memory dies (pieces of silicon) on top of each other, rather than fabricating a new memory layer on the same die. Intel has also adopted some 3D space saving measures for its microprocessors for some time now by effectively twisting transistors on their side in what it calls "Tri-gate transistors". In all these cases, moving from 2D to 3D structures improves performance, power consumption, and capacity.

**Weaknesses**

3D memory chips do not have any substantial downsides, however they require semiconductor fabs to retool, and in some cases (such as for High Bandwidth Memory), the processes and complexity result in slightly lower yields (more chips rejected).

**Related fields**

Wearable Computing, Nanoelectronics, Internet of Things, Augmented Reality, MEMS, Computer Vision, Virtual reality, Semiconductors, Labs on a Chip.

**Civil Uses**

Civil computing systems for business and domestic applications. Essentially, any platform that requires data storage, especially systems that already use flash memory, will benefit.

**Trends & Challenges**

Yield  
Power consumption

Like every other development in the semiconductor industry, the primary focus of 3D memory is to further reduce the size, power consumption, and cost of the components while simultaneously improving performance. Manufacturers are no doubt focusing on stacking more memory modules and fabricating the modules smaller than currently possible at reasonable yield rates. Principal challenges lie in the development of nanoscale fabrication techniques and in dissipating the large volumes of heat that will be generated in such systems.

**General**

The technology, although relatively new, is already in use in many commercially

**valuation** available products today. 3D memory technology will likely continue to see use until manufacturers reach the material limits of silicon substrates, and begin to explore more exotic materials and novel systems. Depending on the new material used, 3D memory techniques may be applied even after the switch from silicon to save space and improve performance. There are currently no near-commercialization technologies competing against 3D memory, however there are different techniques, depending on type of memory and structure, to manufacturing 3D memory. Like other semiconductor processes, 3D memory chip production is controlled by a few major fabricators, and has a huge cost barrier to entry. As such, it is extremely difficult for any start-up to enter the market.

**Defence valuation** In virtually every case, 3D memory appears exactly the same as conventional 2D memory, thanks to the “black box” method of computer design and manufacture. However, to an incredibly sophisticated computer forensic team using methods currently unknown in the private sector and bordering on the edge of theoretical plausibility, 3D memory, especially stacked NAND may prove more difficult to decipher than conventional 2D NAND.

Forensic

**Main actors** Micron, Sandisk, Intel, Toshiba, SK Hynix, Samsung, AMD.

**Recommendation** For players with expertise in advanced digital forensics, including reading data from damaged SSD drives, then 3D memory may prove a useful technology to adopt (or at least try), so they may learn to read data from stacked memory cells as well. If not, 3D memory will have a relatively low impact on the operations of most companies and is not worth close observation.

Adopt

Try





# Augmented Reality



## Summary

Information  
HUD  
Internet  
Displays

Augmented Reality (AR) is a concept where a real world visual space is augmented by the addition of visual, audio or any other sensory information. AR is most commonly associated with visual augmentation and most mature applications have used Head-up Displays (HUDs) to provide basic pictorial and textual information to the user. AR differs from Virtual Reality (VR) in that VR entirely replaces the user's visual field with a virtual one, but the distinction between AR and VR is constantly evolving and being challenged.

Historically, military applications have provided the greatest technical developments with HUDs for pilots and, more recently, dismounted soldiers. However, in recent years the development of smart phones and tablets has put the potential for augmented reality into the hands of people that would never previously have been able to afford the bespoke, high cost technology used in military applications. An ethical and social acceptance issue of Google glass has temporarily held back the technical development of augmented reality due to its association with the camera system used within Google glass/

## Weaknesses

Weaknesses include display resolution (unable to convey complex information), transparency (difficulties in projecting dark areas on to head mounted displays), unit size (for head mounted systems) and social/ethical acceptance issues.

## Related fields

Portable power, Wearable Computing, Nanoelectronics, Internet of Things, Holodeck, Consumer electronics, 3D Memory Chips, Telepresence, Virtual reality, Voice Recognition.

## Civil Uses

Manufacturing and maintenance/repair, video games, navigation.

## Trends & Challenges

The main challenge facing AR technology is making the technology acceptable to use in mainstream social situations. While this is not a concern for many viable applications this issue will reduce the funding going into wearable AR technology and therefore AR technology as a whole. Developments in contact lens based AR may be a big step in the acceptance of mainstream AR.

## General valuation

Ealys adopter  
Fast moving  
Privacy

For civil applications, AR is still relatively immature and is being held back mostly by ethical and social concerns over privacy due to the association of permanent camera surveillance with AR. This is despite AR not requiring camera information for many applications. Despite this association, limited adoption of civil AR headsets is expected within the next 5 years with the most likely applications being as additions to existing head mounted items, such as safety helmets, and in situations where visibility is poor or the hands are already involved in tasks. A civil

example could be for cyclists.

Some commercial offerings have been available (notably Google glass) but these have been mostly intended to 'test the water' rather than as a full product. In January 2015 Google withdrew Google glass from sale but claims that it is continuing to develop the concept.

AR technologies are in huge competition with Virtual Reality (VR) technologies and other wearables such as smart watches.

**Defence valuation**

Basic systems  
Navigation  
Pilots

AR is already in mainstream use in military applications including for pilots and dismounted soldiers. However, these are largely high cost, bespoke devices built into safety helmets. Current devices used in the air domain provide basic pictorial and textual information, often monochrome vector graphics displaying information such as altitude or threat location. This information is also commonly a replication of data available to the user through other means. In the medium term (10-20 years) we may see greater display fidelity and therefore AR devices being used to replace information currently provided through other means within the cockpit.

**Main actors**

Google, Oculus, Lockheed Martin, Microsoft, Samsung, BAE Systems.

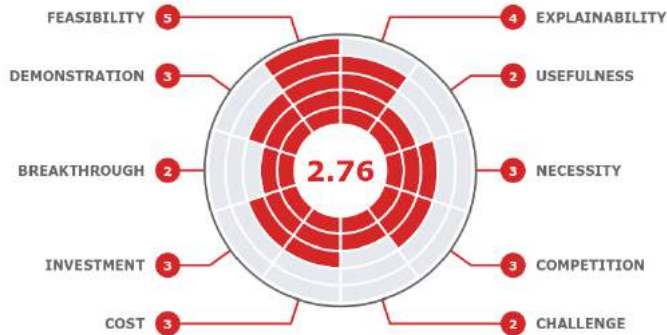
**Recommendation**

Adopt  
Try

Military applications of augmented reality are already mature and have been in use for some time, notably for aircraft pilots. The adoption of AR is also quickly moving into other military applications including dismounted operations. Defense stakeholders should be trying and testing these opportunities immediately as the military domain is the most mature for applications.



# Bio-Authentication



## Summary

Bio-authentication—or biometric authentication—is the application of characteristics of an individual’s physiology or behavior in verifying that individual’s identity. Importantly, these characteristics must be measurable and unique to the individual. Biometric solutions for security applications have been in use for decades and have experienced substantial improvements during that time. Their use has generated interest in recent years because of the increasing pervasiveness of the internet, the necessity to be a part of it, and the risk of security breaches. The most well-known form of bio-authentication is the fingerprint, which has found use in crime-scene analysis since the early 20th century. Fingerprint bio-authentication technology is simple enough today that it has been present in some high-end smartphones and tablets since 2011. Other physiological traits that have found use in bio-authentication include iris, retinal, vein-pattern, and facial recognition. Voice recognition is an example of a behavioral characteristic that is occasionally employed in the verification of identity. Walking gait and the way in which an individual interacts with a computer have also shown promise in bio-authentication techniques. Away from crime-scene analysis, DNA bio-authentication is not commonly in use for human security purposes, but has been placed on products to combat counterfeiting.

## Weaknesses

Natural changes in the biometric data of individuals have been a hurdle. Security of biometric data is key to the success of bio-authentication technologies. Biometric “passwords” cannot simply be changed.

## Related fields

Medical Nanobots, Bionic Implants, Nanobiotechnology, Retail, Consumer electronics, Software, Insurance, Sensors, Emotion Tracking.

## Civil Uses

Security, consumer technology, border control, office and home entrance systems, ticketing systems, crowd control, targeted marketing, banking, shopping/retail.

## Trends & Challenges

The use of biometrics in security verification is fairly simple and, as technology costs decrease, bio-authentication techniques such as iris recognition are becoming more common. The main challenge for this type of bio-authentication is security of the biometric data. Typically, bio-authentication is used for verifying a person’s identity, but research is trying to improve methods of identifying unknown individuals. The challenge for this sort of identification is overcoming ethical, legal, and technical hurdles to build a secure database of biometrics that can be searched quickly. Other research trends are looking at alternative biometrics, including heart rhythm, brain activity, and microbiomes.

**General valuation** Bio-authentication is in many ways mature. Advances in, and decreasing costs of, sensor technologies have brought biometric verification—such as fingerprint and facial recognition—to high-end consumer electronics. Other bio-authentication techniques are in use by governments in border control, identity cards, and insurance verification. For example, the Social Security Institution of Turkey uses a biometric scanner from Hitachi and MIG that identifies patients on the basis of the vein patterns on a finger to ensure the country’s Universal Health Insurance scheme is not misused. One of the major concerns over the use of bio-authentication is whether the public feel the storing of biometric data is an invasion of privacy. Warnings exist concerning the security of these data too. Criminals could steal biometric data not only through hacking but also through physical methods. For example, iris-pattern data could be stolen from a photo of an individual. Furthermore, unlike alphanumeric-based passwords, an individual cannot easily change their biometric “password” if it is stolen. For this reason, traditional passwords, personal identification numbers, and wireless RFID verification represent competing technologies. Multimodal bio-authentication and adaptive biometric systems are avenues of research that may give biometric verification the leading edge and overcome natural biometric changes.

**Defence valuation** Some militaries are already employing bio-authentication systems for access to secure areas. Such bio-authentication could also find use in weapons and vehicles in the field, preventing enemy forces from using captured equipment. Enemy biometric data may also prove useful. The US Defense Forensics and Biometrics Agency (DFBA) collects biometric data from non-US persons of interest to aid in identifying suspected or known adversaries. The next development for this sort of data would be to collect it covertly. For example, highly sensitive cameras that not only could capture multiple biometrics very quickly but also identify individuals would prove useful for surveillance. This sort of system could also help to quickly identify friendly individuals in the field. The threat from biometric systems comes from how enemy forces are gaining and using biometric data for themselves. Furthermore, the use of bio-authentication security systems may put individuals and their bodies at heightened risk.

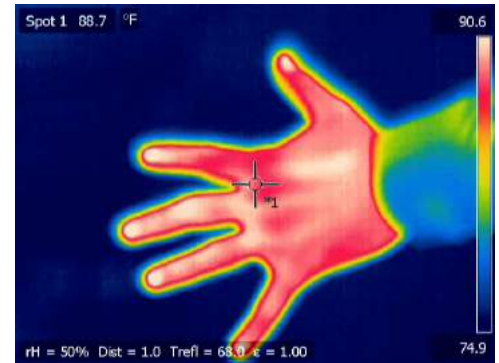
**Main actors** Unisys, Go Vivace, Zwipe, Oxford BioChronometrics, Cognitec, MIG, Fujitsu, Nymi, ievio, Intel, Nuance, 3M, Descarted Biometrics, Hitachi.

**Recommendation** Bio-authentication offers significant opportunities for diversifying security systems. Defense organizations ought to try bio-authentication, not least because many other defense organizations are doing so. However, the security of the biometric data is paramount to the success of bio-authentication systems. Therefore, it is important to develop secure systems to protect these data. Bio-authentication of weapons and vehicles could be very useful in the field. However, the reality of how useful and how practical bio-authentication of equipment could be needs to be established. The use of biometric data in surveillance throws up a host of ethical and legal difficulties depending on the context of its use. It is recommended, therefore, that players observe the development of bio-authentication technology for use in surveillance until a time when the technology is proven to be beneficial enough to be worth adopting.





# Biologically Extended Senses



## Summary

Olfactory  
Night vision  
Infrared

Correcting defective senses—particularly vision and hearing—has long been a staple of human technological development. As these technologies have advanced, focus has shifted from merely correcting defects to enhancing the human senses. Basic examples include night-vision goggles and infrared cameras. But the possibilities for extended senses have expanded through advances in various technological fields. The area of biologically extended senses is not a coordinated and fully formed field of research; rather it is a broad application of many different technologies. The main principle behind the application is the use of technologies and techniques to enhance the senses beyond that of typical human capabilities. Naturally, this definition includes the extension of hearing, sight, taste, smell, and touch separately but also includes the enhancing of all or most of the senses in order to remain alert. Many of the possible methods for extending the senses are initially developed for other purposes. For example, transcranial direct current stimulation (tDCS) was originally developed as a treatment for brain injuries but has shown promise as a method for enhancing the abilities of soldiers.

## Weaknesses

Lack of collaboration and coordination between disparate fields to work toward enhancing the senses is a current weakness. Additionally, ethical questions could arise from some methods, in particular drugs.

## Related fields

Nanobiotechnology, Construction, Neuroscience, Neurology, Industrial, Emotion Tracking.

## Civil Uses

Consumer use for alertness, research tools, health and safety, education, sports and leisure.

## Trends & Challenges

Disparate  
Research focus  
Consolidation

Technologies and techniques for extending senses are developing from very disparate areas, ranging from meditation methods to electronic devices to drugs. Meditation for focusing the mind and senses has a very long history, but new techniques are embracing technology. For example, the EU-funded INTERSTRESS project attempted to teach the process of lowering stress levels through biometric sensors and virtual-reality environments. The progression of neuroscience will play a significant role in the development of biologically extended senses. The field is increasingly garnering attention and funding. However, the main challenge for extended-senses techniques is consolidating and focusing research.

## General

As a whole, the extension of the senses is a fairly immature field. However, narrower clusters of technologies and techniques are more advanced and

**valuation** progressing quickly. For example, tDCS and other neurostimulation methods are being developed specifically for enhancing the nervous system. Some neurostimulation devices—such as cochlear implants—are already available for people with certain disabilities. US company foc.us sells transcranial-stimulating devices commercially to the computer gaming community. Sleep science is a developing area of research that could have implications for methods of extending the senses. Research at Washington University demonstrated the use of a hormone to control the body clocks of mice. Some practices—including meditation, training techniques, and diets—claim to help enhance the senses. However, high-integrity studies of these practices are uncommon. Sports psychology is a popular method for improving performance in intense situations.

Disparate  
Ethics  
Emerging

Some methods for extending the senses raise questions about health and safety. For example, some research has suggested that tDCS can cause side effects, including burning sensation, temporary blindness, and loss of consciousness. Ethical questions exist surrounding the need for such enhancement of the senses, particularly as automation via machines, sensors, and artificial intelligence are improving significantly.

**Defence valuation** In theory, extended senses could be very useful in defense. Indeed, modafinil—a drug for treating wakefulness disorders such as narcolepsy—has found use in operations by some armed forces, such as that of the United States and France. However, the necessity of biologically extended senses is questionable when much of the defense sector is moving toward remotely controlled—or even autonomous—machines. Although the alertness of those people operating the machines is important, replacing them with a fresh operator may be simpler than using sense-enhancing techniques at their current level of development. Nevertheless, extended senses could be very useful in intense, covert operations. The ability to enhance sensory perception on demand gives significant advantages—for example, the capability to perform the operation at any time of day—in these situations. However, the long-term side effects of using methods to enhance the senses needs to be considered.

Covert  
Darkness

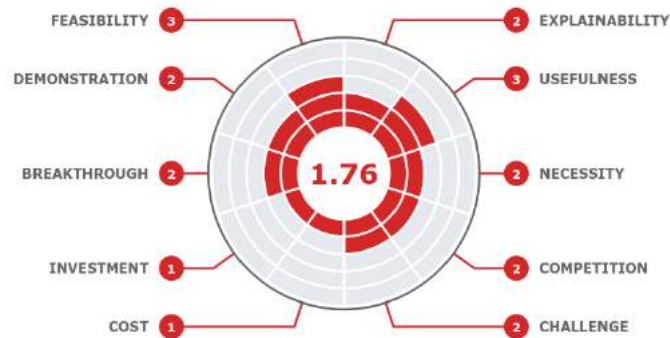
**Main actors** Brown University, foc.us, DARPA, University of Washington, Neuroscience Center Zurich, UCL Neuroscience.

**Recommendation** Much of the research surrounding biologically extended senses is nascent and warrants monitoring. Observing developments arising from the field of neurological research is highly recommended because this area currently has a significant amount of momentum behind it and could produce discoveries of great importance to the extension of the senses. Other areas are worth trying. tDCS is of particular interest to many defense organizations, but it requires more research to help develop it into a useful and safe tool. Some approved medical drugs may be worth investigating for use in enhancing alertness if proved to be safe. While the usefulness of meditation and similar practices to enhance the senses is difficult to gauge, some psychological training techniques may be beneficial. Sports psychology is common in professional sports and is worth trying to see if it can be tailored to the defense sector.

Observe



# Bionic Implants



## Summary

Prosthetics  
Sensory  
Stimulators  
Enhancement  
Augmentation

Bionic implants enhance or correct the function of organs or other body parts; these systems often mimic the functions and appearances of natural equivalents. These implants sense and react to the body's natural signals. Bionic implants covers a wide range of products and applications, from the commercially mature, to the conceptual. Pacemakers (not strictly speaking bionic devices, but nonetheless closely related) and cochlear implants are well-established devices, and artificial hearts are now available, albeit for temporary application. Retinal implants are in the early stages of commercialization, with some success treating specific blindness conditions. Advanced prosthetics are starting to become more bionic in their responses. Neural stimulators to treat epilepsy and Parkinson's disease are under development, as are implants to treat sleep apnea.

Neuron-connected prosthetics—that users can move with thought power—have long been the goal for limb replacements. In addition, researchers hope to develop prosthetic implants with sensory feedback. Further into the future, developments in nanotechnology could enable tiny bionic devices, such as *respirocytes*—artificial, mechanical blood cells that can replicate and surpass the human respiratory system; each artificial cell could transport 200 times more oxygen than a natural red blood cell.

## Weaknesses

Bionic implants are nascent and expensive: Current devices stimulate muscle/neural tissue in a basic way. Understanding of physiological processes needs to improve before effective systems emerge.

## Related fields

Medical Nanobots, Nanobiotechnology, Portable Power, Wearable Computing, Internet of Things, Smart Materials, Human Augmentation, MEMS, Brain-to-Brain Interfaces, Flexible Electronics, Bio Authentication.

## Civil Uses

Technologies such as artificial sight and hearing devices; neutrally-connected prosthetics; artificial or enhanced organs. All could see use to correct debilitating conditions, or enhance human capabilities.

## Trends & Challenges

Nanotechnology  
Neuroscience  
Cost reduction

Advances in technology—particularly nanotechnology—are paving the way for neuron-connected devices that integrate better with the body. Medical research is well versed in the workings of the eye and the optic nerve; as a result, many of the advances in neuron-connected devices are occurring in implants that connect to the optic nerve and aid with vision. For other applications, scientists need to understand much more about how the neural system functions. For example, the US National Institutes of Health (NIH) is proposing to fund research that focuses

**Safety** on the mechanisms that underlie the electrical control of the body's organs.

**General valuation** Bionic-implant technology is growing steadily, with the capability of these devices depend upon scientists' understanding of body functions. Cochlear and, to a lesser extent, retinal implants are now available, but other devices that require connection to the body's neural system are still in a highly developmental phase.

**Trials**  
**Emerging** In February 2013, Second Sight gained US Food and Drug Administration approval for its Argus II device. The prosthetic device restores some sight to people visually impaired by retinitis pigmentosa. The purpose of the Argus II is to restore mobility to the retinitis pigmentosa sufferers by allowing them to distinguish some objects. However, the device has the potential for restoring vision to other forms of blindness in which parts of the retina and the optic nerve are still functional. Future availability will depend on devices' costs. Currently, the Argos II costs \$100,000. In the next ten years, the adoption of nanotechnology will reduce the limitations that prosthetics currently have. Consequently, the high price of the devices will likely fall, although for prosthetics like the Argus II the price will likely remain high because the Argus II is for a niche market. However, should prosthetics find wider use for augmenting healthy people—for example, a visual implant that enables the user to see infrared light—then the cost of such devices could fall further.

**Defence valuation** In terms of threats, bionic implants could be used to improve the performance of military personnel. For example, a visual implant that enables users to see infrared light could enable soldiers to see in the dark. These devices are becoming more cost effective. However, ethical issues would surround the use of implants that are invasive.

**Technology Transfer**

In addition, bionic implants could restore many aspects of the lives of military personnel who are injured during active service. For example, implants could restore sight, hearing and perhaps some physical functions.

In all likelihood, it is more likely that lessons learned, and technologies developed from, bionic implants, are likely to spin off into defense applications. In particular, bionic-implant technologies could result in technologies that enable better wearable devices—for improving motion, vision, other senses, and so on.

**Main actors** GlaxoSmithKline, KAIST, Retina Implant, EPFL, Second Sight, Touch Bionics, Chicago Center for Bionic Medicine.

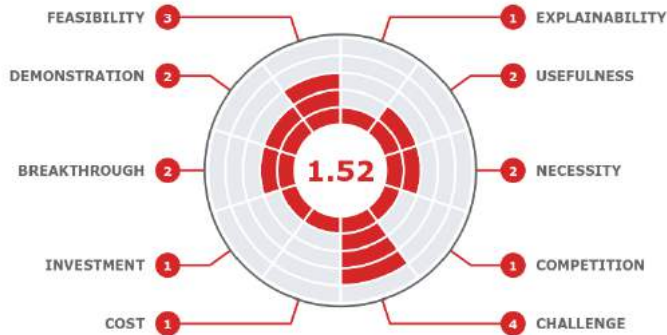
**Recommendation** This technology area falls somewhere between the observe and try categories. It is worth monitoring the numerous bionic-implant technologies and approaches, and assessing their potential to transfer into applications that are more directly related to defense and military applications (as discussed in Defense & Security Valuation, above).

**Observe**

**Try**



# Brain to Brain Interface



## Summary

Remote control  
Neurons  
EEG

Brain-brain interface (BBIs)—sometimes referred as synthetic telepathy or silent communication—technologies enable thought communication. BBIs use neuroscientific principles: The nervous system—brain and spinal cord—comprises neurons, connected by neural synapses, which communicate using electrical signals. Neurons send messages to neurons, or networks of neurons. Neurons' complex firing patterns underpin multiple phenomena, including memory, consciousness, and motor functions.

While understanding of these complex neural mechanisms is incomplete, by using electroencephalography (EEG)—and magnetic resonance imaging (MRI) and positron emission tomography (PET)—researchers have developed brain-computer interface (BCI) systems that can interpret brain activity. Researchers have also developed computer-brain interfaces (CBIs)—in particular ancranial magnetic stimulation (TMS) systems—that transmit information to a brain; in some cases precipitating physical reactions. BBI is an extension of BCI and CBI.

BBI implementation will in part come through developments in these enabling technologies: DARPA has funded the development of neural implants for 'remote control' of animals. A 2003 Duke University BCI enabled a monkey to control a robot arm. In 2014, a University of Washington noninvasive BBI system captured brain signals from one researcher using an EEG, sent signals via the internet to a TMS attached to a second researcher, in an attempt to initiate finger movement.

## Weaknesses

Only two BBI systems have been demonstrated; their efficacy is controversial. Neuroscientists do not fully understand the brain. BBIs only convey simple "on-off" messages. Equipment is currently slow and complex.

## Related fields

Nanobiotechnology, Virtual Reality, Wearable Computing, Nanoelectronics, wireless/internet communications, healthcare, BCIs/BMIs, interfaces, microelectronics, Biotechnology, data security, Bionic Implants, organic computing, neuroscience.

## Civil Uses

Healthcare and medicine, in particular, rehabilitation; training, instruction, and machine operation. Long-term, BBIs could enable wholly new, disruptive, communication concepts.

## Trends & Challenges

Replication

Research trends are broad and aspirational. A major research area is the replication. As highlighted above, BBI research programs involve combinations of BCIs/CBIs. Researchers have developed BBI systems that can transmit simple—almost binary in nature—pieces of information. For example, researchers at



Record, Store Brain Activity Starlab Barcelona claimed to send a message between Kerala and Strasbourg; the binary message used a TMS to cause the receiver to see light pulses. Understanding brain function is a huge task, and a key challenge for future BBIs. Nevertheless, incredible progress has occurred in the past 20 years; progress that will continue. European and US researchers plan to create technology that can record, store, and play back, brain activity.

**General valuation**

Immature  
Controversial  
Uncertain

BBI is an immature area and is available only in research laboratories. Nevertheless, related technologies such as BCIs are more mature. Some enabling components such as EEG, functional MRI, and TMS are already commercial. Progress in these enabling technologies will contribute to the success of BBI. Some simple BCI technology has crept toward the mainstream. In the mid-1980s, Atari experimented with an EMG headband to detect muscle movements. In the late 2000s, NeuroSky announced EEG/EMG interfaces for entertainment, automotive and health applications. The effectiveness of these systems is uncertain. As the technology progresses, becoming faster and more accurate, BBI is likely to become controversial—for numerous security and privacy reasons. Competing technologies include all existing communications approaches (voice, text, video), and also automation and robotics (effectively, machine-machine interfaces), because automation reduces the need for person-to-person communications.

**Defence valuation**

Communication  
Privacy  
DARPA

The prospect of seamless, wordless information transmission between people and personnel is highly significant—and already of interest to the global defense community. Indeed, a significant amount of BBI, BCI, and neuroscience research is funded by military organizations. For example, DARPA has funded research into BCIs and BBIs (including some work at Duke University). Opportunities exist for novel defense-related forms of communication—communication that could render spoken language obsolete in some applications. Training and tutoring is particularly important in defense settings; BBIs could revolutionize training, perhaps enabling instant training of military personnel. Beyond remote control and military-focused medical and rehabilitation applications, long-term opportunities also include connected living systems: Duke University researchers report to have connected the brains of rats, enabling a new form of swarm intelligence. Threats include surreptitious use of BBI, BCI, and CBI approaches. Currently, these technologies are either invasive or at least require wearable interfaces. As this technology becomes more compact, and perhaps more pervasive, new threats could emerge—in particular, hacking. Advanced interfaces could make privacy itself obsolete.

**Main actors**

Toyota (enabling technologies), Duke University, Brown University, Honda, State University of New York, DARPA, ATI, Shandong University, University of Washington, Starlab Barcelona (BBIs).

**Recommendation**

Disruptive  
Observe & Try

Key recommendations include tracking and monitoring developments in this technology, and also in related fields (brain-machine interfaces, neuroscience). Although BBI technology is likely to see slow development and adoption, it could render a number of existing communications technologies obsolete. It could also compete with traditional rehabilitation and—importantly—training methods and procedures.



# Computer Vision



## Summary

Image recognition  
Deep learning  
Machine Understanding  
Navigation

Image recognition is mature for certain domains, such as faces that look directly into cameras and quality control of manufactured goods. Machine learning—computers “figuring out for themselves” the mathematical features of images that humans have explicitly labeled as depicting, say, cats and dogs—helps machines spot those features in arbitrary unlabeled images. People use the term *deep learning* to describe architectures having many layers, typically of artificial models of biological neural networks. But alternative technical methods, especially probabilistic models, are also important to progress.

Some robots and autonomous vehicles implement computer vision for navigation and other purposes, often by comparing images to prepared maps and models. In some cases the robots and cars themselves explore an area to help prepare those maps and models.

Some research aims toward image understanding. Recognizing that an image contains a dog and also a dish of ice cream is distinct from recognizing that the dog is eating ice cream, and thereby deducing that in fact dogs sometimes do eat ice cream.

## Weaknesses

Computers need many training examples to learn new objects, are prone to generating false-positive detections, and are poor at producing descriptions of what occurred when a photograph was captured.

## Related fields

Connectomics, Photogrammetry, Machine Learning, Signal processing, Artificial intelligence, Sensors.

## Civil Uses

Commercial technologies include radiological diagnosis, automated optical inspection in manufacturing, automated organization of photo collections, and searches for “similar” (often, labeled) images. Stakeholders expect to improve searching for unlabeled objects.

## Trends & Challenges

Graphics processing  
Benchmarking  
Machine learning  
Decision making

Large, brand-name companies, research institutes, and some startups are investing abundant resources in long-term efforts to achieve human-like visual intelligence. Researchers commonly participate in formal competitions that benchmark software performance—such as success in drawing a box around a dog and identifying its breed. Many, but not all, state-of-the-art computer-vision systems execute machine learning on graphics processor units—which can be, but are not necessarily, more economical and computationally efficient for the purpose than ordinary processors. People commonly inspect drawings to solve problems and make reasoned decisions, and some research aims to give computers similar



abilities.

**General valuation**

Immature  
Basic  
Underused  
High-cost

Basic forms of image recognition, especially the limited case of recognizing facial portraits, are somewhat mature. Some security technologies seem underused, such as systems that detect unattended baggage. The volume of advanced research activity is very high, fuelling recent steady improvements in computer-vision benchmarks, and justifying some expectation of further momentum.

But overall, computer vision technology is quite immature, with machines needing far more training images than their human counterparts, and poor recognition of faces captured by surveillance cameras. And deep learning's big-data approach, which has driven much of the recent progress, may not scale economically to machine-understanding tasks. Competing computer vision methods for navigation of vehicles, robots, and drones impose varying resource requirements, such as varying dependence on cloud services and prepared maps. As different sub-disciplines progress at different rates, requirements changes could disrupt long-range development projects.

A sufficiently dramatic improvement in face recognition could stimulate a public backlash against the loss of a customary sense of anonymity, say, in drugstores and bars.

**Defence valuation**

Automation  
Friend-or-foe  
Surveillance  
Crime

Over a dozen companies sell solutions that detect specific events of interest to surveillance specialists, such as presence of unattended baggage and persons who fall, loiter, produce graffiti, shoplift, and prowl in the manner of a car thief.

Apparently, intelligence agencies aim to teach machines to perform key tasks such as friend-or-foe identification, but still have strong reliance on human image analysts. The analysis of aerial and satellite images is often a human-machine collaboration rather a fully automated process.

And notably, face recognition technology remains unreliable for images of people who are not looking directly at a camera, hampering efforts to, say, automatically identify that a person of interest has walked past a surveillance camera at an oblique angle, in situations where a human observer could have made the identification.

**Main actors**

Clarifai, Microsoft, Facebook, INRIA, NLPR, NUS, Baidu, University of Toronto, Vicarious, Google, Sentient, University of Oxford, ETH Zurich, EFPL, Amazon.com.

**Recommendation**

Observe  
Try

Computer vision certainly merits observation by governments, military organizations, and their suppliers, who could benefit from likely improvements in automated surveillance and computer-assisted intelligence assessments. Observation and focused assessments can reveal the resource and performance requirements of systems that can attain varying (and evolving) tiers of computer-vision performance. Organizations with interest in the development of various autonomous vehicle, robot, and drone technologies also have reason to observe and try competing approaches to computer vision for self-navigation. With sufficient technological progress, machine understanding of dynamic environments might surpass navigation by matching images to prepared maps and models.



# Context-Aware Computing



## Summary

Autonomy  
User experience  
Intelligence

Context-aware computing (CAC) uses sensors, location, user preferences, activity logs, environmental information, and other data to proactively deliver information, execute commands, and adjust user interfaces in accord with changing conditions, with the aim of improving utility of software and quality of user experience, allowing users to focus on tasks and experiences rather than on the mechanisms of human-computer interaction.

Visions of pervasive computing and intelligent-agent software generally encompass the ideals of CAC, seeking to implement more or less autonomous software that identifies a user's needs and acts on user's behalf without explicit instructions, like a silent butler. CAC also aims to respond to fuzzy human needs, like the need not to be disturbed unless an incoming message is important, relative to perhaps innumerable explicit and implicit conditions.

Simple implementations include screen brightness controls that automatically adjust to ambient light; and PC software that presents menus appropriate to a current task. Applications that were considered advanced in past years are now routine, including video streams that automatically adapt to available screen sizes and data rates, and fitness apps that fuse sensor and location data to identify whether a user is walking or bicycling to automatically generate a calorie-burn estimate.

## Weaknesses

CAC's many difficulties include poor indoor-location technology, ambiguities about which messages to prioritize, and challenges in detecting when to leave users undisturbed, say, during impromptu meetings and while driving.

## Related fields

Virtual Reality, Internet of Things, Indoor location, Data compression, Sensor fusion, User interfaces, Predictive Crime Prevention, Adaptive systems, Behavior recognition, Quantum Computing, Situation awareness, Machine Learning, Computer Vision, Wearables, Artificial intelligence, Swarms, Sensors, Search engines, Emotion Tracking.

## Civil Uses

Programmers will maintain and extend use of CAC for message delivery, search engines, augmented reality, smart buildings, driver safety, health and fitness applications.

## Trends & Challenges

Automation

R&D efforts seek to detect and classify user activities; automatically detect presence and availability for messaging; improve indoor location systems; and use contextual information to interpret verbal commands that are otherwise ambiguous.

Contextual Data fusion Location Significant challenges include improving safety by suppressing incoming messages to vehicle drivers but not to passengers; presenting a list of printers that are prioritized according to proximity; interpreting data from wearable devices to discriminate lifting hand weights from lifting eating utensils; and enabling follow-me services that automatically activate and deactivate lights, music, video, communications, and security systems as a user performs chores around and away from a house.

### General valuation

Partially mature

In some senses the technology is quite mature, initially signalled by the ubiquity of office-productivity and graphic-design software that presents menus and tools that vary in accord with a task's context. Subsequently, smartphones began to contain suites of over a dozen sensors and multiple location technologies, enabling development of very many mobile apps that make use of such technologies.

At conferences on human-computer interfaces, location technologies, and pervasive computing, context awareness is merely one of many attributes of diverse applications that depend on sensor data, streams of social media messages, and other inputs. Significantly, the Interaction Design Foundation discontinued its Symposium on Location and Context Awareness (LoCA) conferences after 2009.

In another sense CAC is most immature because it has had very limited success satisfying its goal of determining user intentions without explicit input. Famously, people saw Microsoft's circa-2000 "Clippy" context-sensitive help assistant as intrusive and unhelpful. Users also shun the types of continuous surveillance and data aggregation that might improve automated context recognition. A related constraint arises when CAC would benefit from adding more sensors, but cost and ease of installation is unsatisfactory.

### Defence valuation

Security Automation Pattern recognition Prioritization Threat detection

Some stakeholders see "context sensitive security" as important for cybersecurity, although the term may simply be a buzzword for wise practices such as policy-based security management and pattern recognition for anomaly detection. Decision support could benefit from systems that "do what I mean, not just what I say". Relevance rankings for a query like "where are the drones?" could depend on factors like whether a user is inventorying a warehouse or pinned down in a bivouac.

Situation awareness could benefit from context-sensitive prioritization of messages and intelligent fusion of sensors and other inputs. Otherwise, personnel risk information overload—especially as sources of digital information proliferate. That said, opposing forces might intercept and exploit sensors deployed for CAC purposes.

### Main actors

Apple, Expect Labs, LG Electronics, Google, Motion Picture Experts Group, Microsoft, Samsung, FitBit, Interaction Design Foundation, MIT.

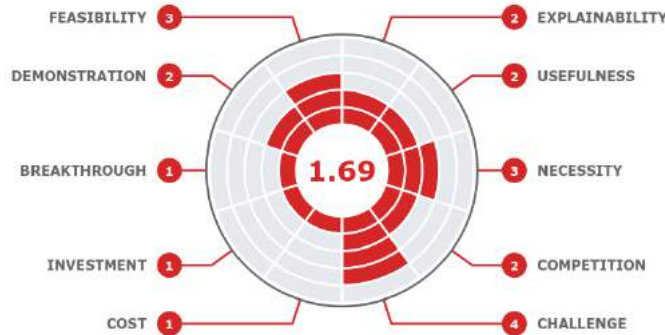
### Recommendation

Observe Try

Ideas about CAC serve to focus some stakeholders' minds on remedies for design shortcomings, especially for poor user interfaces that continue to plague users with demands. Such remedies may tend to make wise use of artificial intelligence and numerical methods to recognize and classify events that are relevant to a system's operation. Focused observation might uncover whether "context aware security" promises benefits that are distinct from those of best practices in security, such as policy-based management and pattern-recognition for anomaly detection.



# Emotion Tracking



## Summary

Algorithm  
Entertainment  
Sensing  
Boredom  
Interaction

Emotion tracking systems combine sensors and analytical tools to read and monitor subjects' emotional states or reactions. They may rely mainly on video, voice, or motion data, or a combination of data. Some systems look for specific changes in emotional states. For example, cameras on video poker and slot machines detect when a player begins to get bored, and reacts by offering side bets or some other novelty. Likewise, fatigue detection systems warn drivers to rest by analyzing tiny changes in eye movement that signal drowsiness. Other systems monitor a caller's overall emotional state: call centers sometimes have a "dashboard" that advises whether a caller is amused, aggrieved, or likely to agree to a purchase. A few systems, building on the work of MIT professor Sandy Pentland, use voice and motion data to measure group interactions, levels of engagement, and a workplace's emotional tone.

Emotion detection has improved greatly in recent years. Algorithms can train on large databases of recorded phone calls, photographs shared on social media, and motion data from fitness bands. Improvements in digital cameras, microphones, and accelerometers have virtually eliminated hardware barriers to emotion detection. Finally, demand for the technology in a range of industries has grown.

## Weaknesses

The technology is prone to errors in bad conditions (low lighting, loud rooms), and, outside highly specific use contexts (like driving), can be a challenge to interpret and act on.

## Related fields

Nanobiotechnology, Wearable Computing, Bio Authentication, Biologically Extended Senses, Predictive Crime Prevention, Consumer Electronics, Quantum Computing, Marketing, Context-Aware Computing, Machine Learning, Psychology, Computer Vision, Sensors.

## Civil Uses

Emotion tracking has potential application in fields where emotional states affect performance, including but not restricted to law enforcement, finance, transportation, gaming, marketing, education, health and safety, occupational training.

## Trends & Challenges

Emotion tracking has improved dramatically in recent years. As we move into a future of pervasive computing, always-on personal devices, and ever-richer sensors, potential application areas will expand.

Responsiveness  
Misuse issues

Key drivers include: Proliferation of increasingly sensitive cameras, microphones, and motion sensors; Vast quantities of data for training algorithms; Efforts to make

Cameras automated systems (from video gambling to online learning) more responsive to users.  
Integration

Key barriers include: Integration of emotion tracking technology into products; High potential for misuse or poor deployment; Potential legal/privacy challenges in civilian use.

## General valuation

Diverse  
Emerging

Emotion tracking technologies have improved significantly in recent years, and will continue to improve as enabling technologies become cheaper, more sensitive, and more widespread. In the near future, the biggest adoptions will be in professions where performance is affected by emotional states in measurable ways. Examples include: Fatigue detection for drivers, doctors and nurses; Student engagement with / comprehension of material; Fatigue and emotions of soldier and law enforcement; Emotional states of bankers and stock traders.

In some areas, technologies will compete against each other. In fatigue detection, for example, different systems detect drowsiness using video, eye tracking, motion sensors, or respiratory activity. In others, systems using dedicated hardware will compete with smartphone- or laptop-based apps. Workplace emotion detectors, for example, mainly use “smart badges” today, but more modern systems will be able to use smartphone sensors.

The technology will be challenged by privacy advocates on the grounds that such monitoring is intrusive. Further, stories of false reports or misuse could hinder adoption of the technology.

## Defence valuation

Training  
Fatigue detection  
Interrogation

In defence and security, the major uses of emotion detection will be: Fatigue detection. Recent research has revealed how strongly fatigue can affect judgment, reflexes and decision-making. In circumstances demanding rapid decisions and life-and-death choices, fatigue can lead to fatal errors. Having the means to detect and objectively measure fatigue will help reduce such errors, and contribute to destigmatizing fatigue. Training: The ability to accurately measure emotional reactions during simulations and training will be valuable in selecting candidates for stressful jobs, training people to improve their emotional control, and learn to make positive use of heightened emotional states. Interrogation: Emotion detection could be helpful for detecting potential threats, assessing the emotional states of suspects or prisoners, or even measuring the mood of prison populations.

## Main actors

Sociometric, Fatigue Science, Affectiva, Emospeech, EmoVu, Optalert, MIT, Bally.

## Recommendation

Observe  
Try

As emotion detection technology advances, it will be integrated into a variety of products and workplaces, but it is important to note several caveats. **First**, emotion detection is a highly specialized field that draws on a variety of engineering specialties, psychology, and other disciplines. Adopting new technologies requires gigantic quantities of training data, complex algorithms, and machine learning systems. Like many high tech products, emotion detection tools will be at once easy to integrate into new products, but difficult to make. To draw a comparison: search is easy to add to Web sites through the Google API, but search engines are exceptionally hard to develop. **Finally**, outside highly specific applications their use becomes complicated, problematic, and sometimes even legally suspect.





# Holographic Technologies



## Summary

Hologram  
Stereoscopic  
Laser  
Volumetric

Holodeck type experiences can be broadly divided into: Holograms, volumetric displays, stereoscopic 3D displays and virtual reality.

Holograms are a way of recreating the light from a physical scene using the diffraction pattern of the light involved. At present holograms can only be created on holographic plates, forming a still image. This gives the appearance of observing an object through the holographic plate as if it were a window.

Volumetric displays are currently extremely limited. Researchers using high-powered lasers have created rudimentary volumetric images by ionizing air particles.

Stereoscopic 3D displays are used to present movies in 3D both in cinemas and, increasingly, in the home. Most stereoscopic systems rely on users wearing special glasses that control the light reaching each eye. Manufacturers have also developed several auto-stereoscopic systems that create the same illusion without requiring special glasses, but with other limitations such as viewing angles.

Virtual reality frequently incorporates the use of special head mounted displays that provide different images to a user's right and left eyes and track head movements, creating the appearance of a 3D scene. (For a more detailed look at virtual reality systems please see the profile on Immersive multi-user VR.)

## Weaknesses

Holograms are restricted to single static images. Volumetric displays face huge issues with energy consumption, noise, resolution and safety. Stereoscopic 3D requires either glasses or carefully controlled viewing conditions.

## Related fields

Augmented reality, Wearable Computing, Nanoelectronics, Internet of Things, Telepresence, Virtual reality, Photography, Nanomaterials, Optical computing, Quantum Computing, Computer modeling, 3D printing, 3D scanning.

## Civil Uses

Remote conferencing, videoconferencing, advertizing, virtual reality, gaming, cinema, optical computing/data storage, Computer Aided Design (CAD).

## Trends & Challenges

Investment  
Resolution  
Increasing size

Static holograms and volumetric displays are not being widely pursued and offer only niche interest at present. Research in stereoscopic 3D is mostly focused on the home entertainment market. There is an ongoing push for larger screens and higher resolutions in the television sector and considerable effort has gone into developing ways of watching media in 3D. There is also interest in immersive 3D gaming experiences.

## General

True holodeck experiences remain some way off. However, 3D displays is a

**valuation** relatively well understood technology that is slowly gaining acceptance due to consumer demand. However, any further developments in this field are likely to be refinements and improvements in industrial processes, reducing costs and increasing availability of stereoscopic, autostereoscopic and VR systems; the limiting factor is likely to be overall demand rather than direct competition from alternative technologies.

Incremental

Cost

Whilst full holograms and volumetric displays do have significant potential, the gulf between the current state of the technology and the realistic is large, making any major short to medium term developments unlikely.

**Defence valuation** 3D displays offer a way of presenting complex data in a convenient format allowing swifter interpretation than 2D displays. Potential applications include 3D maps and radar displays. It also has potential for combination with synergistic technologies, for example presenting 3D images captured by reconnaissance aircraft or remote unmanned vehicles. 3D displays could be used either as part of augmented reality displays or on their own to assist in vehicle maneuvers such as landing helicopters, guiding remote-controlled missiles, or piloting unmanned aerial vehicles. The potential for 3D imaging via virtual reality for training purposes is considerable.

Vehicle control

Training

Data interpretation

Reconnaissance

Data visualization

**Main actors** Sony, Samsung, Sharp, Philips, Sanyo, NTT Data Corporation, Panasonic, Itochu Corporation.

**Recommendation** Holograms, 3D displays and virtual reality are all relatively mature technology fields; their principles and potential are well understood. Whilst time and resources will lead to developments, there are major technological hurdles to further progress and it would seem unlikely that there will be any major leaps forward in the near future.

Observe

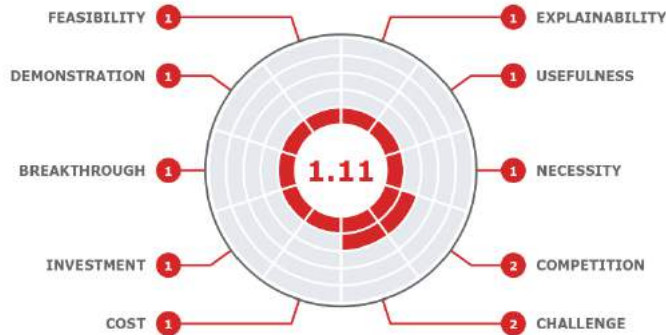
Try

Players across a wide range of industries, including the defense sector, should consider trying the technology at its present state of development—in particular the use of 3D displays for conveying complex information e.g. for three-dimensional radar displays. Interested parties should also observe synergistic technologies, particularly 3D scanning techniques such as LIDAR that have the potential to allow rapid three-dimensional mapping of areas.





# Hypersonic Technology



## Summary

Friction  
Mach 5  
Missiles

Hypersonic speed is generally defined as being above Mach 5. However, there is no fixed speed definition because of physical changes in the airflow at the transition from supersonic to hypersonic. The ability to be able to accelerate objects to hypersonic speed, in air, has been available for some time and is used in many military missile systems. In theory, hypersonic speed can be achieved by any propulsion device that can overcome the frictional forces to continue to accelerate an object to hypersonic speed. However, at hypersonic speeds the friction of the object travelling through the air generates temperatures high enough to melt many traditional construction metals. This effect restricts the survivability of objects travelling at hypersonic speed.

Acceleration is also a big issue with achieving hypersonic flight, especially for the potential of human inhabited hypersonic flight. Humans cannot sustain g-forces greater than 4-6G and will feel discomfort at much lower G.

Most conceptual and experimental development of hypersonic technology has been for quick response delivery of tactical military operations including potential nuclear devices. While there has been a lot of development of commercial space projects, hypersonic flight is not required to achieve space flight.

## Weaknesses

Survivability of objects at hypersonic speeds, including human survival (due to the friction-generated temperatures and the acceleration forces required to reach hypersonic speeds) pose significant problems.

## Related fields

Materials Science, Nanoelectronics, Commercial Space, Smart Materials, MEMS, Propulsion, Scramjets, Nanomaterials, Stealth & Camouflage.

## Civil Uses

Physical limitations of human bodies, massive energy inefficiencies, and no matching problem space for the solution, limit civil applications. Logistics applications remain possible, but would struggle to achieve economic viability.

## Trends & Challenges

Costs

The main challenge is the survivability of the object travelling at hypersonic speed. However, high cost solutions that can protect from extreme temperatures do already exist. Materials science advances, including atomic scale carbon, ceramics and composite materials may reduce costs.

Materials

Guidance

Survivability

Research will continue to focus on defense applications for long range, short duration, one-shot tactical strikes which may only act as deterrents and may never be deployed in conflict.

Future research trends will focus on control, guidance and propulsion. Guidance is

a particular issue as traditional control surfaces either do not work or will not survive extreme temperature conditions.

### **General valuation**

The maturity of hypersonic flight technology for application outside of military operations is very, very, low and is unlikely to see anything more than experimental demonstration within 50 years.

Reduced Funding  
Long-Term  
Conceptual

The key reason for this is the lack of problem space that hypersonic technology can provide the best solution to. The sole reason for hypersonic technology is to reduce the time between the initiation of an action and its physical execution. There are many technologies experiencing huge current growth, which provide a cheaper, more reliable or socially acceptable method of reducing this time. In the military context, cyber warfare and stealth technology are both examples that would be preferable to hypersonic technology. The notable exception to the above rule is human transportation, but limitations on what acceleration a human will tolerate, hold back implementation.

Hypersonic technology has seen reduced funding and interest in recent years and some high profile projects have lost focus or been shelved.

### **Defence valuation**

Defense will be the big driver of hypersonic technology and the first implementation will likely be within defense. However, the technology is likely to be restricted to nations with massive defence budgets and may well be used as a deterrent rather than being implemented. The threat of nuclear attack via a hypersonic missile or aircraft is possible but if nuclear war becomes a reality, the deployment method is largely irrelevant.

High Cost  
Restricted

Due to the high cost of hypersonic technology, its deployment as a threat is extremely unlikely within the next 20 years.

### **Main actors**

Chinese military, DARPA, NASA.

### **Recommendation**

Observe

Defense stakeholders should not focus efforts on hypersonic technology. Observing developments within a small number of big players (DARPA, Chinese Military) would be an interesting exercise but the low likelihood of realizable applications means that this should not become a priority or occupy too much time. Defense players should use these observation exercises to keep an eye out for potential game changers within the technology, but it is unlikely that any significant changes to capability will occur within the next 20 years.



# Immersive Multi-User Virtual Reality



## Summary

Software  
Virtual reality  
Displays

Immersive multi-user virtual reality (VR) creates the illusion that users are inside shared three-dimensional digital environments. Users can typically interact with these environments using natural or physical actions such as turning their head to change their viewing position. VR differs from augmented reality because VR isolates users from the real world rather than integrating real and virtual content.

Many VR approaches use stereoscopic near-eye displays, head-tracking position detectors, and (sometimes) handheld controllers, sensor gloves or other input technologies. These VR headsets have existed since the 1980s but costs are falling and performance is improving due to efforts to commercialize VR headsets for consumer entertainment applications.

An alternative to virtual-reality headsets are CAVEs (cave automatic virtual environments)—rooms equipped with multiple projectors that present images over entire walls and sometimes floors and ceilings. EON Reality's Icube is one existing commercial example of this approach.

As well as the virtual-reality user interface, immersive multi-user VR requires software to create 3D environments and to co-ordinate between multiple users.

## Weaknesses

Many users experience motion sickness when using VR headsets. VR content is limited and expensive to develop. Display resolution is poor relative to conventional displays. Consumer adoption is still uncertain.

## Related fields

Augmented reality, Portable power, Brain-controlled devices, Smartphones, Wearable Computing, Nanoelectronics, Context-Aware Computing, MEMS, 3D scanning, Brain-to-Brain Interfaces, Telepresence, Simulations.

## Civil Uses

Gaming is the key application of new VR headsets. Other, largely experimental, applications include immersive cinema, education and training, rehabilitation, phobia-treatment, architecture, and financial-trading support.

## Trends & Challenges

Consumer demand  
Refresh rates  
Gaming

Reducing motion sickness is a key issue for VR headset manufacturers. Faster screen-refresh rates appear to reduce (but as yet not eliminate) motion sickness.

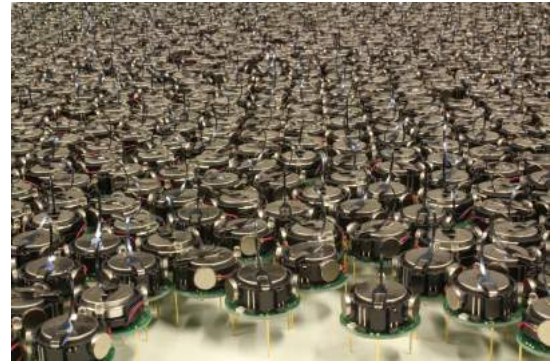
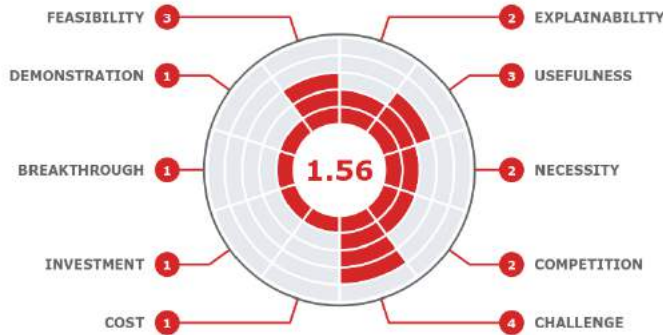
Uptake of consumer VR headsets is still uncertain, and without mass-market adoption the cost-reduction and technology-improvement of VR will progress only slowly (as with CAVE systems that remain niche). To create success for consumer VR headsets, providers need to create games and applications that are compelling enough to drive headset sales beyond those consumers that are interested in VR for its novelty value.

<p><b>General valuation</b></p> <p>Consumer electronics Falling costs</p>	<p>Consumer-oriented VR headsets offer the best prospects for progress in virtual-reality. Mass-market consumer adoption, driven by gaming, will be the key breakthrough and Oculus VR, Sony, HTC, and Samsung all plan to release consumer products by the end of 2016 (developer editions of some headsets are already available).</p> <p>Augmented-reality headsets such as Microsoft HoloLens or Magic Leap may compete with immersive VR—particularly if these devices offer compelling gaming experiences. Conventional gaming devices also provide key competition.</p> <p>For defense and security organizations (and for businesses), immersive VR needs to develop “must have” rather than “nice to have” applications. For example, although immersive VR may improve training outcomes, similar outcomes can perhaps also be achieved with game-based learning on conventional computers.</p> <p>Although developments in consumer electronics are driving down the cost of virtual reality headsets, developing VR content remains fairly expensive. Improvements in 3D scanning technologies could help reduce development costs for creating simulated environments. VR development costs are also likely to fall somewhat if VR gaming becomes popular because supporting authoring tools and techniques are likely to progress.</p>
<p><b>Defence valuation</b></p> <p>UAVs Training opportunities Planning Rehabilitation</p>	<p>Defense organizations have experimented with VR-based training since the early days of the technology and training remains the most common defense application of VR. Such environments allow users to experience realistic situational training (for example, battlefields, submarines, aircraft) in a safe environment. VR creates highly engaging learning though its impact on training outcomes over other forms of training is uncertain.</p> <p>Beyond training, VR offers potential applications in operations planning, drone piloting, rehabilitation, vehicle operation, and remote the monitoring and control of facilities and equipment (that could be replicated in virtual reality). For example, the Norwegian army has prototyped an Oculus Rift controller for tank driving.</p> <p>Mass-market acceptance (or rejection) of consumer will impact VR costs.</p>
<p><b>Main actors</b></p>	<p>Intelligent Decisions, Sony, Facebook (Oculus VR), EON Reality, Microsoft, Samsung, Magic Leap, HTC, Virtualis, Valve.</p>
<p><b>Recommendation</b></p> <p>Observe Try</p>	<p>Immersive VR is an important technology to observe, though its overall impact on the defense and security sector is likely to be one of incremental improvements within certain applications than of transformation.</p> <p>Although some military training has used immersive VR technologies for many years, developments in consumer electronics are creating a new generation of high-performance, low-cost VR devices that can be repurposed for a variety of defense and security application uses. Although training is an established and likely worthwhile application to adopt, defense and security organizations should also evaluate and try other potential applications of immersive VR.</p> <p>Consumer acceptance of VR is important to “observe,” as it will determine the future path of this technology area.</p>





# Intelligent Autonomous Swarms



## Summary

Robotics  
IAS

An Intelligence Autonomous Swarm (IAS) is a number of entities communicating and coordinating among themselves, autonomously, to achieve an objective. The objects in the swarm could be identical or different to each other, perform the same tasks or different tasks and could operate with a 'mother ship', which coordinates the swarm, or independently.

IASs exist in nature (ants or bees for example) and in recent years progress has been made to develop artificial swarms that function in a similar way. Investigations have been made into swarms on land, sea and in the air and in entities from large to small but the technology is still immature for most applications due to limits in power supply, communication technology and true autonomy. Most demonstration examples of artificial swarms have used semi-autonomous or human directed systems whereas fully IASs have only been conceptually demonstrated.

The military domain has seen examples of full-scale prototypes in recent years and is the most likely sector to see first implementation of semi-autonomous IAS. Other industries that will see their usage are likely to be agriculture, medicine and entertainment.

## Weaknesses

Weaknesses include: A lack of true autonomy (systems are reliant on pre-programming); Energy storage/endurance; Miniaturization. Many limitations are also present in other autonomous systems—including drones.

## Related fields

Medical Nanobots, Artificial Intelligence, Portable Power, Deep Learning, Nanoelectronics, Context-Aware Computing, MEMS, Smart Dust Sensors, Laser communications, Autonomous Vehicles.

## Civil Uses

Civil applications could include capturing information from difficult-to-access locations (volcanoes, deep sea trenches or disaster zones). Healthcare/agriculture will likely adopt the technology to fight infections/look after crops, respectively.

## Trends & Challenges

Miniaturization  
Rudimentary

Current research is being directed towards the intelligent interactions of entities within the swarm to achieve collective objectives. This is partly due to it being an interesting academic problem but it also has importance in general AI research. However, this focus may hold back the development of more rudimentary swarm applications for data gathering and collective action.

## General

When IASs are achieved, the technology has huge potential to revolutionise our

**valuation** world. Swarms could be deployed to perform a huge number of activities that current technology cannot, most notably autonomous monitoring of conditions and automatic deployment of responses to changes in conditions. A good example is Conceptual Emerging medical nanobots that live within the human body and react to infections as they occur and deploy immediate responses. Another shorter-term example is the use of an IAS to monitor crop production, over a huge area, and automatically deploy nutrients, water or pesticides to optimise crop production. However, true IASs are still very immature (Technology Readiness Level 2-3) with semi-autonomous systems being much further along in development (Technology Readiness Level 4-5)

**Defence valuation** IAS could be critical in defence and security. The technology will allow for persistent wide area surveillance, targeted attack and area denial by using devices small and large. Critical difficulties to be overcome within surveillance are Connected New battlefield miniaturisation and power management of the devices used. The existing battlefield is already controlled and directed by large networks of manned and unmanned assets and this will only grow as swarm artificial intelligence improves. However, it is unlikely that true IAS will be used in military operations in the next 10 years due to a continuing choice to place men in the loop for command and control purposes.

**Main actors** University of Lincoln (UK), Harvard University, Carnegie Mellon University, Sheffield Centre for Robotics, DARPA, University of Bristol, Tsinghua University.

**Recommendation** All stakeholders within the defense sector should observe developments in IAS. Observe The current low level of maturity means that real applications within the defense environment are still some time off. However, this is not the same story for semi-autonomous intelligent swarms, which will be deployed for defense purposes much sooner. Prototype swarm devices for reconnaissance have already been developed and tested by the US Navy. As such, interested parties should try and adopt these technologies where appropriate.



# Internet of Things



## Summary

Optimization  
Connecting objects  
Manufacturing  
Sensors  
Networks

The Internet of Things (IoT) is a broad set of technologies and applications that involve connecting objects other than conventional computing devices to the Internet. Such connected objects may include wearable sensors, smart thermostats, cars, industrial machines, and environmental sensors. Many more examples of connected objects exist and connectivity is spreading quickly. McKinsey estimate that IoT connections are growing at 15-20% annually and will reach 26-30 billion objects in 2020 (from a base of 7 to 10 billion objects in 2013).

IoT technologies include hardware such as sensors, actuators and power sources, networking technologies, and a wide-range of software technologies and products (from sensor networking software to IoT application platforms). Applications are as broad as the objects that they connect, but many involve collecting data from IoT sensors, performing data analysis in the cloud, and providing feedback and recommendations for improvements. Advanced IoT applications may also take action (for example, automatically optimizing a machines operation).

## Weaknesses

Weaknesses include security (including personal privacy), energy management, and device-level interoperability (for example, many IoT applications are vendor-specific). Some IoT applications are more novelties than useful products.

## Related fields

Portable Power, Robotics, Industry 4.0, Pervasive Computing, Nanoelectronics, Holodeck, Photovoltaic Transparent Glass, Laser Communications, Augmented Reality, MEMS, 3D Memory Chips, Big Data, Predictive Crime Prevention, Nanomaterials, Stealth & Camouflage, Medical Nanobots, Artificial Intelligence, Bionic Implants, Smart Materials, Context-Aware Computing, Smart Dust Sensors, Sensors.

## Civil Uses

Consumer uses include health and activity monitoring, home automation, and connected cars. Business uses include retail, warehousing and logistics, monitoring and predictive maintenance for industrial machines and infrastructure.

## Trends & Challenges

Security  
Standards  
Big Data  
Industrial

Standards to enable interoperability between IoT devices is a significant challenge and various standardization efforts are underway. Though the Institute of Electrical and Electronics Engineers Standards Association has issued a number of IoT-related standards, wider standards development has fragmented into industry groups. For example, Thread focuses on home automation and the Industrial Internet Consortium focuses on industrial applications. Efforts involve competition between different software ecosystems and outcomes are uncertain.

Other current IoT research includes energy management (for example, standby



power), cybersecurity for devices and data, and big-data analytics. Efforts to build cloud-connected robots are also important in the longer-term.

## **General valuation**

Rapid Growth  
Commercializing

Many IoT applications are commercial or near-to commercial. Samsung already sells many connected consumer products and says that every product it sells will connect to the internet by 2020. General Electric (GE) has built monitoring and analyzing data from its sensor-equipped machinery and related processes into a billion-dollar business. Cisco estimates that over 100 new Internet connections (people, processes, data, and things) occur every second.

Rapid growth of IoT seems likely and is expected by most analysts and vendors. However, lack of standards, security issues, and applications that deliver limited value could all temper IoT growth. Current trends suggest that IoT developments will be application specific (for example, home automation, industrial monitoring, connected vehicles) and IoT-adoption speed is likely to vary between these various application areas.

Many IoT opportunities require manufacturers to create new software and service businesses—sometimes a challenge for companies used to manufacturing only physical products. Many manufacturers need to build or acquire software and service capability, and learn to navigate the pitfalls of the software business (security, privacy, support, upgrades and more).

## **Defence valuation**

Monitoring  
Cyberwarfare  
Networked Systems

Although the term “Internet of Things” is relatively new to many defence and security organizations, these organizations have been using IoT-related technologies for many years. Networked planes, land vehicles, weapons, and equipment routinely collect and share data. Autonomous technologies and surveillance systems are often reliant on network connectivity. Advances in networking and sensor technologies create the potential of equipping every military asset (including soldiers) with connectivity. Further, sensor networks (including smart dust) create the potential of situational monitoring of environments. Many military IoT applications are likely to rely on private networks rather than the open Internet (though some less sensitive applications may utilize standard cloud systems).

IoT developments are likely to change the landscape for cyberwarfare. For example, military organizations may help defend connected infrastructure such as power grids, pipelines, and manufacturing plants, against cyberthreats. Similarly, security organizations may help defend connected transportation and healthcare systems against cyberterrorism threats.

## **Main actors**

Apple, Boeing, IBM, Intel, GE, Raytheon, Google, Lockheed Martin, Samsung, BAE Systems, Cisco.

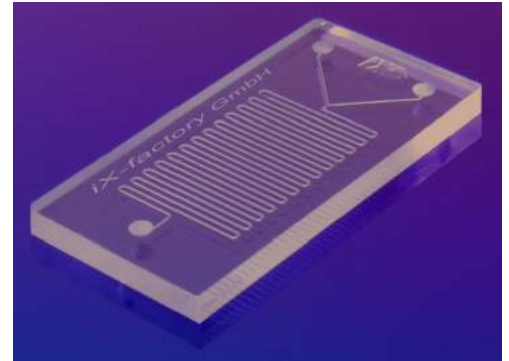
## **Recommendation**

Adopt  
Try

IoT is a current technology within the defense and security sector, with significant potential for expansion into new application areas. Developments in the industrial IoT and in consumer IoT applications are likely to drive down device costs and create new connectivity solutions that can be repurposed for military applications. In addition, IoT growth in civil applications is changing the landscape for cyberwarfare. For these reasons, IoT is a critical technology to try and, in some cases, adopt.



# Lab on a Chip



## Summary

LoC  
Microfluidics  
MEMS  
DNA

Systems vary greatly in what they integrate on the chip level and what they treat as a peripheral. Lab on a chip (LoC) systems feature micrometer-scale reaction chambers, channels, and sometimes pumps manufactured using techniques and substrates borrowed from MEMS and microfluidic research. Substrates include traditional semiconductors as well as glass, ceramics, metals, and PDMS. Because of their small size, LoC systems require lower fluid volumes to operate and offer faster analysis. For example, whereas DNA chips provide a large volume of data often with tens of thousands of DNA spots, many applications seek compact, rapid testing of only a dozen DNA markers. LoC systems downscale the sample preparation, DNA amplification, and DNA identification to a single chip to allow for compact and rapid testing.

## Weaknesses

LoC devices tend to be single use, expensive, and often require large peripherals to operate. Designing LoC devices is difficult, as liquids behave differently on small scales.

## Related fields

Portable Power, Nanoelectronics, DNA Analysis, Microfluidics, MEMS, Smart Dust Sensors, 3D Memory Chips, Bio Authentication, Chemical Analysis, Drug Delivery, Genetic Engineering, Nanomaterials.

## Civil Uses

Civil uses for LoC technology are primarily portable rapid diagnosis of diseases and chemical concentrations. Similar technologies are used in drug discovery and manufacturing.

## Trends & Challenges

Cost reduction  
Improving Capabilities  
Low-cost substrates

Because LoC devices are disposable, cost remains an issue for many potential applications. Many institutions are focusing research on inexpensive substrates as a method to combat costs, and paper microfluidics has seen substantial headway. Other research focuses on expanding the capabilities of LoC systems, especially improving the number of diseases they can detect.

## General valuation

Testing  
Mature

LoC systems are relatively mature and have seen substantial industry consolidation, although there is still substantial potential for improvement in the technology. LoC technologies may enable handheld rapid analysis of chemical and biological agents, or rapid blood tests capable of identifying a host of possible ailments in a single test. Plasmonics, a complementary rapid analysis technology, has seen some progress towards viability in the past few years, and could begin to reach its promised potential within the next few years. Because of the nature of the diagnostics market, it is difficult for new companies to enter and compete, unless

they partner with an incumbent company.

**Defence valuation** Primary opportunities for the defence industry lie in the rapid diagnosis of diseases. This can be particularly important when testing troops, refugees, or others in military care to prevent outbreaks. Rapid diagnosis becomes especially important when troops venture into areas where dangerous diseases are rampant, the same areas where much of the world's conflict exists today. Theoretically, rapid tests may be completed as units are en-route to base from a mission. Rapid response and durability may be important to armed forces, and these organizations are less price sensitive than civil organizations.

**Main actors** «empty»

**Recommendation** The LoC market is largely mature, but interested parties who are not directly involved with the technology may be able to engage with the market by partnering with a startup or existing diagnostic company to design and distribute, for example, rapid diagnostic tests. In the defense sector, the stakeholder's job would primarily be as a systems integrator, ensuring that the devices have military-grade readiness. Given the ease with which an incumbent diagnostic company may design its own military-grade versions of its LoC tests, it may be unwise for defense stakeholders to directly enter this market. Trials of "off the shelf" technology represents a viable route to adoption. However, the implications of this technology could be significant for the defense sector and defense players should definitely observe developments that could have a positive impact on the quick diagnosis of diseases in remote environments.

Observe

Try



# Laser Communication / Free Space Optics



## Summary

Modulation  
Optical wireless  
Communications  
Line-of-sight

Free space optical (FSO) communication (sometimes also referred to as optical wireless communication or OWC) is a method of data transmission between two locations that uses modulated visible (or near visible) light. Unlike radio communications, which can be transmitted through and around objects, FSO requires a direct line of sight between the transmitter and receiver; this also means that FSO systems are difficult to intercept as any eavesdropper would have to be positioned along the path of the laser beam.

FSO systems have been used to communicate between fixed locations, to communicate with moving vehicles and aircraft, and to communicate with orbital satellites. FSO systems typically use lasers as their light source, although some systems have been trialed using high-brightness LEDs.

## Weaknesses

FSO systems are limited by atmospheric conditions and by requiring a direct line of sight. Communicating with moving vehicles or aircraft requires sophisticated tracking technology to maintain contact.

## Related fields

Internet service provision, Optical computing, Portable Power, Communications, Nanoelectronics, Fiber optics, Internet of Things, Radio, Telecommunications, Mobile networks, Swarms.

## Civil Uses

FSO can be used for satellite communication; urban telecommunications; rapid network deployment, for disaster recovery; and private networks, as it is often not regulated in the way radio frequencies are.

## Trends & Challenges

Atmospherics  
Range  
Algorithms  
Error reduction

The key focus of research on FSO is increasing the effective range, which is predominantly limited by atmospheric conditions. One option is to combine FSO with a backup system such as a radio transmitter, for use in poor atmospheric conditions. Alternatively, researchers have looked at using error correction algorithms and adaptive optics to compensate for atmospheric disruption. Other approaches include using multiple beams or multiple communication paths to eliminate errors via redundancy or to use more powerful lasers when weather conditions are not conducive.

## General valuation

Immature  
Convenience

Unreliability is a key factor in the technology not achieving wider acceptance. At present optical fibre and radio communications offer more robust solutions for most purposes that require reliable year-round all-weather telecoms.

The future development of FSO is likely to hinge on niche applications. For example, initial tests using FSO for communicating with satellites has yielded

Secure encouraging results. University researchers have investigated FSO as an alternative to WiFi, achieving data transfer rates of over 100Gbps in laboratory settings.

FSO is also relatively secure, unlike radio transmissions, which can be readily intercepted—line of sight requirements add an additional level of security. This also means that FSO could be employed without it being apparent to third party observers.

The transmission of data through free space also means that a network using FSO could be set up relatively quickly and cheaply, for example in densely built-up areas or as part of a response to natural disasters. FSO is one of several wireless transmission technologies being considered for both governmental and private large area networks such as Facebook's internet.org and Google's Project Loon that aim to provide internet access to remote areas via a network of high-altitude drones or low orbit satellites.

### **Defence valuation**

Rapid deployment  
Communications  
Reliability  
Secure

The difficulty in intercepting, or even detecting the presence of FSO communications makes it potentially very useful for military communications. In addition, the absence of any cabling requirements enables the rapid deployment of a telecoms network. The use of visible light frequencies also means that it is not prone to electromagnetic interference or radio jamming. Combining ground-based FSO transceivers with unmanned aerial vehicles as relay stations could dramatically increase the effective range of an FSO network.

As with civilian applications the unreliability of FSO due to poor weather conditions is a limiting factor. In addition, military use may include communicating with moving objects such as aircraft or ships; under which circumstances maintaining contact requires sophisticated tracking technology and the difficulty of maintaining contact grows exponentially with distance.

### **Main actors**

Tesat (Airbus), IEEE, DARPA, LightPointe Communications, AOptix, Fog Optics.

### **Recommendation**

Observe  
Try

The current state of FSO technology faces substantial barriers to widespread adoption but is useful for niche applications.

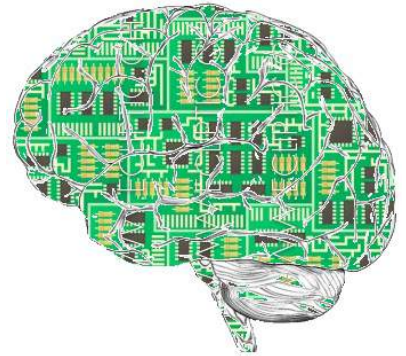
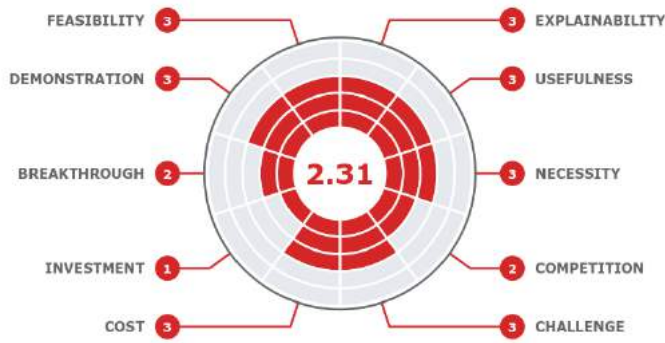
Defense players should observe developments that can increase the range and reliability of FSO transmission such as adaptive optics. Attention should also be paid to advances in potentially synergistic technologies such as targeting/guidance systems and unmanned aerial vehicles (UAVs or drones).

Difficulties in establishing a reliable network mean that in many instances conventional telecoms technologies such as radio and fiber optics will offer advantages. It is unlikely that FSO will supplant these technologies and is more likely to progress in parallel in the short to medium term. Improvements in signaling distance may lead adoption in satellite communications and local area networking applications.





# Machine Learning



## Summary

Statistics  
Software  
Big Data  
Algorithms  
Neural networks

Machine learning is a class of software systems that generate behaviors by learning from examples, or by trial and error, rather than by rule-based programming. For example, a programmer creating rule-based translation software would need to define each explicit step in a translation process the software should perform (parse the sentence, examine dictionaries, and so forth) whereas a machine-learning translation system would build its own translation model by examining patterns in existing translations.

Examples of machine learning algorithms include neural networks, genetic algorithms, Hidden Markov Models, and statistical clustering. Some approaches require labeling of training data (e.g. "English text", "German text") and other approaches can learn from unlabeled data.

Most machine-learning approaches are not new but have benefitted from the rapid growth of data (big data) and from increasing processing power. In 2011, Google's Chief Scientist said "We don't have better algorithms than anyone else; we just have more data." Machine learning is already somewhat common in civil and military software but its capabilities and application areas are growing as available data and computing power continue to accelerate.

## Weaknesses

Vulnerability to errors and biases in input data (garbage in, garbage out), slow initial learning processes, and programmers are often unable to explain why specific inputs produce specific outputs.

## Related fields

Artificial Intelligence, Quantum Computing, Analytics, Context-Aware Computing, Statistics, Computer Vision, Big Data, Predictive Crime Prevention, Emotion Tracking.

## Civil Uses

Current applications include online advertising, fraud detection, spam detection, speech recognition, image recognition, predictive policing, automated financial trading, logistics optimization, and personal cloud assistants (for example, Siri).

## Trends & Challenges

Much current research interests focuses on "deep learning". Deep learning is typically implemented as neural networks that learn from data in "layers", identifying high-level features before narrowing down on detail.

Deep Learning  
Algorithms  
Unsupervised Learning

Approaches to unsupervised learning are developing well (unsupervised learning avoids the overhead of people having to label training data). Developing machine-learning algorithms that can adapt and learn new tasks quickly is also under investigation.



No realistic solution to the “garbage in, garbage out” problem exists and this limitation requires programmers to implement machine learning carefully.

## **General valuation**

Trust  
Rapid development

Particularly in civil applications, machine learning has already proved itself superior to rule-based programming for applications requiring pattern recognition or judgment. As a result, machine learning has become the de-facto standard for building intelligent software (most recent innovations in artificial intelligence rely on machine learning).

Even greater progress is likely in the future. Global data is currently increasing by around 40 percent a year, and machine learning systems generally improve with more data. Researchers are making steady progress with new machine learning techniques, but most progress will come through the growing availability of large data sets and plentiful computing resources allowing programmers to get better results from existing machine learning algorithms.

How far machine learning will expand into new domains depends partly on technical progress (see Present Weaknesses, above) and partly on the attitudes of system designers. For example, whether designers are happy to entrust the outcomes of a system to probabilistic reasoning or whether they require explicit rules.

## **Defence valuation**

Autonomous  
Missile-tracking  
Robotics  
Image analysis  
Drones  
Satellite

Machine learning already has a wide-variety of important defense and security applications. For example, using missile-tracking data, machine-learning software can predict missiles’ paths to guide intercept missiles. Many pattern recognition algorithms are useful for processing satellite, drone, and other imagery, and for identifying likely threats. Indeed, machine learning is the leading approach to automating image analysis. Machine learning can also guide military robots and other autonomous systems and can play a role in optimizing military logistics.

Much military research focuses on applying machine learning to robotics and other autonomous systems (for example, creating robots that can adapt to changing conditions and learn new ways of achieving their objectives), though in practice machine learning is a potential aid to any defense and security task that involves making a judgement based upon large amounts of data. Civilian organizations are starting to use machine-learning algorithms to aid recruitment processes.

## **Main actors**

Digital Reasoning, IBM, Raytheon, Google, Lockheed Martin, Microsoft, Sentient Technologies, BAE Systems.

## **Recommendation**

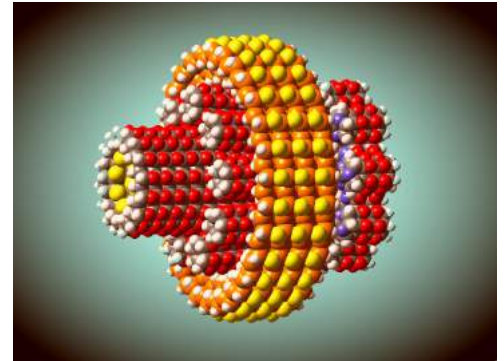
Adopt  
Try

Machine learning is the leading approach to building software that makes judgments based on large amounts of data and is a proven technology, even as a component within safety-critical systems (for example, missile interception).

Because data is growing rapidly, and because machine learning generally improves with more data, rapid progress in machine learning is likely. Because of this growing capability, and because of the wide-variety of important applications, machine learning is a critical technology for across a wide range of industries, including the defense sector.



# Medical Nanobots



## Summary

Drug delivery  
Microscopic devices  
Microorganisms  
Propulsion

Microscopic devices that can enter human bodies and autonomously perform therapeutic tasks, provide treatments, or gather data remain very immature. Generally, medical nanobots resemble true robots in name only—in practice, these microscopic devices need to be so small to travel through the human body that they cannot contain sophisticated control systems or even perform more than one or two actions. The simplest nanobots are little more than a microscopic structure that carries out some kind of physical task, such as opening to release a drug or attaching to tissues or pathogens. Simple artificial, as well as biologically based devices—such as modified proteins or microorganisms—can be useful in this kind of rudimentary role, although the term nanobot can be misleading label for devices that are little more than a complex particle. More sophisticated nanobots may be able perform a few functions, such as propelling themselves to a particular location and performing targeted action upon arrival. Researchers hope to eventually produce nanobots that more closely resemble their full-size artificial counterparts by employing actual electronics and logic systems to take intelligent autonomous action in the body, but such devices remain little more than a theoretical concept at this time.

## Weaknesses

Weaknesses include controllability and survivability of nanobots in complex biological systems as well as general difficulties in manufacturing functional devices at such small scales.

## Related fields

Bionic Implants, Nanotechnology, Medical devices, Pharmaceuticals, Chemical engineering, Robotics, Genetic engineering, MEMS, Synthetic biology, Micromachining, Nanofabrication.

## Civil Uses

Medical treatments, health monitoring, biological research, veterinary medicine, therapy, environmental services.

## Trends & Challenges

Regulations  
Device design  
Nanofabrication  
Propulsion

Current research focuses both on creating nanobots to perform novel targeted action inside humans and developing propulsion methods for the microscopic devices. Examples of actions that nanobots can take inside bodies vary from semi-passive acts of delivering drugs by either implanting into tissues or opening to release treatments at specific locations to more active physical actions such as heating up to open a temporary hole in the blood-brain barrier. Research into propulsion methods includes work on swimming or crawling-like movement controlled by external electromagnetic fields or by inserting various chemicals into the body, as well as the development of self-propulsion methods—one recent

project from the University of California tested a self-propelled nanobot that used a reaction between zinc and stomach acid to produce gas bubbles that successfully drove the device into the stomach linings of mice.

## **General valuation**

Immature  
Theoretical  
Safety

Medical nanobot technology is at an early stage in development and will likely take many years before becoming available for human use. Furthermore, the prospects for advanced devices to actually operate semi-intelligently inside the human body remain purely theoretical—numerous improvements on micro- and nano-scale power systems, computational systems, and physical devices will be needed for any true internal robot to become practical.

Nevertheless, progress suggests that the fundamental concept of using nanobots in medicine is feasible. Constituent technologies like targeted drug delivery and propulsion using internal or external mechanisms have already worked in labs, and rudimentary nanobot technology could begin to see human tests in the next stages of research.

Other obstacles besides the feasibility of operation will affect the implementation of medical nanobots. Some otherwise functional nano-devices could prove to be unsafe in the human body, for example, and any signs of danger from one particular nanobot design could tarnish the reputation of all varieties in public opinion. Passing regulatory approval will likely be difficult as well since the technology has no precedent. Competition from traditional pharmaceuticals could also challenge nanobots, especially if traditional medicines remain either as effective or lower-cost.

## **Defence valuation**

Health  
Detection  
Weapons

Although medical nanobot technology is not currently mature enough to provide significant new treatments in defense applications, at least in any capacity that exceeds its utility in treating civilian patients, as early adopters it could find use in defense markets earlier than civilian markets. Additionally, military research on micro-robotics and nanotechnology could prove to be synergistic to medical research on nanobots. More distant—but possibly more impactful—implications of medical-nanobot-technology development could be threats from hostile parties. Examples could include nanobot-deploying biological weapons or covert monitoring and surveillance of individuals using networked nanobots. Countering these threats might be incredibly difficult because of the detection challenges, as well as the potential lack of countermeasures or treatments for nanobot infections.

## **Main actors**

University of Montreal, Max Planck Institute for Intelligent Systems, University of California, ETH Zurich.

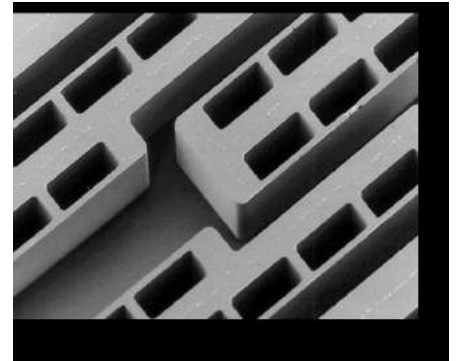
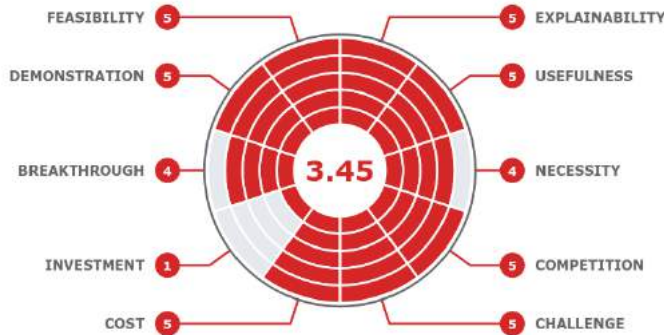
## **Recommendation**

Observe

Adopting practical medical nanobot technologies would be extremely difficult at the current time considering that only a few successful devices have even been tested in research and development settings. However, monitoring nanobot technology will be essential for maintaining awareness of any new developments in the field and addressing emerging opportunities and threats. Additionally, initiating new research endeavors could be beneficial—and even critical—for any player hoping to have a stake in the development and use of medical nanobots. But because a limited number of researchers and institutions have working knowledge of nanobot development, partnering with existing developers will be essential.



# MEMS



**Summary**  
Consumer electronics  
Sensing  
Lithography

MEMS are micrometer-scale electro-mechanical machines, manufactured using lithographic processes adopted from the semiconductor industry. In fact, many MEMS foundries use equipment previously employed in semiconductor foundries. The biggest market for MEMS is sensing, including pressure sensors, accelerometers, and gyroscopes. In recent years, MEMS sensors have seen strong adoption rates in consumer electronics devices as enablers of new user interfaces. MEMS sensors are generally superior to macro-scale sensors because they are smaller, more durable, more accurate, consume less power, and are inexpensive to produce in bulk—usually sold for a few cents a piece. Non-sensor uses of MEMS include micromachined radio-frequency components (RF MEMS), switches, timing devices, optical image stabilizers, micro-pumps, and inkjet and 3D print heads.

Although some MEMS processes today employ nanoscale particles as sensing elements, nanoscale features in MEMS will become much more common over the coming decade, at which point MEMS may compete with devices manufactured using exotic technologies such as molecular manufacturing and self-assembly.

**Weaknesses**

MEMS manufacturing requires a very high initial investment, discouraging new startups, and uses some materials not shared with semiconductors. MEMS fabrication also has some limitations on manufacturing three-dimensional structures.

**Related fields**

Self-assembly, Solid-state microsensors, DNA sequencing, CMOS fabrication, DNA origami, Molecular machining, NEMS/nanomachines.

**Civil Uses**

MEMS already see use in vehicle safety systems, consumer electronics devices, computer components, displays, and genetic testing. Future applications include radiation-safe computation and micro-scale robotics.

**Trends & Challenges**

- New devices
- Sensor fusion
- New markets

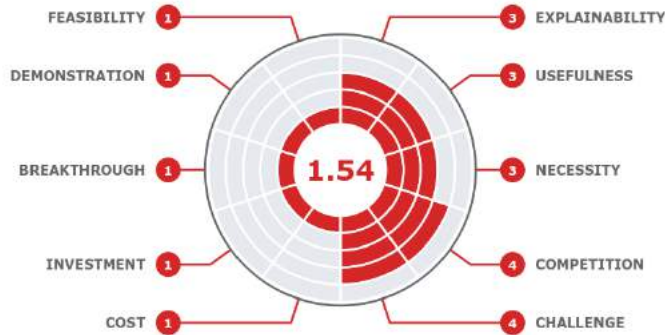
The largest current trend in MEMS is rapid expansion into new markets and devices, including watches, fitness trackers, headsets, remote controls, and virtually any device that adopts “smart” functions. Many MEMS manufacturers and device makers are trying to improve sensor fusion between discreet sensors. Sensor fusion combines information from multiple disparate sensors to generate a more complete understanding of a device’s surroundings. Sensor fusion is of particular interest to makers of virtual and augmented reality headsets, as well as researchers interested in indoor navigation and simultaneous location and mapping.

<p><b>General valuation</b></p> <p>Growing market</p>	<p>MEMS is a mature technology. MEMS sensors have not substantially changed in design for decades, and most innovation in the sensor area is in reducing costs and improving accuracy through software via sensor fusion. The market for MEMS sensors continues to grow through demand for smartphones, tablets, quantified self devices, and virtual and augmented reality headsets. Some optical technologies are competing against MEMS for generating position information, but more often than not, MEMS are paired with competing technologies through sensor fusion, simply because the cost of MEMS components is so low and the benefits of sensor fusion are great. Non-sensor MEMS applications have seen hit-and-miss success, largely dependent on yield rates, especially for displays. The MEMS market is likely to continue to grow in sensors (including microphones), but non-sensor MEMS applications will remain a small market for quite some time.</p>
<p><b>Defence valuation</b></p> <p>Communication devices</p> <p>Mature technology</p> <p>Navigation</p>	<p>MEMS devices are important in the defense industry, but most of their uses have already been realized: through incorporation in navigation and safety systems in a wide variety of vehicles. However, MEMS may find use in non-traditional applications relevant to the defense industry. For example, RF MEMS may help miniaturize communication devices for espionage, or allow systems to change frequencies to avoid jamming. Primitive MEMS computers that are highly radiation resistant may be important for defense in controlling basic but essential functions such as altitude control in aircraft or reactor control in nuclear power plants, where radiation and electronic warfare risks may compromise traditional computers-and therefore human lives.</p>
<p><b>Main actors</b></p>	<p>Freescale, STMicroelectronics, InvenSense, Bosch, Analog Devices, Texas Instruments.</p>
<p><b>Recommendation</b></p> <p>Observe</p> <p>Adopt</p> <p>Try</p>	<p>MEMS devices are already in use in a variety of defense assets, and sensor fusion software is often included at the package level by foundries. MEMS sensors may find useful implementation in distributed surveillance via mesh networks. However, the design of the sensors themselves, as well as their sensor fusion algorithms, is best left to incumbent manufacturers. Relatively novel use of MEMS technology, such as RF MEMS and MEMS computers, may be worth observing closely or trying, as the technologies are nearing commercialization and may provide substantial benefits to defense.</p>





# Nanobiotechnology



## Summary

Nanotechnology  
Biological systems  
Pharmaceuticals  
Nanomaterials

Nanobiotechnology is the convergence of nanotechnology and biology. Nanotechnology is an area encompassing research and technology developments involving structures typically 1 nanometer to 100 nanometers in length in at least one direction. Biology is a very broad and fundamental field, which means that the definition of nanobiotechnology encompasses a wide range of technologies. Generally, the fundamental principle behind nanobiotechnology is the interaction of nanotechnologies with biological systems. However, nanobiotechnology can also involve the combination of biological molecules with nanotechnology to create new systems and devices, or even the exploitation of nano-sized biological molecules to create new technologies. The use of microorganisms to create nanoparticles is also a part of the nanobiotechnology field.

Simple examples of the implementation of nanobiotechnologies include the use of titanium-dioxide and zinc-dioxide nanoparticles to improve the effectiveness of sunscreens. Although potential growth in cosmetics exists, the disruptive element of nanobiotechnology is arising in pharmaceuticals. The pharmaceutical industry provides nearer-term market opportunities through the development of developing more effective and targeted drug-delivery mechanisms, and introducing properties—such as controlled release—that enhance drugs' efficacy and safety. Other research—typically from universities and small companies—is seeking to exploit nanobiotechnologies for use in the materials and sensors industries.

## Weaknesses

The main difficulty facing nanobiotechnology is the lack of knowledge about its possible harmful effects on health and the environment. The accuracy and ability of manufacturing techniques could limit nanobiotechnology.

## Related fields

Medical Nanobots, Nanotechnology, Pharmaceuticals, Portable Power, Smart Materials, Environmental Management, Bio Authentication, Biologically Extended Senses, Home Care, Biotechnology.

## Civil Uses

Advanced drug delivery, diagnostics, building materials, cosmetics, research tools, DNA sequencing, detergent, anti-microbial surfaces, biodegradable electronics, drug development, controlled-release systems, odor elimination.

## Trends & Challenges

Testing  
Understanding

Pharmaceuticals will be the first major industry on which nanobiotechnologies have a disruptive impact. Although achieving regulatory approval is difficult, the life-saving possibilities of the drugs will likely outweigh their potential toxic side effects. Pharmaceuticals will likely help to pave the way for the use of nanobiotechnologies in other industries by advancing the knowledge and understanding of



**Regulations** nanobiotechnologies and developing regulatory frameworks. Currently, the lack of understanding of the potential threats from nanobiotechnologies is a major barrier to commercialization and has resulted in cautious regulations. However, signs suggest that regulatory authorities want to encourage the growth of the nanobiotechnology field.

**Toxicity**

**General valuation**

**Standards**  
**Breakthroughs**  
**Consumer**

The cosmetics and personal-care industry has long been a proponent and early adopter of nanotechnology to develop products—such as deodorants and toothpaste—with improved properties. After cosmetics, the most mature use of nanobiotechnology is found in the pharmaceutical industry. Some manufacturing processes and designs for, for example, drug-delivery systems have become standardized and dominant, which suggests a certain degree of maturity. However, since the first “nanodrug” achieved approval from the US Food and Drug Administration in 1995, few other similar drugs have become commercially available. Nanobiotechnology as a whole is fairly immature. Thus, the availability of nanobiotechnologies is low. Regulations surrounding nanotechnologies—particularly if they are likely to come into contact with humans—are often strict. Establishing safety standards will be key to the success of nanobiotechnologies. They offer the potential to vastly improve many common products, but are in competition with more typical technologies that offer incremental improvements at vastly lower costs.

**Defence valuation**

**Heath**  
**Biothreat**  
**Structural materials**  
**Sensors**  
**Weapons**

Nanobiotechnologies could find use as an important enabling component for other defense opportunities. For example, nanobiotechnologies could help facilitate the interaction between human-augmentation devices and the human body. These nanobiotechnologies could be hugely significant if they are the only means of making these defense opportunities viable. Some nanobiotechnologies in their own right could find use in the defense sector. For example, nanocellulose has a Young’s modulus similar to Kevlar. The lightness of nanocellulose and its abundant source material (cellulose) may make it a desirable alternative to Kevlar. Nanocellulose has also been shown to encourage wound healing. Nanobiotechnologies also offer opportunities in biothreat detection and prevention. Nanobiotechnology sensors could find use in the early detection of biothreats and chemical weapons, with the possibility of relaying real-time data. However, nanobiotechnologies are a biothreat in themselves, offering up the possibility of biological weapons that persist in the body for longer periods of time.

**Main actors**

Johns Hopkins Institute for Nanobiotechnology, Nanoscience Diagnostics, CelluForce, Laboratory for Soft Bioelectronic Interfaces (EPFL), Innventia, Nucryst Pharmaceuticals, Oxford Nanopore Technologies.

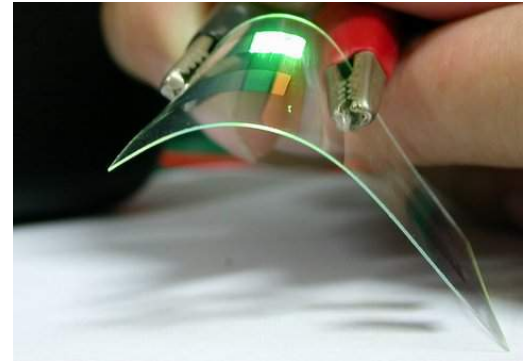
**Recommendation**

**Observe**  
**Try**

Given the overall immaturity of the area, beware hype. Many small companies are involved in nanobiotechnology and will want to say their technology is game changing. Although their technology could be significant, it is worth bearing hype in mind while observing the progress of nanobiotechnology. Monitoring the regulations concerning nanotechnology is also important because they are likely to impact the rate of progress in nanobiotechnology and the applications in which it can find use.



# Nanoelectronics



## Summary

Materials  
Nanotechnology  
Manufacturing

The field of nanoelectronics can be defined as the use of materials and processes with features smaller than 100 nanometers to create structures with useful electronic properties. Decreasing dimensions in electronic devices has a long history of delivering cost and performance improvements. As the scale decreases to the nano level, new and enhanced material properties can arise because of quantum-size effects, interface phenomena, and very high surface-to-volume ratios. The standard top-down manufacturing processes that currently find use in the semiconductor industry represent only one option for fabricating nanoscale electronic components and devices. Indeed, such lithographic methods are too expensive for many applications. As such, solution-based nanoparticle growth methods, nanoimprint technology, and molecular self-assembly will become increasingly important for the future creation of novel nanoelectronic materials and structures.

Nanoelectronics will have an impact on almost every industry because electronic devices and systems are becoming increasingly pervasive. Although information technology and consumer electronics industries have already felt the impact of nanoelectronics through applications such as enhanced memory storage, and will continue to do so through a “flexible electronics revolution”, new nanodevices are also set to heavily influence the future of a wide number of industries—including energy, lighting, and biomedicine.

## Weaknesses

Further reductions in scale through the use of optical lithography is becoming prohibitively expensive. Many bottom-up alternatives (such as self-assembly techniques) are currently too immature to make a significant impact.

## Related fields

Quantum computing, Biomedical, Integrated circuits, Organic electronics, Energy storage, Photovoltaics, Photonics, Lithography, Nanofabrication, Nanomaterials.

## Civil Uses

Nanoelectronics are already widespread in civil applications. Examples include: memory technology, interconnects, energy storage, biomedical applications, displays, photovoltaics, sensors, lighting, transparent conductive applications (touchscreens), and flexible electronic applications.

## Trends & Challenges

Materials

Improving top-down fabrication techniques to enable further reductions in the size of structures is becoming increasingly challenging, both technically and economically. Photonic computing, quantum computing, next-generation materials, and bottom-up techniques are under study but are relatively immature and will not

**Fabrication** be in a position to challenge silicon-based technology in the near- to medium-future. However, graphene, and other atomically thin materials, are set to have a large impact on the electronics industry over the coming decade and will enable many flexible and rollable devices and applications. Product reliability is currently the key barrier to the commercialization of flexible electronics.

**General valuation** Nanoscale materials and structures give players within the integrated circuit industry access to electronic properties that would be otherwise unattainable. This sector of the industry is set to undergo a period of sustained growth as technologies gradually mature and begin to find use in commercial applications. **Materials** Semiconducting nanoparticles—or “quantum dots”—represent the perfect example of nanomaterial research recently maturing to find use in the electronics industry. **Emerging** The materials were discovered in the 1980s but are only now beginning to find application in LCD televisions—improving the quality of the color palette to levels previously only achieved with OLED displays and without significantly increasing costs. Other materials find themselves at different levels of commercial maturity within the industry. In addition to quantum dots, other key materials include silver and copper nanoparticle inks for conductive applications, carbon nanotubes, metallic nanowires, conductive polymers, and graphene (alongside other two-dimensional materials such as molybdenum disulphide, silicene, tungsten diselenide, and boron nitride). Some health and environmental concerns surrounding the use of some nanomaterials (cadmium-containing quantum dots being a prime example) in the electronics industry do exist. However, any concerns are not as great as within the food or cosmetics industries.

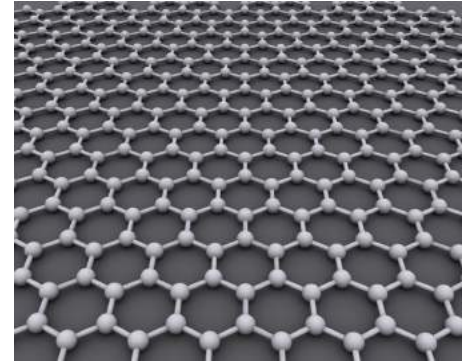
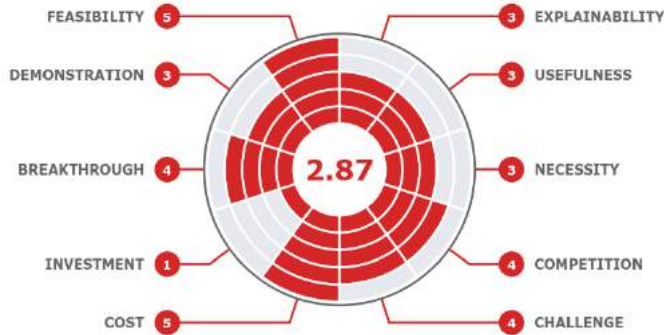
**Defence valuation** The ubiquity of nanomaterials and nanoscale structures within the integrated circuit industry makes the field of nanoelectronics of the utmost importance to the defense industry. All electronic devices currently in use in the military currently contain nanoscale structures of some description—meaning that this profile area already underpins huge swathes of defense technology. The importance of nanoelectronics is only set to increase as novel nanomaterials enable next-generation applications. For example, advanced communication systems, high performance sensors (chemical/infrared), energy-harvesting applications, and wearable devices/textile-integrated electronics will be of particular importance to the defense sector in the coming decades. **Electronics** **Energy** **Detection** **Sensors**

**Main actors** imec, Western Digital, Sandisk, IBM, GMZ Energy, Hewlett Packard, Seagate, BASF, QD Vision, Intel, Honeywell, Thinfilm, Samsung, Hitachi, Cambrios, OCSiAl, AMD.

**Recommendation** Within the technology area as a whole, several materials and techniques are at different stages of development—meaning that stakeholders within the sector have the opportunity to simultaneously apply actions that come under the categories of Observe, Try, and Adopt. Nanoelectronics components for military-grade devices can often be sourced directly from commercial players because many products already perform to the standards required for defense applications. In other cases, more specialist, high-performance equipment can be developed in-house, in collaboration with academic/government research laboratories, or with industrial players with specific expertise. **Observe** **Adopt** **Try**



# Nanomaterials



## Summary

Materials  
Nanotechnology  
Electronics  
Energy  
Consumer

Nanomaterials are materials that have dimensions or features between 1 and 100 nanometers and that possess unique properties as a result of these dimensions. At this scale, gravity no longer plays an appreciable role and other forces—such as electrostatic interactions—tend to dominate. Factors such as size, shape and even the nature of the surrounding material govern the properties of nanomaterials. Nanomaterials have the potential to outperform conventional materials in practically every sense. They exhibit enhanced mechanical and electrical characteristics as well as unique optical and thermal properties. These astonishing properties mean that nanomaterials have the potential to enable game-changing developments in almost all industrial sectors and address a variety of commercial needs. Indeed, nanomaterials already pervade our everyday lives to an extent that many people do not fully appreciate—finding widespread use in the electronics industry, the health sector, the production and storage of renewable energy, a wide variety of consumer goods, the construction industry, and the automotive sector. Research in this field is extremely fast moving but the “nanorevolution” is still in its infancy.

## Weaknesses

Health fears, public perception (hype and concern), and increasingly strict regulations could limit commercial applications. High costs in developing materials and scaling up manufacture could also pose barriers to commercialization.

## Related fields

Nanobiotechnology, Integrated circuits, Nanoelectronics, Photovoltaics, Internet of Things, Photovoltaic Transparent Glass, MEMS, Photonics, Nanofabrication, Organic electronics, Energy storage, Catalysis, Smart Materials, Smart Dust Sensors, Plasmonics, Self-Healing Materials, Lithography, Composites, Labs on Chips.

## Civil Uses

Potential and actual applications are widespread: Cosmetics, touchscreen displays, drug delivery systems, components in photovoltaics systems, food additives, pigments, oil additives, high-strength polymer composites, polishing materials, functional coatings, next-generation electronics.

## Trends & Challenges

Environmental  
Commercialization

Market demand for materials with advanced properties will ensure that research into nanomaterials remains highly active. Key challenges currently involve transferring proven technologies from research labs to the marketplace and the development of cost-effective manufacturing processes for high volumes of material. In some cases lower cost alternatives are needed to ensure commercial viability. Health and environmental concerns are also of high importance.

**Safety Toxicity** Nanotoxicity research is still relatively immature. Research into the potential negative health effects of exposure to some nanomaterials is necessary in order to allay any safety concerns and improve the public perception of products that contain nanomaterials.

**General valuation** The real value proposition in the use of nanomaterials exists in the realization of superior material properties that could lead to novel applications. For example, nanomaterials lie at the heart of flexible applications that could revolutionize the consumer electronics industry. The market for nanomaterials is already relatively mature (worth several billion dollars per annum). However, each individual nanomaterial is at a different stage of development and should be considered to have a distinct commercial trajectory. For example, hundreds of thousands of tons of metal oxide particles are produced each year, while—although many are in development—very few commercial applications for graphene exist at present. Metal oxide nanoparticles and multiwall carbon nanotubes are approaching the peak of their commercial potential and sales will plateau. However, many other materials (such as graphene and other two dimensional materials, metallic nanoparticles, single-walled carbon nanotubes, and quantum dots) are likely to see sustained growth in the short- to medium-term future. An important risk to this growth is the potential for a major health scare involving a nanomaterial. This could have an adverse effect on the public perception of nanotechnology as a whole, “tainting” the technology area, and making further commercialization increasing difficult.

**Defence valuation** High performance materials will always be of great interest within the defense sector and nanomaterials are likely to remain at the forefront of materials science for the foreseeable future. Unlike with commercial uses of nanomaterials, absolute material properties are of more of a concern than cost for defense and security applications. Despite cost not being a key concern, problems with large-scale processing technologies and health and safety issues could still hold up the development of military applications. Nanotechnology and nanomaterials are likely to find use in a host of future defense and security applications. Potential applications include optical metamaterials (see Stealth Technologies & Dynamic Camouflage), smart fabrics, textile-integrated electronics, wearable devices (see Wearable Computing), high strength and lightweight nanocomposites (armor-plating), next generation communication systems, energy-harvesting applications, sensors (chemical weapons/infrared), anti-counterfeit measures, and battlefield medical equipment (rapid healing of wounds).

**Main actors** IBM, Solvay, BASF, QD Vision, DARPA, NASA, Bayer MaterialScience, BAE Systems, Evonik, Unidym, Dow Chemical, Samsung, DuPont.

**Recommendation** The field is relatively fast-moving, with major breakthroughs occurring on a regular basis. All major research universities are engaging in nanomaterial-based research and some of the most impressive examples of research into advanced nanomaterials are emerging from academia. Similarly, the commercial sector is heavily involved in nanomaterials research and is leading the way in adapting novel materials and technologies for consumer applications. It is extremely important to keep abreast of major developments within this field.

Observe  
Adopt  
Try





# Photovoltaic Transparent Glass



## Summary

Perovskite solar cell  
Dye-sensitized solar cell  
Organic solar cell  
Building-integrated photovoltaics

Photovoltaic (PV) transparent glass is an emerging segment of the solar industry that is advancing quickly and could enable more widespread use of PV-power generation. Leading PV materials that have the potential to be transparent include organic solar cells, dye-sensitized solar cells (DSSC), and perovskite-based systems. These solar cells achieve transparency by selectively harvesting non-visible portions of the solar spectrum, such as ultraviolet and near-infrared light, while letting a high percentage of visible-light wavelengths pass through (unlike conventional solar cells).

Several developers are working to commercialize thin, light PV transparent films that can generate power on any clear surface such as windows or cell phone and tablet displays. Examples include California-based Ubiquitous Energy, which is scaling up a fully transparent, small-molecule organic solar film that allows up to 90% of visible light to pass through.

The application of transparent solar films on glass is particularly promising because the glass industry has long been an integrator of solar-control window film and lamination processes are well established.

## Weaknesses

Transparent solar cell efficiencies are low and difficult to improve because they collect light from only part of the spectrum. New perovskite cells have higher efficiencies but also stability challenges.

## Related fields

Vacuum-deposition and film-coating techniques, Nanoelectronics, Organic electronics, Perovskite solar cells, Building-integrated photovoltaics, Glass manufacture, Nanomaterials.

## Civil Uses

PV transparent glass can enable solar power generation on windows and other surfaces of buildings and automobiles, and power generation and battery life extension for portable and distributed electronic devices.

## Trends & Challenges

Reliability  
Efficiency

Research trends focus on improving transparent solar cell materials and components to achieve commercially-acceptable efficiency, longevity, and cost. Improving efficiency is critical to help lower costs, but transparent solar cells may never achieve the efficiencies of conventional solar cells that can capture more light energy. Perovskite solar cell materials are an active field of research to increase future power densities.

PV transparent film developers are establishing prototyping and pilot production capabilities in preparation for commercialization. Many technologies are only semi-transparent, which could limit their use, but tunable colors and variable



transparency levels could also open up new PV design applications.

## **General valuation**

Flexible applications  
Building-integrated applications  
New markets

Transparent PV products are still largely at the development and demonstration stage and are several years away from broad commercialization. Some underlying PV material technologies, such as third-generation DSSCs, are already available as opaque (non-transparent) solar cells. For example, G24 Power has commercialized printed, flexible DSSCs on a limited basis for indoor applications.

Small-molecule organic solar cells are generally in an earlier stage, although firms such as Heliatek are expanding demonstrations of semi-transparent organic PV films integrated with glass. High efficiency perovskite-based DSSCs might see commercialization within five years from companies such as Oxford Photovoltaics. Stability issues such as susceptibility to water damage could be a major barrier to perovskite commercialization.

Third-generation solar cells still represent only a minute share of the overall PV market in part because of strong competition from the dominant industry. Because of their combination of transparency and energy generation, PV transparent glass products may be able to access new markets in which conventional PV cannot compete. New organic solar materials also have potential to be less expensive to produce than conventional solar cells.

For all new PV transparent products, developers need to ensure their long-term performance and material integrity, especially in building applications.

## **Defence valuation**

Distributed sensors  
Communications

Many defense organizations are already adopting a range of conventional PV systems to generate clean, sustainable, and low cost power and to lessen dependence on traditional power generation and logistics.

PV transparent glass widens the range of possibilities to generate solar power for military bases, vehicles, and field equipment, although these potential applications still need development.

Transparent PV may be particularly useful to help power or charge proliferating distributed communications and electronic devices (medical and environmental monitoring equipment).

## **Main actors**

CSIRO, Oxford Photovoltaics, Dyesol, Brown University, EPFL, Ubiquitous Energy, Michigan State University, University of Oxford, Heliatek, MIT.

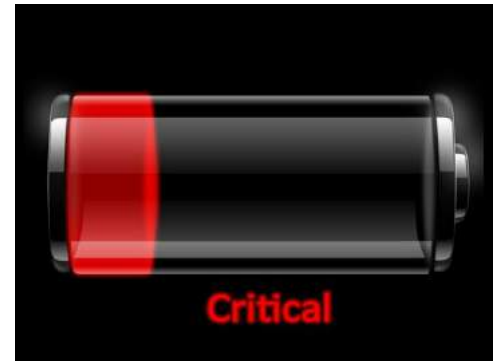
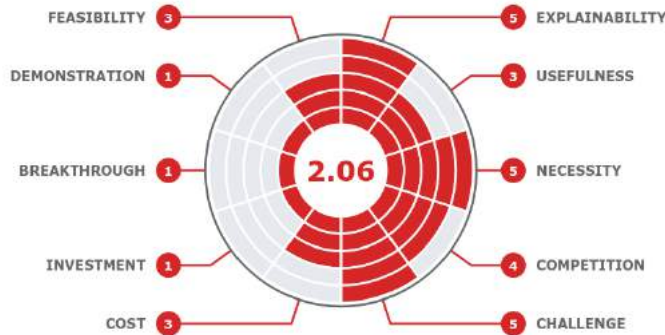
## **Recommendation**

Observe

Transparent photovoltaics represent an enormous business opportunity for startups developing technology in this sphere. For stakeholders in the defense sector, the area falls into an "Observe" category for the near term. The key recommendation is to monitor PV transparent glass technology development, reliability, and deployment in power-generation applications relevant to the defense industry. The establishment of clear signposts that judge and indicate at what point an interested party's approach should shift from "Observe" to "Try" would also be a particularly useful exercise. An example of such a signpost could be the successful commercialization of products that can be tailored to specific systems and equipment.



# Portable Power



## Summary

- Energy harvesting
- Batteries
- Solar
- Electromagnetic induction

Batteries have been the predominant portable power source for several decades. Recently, Li-ion (lithium-ion) secondary (rechargeable) batteries have become virtually ubiquitous in higher-energy devices such as mobile phones, tablets, and notebooks. Li-ion batteries are also seeing increasing use in high-power portable applications like power tools and small-scale applications like wearable devices and wireless sensors. Older secondary battery technologies still find use for some applications, such as lead-acid cells for larger generator-replacement and NiMH (nickel-metal hydride) cells for high-power applications. Additionally, primary (disposable) cells are still a major power source for low-value devices and low-power equipment.

Non-battery technologies occupy niche spaces in this market but are maturing into more applications. For example, fuel cells, which use fuel to provide more energy in a smaller and lighter space than batteries can provide, have been used as a portable power source for some military and first-response groups for several years and are now commercially available. Energy harvesting also has potential for gathering low-level power from environmental sources like vibrations, heat gradients, and particularly solar energy. Recent research also focuses on standardizing short-range electromagnetic induction for wirelessly charging electronics, as well as improving the range and efficiency of radio-frequency wireless energy transfer.

## Weaknesses

Energy densities and charge speeds continue to be the most pressing issues in portable applications—even Li-ion batteries take up too much space and do not recharge very quickly.

## Related fields

Chemicals, Materials, Nanobiotechnology, Nanoelectronics, Energy storage, Photovoltaics, Smart Materials, Nanomaterials.

## Civil Uses

Dramatic advancements in portable power technologies could open numerous new opportunities such as longer-operating implantable and wearable devices, longer-range and more powerful robotics, and overall smaller electronic devices.

## Trends & Challenges

- Charge time
- Energy Density

Advances in Li-ion technologies continue as manufacturers reduce sizes, increase charge speeds, and address safety and durability concerns. Performance benchmarks for Li-ion cells, particularly energy density and price, continue to improve at a steady pace. Next-generation battery technologies—such as silicon-based anodes, solid-state electrolytes, and simplified manufacturing—should improve the capabilities of Li-ion and derivative battery cells. Still, physical

Safety constraints on fundamental chemistries keep progress relatively slow compared to other portable electronics technologies. Durability and safety of high-energy Manufacturing infrastructure materials remain major obstacles—battery researchers must balance energy Durability densities with other parameters for their cells to have a chance at commercialization.

### **General valuation**

Li-ion battery storage has reached a point of relative maturity and widespread Environmental Investment Improving Mature adoption, with major manufacturers producing large volumes to keep costs as low as possible. Increased demand could create battery or raw-materials scarcity as more electric vehicles and grid-storage systems absorb manufacturing capacity. However, growth in demand has been matched by increased supply and no constraints exist at present. Other risks include the rare but dangerous possibility of thermal runaway in large packs of battery cells, and environmental effects from resource extraction and limited cell recycling.

Competition for batteries in portable power applications remains limited, with technologies like fuel cells failing to become popular due to cost and convenience constraints. Energy harvesting and wireless power transfer can supplement the use of batteries in portable electronics, but low power levels and intermittent availability of power make them more synergistic than competitive.

### **Defence valuation**

Portable power technologies are particularly important to defense and security Robotics Low weight Communications Reliability Unmanned systems Equipment groups, to minimize weight and size of the equipment. High energy-density power sources are also useful for security-related robots and unmanned aerial vehicles in which power capacities limit range and endurance. Although many military devices—particularly military analogs to civilian devices—use standard battery technologies, the requirement to reduce weight and increase endurance of various equipment have led to support for new alternative technologies, including portable fuel cells and energy harvesting devices. Defense groups have been some of the early adopters of fuel cells technologies, and for many military applications the benefits that portable fuel sources offer over batteries—including superior energy density, light weight, and instant refueling—far outweigh the higher costs of the technology.

**Main actors** Sony, Energizer, PMA, Samsung SDI, SFC Energy, Intelligent Energy, WPC, BYD, Horizon Fuel Cell Technologies, Duracell, Panasonic, LG Chemical.

### **Recommendation**

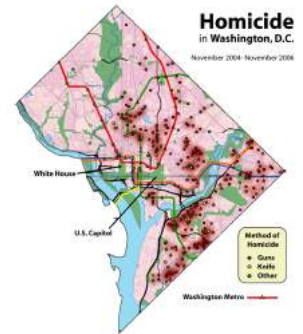
Observe Adopt Try Portable power technologies are at a maturity level to merit some observation and some trials. Although radical technological leaps are unlikely to occur in this technology category, gradual changes mean that better and less-expensive portable power sources regularly emerge.

Observing progress in battery technology can reveal the most impactful developments in portable power. Lower-cost and higher-performance Li-ion cells in particular would make the largest impact because most portable electronics manufacturers already use Li-ion batteries.

Observing for major developments in alternative technologies such as fuel cells, ultracapacitors, wireless power transmission, and energy-harvesting devices also adds value because changes in these areas could potentially open new opportunities and applications that battery improvements alone would not offer.



# Predictive Crime Prevention



## Summary

Big data  
Artificial intelligence  
Risk  
Bayesian  
Prediction

Predictive policing is among the first applications of AI in e-government. Neural-network security applications started to move into crime-prevention applications in the early 2000s. Currently, this area represents a prime example of an application for *big data* approaches. Typically, software that analyzes crime databases helps police agencies decide how to assign resources. The software uses statistics about the geography of crime to create *crime heat maps* and *risk terrains*; it does not predict specific crimes or identify criminals.

Numerous sources provide descriptions of the underlying technology: PredPol uses agent-based and Bayesian methods to create geographical profiles of criminal behavior for early versions of its software. An IBM white paper on the topic of predictive policing refers to machine learning. IBM is correlating past crime data with other data, including weather, payday, and big local events. The company is also interested in integrating gunshot sensors and smart CCTV cameras that look for signs of suspicious behavior. And the US government's National Institute of Justice awarded a grant to the Chicago Police Department to evaluate an approach to predictive policing that makes use of algorithms that are similar to those in use for pattern matching in medical images.

## Weaknesses

**Accuracy:** Existing systems pinpoint neither exact crimes nor criminals. **Legality:** In the future, people arrested as a result of predictive-policing software could challenge grounds for arrest.

## Related fields

Internet of Things, Surveillance, Predictive analytics, Network analysis, Data modeling, Context-Aware Computing, Machine Learning, CCTV, Telecommunications, Computer Vision, Artificial Intelligence (AI), Sensors, Emotion Tracking, Neural networks.

## Civil Uses

Police agencies are already adopting and testing software that helps assign patrol officers to high-crime areas.

## Trends & Challenges

Accuracy  
Algorithm  
Big data  
Legality

Current systems—as described above—clearly have limitations. Current R&D surrounds making use of new sources of data, to improve the accuracy of predictive systems. (For instance, integrating video analytics.) In addition some forces have been investigating advanced profiling of individuals: In 2007, Scotland Yard announced plans to develop a database of potential murderers and rapists before they even commit any crime. Challenges include causation; data could be able to predict where a crime will take place, but not why a crime will take place.

Causation  
Sensor fusion

### General valuation

Commercial  
Legality  
Trials  
Evaluation

Remarkably, predictive crime prevention is already an active, in-use technology area—at least. However, one must remember that systems only create predictions; effective crime prediction relies on using these predictions to create useful actions. In combination with the use of intelligent policing, these seemingly small gains in predictive accuracy can result in significant crime reductions. US authorities in many US cities have begun using CompStat, a data system created by the NYPD that aids in the allocation of law-enforcement resources.

Competing technologies include human analysts, and some data has compared the two approaches' efficacy: In 2013, Kent Police in England reported 8.5% of street crime occurred within zones that PredPol's (Santa Cruz, California) software identified, whereas only 5% of street crime occurred within the crime-prone areas that human analysts identified. In Los Angeles, California, the corresponding figures were 6% and 3%.

A clear warning exists: Convictions result from evidence, not statistical models. Thus, predictive policing will likely join other AI-influenced practices in criminal justice—namely, use of surveillance cameras (use of face-recognition software occasionally contributes to solving crimes) and DNA identification (which relies on Bayesian analysis).

### Defence valuation

Interaction analysis  
Behavior analysis  
Terrorism

A strong overlap exists between defense, security, and policing. Sophisticated data-analysis tools are seeing more use in studies of criminal behavior, creating many opportunities for systems providers and users. These systems are becoming important tools for security applications—and will likely enable many civil and military opportunities.

Similar tools are already in use in fighting organized criminal and militia activities. For example, Colombian prosecutors now use algorithms to create diagrams that show the interactions between authorities (government officials and law-enforcement agents) and drug-cartel members, identifying the people who connect the legal and illegal worlds; such approaches could also prove useful in identifying terrorists and terrorist cells, for example. Opportunities exist to use AI to help security agencies solve important problems—for example, using speech-to-speech translation and knowledge-discovery techniques (including semantic analysis) in databases.

### Main actors

Carnegie Mellon University, IBM, PredPol, NYPD, LAPD, Scotland Yard.

### Recommendation

Predictive policing approaches have clear overlaps with security applications, and in our opinion falls into the Try category.

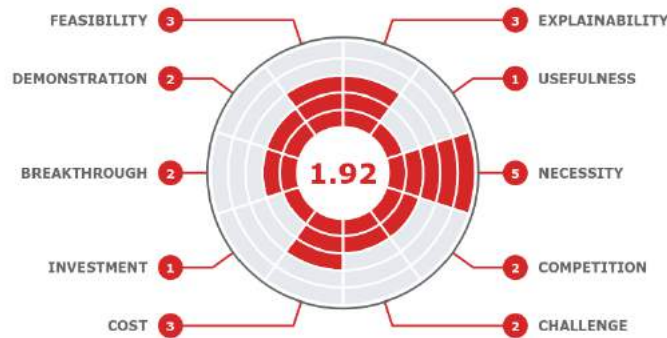
Try

At the very least, players in the defense sector should implement a project that covers this area – for example, they could collaborate with external partners to test a predictive system. However, use of any predictive system must go hand-in-hand with a framework for effective implementation that also includes robust human decision-making. Governments and individual police forces should try and, depending on the results of studies, adopt next-generation predictive policing methods as and when they reach maturity.





# Quantum Computing



## Summary

Accelerated computation  
Entanglement  
Qubit

Quantum computing (QC) refers to a set of proposed methods for achieving accelerated computation (“speedup”) relative to the performance of conventional digital designs. Methods now in vogue exploit the properties of entanglement and superposition to yield small systems of qubits that can express a much larger number of possible states than a comparable number of bits can express, and that that rapidly evolve from an initial programmed state that represents a problem that someone wishes to solve to a final state that in some sense represents the answer to the problem. The programming, system evolution, and interpretation of the response proceed in accord with the mathematics of quantum mechanics. Some 100 years of experimentation have confirmed that with no exceptions, that mathematics corresponds to the probabilistic behavior of matter and energy at small scales. In a number of the systems under investigation, qubits consist of a collection of supercooled, superconducting Josephson junctions that interact with one another but only minimally with the external environment. The challenges of achieving such isolation are aggravated by need for human interfaces at input and output; errors are inevitable (“decoherence”), thus error-correction schemes are integrated into the algorithms that govern programming and interpretation of qubits.

## Weaknesses

Prevailing implementations of QC embody specific algorithms, not general-purpose computers. Even for QC’s natural problem targets like dynamic systems of particles, proof of speedup is weak and prospects are controversial.

## Related fields

Artificial intelligence (AI), Superconductors, Meteorology, Biomedicine, Aerospace, Holodeck, Information technology (IT), Software development, Oceanography, Context-Aware Computing, Machine Learning, Computer Vision, Cryptography, High-performance computing, Emotion Tracking.

## Civil Uses

Successful QC implementations would benefit diverse research efforts including design of aircraft, drugs, materials, and vehicles. Ideal implementation would benefit any data center or web service, including intelligent user interfaces.

## Trends & Challenges

Temperature sensitivity  
Performance improvement

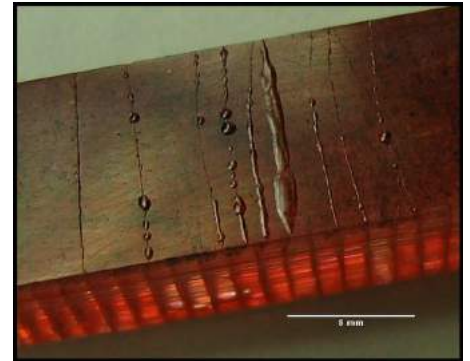
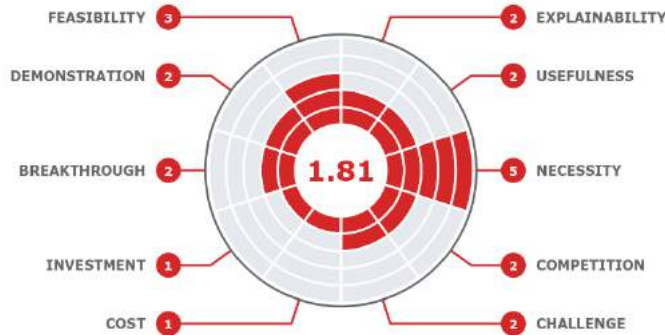
Progress reports continue to focus on scaling up the number of qubits in quantum-annealing systems, improving the effectiveness and efficiency of error-correction algorithms, and proving systems, which has been a special challenge recently. Isolation of qubits from external influences such as temperature fluctuations and electromagnetic events during computation is difficult, and resulting needs for refrigeration imply the current roadmap is for data centers only. The process of correcting inevitable errors is more complex than in the corresponding case for



<p>Stability</p> <p>Efficiency</p> <p>Error reduction</p>	<p>conventional computing, and resulting needs for redundancy increase the burden for researchers and developers of QC technologies.</p>
<p><b>General valuation</b></p> <p>Immature</p> <p>Uncertain</p> <p>Disruptive</p>	<p>QC is an immature, high-risk, and potentially high-reward domain of research and development. One of its foremost advocates and experts, John Martinis remarked in 2014 that “It is still possible that nature just won’t allow it to work.” Replication experiments sometimes undermine claims that quantum computing is useful, or is even occurring, though it undoubtedly occurs sometimes. Alex Selby, who authored some of the software that ETH Zurich used to undermine some such claims, said during 2014 that even when developers succeed in isolating 2048 qubits, conventional computing “may still be competitive”.</p> <p>Although current trends emphasize a particular approach to QC (quantum annealing), several alternative, competing QC implementations (such as quantum gate arrays) are also under investigation. Beyond QC, the general domain of next-generation high-performance computing has many competitors, the simplest being increased exploitation of parallelism, use of graphics processor nodes, and use of reconfigurable computers (FPGAs). Competitive domains of high-performance computing whose risk profiles are rough matches for that of QC include neuromorphic (‘brainlike’) architectures and advanced analog computers (the two fields partly overlap). Competing domains that are somewhat promising but resource-starved include optical computing and spintronics. A wildcard among wildcards, “Super Turing” architectures, sees minimal research funding.</p>
<p><b>Defence valuation</b></p> <p>Encryption</p> <p>Vehicle design</p> <p>Codebreaking</p> <p>Stealth</p> <p>Prediction</p>	<p>Both codebreaking and code construction are important potential applications for quantum computing; the technology would not necessarily confer asymmetrical advantages to codebreakers. In fact resource availability may tend to favor large organizations, much as today’s supercomputers are often government systems. And use of QC could strengthen cryptography, not just weaken it. Even so, adoption of QC could accelerate the eternal escalation of security measures and countermeasures experienced by the full range of stakeholders, from individual users to international organizations. For aircraft and spacecraft design and operation, any “more than Moore” technologies including QC could lead to dramatic improvements in stealth and agility both in the aerobatic sense and in the sense of mission versatility. Imaginably, intelligence communities could also exploit such technologies for information superiority, specifically efforts to “connect the dots”, collating public and secret information to automatically discover when adversarial entities have both intention and resources to cause harms.</p>
<p><b>Main actors</b></p>	<p>Planck Institute, IBM, D-Wave, UCSB, Microsoft, NASA, CQT, IQOQI, JQI, CQC2T, ICFO, RQC, Google, IQC, NSA, Lockheed-Martin, JFLI, ETH.</p>
<p><b>Recommendation</b></p> <p>Observe</p>	<p>As part of a suite of technologies that aim to yield “more than Moore” rates of computational progress, QC is among high-priority items to observe that also includes neuromorphic and advanced analog computing. With regard to advancing the state of QC technology, stringent requirements for human and other resources are likely to pose obstacles for new entrants. Forming a consortium (or perhaps joining one such as JFLI or JQI) might also make advantageous use of research leverage.</p>



# Self-Healing Materials



## Summary

Shape-memory  
Smart materials  
Composites  
Chemical recovery

Imagine cracks in damaged structures that close up on their own and dents that spring back into their original shape, or systems that can eliminate defective parts on a production line and thus remove the need for inspection. An ideal self-repairing material has sense-and-act behavior similar to that of smart materials, in that it can sense damage and then act in such a way as to repair this damage, automatically. Several players have developed and commercialized simple elastomeric polymer coatings that use energy from sunlight to change shape and remove light scratches—in particular for consumer-electronics applications.

Perhaps surprisingly, a few solid materials already have intrinsic self-healing capabilities. Some concretes and rubbers can self-heal, thanks to the presence of residual raw materials. Researchers have also developed prototype composite materials—especially polymer composites—with self-repairing capabilities that require very little or no human intervention. A clear analogy is that of biological systems that automatically and autonomously initiate self-repair when they sustain damage. These prototype composites contain microspheres or microcapsules, fillers, and hollow fibers that contain chemical-recovery agents. Other researchers are developing self-healing systems that rely on shape-memory materials. In general, bulk materials have yet to see widespread commercial adoption.

## Weaknesses

Lifetimes and cost-effectiveness are still uncertain. Materials must prove at least as reliable and strong in the first place as existing materials, otherwise substitution is unattractive.

## Related fields

Portable Power, Advanced composites, Smart materials, Biomimetics, Shape-memory materials, Nanomaterials.

## Civil Uses

Current: Coatings for consumer electronics devices. Emerging: Electronic components and circuits. Future: Large structures for transportation, aerospace and defense, energy.

## Trends & Challenges

Scaleup  
Cost

A great deal of recent R&D has focused on the creation of composite materials that can halt and repair small cracks that appear in a material under stress—especially composite materials. For self-healing technologies to see success, they must not only become cheap and easy to implement but also exceed the functionality of existing technologies by a margin.

## General valuation

The commercial progress of self-healing materials is actually occurring fairly slowly and only in discrete applications—this serves as both a warning and an indication

Niche commercial applications  
Emerging

of availability. Here is one example of 10 years' progress: In 2005, Nissan and Nippon Paint Company announced the development of a self-repairing coating for use on car bodies; in 2009, this technology was licensed by NTT DoCoMo for use in mobile-phone applications. In 2014, paint-manufacturer Natoco announced a self-healing, scratch-repairing coating for use in smartphone applications.

Beyond coatings, researchers and materials companies have some way to go before bulk self-healing materials become a commercial reality. Scientific interest and funding still focus on the development of self-repairing materials rather than their applications. However, numerous technical challenges still exist. Ideally, any self-repair mechanism would result in no degradation of the material's physical properties. Competing technologies include materials that are tough enough to withstand damage in the first place.

Although most research is at a very early stage, I expect to see researchers create materials that have useable self-healing functionality in the medium term. In particular, the area of self-healing materials for electronics applications is particularly promising, and a logical next-step forward from coatings.

**Defence valuation**

Mission-critical systems  
Safety  
Maintenance  
Repair  
Sensors  
Durability

Self-healing materials could make life a lot easier for operators of systems that are traditionally on the end of rough treatment; the defense sector will undoubtedly be in a strong position to benefit from this. Ultimately, self-healing systems could lengthen product lifetimes, increase safety, and reduce maintenance requirements. If successful, they could negate the need for some repair operations—perhaps after sustaining attack. Portable equipment and vehicles (manned and unmanned) being perhaps the most obvious examples of systems that could benefit from self-healing functionalities. Mission-critical electronics, sensors, and batteries would be robust if they featured self-repairing components. It is worth emphasising caution with respect to defense applications; outside thin layers, structural self-healing materials remain some way from commercial availability.

**Main actors**

Nissan, University of Illinois at Urbana-Champaign, Arkema, Natoco, SupraPolix, Nippon Paint, University of Nevada, Reno, University of Bristol, Bayer MaterialScience.

**Recommendation**

Observe  
Try

Coatings technology falls into the Try category, in particular technology that is applicable to important electronic equipment and batteries.

Bulk materials remain firmly in the Observe category. It is worth asking several questions before adopting any other self-healing technology, as it becomes more available: Will the mechanisms that the researchers propose work in any environment? Will these materials work at elevated temperatures and pressures? Are the materials harmful to humans or the environment? What safety testing will be necessary? Do any lifetime issues exist? These questions could be used to create signposts, upon which future actions could be instigated.

One potential action is involvement in fundamental or applications-specific R&D projects; instigating the development of self-healing materials for specific applications—for example, self-healing mechanisms for the protection of specific components or surfaces on electronic equipment, interfaces, or vehicles.



# Smart Dust Sensors



## Summary

MEMS  
Sensing

The smart dust concept is one of millimeter-sized (dust sized) devices, which can perform a number of 'smart' activities including sensing vibration, temperature or chemicals. These devices can also communicate with each other or back to a central hub and possibly even perform activities.

Developments in microelectromechanical systems (MEMS) have supported smart dust progress but few devices are achieving the millimeter scales required. The miniaturization of the technology needed to achieve smart dust (power, sensing, communications) has not been in sync, with sensing capabilities generally being ahead. Some prototype devices have been made that are invisible to the naked eye but do not fully function as smart dust due to a lack of power or communications. While some devices have been demonstrated to be fully functioning smart devices in the sub-cm scale, the achievement of true 'smart' dust size devices still seems to be some way off.

However, longer term, the possibility of low cost smart dust devices that can be deployed in their thousands, or even millions, to achieve smart data gathering is entirely plausible. In the short-term devices that are slightly larger than 1 mm are already performing all of the actions required to be 'smart'.

## Weaknesses

Energy supply and wireless communication methods are two key weaknesses. Despite sensing technology being available at the right scale, without energy supply and wireless communication, a complete system is unachievable.

## Related fields

Portable Power, Nanoelectronics, Internet of Things, Mesh networks, Augmented Reality, MEMS, Integrated Vehicle Health Management, Nanomaterials, Medical Nanobots, Nanotechnology, Intelligent Autonomous Systems, Passive energy generation, Big data, Wearables, Swarms, Labs on Chips.

## Civil Uses

Include: Invisible tagging, tracking of products, commercial data gathering; In vivo medical analysis; Hazardous environment/remote location data gathering. These are at varying levels of maturity (concept to demonstration).

## Trends & Challenges

Current trends focus on the miniaturization of devices to sub 1 mm scale and also methods to power such devices.

Internet of things  
Miniaturization  
Communication

Commercial organizations wishing to use such technology to invisibly capture data about, and communicate with, its customers will drive development. Devices will be built into non-electrical products, such as clothes, and used to detect information such as location and temperature to inform marketing approaches.

**Integration** Just as the Internet of Things has the potential challenge of competing standards among the big players (Apple, Google, Microsoft...), smart dust could be limited by competing data and communication standards.

**General valuation**

Rapidly maturing  
Experimental applications

If the semantic of the 'dust' in smart dust is ignored then there is already a lot of maturity in the technology enabling smart dust. Devices, of the size of several millimetres, have already been made which provide computing ability, energy generation and wireless communication. Devices of this size should not be ignored despite not meeting the conceptual requirements for smart dust. For many applications these devices will provide all of the benefit of true smart dust devices.

Smart dust, under the above, wider categorisation, will undoubtedly have a big impact on the world within 10 years, largely due to the technology's ability to be a key enabler in data acquisition. However, due to the current low technology maturity level of sub-millimetre energy production and storage devices, true smart dust is unlikely to be in widespread usage before 2035. However, that isn't to say that true smart dust will not be deployed experimentally within the military or within meteorology within that timescale.

**Defence valuation**

Security  
Threat  
Advanced surveillance

Smart dust provides both a potential threat and opportunity to defence and security. Smart dust deployed to perform surveillance will, by definition, be hard to detect visually. Therefore, without advanced methods of detection in place, smart dust could provide a serious threat to the retention of sensitive information and opportunities for intelligence gathering. Smart dust could also be deployed actively to sabotage electronic networks or, for example, disrupt power supplies. The nature of smart dust will challenge the existing security measures put in place to protect secret information in military establishments that currently do not allow external electronic devices.

In new defence platforms, smart dust could be used for information gathering on the condition of the platform, for example, embedded into paint to monitor corrosion, temperature or humidity. Integrated Vehicle Health Management (IVHM) is a technology area that should benefit greatly from progress in smart dust.

**Main actors**

University of California, Berkeley, University of Michigan, DARPA.

**Recommendation**

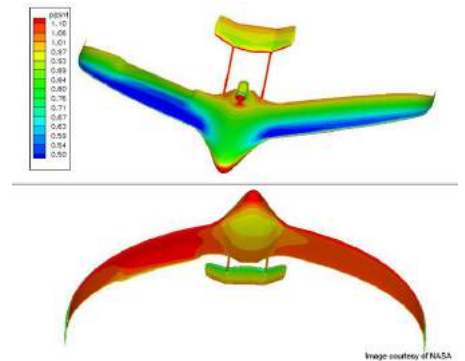
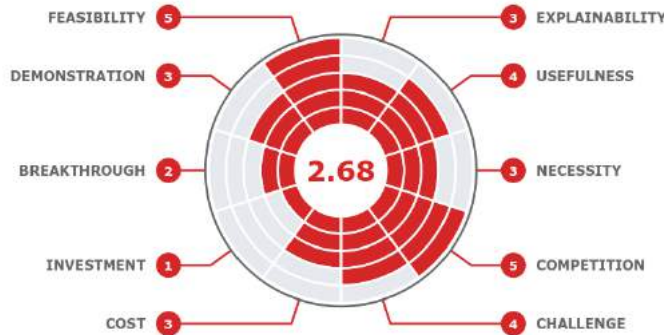
Observe

Interested stakeholders, including those within the defense sector should put immediate observation activities in place to understand the potential threat from smart dust technology and, specifically, methods for detection and defeat of smart dust. While smart dust development will likely be pushed by commercial organizations, countermeasures are highly unlikely to be developed outside of the military domain so governments need to address this directly through investigating and trying emerging technologies that could neutralize the threats that arise from smart dust.





# Smart Materials



## Summary

- Morphing structures
- Smart fluids
- Piezoelectric
- Shape-memory
- Electroactive
- Thermochromic
- Intrinsic responses
- Thermoelectric
- Magnetostrictive

Smart materials (SMs) is a catchall expression for a diverse set of materials technologies. In general, SMs produce direct, inherent responses to external stimuli; signals and responses include temperature, voltage, pressure, magnetic fields, light, and so on. These properties are often a result of a material's structure, and not device design. For example, piezoelectric materials have a noncentrosymmetric crystal structure. Applying a mechanical force to the structure disrupts its symmetry and generates a voltage across the material. Conversely, applying a voltage to a piezoelectric material causes the material to deform. Other important classes of SMs include thermoelectrics, shape-memory materials (alloys and polymers), electroactive polymers, electrochromics (including smart glasses), magnetostrictives (including Terfenol-D), electrostrictives, thermochromics, and smart fluids (including magnetorheological fluids). Researchers are using these materials to enable shape-shifting materials, morphing structures, and even programmable matter.

Often, SMs are integrated into devices that use SM responses to create useful devices such as sensors, motors, actuators, generators, or shape-shifting objects. Thus, designers can use SMs to simplify products, add features, improve performance, or increase reliability with relatively little added technical complexity.

## Weaknesses

Weaknesses are often material-specific. However, common issues include poor level of response (time, magnitude, force), high cost, and a lack of familiarity on the user side.

## Related fields

Self-healing materials, Smart packaging, Energy harvesting, Robotics, Advanced composites, Metamaterials, Biomimetics, Electronics, Programmable matter, Artificial muscles.

## Civil Uses

Current and emerging: Piezoelectric components for electronics and automotive applications (sensors, speakers, injectors); Shape memory alloy medical stents; Thermoelectric coolers/generators; Smart windows; Energy harvesting. Future: Morphing structures; Programmable matter.

## Trends & Challenges

- Cost reduction
- Efficiency
- Improved responses

Key research centers on the development of SMs that are responsive—for example, creating materials that actuate with high force, with a demonstrable change in shape, color change, electrical output, or heating effect. Overcoming poor responsiveness is perhaps the main challenge for SM researchers. For example, current thermoelectric materials do not convert heat into electricity efficiently enough for widespread commercialization. To enable these



improvements, researchers are investigating nanoscale technologies—for example, nanostructuring of SMs. In terms of more expansive concepts, researchers are also looking to create living materials (materials that incorporate organisms) and 4D printing systems (self-assembling components).

## **General valuation**

Niche markets  
Commercial

In many ways, SMs is already a highly successful technology area. Collectively, SMs are likely worth about \$25 billion. Piezoelectric materials are the most commonly used SM, accounting for about one-third to one-half of all sales of SMs. Also commercial are a number of important niche applications, including shape-memory alloys (spectacle frames, medical stents), magnetostrictive materials (in particular, for defense/aerospace applications), thermoelectrics (in particular for small-scale heating and cooling applications, such as portable drinks coolers), smart glass (self-dimming automotive mirrors), and magnetorheological fluids (in particular for smart suspension systems, which are available on many high-end vehicles).

SMs are underpinning emerging energy-harvesting, energy-storage, and power-generation application; piezoelectric and thermoelectric energy harvesting systems are a prime example of SMs that are seeing use and investigation in this area.

Competing technologies include standard mechanical and electronic systems, such as sensors, actuators, and motors. At the moment, SMs struggle to compete with traditional approaches in many applications, mainly due to cost and performance issues. Nevertheless, the next few decades will see improvements in SMs that will make these materials become more attractive across numerous application areas.

## **Defence valuation**

Monitoring  
Strategic materials  
Sensors  
Stealth

SMs are extremely important across numerous defense and security applications. Several SMs have been developed as a direct result of defense-related R&D activities. The magnetostrictive material Terfenol-D was developed by US Navy researchers, with a focus on sonar applications. SMs already see use in vibration and noise control applications, advanced actuation applications, and structural monitoring applications, within the defense and aerospace arena.

SMs could also enable tactile sensors and actuators for robotic vehicles. The development of unmanned ground and aerial vehicles is accelerating, and smart actuators could enable accurate remote operation. Military players hope that SMs and adaptive structures will enable major advances in systems capabilities; for example, SMs could also enable armor that reacts or perhaps recovers after sensing an impact. Threats include limited or controlled access to some materials; useful SM formulations can be protected by IP.

## **Main actors**

General Motors, Gentex, Georgia Tech, DARPA, Lord Corp., Murata, Gentherm, Marlow, HRL, Etrema, Fraunhofer Institutes, Bayer MaterialScience, 3M.

## **Recommendation**

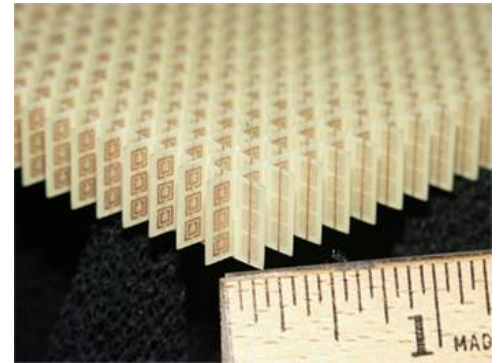
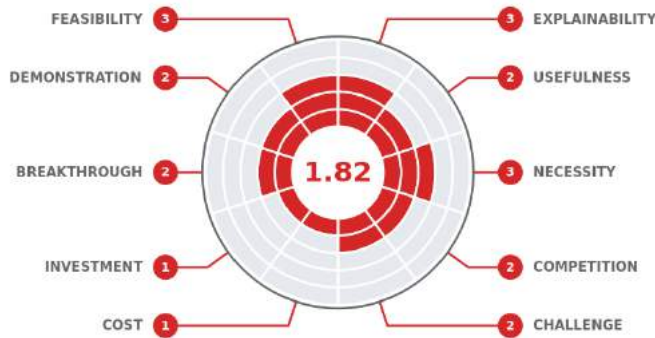
Observe  
Try

The Smart Materials technology area is wide enough to split into a variety of material-dependent categories; many of these materials fall into the Try or Adopt categories—depending on application—because many commercial materials already exist (for example, piezoelectrics, thermoelectrics, shape-memory alloys, smart fluids, smart windows, and magnetostrictives.) Technologies that exist as prototypes—in particular smart fabrics—sit within the Try category.

Key recommendations also include tracking and monitoring developments in some advanced SMs, such as morphing structures—which nominally sit within the Observe category. One should establish clear signposts that initiate a shift in these technologies from the Observe to Try categories.



# Stealth Technologies & Dynamic Camouflage



## Summary

Metamaterials  
Dynamic displays  
Invisibility

Technologies designed to render objects hidden or invisible. Existing approaches enable shielding from radar or microwaves; or indeed hiding data. Future invisibility and chameleon-like camouflage could be illusions created either by manipulating light, or by actively projecting onto an object—either visually or thermally. An object is considered invisible if the human eye cannot see any absorption or scattering of light when it is illuminated, or if light appears to pass straight through the object and the object does not cast a shadow. Wrapping an object in a dynamic metamaterial—an engineered material with unique properties that derive from the material's ordered internal structure—could enable light hitting the object to refract around the surface of the object and emerge from the other side, thus appearing to pass through the object.

Researchers are developing prototype surfaces that can sense their surroundings and change color accordingly—in some instances to camouflage people or objects. Some prototypes work in a similar way to electronic paper (e-paper)—a low-power display technology. Other researchers are developing thermal stealth technologies to fool IR night-vision cameras; these match the temperature of a surface to that of its surroundings using, for example, thermoelectric panels.

## Weaknesses

This is a formative technology area: Dynamic camouflage systems are largely conceptual. Invisibility approaches require significant technology advances; metamaterials are expensive and complex to produce.

## Related fields

Wearable Computing, Nanoelectronics, Internet of Things, Smart Materials, Holodeck, Metamaterials, Autonomous Swarms, Thermoelectrics, Sensors, Displays.

## Civil Uses

Technologies could enable advances in consumer electronics: For example, future televisions may display the image of the wall onto which they are attached, and thus blend in with surroundings.

## Trends & Challenges

Theoretical

Challenges in invisibility systems include metamaterials design and production. Metamaterials capable of manipulating visible light will be more difficult to create than metamaterials suitable for making objects invisible to radar, because the wavelength of visible light is shorter than that of the radio waves that radar

Scale-up detects. Making objects invisible to both humans and radar will be difficult because it requires two different metamaterials. In the visible region, new forms of invisibility and chameleonlike camouflage might also be possible through the confluence of displays and imaging technology—a key research trend across university and commercial research groups.

## General valuation

Niche commercialization  
High cost

Some stealth technologies are possible in the short term, following in the footsteps of anti-radar approaches. In particular, hiding data, with implications for data security and cyberwarfare, may be easier than hiding real-world objects; researchers at Cornell University use frequency modulation to disguise the addition, removal, or exchange of information.

Arguably, the concept of invisibility is no longer pure science fiction. Researchers demonstrated the first negative-refractive-index material (operating at microwave frequencies in 2000). Creating true invisibility will be very difficult (particularly at wavelengths that humans can see), and the technology will be expensive to manufacture. Metamaterials capable of manipulating visible light are difficult to create, because the wavelength of visible light is extremely short.

Other technologies that conceal objects from human vision, thermal vision, and radar are advancing. A surface that can sense its surroundings and change color accordingly—either to camouflage itself or to create an image—could become reality. Canadian player Hyperstealth reports that its Quantum Stealth material can bend light—rendering targets invisible. BAE Systems developed a technology called Adaptiv consisting of thermoelectric panels. Attached to a vehicle, panel temperature increases or decreases to match the temperature of the surroundings, rendering the vehicle invisible to night-vision systems.

## Defence valuation

Cloaking  
Game-changing

Many—if not most—of the applications for invisibility are related to defense and national security. Indeed, defense contractors are already heavily involved—as the examples of BAE Systems and Hyperstealth (above) highlight.

The implications of these technologies (including metamaterials) beyond military applications still require exploration before their long-term prospects can be evaluated accurately. One thing is certain: these technologies are potentially extremely disruptive. For example, in 2011, a Southeast University (China) research team announced the creation of a structure using metamaterials that can change the way radio waves interact with a copper cylinder so the structure appears to be a different material; ultimately suggesting use as a military cloaking device. An object that can masquerade as something else entirely is a highly promising—and potentially contentious—application.

## Main actors

Duke University, Cornell University, Southeast University (China), Sandia National Laboratories, Lockheed Martin, BAE Systems, Hyperstealth.

## Recommendation

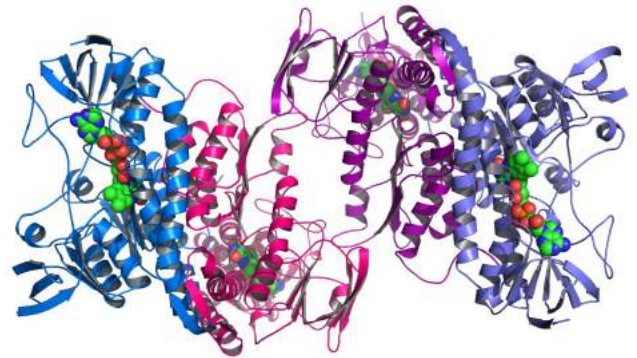
Observe  
Try

Because of the direct relationship with defense and security, this technology area is worthy of observation, and in some cases further investigation. Likely, some hype surrounds the development of cloaking/active camouflage technologies, so any breakthrough technology should be assessed before deciding on any major future strategy. Metamaterials approaches fall into the Observe category, although instigation of a limited R&D project is a possibility.

Key recommendations also include tracking and monitoring developments in all the areas discussed above (many of which nominally sit within the Observe category). One should establish clear signposts that initiate a shift in these technologies from the Observe to Try categories.



# Synthetic Biology



## Summary

Food  
Drug  
DNA  
Test

Synthetic biology has expanded dramatically in recent years. However, the field is still so nascent that scientists working in synthetic biology do not agree on a definition. Synthetic biology brings together aspects of other fields—such as biotechnology, genetic engineering, and DNA sequencing—to design and create new biological systems. The increase in activity in synthetic biology is linked to advances and falling costs in other areas; software tools and DNA-synthesis costs are decreasing, and their accuracy is increasingly facilitating previously unprecedented feats of synthetic biology.

Examples of developments in synthetic biology include the creation of the first synthetic enzymes, which scientists at the University of Cambridge engineered, raising the possibility of new methods for, for example, manufacturing pharmaceuticals and materials, remediating pollution, and the growing and processing of food.

Synthetic biology is also advancing DNA computing for applications such as data storage and reprogramming living cells. Although synthetic biology holds a lot of promise for a wide range of industries, this technology area is nascent, and real-world applications have yet to materialize. However, Jay Keasling (University of California, Berkeley) created a semisynthetic version of the antimalarial drug artemisinin, which Sanofi is now commercially producing more cheaply and reliably than from its original source plants.

## Weaknesses

Synthetic biology is still an emerging technology; its very definition is disparate and somewhat controversial. At present, research efforts lack direction, and developers face myriad technical challenges.

## Related fields

biomolecular computing, DNA sequencing, systems biology, biocatalysis, genetic engineering, biosensors, molecular biology, Biotechnology.

## Civil Uses

Synthetic biology could find application in many areas, including pharmaceuticals, medicine, agriculture, biofuels, materials, cosmetics, and data storage.

## Trends & Challenges

Fear from public  
Destroy cancer  
Side effects

Research trends are broad and aspirational. A major research area is the replication of life using synthetic DNA. Another research area focuses on using synthetic biology to create tools that help to solve problems, for example, creating a food crop that uses water more efficiently.

Experts propose genetic modifications to people, enabling resistance to flu, or radiation; programmed synthetic organisms to destroy cancers. Synthetic biology will face opposition from environmental groups and regulatory bodies will likely be



very cautious because of unknown ecological side effects.

Synthetic biologists will have a difficult challenge in allaying these fears and proving the usefulness.

## **General valuation**

Immature  
Ecological effects  
Warnings

Synthetic biology is an immature area and is available only in research laboratories. However, the scientific fields that constitute synthetic biology are more advanced, with some products based on genetic engineering already commercially available.

The progress of these other fields—both as enabling and competing technologies—will play significant roles in the success of synthetic biology.

The major concern for the future of synthetic biology is the possibility of its unintended ecological effects, but this uncertainty can only be estimated on a case-by-case basis after the vast majority of research into each synthetic-biology product has been completed. This cautiousness may result in the cost of developing some synthetic-biology products being on a similar scale to drug discovery and development.

## **Defence valuation**

Materials  
Biological weapons  
Energy

Many capabilities and limitations of synthetic biology are yet to be established. As research and understanding into different genes progresses, more possibilities will arise.

The opportunity for some advanced materials, tailored to the particular applications and with specific traits, exists, as does the possibility of cleaner, cheaper energy.

Nevertheless, these potential applications are distant goals. Biological weapons and deterrents developed through synthetic biology represent both an opportunity and a threat.

The rise of biohacking—the practice of biological-technology development outside research institutions—increases the chances of bioterrorism.

## **Main actors**

Synthetic Genomics, Medical Research Council Laboratory of Molecular Biology (University of Cambridge), SynbiCITE, J. Craig Venter Institute, Evolva.

## **Recommendation**

Observe  
Obsolescence of existing approaches  
Track & Monitor

This technology area falls into an Observe category. Key recommendations follow:

Create scenarios to help understand how the future could play out. Synthetic biology's development could have profound, far-reaching consequences, but much is uncertain. Scenarios should be created with inputs from synthetic-biology technology experts, and defense/security experts.

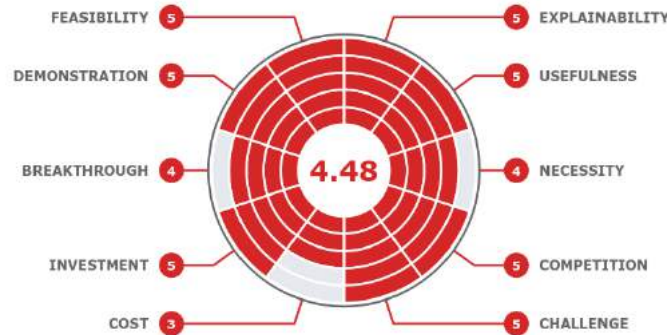
Track and monitor developments in synthetic biology and related fields such as genetic engineering. Establish clear signposts that initiate a shift from Observe to Try. (For example: A fully synthetic version of a certain drug is developed.)

Synthetic-biology approaches could make existing approaches obsolete. For example, DNA computing could prove more effective than other novel computing approaches.

Others incumbents affected could include: 1st and 2nd generation biofuels; some pharmaceutical manufacturing methods; some irrigation, agriculture and food production practices; certain medical diagnostic procedures (e.g. colonoscopy); cancer treatments (e.g. radiotherapy, chemotherapy); some cosmetics; existing environmental remediation procedures.



# Telepresence



## Summary

Social presence  
High-fidelity audio  
High-definition video  
Remote execution of tasks

Telepresence technologies allow users to observe, sense, and interact in remote environments. Manufacturers of high-end conferencing systems create presence by combining high-definition video, high-fidelity audio, and even matching furniture and wall colors to create a sense of seamless transition between connected locations. Other systems use video-mounted robots to allow workers to interact with colleagues in another location, and to move about just as they would in person.

More complex forms of telepresence give users the ability to perform skilled activities remotely. Unmanned aerial vehicles let pilots fly aircraft and conduct missions remotely. Ultimately telepresence researchers aim to eliminate functional and sensory boundaries between people and remote locations.

While it overlaps with remote control systems and robotics, telepresence aims to either create a sense of social presence for remote workers, or to give skilled workers the ability to execute complex, open-ended tasks remotely. Today, for example, telemedicine is a blend of video conferencing and data-sharing. In the future, researchers hope to outfit surgical teams with immersive displays, controls that function like traditional surgical tools, and a robotic field unit that they could use to operate on patients in battlefield hospitals or disaster areas.

## Weaknesses

Outside UAVs, telepresence has struggled with poor interface and hardware design, high development and equipment costs. Adoption of office telepresence has been stymied by cheap, "good enough" alternatives like Skype.

## Related fields

Robotics, Virtual Reality, Interface design, Holodeck, Augmented Reality, Audio and video, Sensors.

## Civil Uses

Today: law enforcement, search and rescue, professional services, medicine, education, transportation, sports, video games.

Future applications: surgery, construction (esp. remote/dangerous locations), scientific exploration, space science.

## Trends & Challenges

Operational presence  
Social presence  
Physical presence

Directions and obstacles for future research include: Social presence: Systems that "stand in" for operators need to seem natural and unobtrusive. This can be achieved through better design; but it will also require time and familiarity among users; Physical presence: Designing remote systems capable of acting with substantial freedom, and giving operators a sense of "being there," requires advances in robotics, sensors, and interface design, particularly haptics and force feedback; Operational presence: A particularly difficult challenge as it requires



creating near-seamless connections between users and remote vehicles/robots/etc., real-time feedback and operation, and interfaces that are familiar and easy to use.

## **General valuation**

Robotics  
Transport operation  
Equipment operation

The concept of telepresence is one of the most enduring in computer science, but has proved one of the hardest to implement. Partly this is a problem of nomenclature: there is no industry standard definition of telepresence, and so the term has been appropriated by (and arguably dumbed-down by) the videoconferencing industry.

The recent proliferation of UAVs, and the development of other remotely-operated vehicles like mining equipment and earth movers, shows that in niche applications, telepresence can be useful and profitable today. These successes suggest that in the near future the creation of remotely-piloted systems like long-haul trucks, trains, and tanks will drive innovation in telepresence—but they'll face competition from autonomous navigation systems.

The grand dream of creating systems that provides users with a convincing, inviting (or in the battlespace, intimidating) physical presence in a remote location; that gather large quantities of real-time sensory information; presenting that data to users in ways that avoid information overload; and give users the ability to apply their knowledge and skill in that remote location, has proved extremely challenging, but recent advances in imaging and virtual reality suggest that these challenges could be overcome. Robotics will be both an enabling and competing technology.

## **Defence valuation**

Reduced risk  
Rapid "deployment"  
Robotics  
Unmanned vehicles

Telepresence offers the possibility of projecting the intelligence of soldiers into the battlespace, occupied areas, and other dangerous locations, without exposing them to bodily risk. Professional soldiers possess a level of tactical intelligence, flexibility, intuition, and assessment capabilities that no automated system can match. Further, telepresence could allow relatively small numbers of soldiers to be "present" in multiple areas, and "deployed" to new hotspots very quickly.

In the short term, the major opportunities are in unmanned vehicles, with ground-based and littoral vehicles.

## **Main actors**

Fetch (robotics), Google (robotics), SAIC (underwater), DaVinci (telerobotics), Rethink (robotics).

## **Recommendation**

Try

The recent pace of innovation in robotics, autonomous or remotely-piloted vehicles, and their underlying enabling technologies, has been remarkable. It's no longer a question of whether we will see delivery drones and robot assistants in the near future; it's merely a question of when.

While the level of trust in automated systems has risen, there is still plenty of opportunity for technologies that augment human capabilities, or project human skill into new areas. Innovations in telepresence are well worth observing. Exploring strategic alliances with robotics and telepresence companies, or trying an in-house telepresence pilot project, may also be worthwhile.

In a world of conflicts, violence, and resource competition, states and law enforcement need tools to extend their reach without expanding their numbers. The use of UAVs to monitor poachers in Africa is an early example of how even small, poorly-funded forces could multiply their power to do good.



# Wearable Computing



## Summary

Smart Fabrics  
Embedded Displays

Wearable technology has seen a recent peak in interest focused around smart watches offering additional interfaces for portable electronics. Previous to this most commercially successful wearable technology has been in the healthcare and sports/fitness sectors. Wearable devices can incorporate sensors to record location, physical activity, pulse, blood pressure, blood glucose levels etc.

Beyond the current mass market, developers are looking at additional applications such as head-mounted displays, gesture recognition devices, wearable cameras, and exoskeletons.

Integrating electronics directly into textiles is perhaps the greatest innovation currently under study in the textile industry. Embedded devices could act as sensors—monitoring vital signs and athletic performance or measuring the concentration of airborne toxic chemicals. Textile-based electronics also have the potential for power generation and storage—enabling the realization of integrated communication devices.

## Weaknesses

Wearable computing is currently restricted by several factors including limited functionality, cost and battery capacity. In addition, current use is limited to small discrete devices rather than being garment-integrated.

## Related fields

Augmented reality, Portable Power, Virtual Reality, Internet of Things, Holodeck, MEMS, 3D Memory Chips, Telepresence, Social Networking, Bionic Implants, Stealth and Camouflage, Brain-to-Brain Interfaces, Emotion Tracking.

## Civil Uses

Wearable computing can and is beginning to find use in several areas including healthcare, sports/fitness, social networking, navigation, remote working and policing.

## Trends & Challenges

Applications Usability

Future research will yield increased numbers of components specifically designed for wearables. Limited numbers of available devices are resulting in a strong emphasis on having a range of uses per device. Progress in terms of uses and software is likely to be incremental—with numerous uses being tried in an attempt to identify useful markets.

Research into other forms of wearable tech such as exoskeletons is at a less developed stage. These systems could be highly disruptive, but remain some way from implementation.

The development of lightweight, flexible batteries is a key barrier to the commercialization of textile-integrated electronics.

**General valuation**

Enabling  
Uncertain  
Consumer  
Emerging

The full potential of wearable computing is not yet clear. Wearable computing is a technology largely built upon existing portable electronics and its success and development, will go hand in hand with other portable electronic devices. For example developments in flexible displays and improved battery capacities will benefit both smartphones and smart watches. The range of sensors currently being used is also a limiting factor and the incorporation of a wider variety of inputs measuring pressure, sound, electromagnetic fields etc. will open new avenues for wearable computing. CSIRO in Australia has developed energy-harvesting technology that can seamlessly incorporate into clothing and apparel that is already capable of delivering currents of several hundred milliwatts of power—large enough to run low-power electronics systems such as global positioning systems, mobile phones, heart-rate monitors, or radios in receiving mode.

Wearable tech that augments the wearer, such as exoskeletons, has the potential to be disruptive but are at a comparatively early stage in terms of maturity and availability.

**Defence valuation**

Monitoring  
Safety  
Information

Wearable computing has a wide range of potential military applications including the use of head-mounted displays, bio monitors and GPS. Head mounted displays could convey a wealth of relevant information. If combined with GPS systems these could enable navigation without the need to stop and consult maps. Bio monitors could enable effective monitoring of individuals for signs of fatigue, loss of concentration and enable rapid assessment of injuries. In addition to sensing applications (such as monitoring vital signs), integrating electronics directly into textiles also has the potential to reduce the mass of the loads that soldiers are required to carry.

More general wearable tech has similarly large potential. Exoskeletons could augment a person’s strength or improve fine movement stability, for example in aiming a weapon or performing surgery. Smart fabrics may enable dynamic camouflage and garments that can adapt to changes in the weather.

**Main actors**

Apple, CSIRO, United States' ARL, Google, Lumo BodyTech, Samsung, FitBit, Fujitsu.

**Recommendation**

Try

Wearable computing is an important emerging technology that is likely to prove highly disruptive—both in commercial applications and in the defense sector. Potential military applications make wearable technology of high interest to all major stakeholders within this sector who should closely observe this area for new and novel uses. Developments are likely to occur in an incremental fashion, gradually increasing the range of uses for wearable technology. It is also worth observing the development of new materials such as smart fabrics, which could open new avenues of research and development.





## Bibliographie

### Artikel

- [Boi15] Gérard de Boisboissel. “Uses of Lethal Autonomous Weapon Systems”. In: *International Conference on Military Technologies, Brno* (2015) (siehe Seite 48).

### Berichte

- [Boy95] John R. Boyd. *The Essence of Winning and Losing*. US Army, 1995 (siehe Seite 22).
- [DAR15] Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). *Breakthrough Technologies for National Security*. 2015 (siehe Seite 29).
- [Defa] Swiss Department of Defence. *Militärdoktrin 17, Technologische Trends* (siehe Seite 13).
- [Defb] Swiss Department of Defence. *Teilstrategie Technologie Verteidigung 2020* (siehe Seite 13).
- [FH14] Karin Frick und Bettina Höchli. *Die Zukunft der vernetzten Gesellschaft*. GDI Gottlieb Duttweiler Institute, 2014 (siehe Seite 14).
- [Grü12] Matthias Grüne. *Technologiefrühaufklärung im Verteidigungsbereich*. Fraunhofer Institute for Technological Trend Analysis INT, 2012 (siehe Seite 15).
- [Moh05] Dr. Mohammad-Mahmoud Ould Mohamedou. *Non-Linearity of Engagement*. Program on humanitarian policy und conflict research, Harvard University, 2005 (siehe Seite 20).
- [Pao+15] Giacomo Persi Paoli u. a. *Additive manufacturing and obsolescence management in the defence context*. RAND Europe, 2015. URL: <http://www.rand.org/pubs/perspectives/PE171.html> (siehe Seite 43).
- [PHB13] Maryse Penny, Tess Hellgren und Matt Bassford. *Future Technology Landscapes: Insights, analysis and implications for defence*. RAND Europe, 2013. URL: [http://www.rand.org/pubs/research\\_reports/RR478.html](http://www.rand.org/pubs/research_reports/RR478.html) (siehe Seite 31).

- [Toc14] Mark Tocher. *Future Emerging Technolgy Trends*. Version 3. HQ Supreme Allied Commander Transformation - Defence Planning Policy und Analysis Branch, 2014 (siehe Seiten 15, 31, 60).

### Online

- [Dan] Dan. *Orientation and action, part 1: the OODA Loop*. URL: <http://www.tdaxp.com/archive/2005/07/18/orientation-and-action-part-i-the-ooda-loop.html> (siehe Seite 20).
- [Za] Michell Zappa und al. *Readiness*. URL: <http://www.readiness.io> (siehe Seite 61).



# Index

## Symbols

3D Speicher-Chips	35
3D gedruckte Prothetik	39
3D holographische Datenspeicherung	35
3D-Druck auf der Mikro-Skala	44
3D-Druck von Orfanen	41
3D-gedruckte Materialien	43
4D-Druck	44
5G Mobilnetz	35

## A

Abwassernutzung	34
Accessoires für virtuelle Realität	37
Aerogel	43
Agile Roboter	48
Annotated Reality Brillen	37
Antennengebundenes drahtloses Netz	35
Anti-Materie-Waffen	49
Antimikrobielle Nano-Beschichtungen	43
Antriebe	33
Auditiv	41
aufkommende Technologie	60
Aufspüren von Emotionen	38
Augen-Resampling	39

Illustration: Griechisches Alphabet in Farbtonstreifen als durchlaufendes Hintergrund-Füllmuster - [www.spoonflower.com](http://www.spoonflower.com)

Augmented Reality	37
Automatische Zielerkennung	49
Autonome Fahrzeuge	47
Auxetische Materialien	45

## B

Beobachtung	38
Big Data	36
Bio-Authentifizierung	36
Bio-Materialien	45
Bio-Robotik	48
Biofeedback Video-Spiele	37
Biohacking	38
Biologie	43
Biologisch erweiterte Sinne	39
Biologische Batterien	34
Biomechanik	39
Biometrik	41
Bionische Implantate	39
Biotechnologie	40
Biotreibstoffe	34
Biowissenschaften	39
Brain Mapping	39

## C

Carbyne	43
Cloud-Kommunikation	35
Context-aware computing	35
Crowdsourced medicine	41

Cyber-Härtung .....	36
Cyber-Sicherheit .....	36

## D

DarkNet .....	35
Deep learning .....	36
DEFTECH .....	63
DEFTECH-Plattform .....	64
Deliverbots .....	47
Designer-Karbon .....	46
Dezentralisierte Energieerzeugung .....	33
Dezentralisierte und psychologische Kriegsführung 19	
Die verschiedenen Generationen der Kriegsführung 17	
Dienstleistungsroboter .....	48
disruptive Technologie .....	61
Drahtloses Laden mit grosser Reichweite .....	33

## E

E-Mili .....	32
Editieren des Genoms .....	40
EEG Gehirnaufzeichnung .....	39
Einführung .....	55
Elektrische Fahrzeuge .....	33
Elektrische Flugzeuge, durch Drohnen wieder auf- ladbar .....	47
Elektrolaser .....	49
Elektromagnetische Schienenkanone .....	49
Elektromagnetischer Antrieb .....	33
Elektrothermisch-chemische Technologie .....	49
Empathische Gegenstände .....	38
Energetisch intelligente Gebäude .....	32
Energie .....	31
Energie aus Wasserstoff .....	34
Energie Effizienz .....	32
Energie Management .....	33
Energie Speicherung .....	33
Energieumwandlung .....	34
Erfassen von Kognition und Umwelt .....	39
Erhebung der Informationen .....	57
evolutionäre Technologie .....	60
Exosuits mit Antrieb .....	39
Extra-uterine fetale Inkubation .....	41

## F

Festkörper-Batterien .....	34
Flüssigbiopsie .....	40
Fortgeschrittene Navigationssysteme .....	48

Fusion .....	34
--------------	----

## G

Geballte Feuerkraft .....	19
Gedruckte Batterien .....	34
Gehirn-Computer-Schnittstelle .....	39
Gehirn-Organoid .....	41
Gentherapie .....	41
Geräte .....	44
Gezeitenkraftwerke .....	34
Graphene .....	43
Grundverbindungen .....	43

## H

Höhenplattformen .....	47
Hacking von Emotionen .....	42
Hacking von menschlichen Sinnen .....	39
High-altitude Electromagnetic Pulse .....	49
Holographische Technologien .....	37
Holoroom .....	37
Hoverbike .....	47
Hypersonische Missiles .....	49

## I

Immersive räumliche Schnittstellen .....	37
Immersive virtuelle Realität .....	37
In die Kleidung integrierte Computer .....	37
Informatik .....	35
Information und Kommunikation .....	35
Informationsplattform .....	59
Infrastruktur-Sicherheit .....	36
Insekten-Drohnen .....	48
Intelligente autonome Schwärme .....	47
Intelligente Strukturen .....	47
Intelligente und interaktive Textilien .....	46
Intelligente Wind- und Sonnenenergie .....	33
Intelligentes Energienetz .....	33
Intelligentes Stromnetz der ersten Generation ..	33
Interaktion durch Gesten .....	37
Internet der Dinge .....	36
Internet der DNA .....	40
Internet der gesunden Dinge .....	41

## K

Künstliche Photosynthese .....	34
Kalte Fusion .....	34
Karbon-Nanoröhrchen .....	43

Kathoden .....	45
KI Medizin .....	41
Kleine, modulare Nuklearreaktoren .....	33
Kolloid-Tarnung .....	46
Kommunikation .....	35
Kommunikation von Fahrzeug zu Fahrzeug .....	47
Kontrollierte Selbstorganisation .....	44
Kosmetika auf Basis von Nanotechnologie .....	43
Kosmetische Aufkleber .....	41

## L

Labs-On-Chips .....	41
Langstrecken-UAV .....	47
Laser-Kommunikation .....	35
Lastdrohnen .....	47
Lithium-Luft-Batterien .....	34
Logistik .....	47
Luft- und Wassertreibstoffe .....	34
Luftfahrt .....	47
Luftgestützte Windenergiesysteme .....	34

## M

Maschinelles Lernen .....	36
Maschinelles Sehen .....	36
Medizinische Gesundheit .....	40
Medizinische Nanobots .....	41
Memristor .....	35
Menschliche Kräfte in grossen Massen .....	18
Meta-Materialien .....	43
Metaverse .....	37
Mikro-nukleare Reaktoren .....	34
Mikroelektromechanische Systeme (MEMS) .....	38
Militärische Technologie-Landschaft .....	21
Minibuilder .....	48
Modulare Hardware .....	47
Modulare Panzerung .....	49
Molekularsensoren .....	41
Morph-Materialien .....	45

## N

Nano-Architektur .....	44
Nano-bearbeiteter Kupfer .....	45
Nano-Biotechnologie .....	43
Nano-elektromechanische Systeme .....	45
Nano-Elektronik .....	45
Nano-Energetik .....	49
Nano-Generator .....	45
Nano-Glas .....	45
Nano-Katalysatoren .....	46

Nano-Nahrungsmittel .....	43
Nano-Phasen Titan-Legierungen .....	45
Nano-Sanierung und Wasseraufbereitung .....	46
Nano-Textilien .....	45
Nanofabriken .....	44
Nanokomposit-Plastik .....	45
Nanotechnologie und Werkstoffe .....	43
Nanotechnologische Solarzellen .....	45
Negativ-Index-Materialien .....	45
Netzwerke .....	41
Neuro-Beeinflussung .....	42
Neuro-Prothetik .....	39
Nootropika .....	39

## P

Perowskit-basierte Solarzellen .....	34
Persönliche Roboter .....	48
Personalisierte Medizin .....	41
Personalisierte prädiktive Analyse .....	42
Photo-Katalysatoren auf Basis von Nanomaterialien .....	46
Piezoelektrische Energie .....	34
Pocket Drone .....	47
Portable Solarenergie .....	32
Prädiktive Verhütung von Verbrechen .....	42
Pränatale DNA-Sequenzierung .....	40
Preface .....	5
Puls Oximetrie (O2 im Blut) .....	39
Pulsstrahltriebwerk .....	33

## Q

Quantencomputer .....	35
Quantified self .....	38

## R

Reaktiv .....	46
Reaktivpanzerung .....	49
Reifegrad .....	60
revolutionäre Technologie .....	61
Risiko-Analyse und Entscheidungsfindung .....	36
Robonauts .....	48
Roboter-Lastesel .....	47
Robotik .....	48
Robotische Chirurgie .....	41

## S

Schall-Waffen und weitreichende Schallkanonen .....	49
---	----

Schnell ladende Batterien	32
Schnelleres Internet	35
Schnittstelle Gehirn zu Gehirn	42
Schnittstellen	37
Scramjet	47
sec:beobachten	23
sec:Entscheiden	27
sec:Handeln	28
sec:Orientieren	25
Selbsteilende Materialien	45
Selbstlenkende Projektile	49
Self-	36
Sensoren	41
Sequentially Timed All-optical Mapping Photography (STAMP)	38
Simulation	37
Smart Dust	36
Social Crowd	37
Soft Robotics	48
Software-Defined Radio (SDR)	35
Sonnenkollektor-Fenster	34
Sonnensegel	33
Sozialwissenschaften	42
Speckled Computing	35
STIB	59
Strahlenwaffen	49
Strategisches Manövrieren	19
Strukturgebung	44
Supercharged Photosynthesis	40
Supergrid	33
Superomniphobische Materialien	45
Synthetische Biologie	40
Systeme	47

## T

Telemedizin	41
Telepräsenz-Roboter	47
Thermo-Bimetalle	46
Tragbare Batterien	34
Transgene Organismen	40
Transkranielle direkte Stimulation	39
Transparentes photovoltaisches Glas	34

## U

Ubiquitous Computing	36
Ultra-effiziente Solarenergie	32
Umwelt-Mapping	38
Umweltfreundlicher Beton	46
Universelles medizinisches Archiv	41
Unsichtbare/intellektuelle Kriegsführung	20
Unsichtbarkeitsumhänge	45

## V

Vektor-Steuerung	43
Verbreitung der Information	63
Verhältnis Mensch-Roboter	42
Verschluckbare Sensoren	41
Versorgungslieferungen durch UAV	47
Video- und Bilderkennung	38
Vollständige Abbildung des Genoms	40
Vorwort	3

## W

Waffen	49
Wehrpflicht	18
Weiterentwicklung von Propaganda	42
Werkstoffe	45
Weshalb neue Technologien?	20
Wiederverwendbare Transportmittel über der Atmosphäre	47
Wifi der Dinge	36
Wissenschaftliche Ideenfindung durch K.I.	40
Workshop	63

## Z

Zinc Poly	34
-----------	----





Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Verteidigung  
Bevölkerungsschutz und Sport VBS

**armasuisse**  
Wissenschaft + Technologie

Feuerwerkerstrasse 39  
CH-3602 Thun  
T +41 58 468 28 00  
F +41 58 468 28 41  
wt@armasuisse.ch  
www.armasuisse.ch/wt