

AUSGABE 2022

# armasuisse

## Wissenschaft und Technologie

DANK FORSCHUNG MEHR SICHERHEIT FÜR DIE SCHWEIZ

**Auf der Jagd nach Satelliten**

**8**

**Voyager dans les futurs: quelles actions  
entreprendre aujourd'hui pour être prêt demain**

**24**

**Toxin-Analyse für den Ernstfall**

**16**



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

# Editorial

Liebe Leserin, lieber Leser

Zwei Jahre sind seit der letzten Forschungsbroschüre von armasuisse Wissenschaft und Technologie (W+T) vergangen. Zwei in jeglicher Hinsicht spannende und von Ungewissheit geprägte Jahre. So war und ist Corona noch immer ein ständiger Begleiter unseres Alltags. In Deutschland endete die Ära Merkel und ihr Nachfolger Bundeskanzler Scholz spricht von einer Zeitenwende. Naturkatastrophen auf allen Kontinenten verdeutlichen uns, dass die Natur immer mehr aus dem Gleichgewicht gerät. Und seit dem Februar 2022 ist Europa wieder Schauplatz eines Krieges geworden, mit schwerwiegenden Folgen für die Sicherheit aller Länder.

Sicherheit wird auch bei uns in armasuisse W+T grossgeschrieben. Als Technologiezentrum des Departementes für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport VBS erstellen unsere rund 150 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter tagtäglich Risikoanalysen sowie Sicherheitskonzepte. Und mit ihrer Faszination für Technologien von heute wie von morgen sind sie dank ihrer Expertisefähigkeit ein wichtiger Sicherheitstreiber!

So gehen wir in dieser Broschüre dem Thema nach, wie Sicherheitskräfte effektiver und effizienter durch Künstliche Intelligenz und Robotik geschützt werden können. Weiter erfahren Sie, wie wir gemeinsam mit unseren Partnern in der Lage sind, den Weltraum noch besser zu nutzen und unsere Armee darüber zu informieren, welche Satelliten unser Land überfliegen.

Sicherheit bedeutet auch, sich den Gegebenheiten stets anpassen zu können – hier kommt Innovation ins Spiel. Diese ergibt sich bei uns aus der Wechselwirkung der durch Forschung eröffneten Möglichkeiten und dem Fähigkeitsbedarf der Streitkräfte. Und falls Sie mehr zum Thema Cyber, Hyperschall-Gleitflugkörper, Toxin-Analyse oder zu Funkgeräten der Zukunft wissen wollen, so werden Sie hier in dieser Broschüre fündig.

An dieser Stelle wünsche ich Ihnen viel Spass beim Lesen unserer zweiten Ausgabe.

Chère lectrice, cher lecteur,

Deux ans se sont écoulés depuis la publication de la dernière brochure sur la recherche d'armasuisse Sciences et technologies (S+T). Deux années passionnantes à tout point de vue, mais empreintes d'incertitude, la faute à un Covid-19 encore bel et bien présent parmi nous. En Allemagne, l'ère Merkel a pris fin et son successeur, le chancelier Olaf Scholz, parle d'un changement d'époque. Les catastrophes naturelles sur tous les continents nous montrent que la nature est en proie à un déséquilibre toujours plus marqué. Et depuis février 2022, l'Europe est à nouveau confrontée à la guerre, avec de graves conséquences pour la sécurité de tous les pays.

La sécurité est également un enjeu majeur pour armasuisse S+T. En tant que centre technologique du Département de la défense, de la protection de la population et des sports (DDPS), nos quelque 150 collaboratrices et collaborateurs élaborent chaque jour des analyses de risques et des plans de sécurité. Combinée à leur expertise, leur passion pour les technologies d'aujourd'hui comme pour celles de demain fait d'eux des moteurs essentiels de la sécurité !

La présente brochure aborde la manière dont les forces de sécurité peuvent être protégées de manière plus efficace et efficiente grâce à l'intelligence artificielle et à la robotique. Vous y apprendrez également comment, ensemble avec nos partenaires, nous sommes en mesure d'exploiter encore mieux l'espace et d'informer à tout instant notre armée de quels satellites survolent le territoire national.

La sécurité implique également de pouvoir s'adapter aux circonstances : c'est là qu'intervient l'innovation. Dans notre cas, celle-ci naît de l'interaction entre les possibilités offertes par la recherche et le besoin en capacités des forces armées. Enfin, les personnes intéressées par le domaine cyber, les planeurs hypersoniques, l'analyse des toxines et les appareils radio de demain trouveront dans la présente brochure de quoi satisfaire leur curiosité.

Je vous souhaite une lecture stimulante de cette deuxième édition.



**DR. THOMAS ROTHACHER**

Leiter armasuisse Wissenschaft und Technologie  
Stv. Rüstungschef

Directeur armasuisse Sciences et technologies  
Remp. du directeur général de l'armement

# Inhalt



Seite 20

## Der Hyperschall-Gleitflugkörper – Ein revolutionäres Waffensystem?

Hyperschall-Gleitflugkörper werden oft als revolutionäre Waffensysteme betrachtet. Stimmt dies? Und was ist überhaupt ein Hyperschall-Gleitflugkörper?



Seite 52

## Technology will never again develop as slowly as it does today

Nowadays, technologies are changing in such a rapid pace. And the human brain is not used to this speed. Or just not yet?



Seite 38

## Wie Schweizer Robotik erprobt und an die Armee übergeben wird

Schutz und Sicherheit geht vor, insbesondere bei Einsatzkräften. Roboter können dabei grosse Abhilfe verschaffen.

Forschung, Innovation und Technologiemanagement – ein Dreigespann mit Schlagkraft  
S. 4

Auf der Jagd nach Satelliten  
S. 8

Ohren überall und für alles: Software Defined Radio  
S. 12

Toxin-Analyse für den Ernstfall  
S. 16

Der Hyperschall-Gleitflugkörper: Ein revolutionäres Waffensystem?  
S. 20

Voyager dans les futurs : quelles actions entreprendre aujourd'hui pour être prêt demain  
S. 24

Neue Wege, um die Herausforderungen von heute und morgen zu lösen  
S. 30

Heute spielen, morgen gewinnen  
S. 34

Wie Schweizer Robotik erprobt und an die Armee übergeben wird  
S. 38

CYD Campus: Kompetenznetzwerk für die Schweizer Cyberabwehr  
S. 42

Wenn eine Sekunde ewig dauert  
S. 48

Technology will never again develop as slowly as it does today  
S. 52

Das Unsichtbare sehen – Wie Radarbilder Wolken durchdringen  
S. 54

Interview avec Gaëlle Rey, AgenceProton  
S. 58

## IMPRESSUM

**Herausgeber:** armasuisse Wissenschaft und Technologie, Feuerwerkerstrasse 39, CH-3602 Thun, wt@armasuisse.ch

**Redaktion:** Anela Ziko, Innovation und Prozesse, armasuisse W+T

**Realisation und Design:** THONIC, thonic.ch

**Bildernachweis:** Wo nicht anders vermerkt: Quelle VBS/DDPS, Getty Images, Adobe Stock

**Druck:** Bundesamt für Bauten und Logistik BBL

**Auflage:** 500 Exemplare

**Nachdruck:** Nur mit Genehmigung der Redaktion

**ISBN:** 978-3-9525653-3-9





Simulation als Brückenbauer zwischen Forschung, Innovation und Technologiemanagement.

# Forschung, Innovation und Technologiemanagement – ein Dreigespann mit Schlagkraft

**Text:** Dr. Hansruedi Bircher

Die Welt ist im Umbruch. Dies spüren wir auf verschiedenen Ebenen. Die Digitalisierung hat unsere Wirtschaft grundlegend verändert. Geschäftsmodelle sind verschwunden, andere sind neu entstanden. Zahlreiche Firmen, welche sich nicht genügend schnell angepasst haben, sind in ihrer Existenz bedroht oder sie sind bereits schon nicht mehr da. Auch in der Gesellschaft hat die Digitalisierung ihre Spuren hinterlassen. Viele Leute können sich ein Leben ohne die Nutzung digitaler Applikationen nicht mehr vorstellen. Auf sozialen Medien bilden sich Blasen, welche mitunter zu einer Radikalisierung der Gesellschaft beitragen können. Angesichts dieses Hintergrunds stellt sich die Frage, wie wohl die Armee mit diesen gewaltigen Herausforderungen umgeht.

Die Forschung von armasuisse W+T ist in acht verschiedene Forschungsprogramme gegliedert, mit dem Ziel, diejenigen technisch-wissenschaftlichen Kompetenzen aufzubauen, welche die Armee für ihre künftige Entwicklung braucht. Zudem ist die Forschung ein Instrument, um Technologietrends mit disruptivem Potenzial zu erkennen und die Folgen für die Austragung von Konflikten abzuschätzen. In beiden Stossrichtungen spielt die Digitalisierung eine zentrale Rolle.

Diese Gedanken beschäftigen auch Hans Brugger schon seit einiger Zeit. Er ist Berater für Technologiefragen und Zukunftsentwicklung in der Schweizer Armee. Die Armeeführung ist sich der Tragweite der digitalen Transformation durchaus bewusst. So hat sie in ihrer Vision zur Schweizer Armee im Jahr 2030 festgehalten, dass Innovation und Digitalisierung ein Teil der Kultur werden sollen. Die Armee möchte die Digitalisierung etwa für den schnellen und präzisen Einsatz von Effektoren nutzen. Weiter sollen Sensordaten rasch verarbeitet und die daraus gewonnenen Informationen mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz zu Grundlagen für Führungsentscheide aufbereitet werden können.

### **Gemeinsam, offen und kreativ der ungewissen Zukunft begegnen**

Es ist klar, wohin die Reise gehen soll, denkt Hans Brugger. Doch wie erreichen wir dieses Ziel? Wie schaffen wir diesen Wandel, der auf kultureller, prozessualer, organisatorischer und technologischer Ebene umgesetzt werden muss? Neben diesen unbekanntem Elementen ist eines jedoch gewiss: Es müssen alle verfügbaren Kräfte gebündelt werden! Dazu braucht es eine engagierte und ambitionierte Einstellung aller Mitarbeitenden. Diese muss von Offenheit für kreative Lösungen und Verände-

rungswillen geprägt sein, ohne dabei den Fokus auf die Aufgabenerfüllung der Armee aus den Augen zu verlieren.

Hans Brugger hat den Auftrag erhalten, darzulegen, welche Instrumente es braucht, um den digitalen Wandel in der Armee vorwärts zu treiben. Aus seiner Sicht sind dazu drei Ebenen relevant: Forschung, Innovation und Technologiemanagement.

### **Forschung als Grundlage für zukünftige Entwicklungen**

Grundlage jeder Innovation sind Wissen und Kompetenzen. Es braucht eine Abschätzung der langfristigen technologischen Entwicklungen und deren Konsequenzen, wie die Armee ihre Aufgaben wahrnimmt. Dabei geht es darum, sogenannte disruptive Tendenzen rechtzeitig zu erkennen und zu antizipieren, wie man sich darauf vorbereiten könnte. Eine solche Technologiefrüherkennung schafft die Grundlage, jene Technologiethemata zu identifizieren, welche die heutige Welt grundlegend verändern werden und deshalb vertieft betrachtet werden sollten, um entsprechendes Wissen aufzubauen. Das Instrument für den Wissens- und Kompetenzaufbau im Bereich der Technologie ist die Forschung. Sie befasst sich stark mit der Digitalisierung der Armee. Beispielsweise sind moderne Sensoren weitgehend digitalisiert und vernetzbar. Sie verfügen über immer mehr Res-



Demonstratoren machen Technologien erlebbar: Drohnen virtuell erkennen und bekämpfen.



Der Austausch zwischen Unternehmen, Armee und Wissenschaft ist die Basis für die Bewertung von Technologien.



Bure (JU) 2021: Unter realistischen Bedingungen wurden Technologien im Bereich der Drohnenabwehr vorgeführt.

sources für die optimierte Steuerung und die Auswertung von Daten. Wie bereits bei kognitiven Radarsystemen, werden den Sensoren Algorithmen zur Verfügung stehen, welche auf Künstlicher Intelligenz basieren. Künstliche Intelligenz auf optischen Sensoren erlaubt es, Objekte auf Bildern direkt vor Ort zu erkennen. Sie leisten dadurch einen Beitrag zur Robustheit des Aufklärungs-Nachrichten-Führungsverbundes bei degradierten Kommunikationsnetzen. Dank Forschung wird auch Wissen über moderne Kommunikationssysteme aufgebaut. So werden heutzutage sogenannte Software Defined Radios vermehrt mit Künstlicher Intelligenz ausgerüstet. Sowohl das Senden als auch das Empfangen von Signalen kann so auf die Umgebungsbedingungen und den militärischen Einsatz optimiert werden. Dank Künstlicher Intelligenz wird künftig jedes Funkgerät zugleich auch ein Sensor zur Aufklärung gegnerischer Einheiten sein. Die grosse Anzahl an öffentlich zugänglichen Sensoren und Informationen können dank Big Data Analytics schnell aufbereitet und zur Vervollständigung eines Lagebildes bereitgestellt werden. Schliesslich können Algorithmen, welche mit Hilfe von Reinforcement-Learning das Verhalten von eigenen und gegnerischen Kräften simulieren, in einem bestimmten Szenario Grundlagen für Führungsentscheide generieren. Abgerundet wird dieser Kompetenzaufbau durch Forschungsaktivitäten zum Schutz des Cyberraumes und durch Untersuchungen wie intelligente unbemannte Plattformen im militärischen Umfeld eingesetzt werden können.

Damit stellt die Forschung im Technologiebereich eine solide Kompetenzbasis sicher. Diese erlaubt es, die Digitalisierung der Armee im Sinne ihrer Vision 2030 voranzutreiben.

### **Innovation: Bewährtes und Neues verbinden**

Die zweite Ebene bringt das erworbene Technologiewissen in die Einsatzumgebung der Armee. Dies geschieht mit Hilfe von Innovationsräumen. Sie erlauben es, alle Akteure, welche zu

einer Lösung beitragen können, in einem Prozess zusammenzuführen. Hier geht es primär darum, in relativ kurzer Zeit eine kreative Lösung auf eine konkrete Fragestellung der Armee zu erarbeiten. Je nach Fragestellung werden dazu Wettbewerbe oder Ideenworkshops durchgeführt, sogenannte Sandboxes zur Verfügung gestellt, Booster initiiert oder direkt Tests mit der Truppe durchgeführt. Eine wichtige Rolle spielen dabei private Unternehmen, insbesondere aber auch Start-ups. Idealerweise wurden diese bereits durch die Forschung identifiziert und können deshalb in Innovationsvorhaben der Armee eingebunden werden. Die klassische Industrie verfügt oftmals über weitgehende Systemkenntnisse und Engineering-Fähigkeiten, welche es für den Aufbau von Prototypen oder zur Anpassung bestehender Systeme braucht. Startups verfolgen meistens sehr kreative und innovative Ansätze. Sie sind häufig gute Ideengeber. Ihre Produkte sind oftmals aber noch nicht marktreif oder stehen bestenfalls kurz davor. Die Zukunft von Start-ups kann zwar vielversprechend sein, es mangelt jedoch vielfach an Produktionskapazitäten, Marketing- und Vertriebskanälen. Deshalb ist die Übernahme eines Start-ups durch ein etabliertes Unternehmen weit verbreitet. Es muss davon ausgegangen werden, dass auch ausländische Firmen eine Rolle spielen, die vor allem das Interesse verfolgen, das Wissen von Start-ups zu nutzen und nicht unbedingt, dieses in der Schweiz zu halten. Ein solcher Exit-Prozess ist jedoch in einem liberalen Staat wie der Schweiz nur bedingt steuerbar. Dieser Umstand muss bei der Beteiligung von Start-ups an Innovationsprozessen für die Armee berücksichtigt und aufmerksam beobachtet werden. Insbesondere bei Start-ups, die einen Beitrag zur Digitalisierung der Armee leisten könnten, muss davon ausgegangen werden, dass diese nicht nur für Schweizer Firmen interessant sein könnten. Innovation ist ein iterativer Lern- und Verbesserungsprozess unter Einbezug aller Beteiligten. Idealerweise können die Erkenntnisse aus der Innovation direkt in das Tagesgeschäft der Armee einfließen oder sind die Grundlage für eine kommende Beschaffung.



Die Forschung charakterisiert neuste Sensoren für die Drohnenabwehr.

### Technologien steuern und sinnvoll einsetzen

Die dritte Ebene umfasst die Verwendung von Technologien in der Armee, also die Führung und Steuerung von Technologien. Das sogenannte Technologiemanagement definiert, wann Technologien in Systeme der Armee integriert oder ausser Betrieb genommen werden. Dies hängt unter anderem auch von der Entwicklung der militärischen Fähigkeiten und dem darauf resultierenden Beschaffungsbedarf ab. Dabei sind Systemplattformen sehr oft bedeutend länger in Betrieb als deren Aufklärungs-, Kommunikations- oder Führungsinformationskomponenten. Deshalb kann die Integration neuer Technologien in eine klassische Legacy-Umgebung zur Herausforderung werden. Umso wichtiger ist es, den Entwicklungspfad von Technologien zu kennen und anhand einer Umfeldanalyse eine Technologie-Roadmap zu erstellen. Diese Roadmap zeigt verschiedene mögliche Entwicklungswege einzelner Technologien auf und bildet die Entscheidungsgrundlage zur technologischen Ausgestaltung der Armee. Die Entwicklung solcher Roadmaps erfordert vertiefte Technologiekenntnisse. Deshalb werden hierfür Expertinnen und Experten einbezogen sowie ein intensiver Austausch mit der Industrie gepflegt. Weil für die Digitalisierung der Armee auch viele Firmen von Interesse sein könnten, welche nicht aus dem klassischen Sicherheits- oder Rüstungsbereich stammen, ist der Aufbau eines umfassenden Technologie- und Marktmonitorings unabdingbar. Es ist naheliegend, hierfür Instrumente zu entwickeln, welche Künstliche Intelligenz nutzen. Dadurch können aus der unendlichen Vielzahl öffentlich verfügbarer Informationen zu interessanten Firmen die relevantesten und geeignetsten herausgefiltert und dargestellt werden.

### Forschung, Innovation und Technologiemanagement als Erfolgsfaktoren

Die Digitalisierung wird die Armee vor grosse Herausforderungen stellen. Hans Brugger ist aber überzeugt, dass das Dreigespann aus Forschung, Innovation und Technologiemanagement

ein guter Ansatz ist, diesen Herausforderungen erfolgreich zu begegnen. Er ist gespannt, wie seine Überlegungen aufgenommen werden. Hans Brugger ist sich aber sicher, dass die Digitalisierung einen Wandel im Denken und Handeln aller mit sich führen wird. Dieser Transformationsprozess ist herausfordernd. Dabei ist der Zugriff auf fundierte Technologiekompetenzen, welche die Forschung sicherstellt, ein wesentlicher Erfolgsfaktor. Es braucht Leadership, um diesen Weg voranzutreiben, den Mut, bestehende Strukturen und Prozesse aufzubrechen sowie die Offenheit, aus Fehlern zu lernen und Rückschläge als Chance zu sehen. In diesem Sinn und Geist werden wir die kommenden Herausforderungen gemeinsam meistern.



#### DR. HANSRUEDI BIRCHER

Leiter Forschungsmanagement und Operations Research,  
Stv. Leiter armasuisse Wissenschaft und Technologie

Dr. Hansruedi Bircher arbeitet seit 2008 bei armasuisse W+T. Er ist stellvertretender Leiter des Kompetenzbereichs W+T und verantwortet den Fachbereich Forschungsmanagement und Operations Research. In dieser Funktion ist er zuständig für die Forschung und das Technologiemanagement.

# Auf der Jagd nach Satelliten

Zu wissen, welche Satelliten sich im Weltraum aufhalten und welche Aufgaben sie erfüllen, ist für die Schweizer Armee von entscheidender Bedeutung. Daher ist es wichtig, ein eigenständiges Weltraumbild zu erstellen. Um dies in naher Zukunft zu ermöglichen, führt armasuisse Wissenschaft und Technologie verschiedene Forschungsprojekte durch.

**Text:** Dr. Ulrich Langer



Mit den Teleskopen des Observatoriums Zimmerwald können GEO-Satelliten verfolgt und deren Bahnen bestimmt werden.  
© Astronomisches Institut der Universität Bern (AIUB).

Die Industrienationen nutzen den erdnahen Weltraum immer stärker. Neben einer stetig steigenden Anzahl von kommerziellen Anwendern wie Starlink, wird das Weltall auch zunehmend militärisch erschlossen. Von den aktuell etwa 6000 aktiven Satelliten, die ihre Bahnen um die Erde ziehen, haben etwa 750 Satelliten eine militärische Aufgabe oder werden dual – also sowohl militärisch als auch zivil – genutzt. Zu den massgebenden militärischen Akteuren im Weltraum gehören neben der Führungsmacht USA auch China und Russland. Indien und Japan haben in den vergangenen Jahren ebenfalls Fortschritte im Weltraum erzielt. Die grössten europäischen Raumfahrtstaaten sind Frankreich, Deutschland, Italien, Grossbritannien und Spanien. Für fast alle hochtechnisierten Streitkräfte hat die Operationssphäre Weltraum einen immer höheren Stellenwert. Sie nutzen welt-raumbasierte Systeme vor allem für Kommunikation, Frühwarnsysteme, Aufklärung und Lagebild sowie für Ortsbestimmung und Navigation in Echtzeit.

## LAGEBILD WELTRAUM

Das Lagebild Weltraum bündelt Daten und Informationen verschiedener Sensoren, Plattformen und anderer Quellen über die Situation und Vorgänge im Weltraum. Das Lagebild wird analysiert, bewertet und aufbereitet sowie für mit verschiedenen Einheiten der Armee und anderen relevanten Behörden geteilt, um ein Lagebewusstsein zu erlangen und strategische, operative und taktische Entscheidungen zu unterstützen.



### WAS IST EIN SATELLIT?

Ein Satellit ist ein künstlicher Raumflugkörper, der die Erde zur Erfüllung wissenschaftlicher, kommerzieller oder militärischer Zwecke umkreist. Satelliten werden dabei für folgende Aufgaben eingesetzt: Kommunikation und Rundfunk, Navigation, Erdbeobachtung, Gewinnung von Wetter- und Umweltdaten sowie weitere wissenschaftliche Aufgaben.



Durch den passiven Empfang von Radarsignalen, die von Satelliten reflektiert werden, kann der Himmel gezielt abgesucht werden.

### Mehr als 6000 Satelliten – wie verschafft man sich einen Überblick?

Weil immer mehr Militärmächte den Weltraum nutzen, ist es auch für die Schweizer Armee zwingend notwendig, eine genaue Kenntnis der Situation und der Vorgänge im Weltraum zu haben: Welches Land verfügt über welche Fähigkeiten? Wann kann welcher Satellit was beobachten? Wie verändert sich die Situation? Um ein Weltraumlagebild entwickeln und darstellen zu können, müssen alle Satelliten und ihre Manöver im erdnahen Raum erkannt und verarbeitet werden. Darauf aufbauend gilt es, eine verlässliche Prognose der Weltraumlage für die nahe Zukunft zu erstellen. Um das Lagebild des Weltraums zu erarbeiten, braucht es

- eine permanente Überwachung des Weltraums, also alle Objekte systematisch zu erfassen, zu erkennen, zu lokalisieren und deren Bahn zu verfolgen;
- eine Weltraumaufklärung und Identifizierung, d. h. Objekte wiederzuerkennen, zu klassifizieren, zu analysieren und mit vorhandenen Daten zu korrelieren;
- eine Analyse und Vorhersage des Weltraumwetters, also Informationen zu Umweltbedingungen und -phänomenen bereitzustellen.

Die meisten westlichen Nationen verwenden das von der US Space Force geführte US Space Surveillance Network, um ein eigenes Weltraumlagebild zu erstellen. Ergänzend verwendet die Schweizer Armee auch andere, öffentlich verfügbare Quellen und die Publikationen von Amateurastronomen. Einige europäische Länder stärken ihre Unabhängigkeit, indem sie eigene Radarsysteme einsetzen, wie zum Beispiel das System GRAVES in Frankreich sowie GESTRA und TIRA in Deutschland.

### Satelliten mit unterschiedlichen Positionen und Aufgaben

Bis die Schweiz in Zukunft allenfalls eigene Systeme betreiben wird, um den Himmel systematisch zu überwachen, konzentrieren sich die Forschungsprojekte von armasuisse Wissenschaft und Technologie (W+T) darauf, die öffentlich verfügbaren Daten zu überprüfen und zu verbessern sowie das Verhalten einzelner Satelliten zu untersuchen. Ferner werden in Zusammenarbeit mit Forschungspartnern Demonstratoren für künftige Systeme entwickelt und getestet.

Zum einen gibt es sogenannte geostationäre Satelliten – diese befinden sich im Idealfall immer über demselben Punkt der Erdoberfläche. Die Forschungsaktivitäten richten sich darauf aus, einzelne Objekte, deren Positionen veränderlich sind oder die Manöver durchführen, zu verfolgen und zu charakterisieren. Darüber hinaus werden gezielt einzelne Himmelsregionen überwacht. Dies geschieht mit optischen Teleskopen des Observatoriums Zimmerwald, mit denen die Lichtspuren der Satelliten verfolgt und daraus deren Bahnen bzw. ihr Verhalten bestimmt werden.

Zum anderen gibt es Satelliten in niedrigen Erdumlaufbahnen – diese umkreisen mehrmals täglich die Erde. Bei diesen Forschungsprojekten geht es vor allem darum, einzelne Objekte, deren Zustand oder Bahn nur unzureichend bekannt ist, zu erfassen, zu verfolgen und zu charakterisieren. Hierfür werden in Zusammenarbeit mit dem externen Partner s2a systems Sàrl zwei verschiedene Verfahren eingesetzt. Einerseits werden kommerzielle optische Teleskope und Kameras eingesetzt, die entweder dem überfliegenden Satelliten nachgeführt werden, oder die in eine bestimmte Himmelsregion starren und den Überflug des Satelliten aufzeichnen. Andererseits kann der Himmel durch





Der Demonstrator SitSat visualisiert und analysiert die Situation aller bekannten Satelliten an einem beliebigen weltweiten Referenzort und in einem beliebigen Zeitfenster.

## TYPEN VON SATELLITEN

LEO-Satelliten sind «Low Earth Orbit»-Satelliten. Sie befinden sich in erdnahen Umlaufbahnen (Abstand zur Erde bis 2000 km) und brauchen für einen Umlauf um die Erde etwa 90-120 Minuten. LEO-Umlaufbahnen ermöglichen es den Satelliten, sich schnell zu bewegen, ein grösseres Gebiet abzudecken, und ihre Nähe zur Erde ist für Anwendungen wie Kommunikation und Überwachung von Vorteil.

GEO-Satelliten sind «Geosynchrone bzw. Geostationäre»-Satelliten. Sie benötigen für ihre Umlaufbahn die gleiche Zeit wie die Erde für ihre Drehung. GEO Satelliten befinden sich in einer Entfernung von ca. 36 000 km von der Erde und befinden sich jeden Tag zur gleichen Zeit über dem gleichen Ort (Geosynchrone Satelliten) oder sind immer über dem gleichen Ort (Geostationäre Satelliten). GEO-Umlaufbahnen werden verwendet, wenn der Satellit eine bestimmte Region der Erde abdecken soll. So können Wettersatelliten immer dieselbe Seite der Erde sehen und Kommunikationssatelliten bedienen nicht nur immer dasselbe Gebiet, sondern nehmen aus Sicht der Bodenstation auch dieselbe Position am Himmel ein.

Darüber hinaus gibt es auch MEO-Satelliten, d. h. Satelliten in einer mittleren Erdumlaufbahn, die sich zwischen LEO und GEO befinden und vor allem für die Navigation und Kommunikation eingesetzt werden.

den passiven Empfang von Radarsignalen, die von Satelliten reflektiert werden, gezielt abgetastet werden. Auch hier werden kostengünstige kommerzielle Antennen und Empfänger eingesetzt, um die Satelliten zu detektieren und ihre Bahnen zu verfolgen. Das erste Verfahren liefert sehr genaue Ergebnisse, wenn man die Satelliten lange genug beobachtet. Die zweite Methode ermöglicht vor allem, die Satelliten wetter- und tageszeitunabhängig zu erfassen und zu verfolgen.

In allen Fällen aber werden die so gewonnenen Daten mit bekannten Informationen über die Satelliten und deren Bahnen verglichen und ausgewertet. Auf diese Weise können die öffentlich verfügbaren Daten überprüft und gegebenenfalls ergänzt werden. Zusätzlich kommen verschiedene Verfahren und Algorithmen zum Einsatz, um aus den bekannten Informationen die künftigen Aufenthaltsorte von Satelliten zu berechnen und vorherzusagen.

## Dank Applikation werden Satelliten sichtbar gemacht

Die so gewonnenen Informationen über das Lagebild des Weltraums sind aber erst dann nutzbar, wenn sie verschiedenen Einheiten der Armee und anderen relevanten Behörden zur Verfügung gestellt werden können. Für diese Aufgabe hat armasuisse W+T mit ihrem externen Partner Garzotto GmbH in Winterthur den Demonstrator SitSat («Situation des Satellites») entwickelt, um das Lagebild Weltraum zweckmässig zu visualisieren. Diese Applikation erlaubt es, alle bekannten Satelliten an einem beliebigen weltweiten Referenzort und in einem beliebigen Zeitfenster darzustellen und zu analysieren. Die Satelliten können nach ihren verschiedenen Anwendungen und weiteren Kriterien wie Betreiberland, Zweck, Typ oder Umlaufbahn gefiltert werden. Ebenfalls kann der Nutzer ermitteln, ob und in welchem Zeitfenster der ausgewählte Referenzort für einen Aufklärungssatelliten sichtbar ist und ob eine Verbindung zu einem Kommunikationssatelliten möglich ist. Dabei berücksichtigt die Applikation sowohl die Wetterbedingungen wie auch topografische Gegebenheiten. Das bedeutet, es wird auch beachtet, ob beispielsweise Berge oder Wolken die Sicht einschränken.



Der SitSat-Demonstrator existiert einerseits als Webanwendung, um auf operativer Ebene ein umfassendes Lagebild zu erhalten und die operative Planung gezielt zu unterstützen. Darüber hinaus liegt SitSat aber auch als App für Tablets und Smartphones vor, um auf taktischer Ebene einen schnellen Überblick über die Lage zu geben und Entscheidungen zu beschleunigen. Im Jahr 2021 konnte die Applikation erfolgreich ihre Testphase abschliessen.

Nun wird der Demonstrator in eine operative Umgebung überführt, damit ihn die Schweizer Armee künftig nutzen kann. Dies würde für die Landesverteidigung nicht nur die Frage beantworten, ob ein Satellit uns sehen kann, sondern auch, welcher Satellit und wann er das kann. Dadurch kann die Armee zukünftige Einsätze genauestens planen und damit sicherstellen, dass zu diesem Zeitpunkt niemand aus dem Weltraum zuschauen kann.



**DR. ULRICH LANGER**  
Leiter Forschungsprogramm

Dr. Ulrich Langer ist seit 2019 bei armasuisse W+T und leitet das neue Forschungsprogramm Weltraum. Die Forschung im Bereich des Weltraums zielt darauf ab, die bedarfs- und fähigkeitsorientierte Entwicklung, den Erhalt und den weiteren Ausbau der notwendigen wissenschaftlichen und technologischen Kompetenzen im operativen Bereich der Raumfahrt oder im Rahmen möglicher Alternativen sicherzustellen. Dies umfasst Anwendungen in den Bereichen Weltraumlageerfassung, Präzisionsnavigation, Nachrichtenbeschaffung und Kommunikation.

# Ohren überall und für alles: Software Defined Radio

Funkgeräte benutzen wir täglich in verschiedenster Form. Sie ermöglichen uns, ohne lästige Kabel mobil und ortsunabhängig zu kommunizieren. Doch was können Funkgeräte der Zukunft sonst noch alles für uns tun? Denn längst hat die Digitalisierung auch in die Welt der Funksignale Einzug gefunden. Damit eröffnen sich im elektromagnetischen Raum ganz neue Möglichkeiten.

**Text:** Dr. Christof Schüpbach



Die Vorzüge der drahtlosen Kommunikation nutzen wir heute ständig und ausgiebig. Sei es mit dem Smartphone, dem Computer oder der Smartwatch: wir können im Internet surfen, uns die neusten Videos und Bilder in den sozialen Medien anschauen oder die Daten der Wetterstation im Garten abrufen. Dabei kommen die unterschiedlichsten Funksignaltypen, Funktechnologien und Standards wie beispielsweise WiFi, 4G, 5G oder Bluetooth zum Einsatz. Wie all dies miteinander kompatibel ist, muss uns im Alltag kaum kümmern. Doch was, wenn wir nun einen neuen Standard beherrschen, gewissermassen eine neue Funksprache sprechen wollen?

#### **Neuer Signaltyp dank Softwareupdate**

Die gängigen Funktechnologien wie WiFi oder Mobilfunk funktionieren meist auf Elektronikchips, die in unseren elektronischen Geräten fest verbaut sind. Diese Chips verstehen also lediglich ihre eigene Sprache, beziehungsweise ihren eigenen

Funkstandard. Um einen neuen oder anderen Funkstandard benutzen zu können, muss also die gesamte Hardware erneuert werden. Kurz gesagt: wir müssen uns ein neues Gerät kaufen. Doch was wäre, wenn dafür bereits ein Softwareupdate genügen würde? Genau dies ist möglich mit sogenannten Software Defined Radios, kurz SDR. Wie es der Name sagt, ist hier das Funkprotokoll in einem Softwareprogramm eingebaut. Das bedeutet, dass die gesendeten und empfangenen Signale mittels einer Software verarbeitet werden. Daher kann ein Funkprotokoll beliebig angepasst und ausgetauscht werden, ohne die Hardware auswechseln zu müssen.

Dies hat natürlich viele Vorteile. Allen voran verlängert sich dadurch die Lebensdauer des Gerätes. Auch lässt sich dasselbe Gerät für verschiedene Anwendungen einsetzen. Man kann so beispielsweise mit unterschiedlichsten Funksystemen kommunizieren, Objekte mittels Radarmethoden detektieren oder an-

### Kooperative Kommunikation

In herkömmlichen Funknetzen kann jeweils nur ein Sender zur gleichen Zeit und auf derselben Frequenz eine Nachricht an einen Empfänger schicken, sonst würden sich die Signale verschiedener Quellen gegenseitig stören. Im Gegensatz dazu werden in modernen kooperativen Kommunikationsnetzen diese gegenseitigen Störsignale, auch Interferenz genannt, bewusst zugelassen und gewinnbringend ausgenutzt. Dabei übertragen mehrere Stationen parallel Nachrichten zu mehreren Empfängern – gleichzeitig und auf denselben Frequenzen.

Die unerwünschten, störenden Signalanteile werden durch eine geschickte Codierung ausgelöscht und gleichzeitig die erwünschten Signalanteile von mehreren Quellen so überlagert, dass sie sich verstärken. Wenn also während einer Übertragung eine Sendestation ausfällt oder das Funksignal abgelenkt oder gedämpft wird, erreichen die Signale der anderen Quellen die Empfänger trotzdem und die Übertragungen laufen ohne Unterbruch weiter. So merken die Empfänger gar nicht, dass eine Sendestation ausgefallen oder nicht mehr erreichbar ist.

Durch diesen sogenannten Diversitätsgewinn können im Vergleich zu herkömmlichen Funknetzen die Reichweite, die Datenübertragungsrate sowie die Anzahl Nutzer, die bedient werden können, drastisch erhöht werden. Die Netze werden so viel effizienter.

Die neuen Funkgeräte, die das Schweizer Militär künftig einsetzen möchte, sind ebenfalls SDRs und werden in Zukunft vielleicht auch Algorithmen verwenden können, die zur Zeit erst noch in den Forschungsprojekten untersucht werden.



### Passivradar

Ein Passivradar verwendet Rundfunksignale, um Echos von Flugzeugen zu detektieren. Dies wird möglich dank SDR-Empfänger und viel Rechnerleistung. Die Technologie untersuchen wir in unserer Forschung mithilfe des selbst entwickelten abgebildeten Demonstrators, mit dem wir auch schon an internationalen Kampagnen im Rahmen von NATO/PfP Forschungsaktivitäten teilgenommen haben.



dere Funkssysteme aufklären. Dies ist für das Militär besonders attraktiv, da oft wenig Platz, Gewicht und Energie für viele unterschiedliche Systeme zur Verfügung stehen.

### Millionenfache Messung des Signals

Ermöglicht wird SDR durch immer leistungsfähigere Elektronikkomponenten. Diese sind dazu in der Lage, Funksignale kurz nach deren Eintreffen auf eine Antenne zu digitalisieren. Diese Analog-Digital-Wandler vermessen das Signal mehrere Millionen bis Milliarden Mal pro Sekunde und wandeln es in eine Folge von Zahlen um. Die Zahlenfolge wird anschliessend von einem digitalen Prozessor wie beispielsweise einem herkömmlichen Computer beliebig verarbeitet. Erst dadurch ist es möglich, beispielsweise Bilder oder Videos zu übertragen. Da die Rechenkapazität bei solchen Prozessoren ebenfalls immer grösser wird, lassen sich auch sehr komplexe Algorithmen umsetzen. Dies ermöglicht völlig neue Kommunikationsverfahren, die in rein analoger Form, wie sie in älteren, herkömmlichen Funksystemen vorkommt, nicht möglich sind.

### Jeder kann ein Funkgerät abhören

Mittlerweile gibt es auf dem Markt eine Menge verschiedener SDR-Geräte in allen Preis- und Leistungsklassen. Als Amateur kann man bereits für 20 Franken einen kleinen Empfänger kaufen und damit eine Vielzahl von Funksignalen empfangen und decodieren. So wäre es etwa mit wenig Aufwand jeder Person möglich, einen Flugfunkspruch abzuhören oder Pager-Nachrichten zu decodieren.

Professionellere Geräte sind natürlich deutlich teurer, können aber dafür auch wesentlich mehr leisten. Sie haben oft eine enorme Abtastgeschwindigkeit und können Signale auf unterschiedlichste Arten und bei Bedarf von mehreren Antennen gleichzeitig erfassen. Letzteres ermöglicht zum Beispiel, dass damit auch die Einfallsrichtung eines Signals bestimmt werden kann, was für Aufklärungs- und Radaranwendungen grosses Potential bietet.

### Herausforderungen

Obwohl diese SDR-Geräte in grosser Vielfalt erhältlich sind, ist es noch nicht immer ganz einfach, sie zu verwenden. Denn es gibt bisher keine Standards bei den Schnittstellen zwischen einem Funkgerät und deressoreinheit. Dadurch muss oftmals die Software geändert werden, wenn ein anderes SDR-Gerät verwendet wird. Auch führen die hohen Datenraten dazu, dass die Signale häufig nicht von herkömmlichen Computerprozessoren verarbeitet werden können, sondern sehr spezialisierte Prozessoren zum Zug kommen. Diese sind wiederum viel schwieriger und aufwändiger zu programmieren.

### Viele Forschungsaktivitäten im Zusammenhang mit SDR

Bereits heute sind die neusten Funkssysteme softwaredefiniert und in Zukunft wird es wohl immer weniger herkömmliche Funkssysteme mit einer fest vorgegebenen Funksprache geben. Nicht nur deshalb, sondern auch weil SDR-Geräte viele neue

Messungen ermöglichen, beschäftigen sich Mitarbeitende des armasuisse-Forschungsprogramms «Kommunikation» in vielen Projekten mit der SDR-Technologie. Zum Beispiel untersuchen sie neue Funksignaltypen für zukünftige Funkstandards oder schauen sich komplexe Techniken zum Verarbeiten von Signalen an, die eine kooperative Kommunikation ermöglichen, oder sie verwenden Kommunikationssignale zum Detektieren von Flugzeugen. Gerade die Möglichkeit, mehrere Dinge gleichzeitig mit dem gleichen Gerät zu tun, ist besonders attraktiv für das Militär. In der Summe können die Resultate aus den einzelnen Forschungsergebnissen helfen, das folgende Zukunftsszenario zu realisieren.

### Funkgerät der Zukunft: Ohren für alles

Stellen sie sich ein zukünftiges Funkgerät vor. Äusserlich wird es sich wahrscheinlich nicht sehr von dem unterscheiden, was man heute schon kennt. Doch anders sieht es im Innern aus. Wenn das Gerät nicht gerade kommunizieren muss, wird es ständig das elektromagnetische Spektrum scannen und etwa laufend die Ausbreitungsbedingungen für die Funksignale messen, fremde Signale erkennen und klassifizieren, erkennen, welche Frequenzen nach welchen Mustern belegt sind, fremde Funksprüche abhören und mit Spracherkennung nach gewissen Wörtern suchen. Schliesslich wird es zusätzlich noch in Rundfunksignalen Echos von Flug- und Fahrzeugen detektieren.

Einerseits lässt sich damit die Qualität der Funkkommunikation deutlich verbessern. Dies, weil sich das Gerät jederzeit an die Umgebung anpassen und automatisch den richtigen Signaltyp und die richtige Frequenz wählt. Andererseits liefert solch ein Gerät dem Soldaten und dem ganzen Systemverbund wichtige Zusatzinformationen, die das gesamte Lagebild stark verdichten können. Beispielsweise kann es den Soldaten warnen, wenn Signale von Drohnen aufgespürt oder fremde Funkgeräte in der Nähe sind. Oder das Gerät schlägt Alarm, wenn über Funk bestimmte Wörter gesagt werden. Und nebenbei leitet es laufend alle Informationen an diverse Stellen für die Erstellung eines Gesamtlagebildes weiter. So werden die Truppen der Zukunft ganz nebenbei auch zu Sensoren, die ihre Ohren immer, überall und für alles offen halten.



**DR. CHRISTOF SCHÜPBACH**  
Leiter Forschungsprogramm

Christof Schüpbach ist stellvertretender Leiter des Fachbereichs Kommunikation und elektromagnetischer Schutz und leitet seit 2020 das Forschungsprogramm Kommunikation.

Seine Tätigkeiten umfassen Projekte im Bereich Drahtloskommunikation, Funkaufklärung, elektronische Kriegsführung und Passivradar.

# Toxin-Analyse für den Ernstfall

Toxine sind natürliche Giftstoffe, die durch lebende Organismen hergestellt werden und schwere Vergiftungen auslösen können. Da einige Toxine für den Menschen schon in kleinsten Mengen tödlich sind, stellt ihr bioterroristischer Einsatz eine reale Bedrohung dar. Das Labor Spiez weist seit rund 20 Jahren Toxine nach und charakterisiert sie. Um im Ernstfall in kürzester Zeit sehr viele Proben analysieren zu können, verbessert das Labor die Methoden laufend – unter anderem dank einem Forschungsprojekt von armasuisse Wissenschaft und Technologie.

**Text:** Dr. Matthias Wittwer, Dr. Corina Beerli

## Natürliches Vorkommen und Anwendung von Toxinen

In der Natur sind Toxine weit verbreitet und dienen Tieren und Pflanzen vor allem dazu, Fressfeinde abzuwehren. Aber auch Mikroorganismen wie Bakterien entfalten ihre krankmachende Wirkung, indem sie hochwirksame Toxine bilden. So gilt das bakterielle Nervengift Botulinum Neurotoxin als bis anhin giftigste bekannte Substanz. Bereits ein millionstel Gramm verursacht schwere Muskellähmungen, die für den Menschen zum Tod führen. Dennoch wird das Neurotoxin in geringsten Mengen unter dem Handelsnamen Botox in der ästhetischen Medizin eingesetzt. Die häufigste Ursache für Toxin-Vergiftungen ist der Verzehr von bakteriell verunreinigten Lebensmitteln. Die Sicherheit von Lebensmitteln wird von den kantonalen Laboratorien und nationalen Referenzzentren überwacht, da einige Toxine so ausserordentlich giftig sind. Auch Ansteckungen mit Toxin-bildenden Bakterien müssen den Behörden gemeldet werden.

## Toxine als Biowaffe

Im Hinblick auf die innere Sicherheit werden einige Toxine auf internationalen Listen von Substanzen geführt, die strengen Exportkontrollen unterstehen und deren Verbreitung als Biowaffe verhindert werden soll. Besonders das Pflanzengift Rizin und das Muschelgift Saxitoxin haben ein hohes bioterroristisches Potenzial. Die Organisation für das Verbot chemischer Waffen (OPCW) führt diese zwei Toxine auf der Liste jener Substanzen, die als besonders gefährlich eingestuft werden. Somit unterstehen sie analog zu anderen hochpotenten Kampfstoffen wie Sarin oder Senfgas den Regularien des Chemiewaffenübereinkommens. Im Gegensatz zu chemischen Kampfstoffen wurden Toxine in kriegerischen Auseinandersetzungen jedoch noch nie in grossem Massstab eingesetzt. Dies trotz teils umfangreichen staatlichen Biowaffenprogrammen. Dennoch stellen Toxine ein Terrormittel für punktuelle Einsätze dar, da sie leicht verfügbar sind. Dies gilt besonders für Rizin, da es bei der Herstellung von Rizinusöl als konzentriertes Gift im Pressrückstand zurückbleibt.



Samen von verschiedenen Arten der Rizinuspflanze.



Aufarbeitung einer Umweltprobe für die Toxin-Analytik. Zum Schutz der Mitarbeitenden werden die Arbeiten in einer Sicherheitswerkbank durchgeführt.

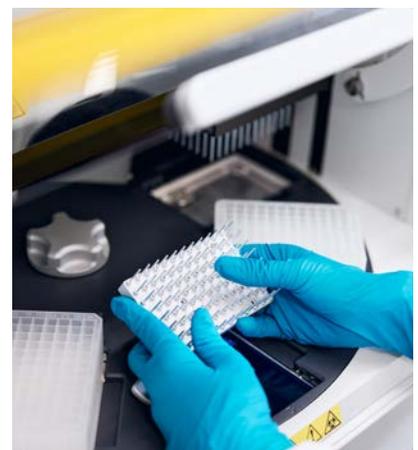
Beim vereitelten Terroranschlag in Köln 2018 wurden in der Wohnung eines Islamisten neben Utensilien für einen Sprengsatz auch 3150 Rizinusamen und 84 Milligramm Rizin sichergestellt. Diese Menge hätte laut einem Gutachten rechnerisch ausgereicht, um über Zehntausend Menschen zu töten. Auch in Amerika wurden in den letzten 20 Jahren mit Rizin versetzte Briefe an hochrangige Politikerinnen und Politiker versendet, unter anderem an Ex-Präsident Barack Obama. Aufgrund dieser Vorkommnisse wird der Einsatz von Toxinen für einen bioterroristischen Anschlag als wahrscheinlicher eingeschätzt, als der Einsatz von Viren oder Bakterien.

#### Forschungsprojekt «Toxine»

Toxine sind äusserst giftige Substanzen, die auch für bioterroristische Zwecke eingesetzt werden können. Der Nachweis von Toxinen in klinischen und Umweltproben ist sehr aufwändig. Durch neu etablierte Methoden und Automatisierung im Labor Spiez können nun auch im Ernstfall viele Proben gleichzeitig analysiert werden.



Vorbereitung der Proben für die Hochdurchsatzanalytik.





### Toxin-Analytik im Labor Spiez

Der Fachbereich Biologie des Labors Spiez befasst sich mit dem Schutz vor biologischen Bedrohungen wie Erregern von gefährlichen Krankheiten und Toxinen. Einerseits erforscht das Labor, wie diese Erreger und Toxine Krankheiten auslösen und wie sie sich verbreiten. Andererseits steht ihr Nachweis und ihre Charakterisierung im Fokus. Für ein ausgewähltes Spektrum von Erregern und Toxinen bietet das Labor Spiez diese Analyse für klinische Proben sowie für solche aus der Umwelt an. Um sogenannte biologische Agenzien wie Bakterien, Viren oder Parasiten gemäss internationalen Standards eindeutig zu identifizieren, sind grundsätzlich mehrere Methoden nötig, die jeweils unterschiedliche Eigenschaften untersuchen. Im Falle der Toxine sieht das wie folgt aus: In einem ersten Schritt isolieren Mitarbeitende die Substanz mittels biochemischer Verfahren aus der Probe und identifizieren den Stoff durch hochsensitive Analytik-Verfahren. Anschliessend untersuchen sie, ob das Toxin noch biologisch aktiv, also funktionsfähig ist. Dazu testen sie beispielsweise in Zellkulturen, ob das Toxin schädliche Auswirkungen auf die Zellen hat. Schlussendlich charakterisieren sie die Struktur des Toxins mit Massenspektrometrie, einem Verfahren, um die Masse von Atomen oder Molekülen zu bestimmen. Die Qualität dieser Analytik-Methoden wird periodisch bei sogenannten internationalen Ringversuchen getestet, bei denen verschiedene Forschungsinstitute innerhalb Europas gleichzeitig eine unbekannte Toxin-Probe zur Analyse erhalten. Das Labor Spiez schneidet dabei stets sehr gut ab und zählt zu den führenden Forschungsinstituten auf diesem Gebiet.



**DR. CORINA BEERLI**

Wissenschaftliche Projektleiterin

Dr. Corina Beerli ist Molekularbiologin und arbeitet seit 2021 als wissenschaftliche Projektleiterin bei armasuisse Wissenschaft und Technologie. Neben den Aufgaben in der Forschungsplanung und im Controlling ist sie auch für die Forschungsprojekte im Bereich der Querschnittsthemen verantwortlich.



**DR. MATTHIAS WITTMER**

Chef Gruppe Proteomics, Bioinformatik und Toxine

Dr. Matthias Wittwer arbeitet seit 2008 im Fachbereich Biologie des Labors Spiez und ist für den Bereich Toxine und biologische Datenanalytik tätig.

### Automatisierung für den Ernstfall

Bisher analysierte das Labor Spiez Toxine vor allem im kleinen Massstab und mit hochspezialisierten Fachleuten. Wie die Covid-19-Krise nun jedoch gezeigt hat, müssen im Ernstfall eine grosse Anzahl von Proben verarbeitet werden. Dabei ist es eine grosse Herausforderung, den Ablauf und die Qualität der Toxin-Analyse über einen längeren Zeitraum aufrecht zu erhalten und Fehler zu vermeiden. Genau hier setzt das durch armasuisse Wissenschaft und Technologie unterstützte Forschungsprojekt «Next Generation Toxin Detection» an. Es hat zum Ziel, die Verarbeitung der Proben so stark wie möglich zu automatisieren und die Toxin-Analytik zu standardisieren. Zu diesem Zweck schaffte das Labor Spiez dank Unterstützung und Fachwissen der armasuisse-Mitarbeitenden einerseits ein Analyse-Gerät an, das knapp hundert Proben gleichzeitig verarbeiten kann. Andererseits führt es zurzeit ein Informationssystem für das Labor ein, das den gesamten analytischen Prozess abbildet und erlaubt, die Proben vom Probeneingang bis zum Erstellen der Prüfberichte zu überwachen. Je nach Toxin können sich die gewählten Analyse-Methoden unterscheiden und müssen daher für jedes Toxin optimiert werden. In einem ersten Schritt etabliert das Labor Spiez nun den Arbeitsablauf für die bioterroristisch relevanten Toxine Rizin und Botulinum Neurotoxin. Die automatisierte Analytik von kleinmolekularen Toxinen wie Saxitoxin erfolgt dann in einem weiteren Schritt. Die hochstandardisierten und automatisierten Analytik-Methoden erlauben es, dass Angehörige der Armee im Rahmen von Wiederholungskursen geschult werden können. Somit ist das Labor Spiez im Ernstfall bereit, die Toxin-Analytik durch Unterstützung der ABC-Truppen innerhalb kurzer Zeit hochzufahren und auch über einen längeren Zeitraum einen hohen Durchsatz an Proben zu gewährleisten. Dieses gemeinsame Forschungsprojekt zwischen dem Labor Spiez und armasuisse Wissenschaft und Technologie kann deshalb als Erfolg betrachtet werden.



# Der Hyperschall-Gleitflugkörper: Ein revolutionäres Waffensystem?

Im Dezember 2019 kündigte Russland die Inbetriebnahme eines neuen Waffensystems an, des Hyperschall-Gleitflugkörpers Awangard. Dieser Gleiter sei so schnell und agil, dass die üblichen Raketenabwehrmittel keine Chance gegen ihn hätten. Die Nachricht sorgte in vielen Militärstäben für Aufregung. Doch worum geht es dabei? Wie fliegt ein Hyperschall-Gleitflugkörper überhaupt? Und entsprechen diese Flugkörper einem revolutionären Waffensystem, wie oft behauptet? Ein Überblick.

**Text:** Dr. André Koch

Das Thema Hyperschallflug geht auf den Beginn des Zweiten Weltkriegs zurück. Der deutsche Wissenschaftler Eugen Sänger entwarf Ende der 1930er-Jahre ein Flugzeug, den Silbervogel, das mit einer Höchstgeschwindigkeit von 6000 Metern pro Sekunde mehr als 20000 Kilometer zurücklegen können sollte. Der Silbervogel kam jedoch nie über das Zeichenbrett hinaus. Später, in den 50er-Jahren, wurden diese Arbeiten wieder aufgenommen, um den sicheren Wiedereintritt von Raumfahrzeugen in die Atmosphäre zu ermöglichen. Anwendungen gab es in zivilen Gebieten – beispielsweise mit dem Space Shuttle – sowie in militärischen Bereichen, etwa mit Interkontinentalraketen.

In Dezember 2019 kündigte dann Russland an, dass ein neues Waffensystem, der Hyperschall-Gleitflugkörper Awangard, der Truppe übergeben wurde (Abbildung 1). Fast zeitgleich gab China bekannt, dass es mit dem WU-14 über ein ähnliches System verfüge. Was sind eigentlich diese Hyperschall-Gleitflugkörper und was meint man mit Hyperschall?

## Hyperschall

Die Geschwindigkeit einer Schallwelle in der Luft hängt von der Temperatur ab. Bei 15 Grad Celsius auf Meereshöhe breitet sich der Schall mit 340 Metern pro Sekunde aus; steigt man auf 11000 Metern Höhe, sinkt die Temperatur auf –56,4 Grad Celsius und die Schallgeschwindigkeit verringert sich auf 295 Meter pro Sekunde.

Bewegt sich ein Objekt schneller als die lokale Schallgeschwindigkeit, spricht man von Überschall. Überschreitet der Körper das Fünffache der Schallgeschwindigkeit – also 1700 Meter pro Sekunde auf Meereshöhe bzw. 1475 Meter pro Sekunde auf 11000 Metern Höhe – wird die Bewegung als Hyperschall bezeichnet. Verschiedene militärische Systeme bewegen sich im Hyperschallbereich. Darunter findet man die ballistischen Raketen, gewisse Marschflugkörper und die sogenannten Hyperschall-Gleitflugkörper. Die letztgenannten Systeme interessieren uns hier.

### Hyperschall-Gleitflugkörper

Ein Hyperschall-Gleitflugkörper ist ein Gleiter: er hat kein eigenes Antriebssystem und wird mithilfe einer Rakete in über 100 Kilometer Höhe gebracht. Nach Trennung von der Trägerrakete kommt er im Gleitflug auf den Boden zurück. In grosser Höhe bewegt sich ein Hyperschall-Gleitflugkörper mit anfänglich mehr als 6000 Metern pro Sekunde. Diese Geschwindigkeit übersteigt bei weitem diejenige von üblichen Flugzeugen (Abbildung 2).

Um den Flug eines Hyperschall-Gleitflugkörpers in verschiedenen Szenarien zu untersuchen und zu berechnen, hat armasuisse Wissenschaft und Technologie ein computergestütztes Modell entworfen (Abbildung 1): Der untersuchte Flugkörper hat eine Spannweite von 2,3 Metern, ist 3,75 Meter lang und wiegt 1,5 Tonnen. Seine Nutzlast liegt bei 500 Kilogramm und könnte aus einem nuklearen Gefechtskopf oder einer konventionellen Sprengladung bestehen.

### Der Hyperschall-Gleitflug

Der Gleiter wird mithilfe einer Trägerrakete in grosse Höhe gebracht. Die Dimensionen und das Gewicht des Gleiters sind durch die Eigenschaften dieser Rakete begrenzt (Abbildung 3).

Von der Abschussrampe bis zum Ziel besteht der Flug des Hyperschall-Gleitflugkörpers aus zwei Phasen, nämlich der Startphase, gefolgt vom Gleitflug.

**Die Startphase:** Der Hyperschall-Gleitflugkörper sitzt an der Spitze einer Trägerrakete, zum Beispiel einer dreistufigen Rakete Minotaur IV Lite, die eine Nutzlast von 1,5 Tonnen auf 125 Kilometer Höhe bringen kann. Die Startphase dauert vom Abheben der Rakete bis zum Freisetzen des Hyperschallgleiters ungefähr drei Minuten. Der Gleiter bewegt sich dann mit circa 6000 Metern pro Sekunde parallel zur Erdoberfläche (Abbildung 4).

**Der Gleitflug.** Ab dann, wenn sich der Hyperschall-Gleitflugkörper von der Trägerrakete ablöst, ist er im Gleitflug. In über 70 Kilometern Höhe ist die Luft so dünn, dass der Gleiter – trotz seiner enormen Geschwindigkeit von 6000 Metern pro Sekunde – über fast keinen aerodynamischen Auftrieb verfügt; er befindet sich sozusagen im freien Fall und verfolgt einen sinkenden Pfad. Da die Luftdichte in den tieferen Schichten der Atmosphäre zunimmt, wachsen Luftwiderstand und aerodynamischer Auftrieb. Irgendwann ist Letzterer genug gross, sodass sich der Hyperschall-Gleitflugkörper horizontal bewegen oder sogar steigen kann.

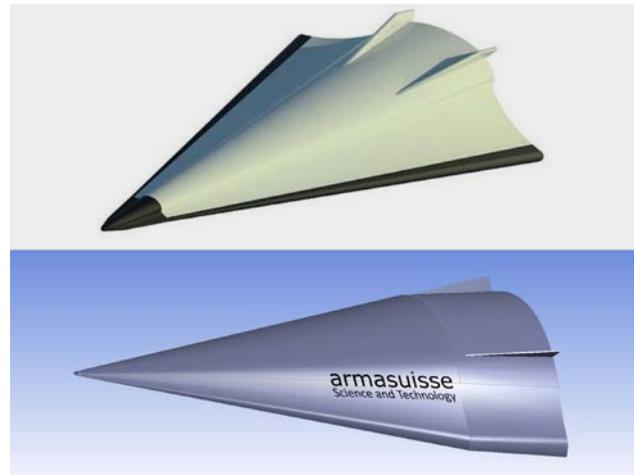


Abbildung 1: Oben, ein Modell des russischen Hyperschall-Gleitflugkörpers Awangard. Unten das Design, welches bei armasuisse benutzt wurde.

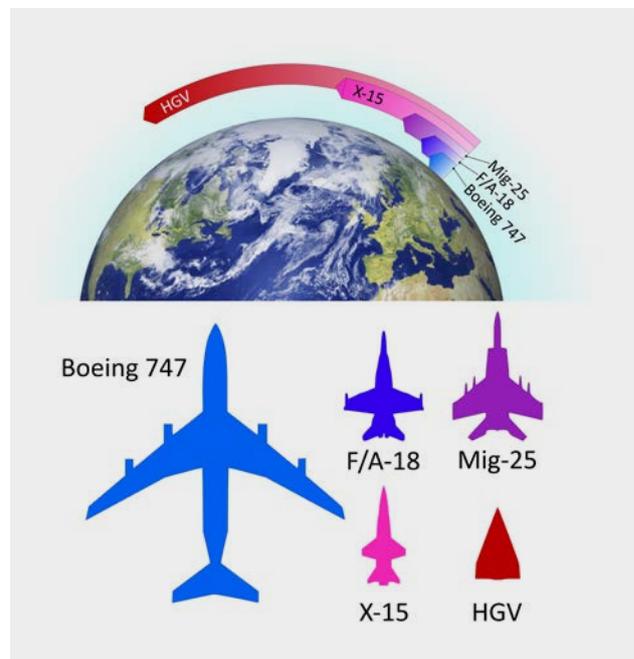


Abbildung 2: Vergleich der Strecken, die einige Luftfahrzeuge in 30 Minuten zurücklegen (die Skizzen der Luftfahrzeuge sind nicht massstabsgetreu). HG steht für Hypersonic Glide Vehicle.



Abbildung 3: Foto und Skizze einer Stufenrakete Minotaur IV Lite. Der Hyperschall-Gleitflugkörper ist als Nutzlast an der Spitze der Rakete montiert.

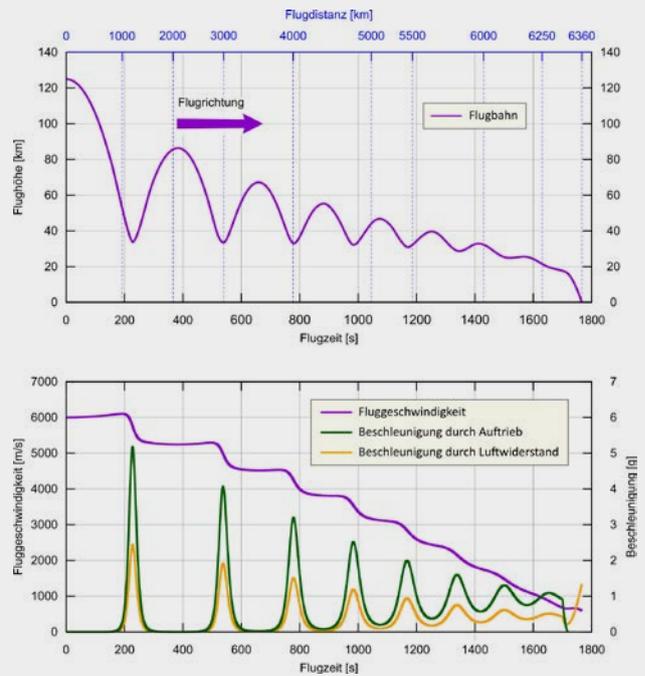


Abbildung 5: Oben, Flugbahn des Hyperschall-Gleitflugkörpers als Funktion der Zeit bis zum Target (untere horizontale Skala in schwarz) oder dessen Entfernung (obere Skala in blau). Unten, Geschwindigkeit und Beschleunigungen des Gleiters als Funktion der Zeit bis zum Target. In diesem Beispiel beginnt der Gleitflug auf 125 Kilometern Höhe mit der Geschwindigkeit von 6000 Metern pro Sekunde. Es ist zu bemerken, dass bei geringen aerodynamischen Beschleunigungen auch die aerodynamischen Kräfte klein sind.

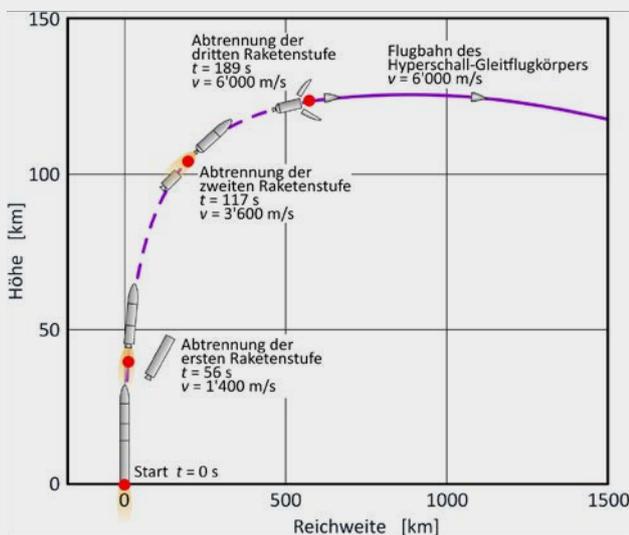


Abbildung 4: In diesem Beispiel wird der Hyperschall-Gleitflugkörper mittels einer Rakete auf 125 Kilometer Höhe gebracht. Nach der Trennung von der Rakete bewegt er sich im freien Flug mit einer Geschwindigkeit von 6000 Metern pro Sekunde.

**Bildquellen**

Abbildung 1: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-7867745/Hypersonic-missiles-Trump-boasted-U-S-currently-building.html>, am 3. März 2022 besichtigt.

Abbildung 3: [https://en.wikipedia.org/wiki/Minotaur\\_IV](https://en.wikipedia.org/wiki/Minotaur_IV), am 3. März 2022 besichtigt.

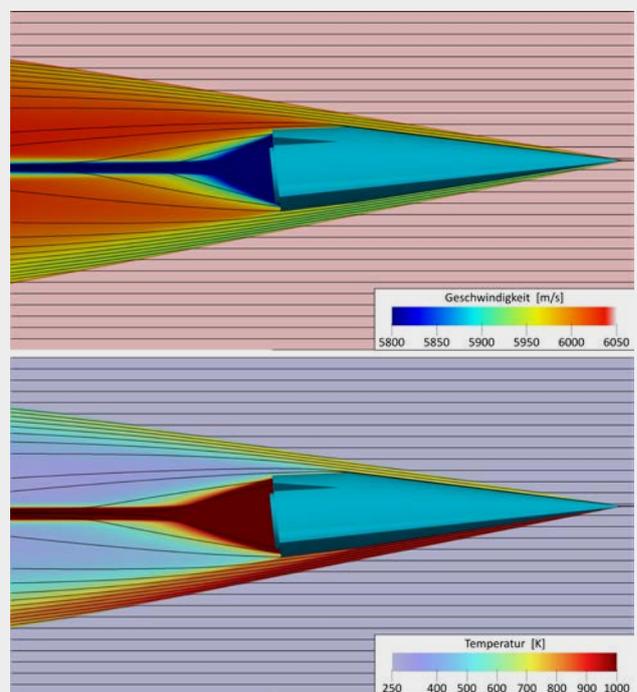


Abbildung 6: Oben, Strömungslinien und Luftgeschwindigkeit um den Hyperschallgleiter. In diesem Beispiel findet der Flug in 60 Kilometern Höhe mit einer Geschwindigkeit von 6000 Metern pro Sekunde statt. Die Schockwelle, welche den Gleiter umhüllt, ist deutlich erkennbar. Unten, die Lufttemperatur für die selben Flugbedingungen. Unter dem Hyperschallgleiter wird die Luft durch Schockwellenkompression auf mehr als 1000 Kelvin – mehr als 730 Grad Celsius – erhitzt.

Damit der Gleiter möglichst weit fliegt, muss die Flugbahn so gewählt werden, dass der Luftwiderstand im Durchschnitt so klein bleibt wie möglich. Eine interessante Lösung hierfür ist, den Gleiter auf den dichteren Schichten der Atmosphäre «hüpfen» zu lassen. Solch eine Flugbahn ist in Abbildung 5 dargestellt; das abgebildete Wellenprofil der Flugbahn ist charakteristisch für Hyperschall-Gleitflüge: So wie die Hüpfen eines flachen Kieselsteins auf der Wasseroberfläche diesen weit bringen, so vergrössert ein Hyperschall-Gleitflugkörper die Reichweite seines Flugs mit Sprüngen über die unteren Schichten der Atmosphäre.

Der Hyperschall-Gleiter ist manövrierfähig, sofern die aerodynamischen Kräfte – und die daraus resultierenden Beschleunigungen – genügend gross sind. Aus Abbildung 5 wird klar, dass dies nur unterhalb von circa 70 Kilometern Höhe der Fall ist. Weiter oben ist die Luft zu dünn, um wesentliche aerodynamische Kräfte zu erzeugen, sodass Flugmanöver nicht möglich sind.

### Eine Herausforderung des Hyperschall-Flugs

Da der Gleiter sich mit Überschallgeschwindigkeit bewegt, bildet sich ein sogenannter Mach-Kegel um ihn: Eine Schockwelle entsteht, welche von der Spitze des Gleiters ausgeht (Abbildung 6). In dieser Schockzone wird die Luft stark komprimiert, was ihre Temperatur steigen lässt. Bei einer Geschwindigkeit von 6000 Metern pro Sekunde kann die Temperatur an der Spitze und an den Flügelkanten des Flugobjekts 1000 Grad Celsius deutlich überschreiten. Damit der Gleitflugkörper diese Temperaturen aushält, sind spezielle hitzebeständige Beschichtungen seiner Spitze, seiner Kanten und seiner unteren Tragfläche notwendig.

Ausserdem ist es von Vorteil, eine Flugbahn zu wählen, entlang welcher sich Aufwärmphasen mit Abkühlungsphasen abwechseln. Hier wird deutlich, dass eine wellenartige Flugbahn – wie in Abbildung 5 dargestellt – von Vorteil ist. Zwar erwärmt sich der Gleiter beim Hüpfen aufgrund der erhöhten aerodynamischen Kräfte in tieferen Flughöhen. Der anschliessende Flug in grösseren Höhen ermöglicht dann aber eine Abkühlung, da die aerodynamischen Kräfte wieder bedeutend abnehmen.

### Der Hyperschall-Gleitflugkörper: Eine revolutionäre Waffe?

Bewerten wir abschliessend einige Behauptungen über Hyperschall-Raketen kritisch.

- **Hyperschall-Gleitflugkörper manövrieren sich an den Luftabwehrsystemen vorbei.** Diese Behauptung stimmt nur teilweise. Wir haben festgelegt, dass aerodynamische Manöver nur unterhalb von 70 Kilometern Höhe möglich sind; höher verfolgt der Hyperschall-Gleitflugkörper eine voraussehbare elliptische Flugbahn, ohne Möglichkeit, die Flugrichtung zu ändern, falls er durch ein Abwehrsystem angegriffen wird. Zusätzlich bedingt jedes Flugmanöver einen Abfall der Geschwindigkeit und damit der Reichweite.
- **Ein Hyperschall-Gleitflugkörper erreicht sein Ziel mit einer Geschwindigkeit von 2000 Metern pro Sekunde oder mehr.** Die Aussage ist falsch. Wenn der Hyperschall-Gleitflugkörper durch die unteren Schichten der Atmosphäre auf sein Ziel hin fliegt, wird er durch den Luftwiderstand heftig abgebremst.

In der Endphase des Flugs wird die Geschwindigkeit des Gleiters – sogar mit einem steilen Sturzflug – 1000 Metern pro Sekunde nicht übersteigen (siehe Abbildung 5).

- **Ein Hyperschall-Gleitflugkörper ist für Radarsysteme undetektierbar.** Die Aussage ist nur teilweise wahr. Boden-Radarstationen sind in der Lage, kleine Flugkörper auf 300 Kilometer zu detektieren. Höchst wahrscheinlich kann jedoch der Verlauf der Flugbahn nicht bestimmt werden, weil die meisten heutigen Radarsysteme das Tracking eines Objekts nur für Geschwindigkeiten unter 1000 Metern pro Sekunde gewährleisten.
- **Klassische Abwehrraketen sind gegen Hyperschall-Gleitflugkörper unwirksam.** Diese Behauptung stimmt teilweise. Aufgrund der hohen Geschwindigkeit und der geringen Abmessungen des Gleitflugkörpers ist es für herkömmliche Boden-Luft-Abwehrmittel schwierig, aber nicht unmöglich, einen Hyperschall-Gleitflugkörper zu bekämpfen. Eine zusätzliche Herausforderung kommt jedoch dazu: Nur wenige Boden-Luft Abwehrraketen sind in der Lage, Objekte in mehr als 50 Kilometern Höhe zu bekämpfen; neue Lösungsansätze für Abwehrmassnahmen sind also notwendig.

All dies zeigt einerseits, dass Hyperschall-Gleitflugkörper keine grundlegend neuen technischen Lösungen darlegen und dass ihre Eigenschaften oft übertrieben werden. Andererseits gilt: Je schneller sich ein Objekt bewegt, desto schwieriger sind dessen Detektion und Bekämpfung. Daher ist es unerlässlich, die Entwicklung von Hyperschall-Gleitflugkörpern mit einem kritischen Blick zu verfolgen. Mit diesem Thema werden sich deshalb die Expertinnen und Experten von armasuisse auch in Zukunft noch beschäftigen.



**DR. ANDRÉ KOCH**  
Projektleiter

André Koch arbeitete bis 2021 als Leiter Forschungsprogramm Wirkung, Schutz und Sicherheit bei armasuisse W+T. In diesem Forschungsprogramm werden wehrtechnische Entwicklungen im Bereich der kinetischen, chemischen, thermischen und elektromagnetischen Wirkmittel verfolgt. Auch werden die Einflüsse der Umgebung auf Materialien untersucht, welche für den ballistischen Schutz eine Rolle spielen. Ziel ist es, aus den Materialcharakteristiken auf die ballistische Schutzwirkung schliessen zu können.

# Voyager dans les futurs : quelles actions entreprendre aujourd'hui pour être prêt demain





Qui n'a jamais rêvé de se projeter dans le futur ? Chez armasuisse Sciences et technologies, nous le faisons aussi. Jouant avec l'incertitude, mais avec méthode, nous essayons d'anticiper le monde de demain. Rejoignez-nous dans notre voyage.

**Texte :** Dr Quentin Ladetto

### **Bienvenue en 1992 !**

Avant de nous tourner vers l'avenir et de nous projeter 30 ans dans le futur, jetons un coup d'œil en arrière et imaginez que nous sommes en 1992. Une année qui vit la naissance du premier téléphone portable. Un moment où Internet n'existait pas encore sous sa forme publique et durant laquelle le premier navigateur web, Mosaic, était encore en développement, tout simplement car le World Wide Web ne verra le jour que l'année suivante. Essayez donc, avec le monde qui vous entoure d'imaginer l'année 2022. Comment se projeter dans l'inconnu ? Comment donner une forme à l'incertitude ambiante ?

Une réponse nous est offerte en considérant l'imagination qui se présente comme [la meilleure compagnie de transport au monde](#).<sup>1</sup> Elle nous permet effectivement de voyager aussi bien dans l'espace que dans le temps.

Cette imagination se concrétise en 1992 par la parution du roman *Snow Crash* de Neal Stephenson, auquel on doit le concept de Métavers. Comme décrit, celui-ci est un méta-univers reposant sur une base technologique, intégrant une finalité économique par l'utilisation d'une monnaie virtuelle à des fins de transactions économiques. Les participants y sont représentés par des avatars interactifs à même de transmettre des émotions et ainsi de simuler au mieux le monde physique.

Dans un contexte plus militarisé et sous une autre forme, 1992 c'est également le film *Universal Soldier*, préfigurant les développements du soldat augmenté et du transhumanisme grâce aux développements scientifiques et technologiques.

Si certains des éléments imaginés dans ces deux œuvres ont vu le jour, beaucoup sont toujours en devenir. La force de l'imagination est donc bien d'illustrer des idées et des concepts. Leurs réalisations et surtout leur acceptation sont une toute autre histoire.

Transposons cette expérience de pensée à 2022 et à la mission initiale du programme de prospective technologique d'armasuisse sciences et technologies, comment anticiper et se préparer à 2052 ?

### **Pourquoi regarder aussi loin ? Et comment ?**

Si nous nous projetons plusieurs décennies en avant, c'est pour une raison bien précise : dans le monde militaire, la longévité attendue de certains équipements est de 30 ans et plus. Il est donc indispensable d'anticiper les conditions futures d'opérations. Cela permet de choisir des systèmes dont les effets attendus vont pouvoir évoluer et se transformer au cours du temps, afin de faire face à la mue des menaces en gestation.

L'objectif est de conserver la possibilité de se projeter au plus loin; mais comment ? La partie théorique de la réponse se rapproche certainement de la philosophie. Les projets menés par le programme de prospective technologique tentent eux d'apporter des réponses concrètes.

Le programme part du principe qu'il n'est pas possible de prédire le futur, a fortiori dans un monde gouverné par l'incertitude. Incertitude dont l'une des causes est l'importance toujours grandissante des technologies dans notre vie – Peut-être serait-il même approprié de parler de deux vies afin de différencier celle physique de celle digitale. Malgré un environnement incertain, un modèle de pensée spécifique permet toutefois de se préparer de manière optimale aux futurs possibles. Les considérations suivantes sont à la base de ce modèle : Demain est donc entièrement à construire à partir d'aujourd'hui. Entre les deux, il n'y a rien. Il y a du vide pouvant s'appeler également devenir. Ce devenir attend d'être comblé par une infinité d'innovations, de développements, d'opportunités.

Cette position intellectuelle est importante car elle donne toute son importance aux actions présentes dans la construction du futur. Ces actions et interactions étant potentiellement infinies, cela justifie la considération non pas d'un, pas deux, pas trois, mais d'une multitude de futurs.

Illustrons ce mode de pensée par un exemple concret : la pénurie de terres rares. Il y a différentes manières d'aborder un tel problème. Une d'elles consiste à comprendre les propriétés spécifiques de ces terres rares, et chercher une alternative à leur obtention. Une autre manière consiste à extraire ces terres via une nouvelle source. Apparemment la lune et les météorites présentent ces alternatives et les développements vont déjà bon train. Une autre manière encore serait de comprendre dans quels produits ces terres rares sont utilisées et chercher, au cas par cas, une alternative. Nul ne sait aujourd'hui quelle solution l'emportera, surtout que celles mentionnées ne sont pas exhaustives et ne s'excluent pas non plus. Supposons maintenant que l'exploitation spatiale l'emporte. Elle entraînerait un cortège d'innovations aux implications inconnues. Cela signifie indirectement que le nouveau processus d'extraction est économiquement intéressant, et que les technologies spatiales ont fait un sérieux pas en avant. Parallèlement, le mode d'extraction d'autres terres ou minerais pourrait se trouver révolutionné, et qui sait quelles autres innovations découlant directement et indirectement de l'exploitation spatiale verraient le jour. Ce que cet exemple illustre est simplement la possibilité d'imaginer des futurs possibles et ce qui pourrait nous y mener, mais l'immense difficulté de les prédire et surtout à un horizon donné.

<sup>1</sup> <https://propulseurs.com/> Citation de Roger Fournier, auteur et réalisateur québécois.

## Comment se préparer aux futurs ?

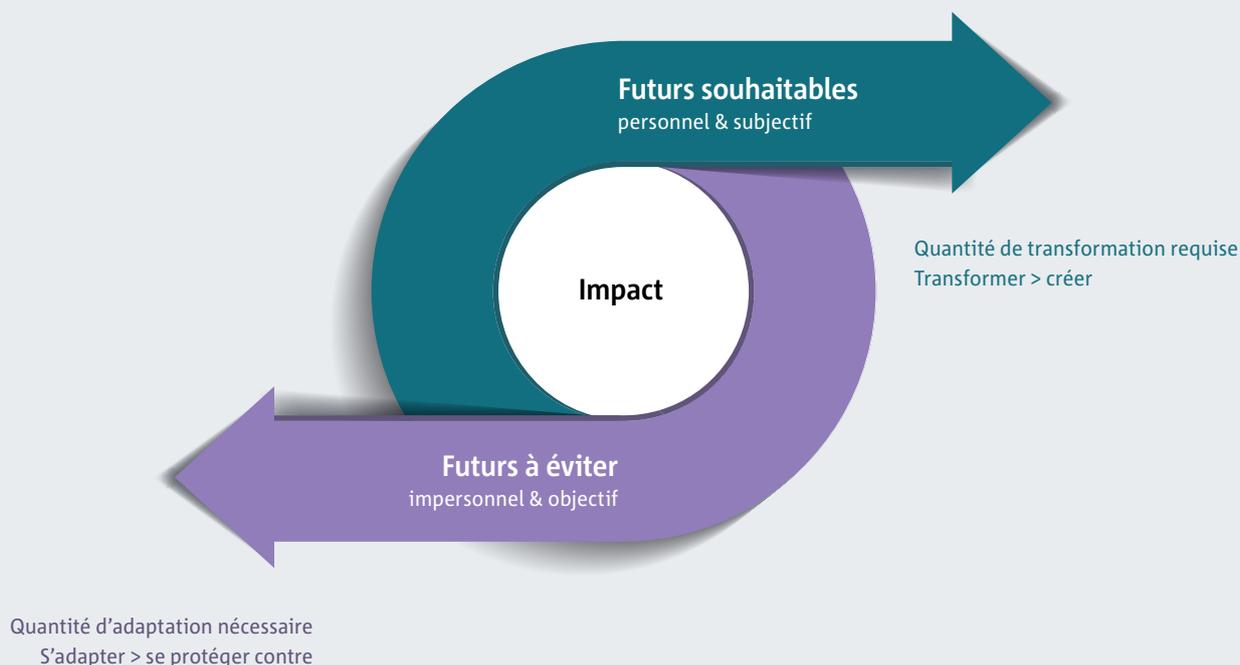


Figure 1 : Représentation schématique du modèle de réflexion dirigeant les projets du programme de prospective technologique et permettant de se préparer au mieux aux futurs possibles dans un contexte d'incertitude.

En quoi cela est-il important pour le programme de prospective technologique ? Plutôt que d'étudier uniquement des technologies et d'anticiper leurs applications futures, potentiellement disruptives, nous travaillons également sur le processus inverse : nous cherchons à comprendre premièrement quels cas d'usages seraient disruptifs par rapport à la situation actuelle, pour ensuite chercher, au moyen des tendances technologiques, comment, soit les rendre possibles, soit s'en protéger [Figure1]. Nous ne cherchons donc pas à découvrir les « technologies disruptives », mais bien les « cas d'usages disruptifs ». Par disruptif, nous comprenons ce qui provoque un changement radical par rapport au passé. Par exemple l'apparition de la photographie numérique fut disruptive par rapport à la photographie argentique.

### L'importance toute relative de la technologie

Nous vivons dans une période où la foi en la technologie est immense. La technologie nous sauvera de tout. La technologie nous rendra immortel. La technologie est notre nouveau dieu. Laissant à chacun le soin de méditer la véracité de ces affirmations, il serait vain toutefois de nier qu'à notre époque, la technologie a une importance immense. Mais quelles sont ces technologies et de quoi parle-t-on vraiment ? Afin de comprendre les tendances et les innovations technologiques, le programme suit

les r-évolutions présentes dans les domaines suivants : l'intelligence artificielle, la connectivité, la robotique, l'informatique et le digital, l'énergie, l'amélioration de la performance humaine, les nouveaux matériaux, la fabrication additive (impression 3D), les senseurs, l'espace, les nouvelles armes.

Dans cette liste il y a deux caractéristiques primordiales qui ressortent : la première est que pratiquement tous les pays sont actifs dans la plupart de ces domaines ; la seconde est qu'à part une ou l'autre exception, principalement pour les nouvelles armes, les technologies sont développées prioritairement dans le domaine civil. Certes les cas d'usages dans le domaine militaire font frémir, mais la technologie progresse d'abord dans l'industrie civile avant de rejoindre le monde de la défense. On pourrait même aller encore plus loin en remarquant que certaines technologies sont également disponibles gratuitement, facilitant et accélérant tout processus d'apprentissage.

Le monde entier se concentrant sur les mêmes technologies, peut-on encore les nommer « disruptives » et sous quelles formes les intégrer à des travaux prospectifs ?

Ce qui est ambitionné concrètement derrière le développement et l'utilisation de ces technologies, c'est l'obtention d'un avantage. Celui-ci peut être de différentes natures telles



Figure 2 : Exemple de crise fictionnelle formulée pour une mise en situation prospective.

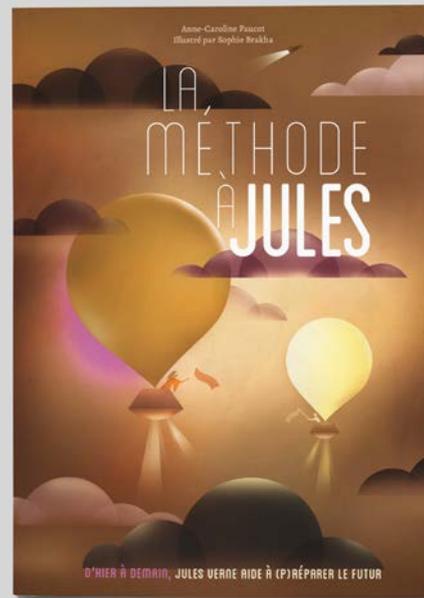


Figure 3 : Écrit par Anne-Caroline Paucot dans le cadre du programme de prospective technologique, « La méthode à Jules » est un condensé de 18 œuvres de Jules Verne intégrant des exercices prospectifs inspirés des récits. <https://methodeajules.com>

qu'économique, organisationnelle, opérationnelle. En opération, idéalement, ce qui est recherché est un effet de surprise. Dans la création d'une surprise la technologie est seulement un ingrédient. Elle n'est donc plus le saint Graal, mais l'outil à disposition en vue d'un effet. Et pour un effet désiré, il existe généralement plusieurs possibilités de le réaliser.

C'est donc le couple « effet + combinaison pour générer l'effet » qui devient le vrai enjeu prospectif. La conséquence est que vous devrez faire face à une infinité de défis potentiels cherchant des réponses parmi une autre infinité de solutions possibles. Cela fait un nombre gigantesque de combinaisons à considérer. La bonne nouvelle, c'est que si vous le percevez comme tel, vous avez bien compris l'argumentation. Il n'y a pas de mauvaise nouvelle, mais juste un beau défi.

**Comment affronter l'infini ?**

Aux grands défis les grands remèdes. Si nous devons affronter l'infini, essayons de lui opposer un adversaire de la même taille, mais avec une structure et une logique permettant de nous y retrouver.

Comment faisons-nous cela? Tout d'abord nous avons créé notre environnement de travail de manière systémique en considérant l'être humain au centre du dispositif. D'être humain il devient citoyen, de citoyen il devient soldat de milice, milicien il remplit une fonction au sein de l'armée, laquelle armée remplit une mission au sein de la confédération, laquelle confédération s'inscrit elle-même dans un contexte politique, légal, environnemental, économique, sociétal et bien entendu technologique.

Ce qu'il nous manque encore est le lien avec l'armée :Si l'armée suisse doit entrer en action, c'est qu'il y aura forcément une crise. Nous allons également imaginer ces situations prospectives de diverses natures. Celles-ci pourront naturellement se combiner, car c'est bien connu, les emmerdements volent toujours en escadrille.

Partant à l'aventure, nous avons réalisé une série d'ateliers dans le but d'imaginer ces différentes situations de crise [Figure 2]. Dans le même temps nous nous sommes concentrés sur les compétences futures nécessaires pour y répondre, intégrant directement ou indirectement les avances technologiques. Nous nous sommes inspirés de la méthodologie de recherche prospective appliquée par Jules Verne que nous avons transposée à notre époque. Au sens figuré, cela signifie que le Nautilus d'hier prend aujourd'hui les contours d'un drone ou d'un robot [Figure 3].

Nous avons impliqué dans nos différentes activités d'ateliers et de rédaction des personnes aux profils aussi variés que possible. En effet, celles-ci apportent des modes de pensée différents, ce qui nous a permis d'imaginer et d'analyser des éléments en nous plaçant dans la peau de l'attaquant (red team) aussi bien que dans celui du défenseur (blue team).

Les différentes tendances technologiques sont omniprésentes dans toutes les réflexions [Figure 4]. Cependant, au lieu d'être considérées pour elles-mêmes, de manière aseptisée, elles le sont désormais dans un contexte précis, dans le but de provoquer effet bien désiré.

Le regroupement de tous les différents concepts que nous considérons dans notre travail pourrait se résumer par la phrase



Figure 4 : Jeu « Militarot » de 52 cartes contenant 32 futurs pouvoirs imaginés à partir de tendances technologiques actuelles. 20 cartes représentent les fonctions de délégués civils et militaires permettant de jouer des situations par rapport à des rôles donnés.

suivante : Le soldat suisse de milice 2052, dans un contexte donné, utilise ses aptitudes grâce auxquelles il produit un effet dans l'une ou l'autre des sphères opérationnelles, en utilisant des moyens futurs se présentant sous formes matérielle et immatérielle, rendus possibles par l'intégration de développements technologiques.

Nous créons de fait un terrain de jeu propice à l'étape suivante, celle de l'innovation, qui trouvera dans ces narratifs futuristes, les graines fictionnelles inspirantes et suggestives d'éléments en devenir.



#### DR. QUENTIN LADETTO

Responsable du programme de prospective technologique au sein d'armasuisse Sciences et Technologies, Quentin a eu le privilège de créer cette entité et de la piloter depuis 2013. Il participe à l'anticipation des opportunités et des menaces apportées par les technologies qui devraient transformer en profondeur l'environnement militaire international et Suisse.

Découvrez des outils pour anticiper le futur sous [deftech.ch](http://deftech.ch) et [atelierdesfuturs.org](http://atelierdesfuturs.org)

#### Le futur c'est maintenant : Bienvenue en 2052

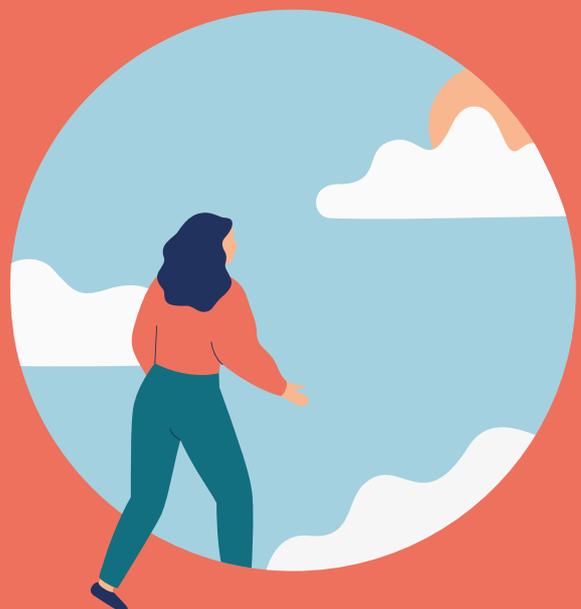
Vous l'avez compris, le programme de prospective vous invite à un voyage plutôt qu'à une destination. Rejoignez-nous – nous vous garantissons de l'émerveillement. Anticiper quelque-chose est cependant utile uniquement si l'on arrive à lui donner un sens par rapport au présent et si cela résulte en une action concrète. C'est ce que nous appelons la prospective-action.

*En ce sens, nous pouvons dire que la construction de 2052 a déjà commencé.*

Ce qui en ressortira à la fin ? Comme nous l'avons déjà dit, nous n'avons bien sûr pas d'image précise, mais des projections. Nous les nommons narratifs, et il y en a une infinité. Ces narratifs ont pour objectifs de soulever les bonnes questions, lesquelles induiront des actions, qui engendreront à leur tour de nouveaux narratifs, liés à de nouvelles questions.

Nous nous trouvons dans un cercle vertueux, dans une boucle sans fin, mais où l'incertitude rime avec opportunités et action. L'unique moment où l'action peut avoir lieu, même lorsque l'on parle d'un futur plus ou moins lointain, est dans le présent. Ce lien avec le présent ne doit jamais être ignoré car alors nous serions dans l'univers pure de la science-fiction, du récit littéraire et non plus du narratif servant à une mise en situation afin de stimuler une meilleure réflexion.

La prospective technologique telle que nous la concevons, se veut donc autant état d'esprit qu'activité. Elle est un effort continu au service de nos différentes parties prenantes au sein de département de la défense ; elle intègre les changements ; elle colle au présent avec méthodologie et imagination et ce jusqu'à ce que vous entendiez une douce voix vous murmurer : « bienvenue en 2052 ».



# Neue Wege, um die Herausforderungen von heute und morgen zu lösen

Innovation ist seit mehreren Jahren in aller Munde, so auch in den Verteidigungsdepartementen dieser Welt. Die vielen Gesichter von Innovation besitzen im Kontext der Rüstungstechnologien jedoch ein verbindendes Element. Im Gegensatz zu früher, führen nun zivile Technologien und Anwendungen zu Entwicklungssprüngen. Diese werden vielfach erst anschliessend einem zweiten, militärischen Verwendungszweck zugeführt. Damit verbunden sind verkürzte, evolutionäre, am zivilen Markt ausgerichtete Entwicklungszyklen sowie neue mögliche Anbieter von Lösungen, die bis anhin nicht zur klassischen Rüstungsindustrie gehörten. Um den damit verbundenen Herausforderungen zu begegnen, braucht es neue, alternative Wege und Ansätze zur Lösungsfindung.

**Text:** Dr. Urs Böniger

*Das folgende Beispiel ist fiktiv und rein illustrativ und entspricht nicht aktuellen Vorhaben der Schweizer Armee*



Die Vereinten Nationen (UN) prognostizieren, dass im Jahr 2050 fast 70% der Weltbevölkerung in Städten leben wird. Ein Treiber dieser Entwicklung ist gemäss Analysen der UN, dass mit steigender Urbanisierung die Armut abnimmt. Dies, weil das Leben in und um Städte die Jobchancen erhöht, die gut ausgebaute Infrastruktur einen höheren Lebensstandard ermöglicht und auch die Produktivität steigt. Dieser Trend trägt dazu bei, dass Städte, je länger je mehr, eine zentrale Rolle für das Funktionieren einer Nation einnehmen. Obschon Konflikte bereits früher im städtischen Umfeld ausgetragen wurden, verlagern sich diese nach Einschätzungen der North Atlantic Treaty Organization (NATO) sowie von Sicherheitspolitikerinnen und -politikern, künftig zunehmend in städtische Gebiete. Doch was bedeutet das für eine Armee der Zukunft und was hat das mit Innovation zu tun?

## Der Weg zur Innovation

Es sind genau diese Fragen, mit denen sich Petra Schneider bereits seit längerem auseinandersetzt. Seit nun mehr als zehn Jahren betreut sie den Bereich Weiterentwicklung von Aufklärungs- und Überwachungssystemen für die Schweizer Armee. Aktuell steht sie jedoch vor einer grossen Herausforderung. Weil sich die Bedrohungsszenarien zunehmend vom offenen ins überbaute Gelände verlagern, müssen neue militärische Fähigkeiten aufgebaut werden. Klassische militärische Systeme, welche primär auf den Kampf im offenen Gelände ausgelegt wurden, können ihren Nutzen in den Häuserschluchten der Städte kaum entfalten. Wie kann man nun den Anforderungen der Zukunft gerecht werden?

**Um diese Frage zu beantworten, hat sich Petra Schneider mittlerweile mit vielzähligen kommerziellen Lösungen der Rüstungsindustrie beschäftigt – von Bewegungssensoren über vernetzte optische Sensoren und vielem mehr – und kennt deren Vor- und Nachteile. Dennoch lassen sich diese aus Petras Sicht nicht mit den militärischen Anforderungen un dem verfügbaren Budget in Einklang bringen. Insbesondere aufgrund der Entwicklungen beim maschinellen Lernen sowie der zunehmenden Vernetzung von Geräten, die sich tagtäglich im zivilen Umfeld beobachtet, überzeugen sie die bisherigen Lösungsmöglichkeiten nicht. Durch genau diese Zweifel und die Frage nach Alternativen, wurde sie auf die sogenannten Innovationsräume VBS aufmerksam.**

*Die Innovationsräume VBS sind Vorgehen, um neuartige Konzepte und Ideen zu ermöglichen und eventuell auch unkonventionelle Lösungen bei Beschaffungsprojekten in das Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport VBS einfließen zu lassen.*

Sie nimmt Kontakt auf mit einem Mitarbeiter von armasuisse Wissenschaft und Technologie. Gemeinsam besprechen Sie die Möglichkeiten eines Innovationsraumes. Auch bei einem Innovationsraum ist die Definition des konkreten militärischen Bedarfs ein Grundbedingung für die Initialisierung. Weiter gehe es bei den Innovationsräumen VBS darum, die Innovationsfähigkeit der nationalen oder internationalen Industrie und Akademie für das VBS nutzbar zu machen. Konkret bestehen die Innovationsräume VBS aus einzelnen, in sich abgeschlossenen Instrumenten. Sie erlauben es, zu unterschiedlichen Phasen eines Lösungsprozesses Antworten zu finden, um diese anschliessend in die Planung oder

den Beschaffungsprozess einfließen zu lassen. Welcher Lösungsansatz dabei der vorteilhafteste ist, ist zu Beginn dieses Prozesses jedoch oft unbekannt oder zumindest nicht offensichtlich.

Überzeugt von diesen Innovationsräumen, hat Petra Schneider Kontakt mit der für die Innovationsräume VBS verantwortlichen Stelle aufgenommen. Es war der Austausch mit Kolleginnen und Kollegen der Armeepanung und Doktrin sowie den militärischen Anwendern des Kommandos Operationen, welcher dazu beigetragen hat, den Innovationsbedarf nochmals zu schärfen und auf die Möglichkeiten der Innovationsräume VBS auszurichten. Somit war Petra Schneider in der Lage schon nach kurzer Zeit ihren Antrag zum Thema «Sensoren und militärischer Fähigkeitsaufbau für städtische Gebiete» einzureichen.

#### **Der Weg zum Innovationsraum**

Bereits nach einer Woche erhielt sie eine positive Rückmeldung: ihr Antrag zur Initiierung eines Innovationsraum VBS wurde vom zuständigen Gremium Innovationsboard V bewilligt. Das bedeutet, dass die Bewertung der technologischen Herausforderungen sowie das Potential der Durchführung eines Innovationsraumes erkannt wurde. Wenige Wochen später fand sie sich in einem Workshop wieder, gemeinsam mit der Armee als Nutzerin, den Technologieexperten von W+T sowie der Beschaffungsstelle. Nun ging es darum, den Bedarf nochmals gesamtheitlich zu analysieren, die Rahmenbedingungen zu definieren und den geeigneten Innovationsraum zu wählen. Bei den Innovationsräumen, wie sie lernen durfte, handelt es sich nicht um physische Räume oder Projekte, sondern um spezifische Instrumente. Diese dienen dazu, Lösungen zu finden, zu entwickeln und zu erproben. Jeder Raum verfolgt dabei ein unterschiedliches Ziel und trägt dazu bei, Antworten auf Fragen der Lösungsfindung zu liefern.

Basierend auf den Erkenntnissen dieses Workshops kam die Gruppe zum Schluss, dass ein Wettbewerb wohl der geeignete Innovationsraum darstellt. Dies, da eine geeignete Lösung für Frau Schneiders konkreten Bedarf unbekannt ist beziehungsweise so noch nicht existiert. Zudem können Wettbewerbe mehrstufig umgesetzt werden und stellen deshalb eine attraktive Möglichkeit der Lösungsfindung dar. Gleichzeitig wurde auch das Potential erkannt, dass sowohl das zivile wie auch das erweiterte Sicherheitsumfeld mit vergleichbaren Fragestellungen konfrontiert ist und auch die Industrie wie auch die Hochschulen wichtige Beiträge für eine Lösung liefern könnten.

#### **Ziel der Innovationsräume**

*Mit den Innovationsräumen VBS suchen, entwickeln und evaluieren wir von armasuisse Wissenschaft und Technologie neuartige Lösungen in Zusammenarbeit mit der Armee und Dritten (Hochschulen und Privatwirtschaft) und verwerten diese, um so den Herausforderungen des VBS zu begegnen.*



### Den Innovationsraum beleben

Im weiteren Verlauf galt es nun ein unabhängiges Expertengremium zu bilden, welches für die Bewertung der Lösungen verantwortlich ist, die Ausschreibungsunterlagen zu erstellen und die Kommunikation vorzubereiten. Insbesondere die Ausarbeitung der funktionalen Leistungsbeschreibung, mit der Philosophie, so einschränkend wie nötig jedoch so offen wie möglich, war ein sehr spannender und iterativer Prozess. Dieser liess das ganze Team nochmals vertieft in die Fragestellung eintauchen und lieferte besonders für Petra Schneider neue Erkenntnisse, obschon sie sich bereits seit Jahren mit dem Thema befasst hatte. Nun war es so weit, die erforderlichen Unterlagen waren erstellt und der Wettbewerb wurde öffentlich publiziert. Es war die Ungewissheit, wie der Markt auf den Wettbewerb reagiert und ob Lösungen eingereicht würden, welche Frau Schneider zum täglichen Einloggen in die Ausschreibungsplattform bewegte, um zu prüfen, ob bereits Lösungen eingegangen sind. Was sie jedoch nach nur zehn Tagen erlebte, hatte sie nicht erwartet. Sage und schreibe 16 Lösungsvorschläge, auch aus unerwarteten Wirtschaftszweigen, waren eingegangen, und dies mit erfreulicherweise sehr unterschiedliche Lösungsansätzen.

### Den Innovationsraum realisieren

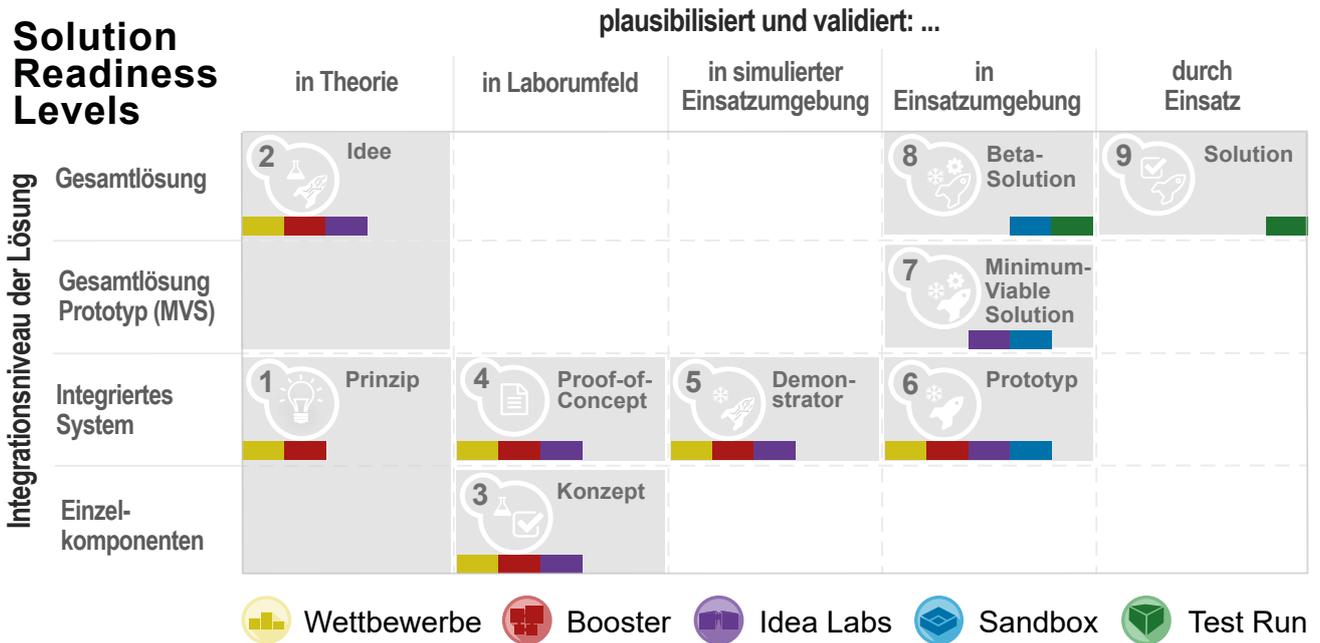
Als die Eingabefrist erreicht war, begann nun die Bewertungsphase. Die eingegebenen Lösungen wurden durch das Expertengremium anhand von vorgängig definierten und bekannten Bewertungskriterien beurteilt. Es war für Frau Schneider ausgesprochen interessant zu sehen, wie man sich bei gewissen Punkten auf Anhieb einig war. Bei anderen wiederum tauschten die Fachexperten ihre verschiedenen Standpunkte und Einschätzungen aus und überführten diese in eine konsolidierte Bewertung. Da der Innovationsraum Wettbewerb ein mehrstufiger Prozess ist, kommen nur jene teilnehmenden Anbieter in die nächste Runde, die den Kriterien und der Beurteilung des unabhängigen Expertengremiums entsprechen. So wurden beim Wettbewerbsvorhaben von Frau Schneider nur fünf Anbieter (Shortlisting) aus der Marktsprache für die zweite Phase, dem Lösungsde-

sign, berücksichtigt. In den kommenden Monaten konnten diese fünf Anbieter ihre Lösungen weiterentwickeln. Gemeinsam mit Technologieexpertinnen und -experten von armasuisse Wissenschaft und Technologie, hat das Gremium die dritte und vierte Phase, die sogenannte Prototypenentwicklung, sowie die Validierung in der Einsatzumgebung begleitet und iterativ getestet. Schliesslich konnte Frau Schneider nach nur einem Jahr der Armeeführung die Ergebnisse der vierten Phase präsentieren. Was sie dabei auf ihrem Bildschirm zeigen konnte, war ein Lageplan mit Objektsymbolen, welche sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten bewegten. Das faszinierende war jedoch, dass sie einerseits Objekte wie etwa Fahrzeuge oder Personen auch innerhalb von Gebäuden verfolgen, andererseits gleichzeitig auch eine Beschreibung dieser Objekte einblenden konnte. Dies alles unter Verwendung bereits verfügbarer Sensoren. Die Präsentation dieser Ergebnisse überzeugte alle Anwesenden.

So kam es, dass sich am Ende der vierten Phase eine Lösung klar durchgesetzt hat. Die Lösung basiert auf schon existierenden, jedoch sehr unterschiedlichen Sensoren. Diese erkennen charakteristische Muster von Objekten und können so deren Ort und Bewegung feststellen. Gleichzeitig war es möglich, auch Aussagen mit einer hohen Wahrscheinlichkeit zu treffen, um welche Art von Objekt es sich handelt. Da sich Frau Schneider bereits mit maschinellem Lernen auseinandergesetzt hatte, freute es sie zu sehen, dass der Fortschritt in diesem Feld bereits so gross ist, dass man die Erkenntnisse des zivilen in das militärische Umfeld überführen kann. Was sie jedoch erstaunte, war der Wirtschaftszweig des Gewinners. Denn es handelt sich um eine Firma, welche ursprünglich aus der industriellen Zustandsüberwachung von Maschinen kommt. Diese konnte aber über die unterschiedlichen Phasen beweisen, dass sie über die Expertise sowie die Ressourcen verfügt, um den integrierten Prototypen in ein Produkt zu überführen.

 <p>SRL 1 - 6</p> 	 <p>SRL 1 - 6</p> 	 <p>SRL 2 - 7</p> 	 <p>SRL 6 - 8</p> 	 <p>SRL 8 - 9</p> 
<p><b>Wettbewerb</b></p> <p>Mehrstufiges und kompetitives Untersuchen, Entwickeln und Testen von NICHT marktgängigen Lösungen über mehrere Stufen der Solution Readiness.</p>	<p><b>Booster</b></p> <p>Wettbewerbsverfahren mit Fokus auf strategischem Kompetenzaufbau der STIB und den ausgewiesenen Schwerpunkttechnologien.</p>	<p><b>Idea Labs</b></p> <p>Gemeinsames, offenes entwickeln von Lösungen mittels z.B. Hackathons oder Ideation Labs im offenen (inkl. Dritter) oder geschlossenen Umfeld.</p>	<p><b>Sandbox</b></p> <p>Identifizieren und validieren möglicher Lösungen, kurz vor Marktreife (Prototyp, Minimum Viable Solution oder Beta Solution), in der Einsatzumgebung des VBS.</p>	<p><b>Test Run</b></p> <p>Beschaffung innovativer, potentiell disruptiver Lösungen als Einzelstück oder Kleinserie zur Erprobung im Einsatz bei der Schweizer Armee</p>

Überblick der Innovationsräume.



Solution Readiness Levels-Stufen und Aspekte zur Bewertung des Reifegrades von Lösungen. Mit den Innovationsräumen VBS werden flexible, auf die unterschiedlichen Stufen angepasste Instrumente zur Lösungsfindung aufgebaut.

### Den Innovationsraum verwerten

Die Expertengruppe war sich somit einig, dass die Gewinnerlösung für eine Beschaffung empfohlen werden konnte. Aufgrund der ausgesprochen erfolgreichen Demonstration des integrierten, das heisst, mit allen relevanten Elementen kombinierten Prototyps in einer realen Einsatzumgebung, war auch das Innovationsboard V von der Lösung überzeugt und stimmte einer kommerziellen Beschaffung zu.

Aus Sicht von Frau Schneider war dies ein voller Erfolg. Da bestehende Sensoren verwendet werden konnten, wurden die Kosten der Beschaffung tief gehalten. Und dank der Lösungsfindung im Rahmen eines Innovationsraumes, hat sie ein Potenzial entdeckt, welches sie sich nie erträumt hätte. Somit konnte durch eine neuartige Idee eine Herausforderung des VBS adressiert und eine Lösung aufgezeigt werden.

*So stehen dem VBS alternative Wege zur Verfügung, welche es erlauben, den heutigen und zukünftigen Herausforderungen gemeinsam zu begegnen.*

### Von der Fiktion zur Realität

Auch wenn das Beispiel rein fiktiv ist, so steht es beispielhaft für einen neuen Weg. Diese neuen Wege heissen Innovationsräume VBS und werden von armasuisse Wissenschaft und Technologie entwickelt, um anschliessend dem gesamten VBS zur Verfügung zu stehen. Aktuell bilden die Instrumente Wettbewerb, Booster, Idea Labs, Sandbox und Test Run die Innovationsräume VBS. Es ist jedoch wichtig, die Instrumente stets dem Bedarf entsprechend anzupassen und neue Lösungswege, sofern erforderlich, zu entwickeln.



**DR. URS BÖNIGER**  
Leiter Fachbereich Innovation und Prozesse

Dr. Urs Böniger arbeitet seit 2014 bei armasuisse Wissenschaft und Technologie. Seit 2020 leitet er den Fachbereich Innovation und Prozesse. Dieser umfasst die Bereiche Unternehmensentwicklung, Kommunikation, Finanzen, Controlling, Kommerz, Labor IT sowie Innovation für armasuisse Wissenschaft und Technologie. Gleichzeitig verantwortet er die Entwicklung und Umsetzung der sogenannten Innovationsräume VBS.

# Heute spielen, morgen gewinnen

Um Technologien, die es in der realen Welt nicht gibt, zu testen, werden unter anderem Künstliche Intelligenz wie auch das sogenannte Wargaming verwendet. Das Wargaming kann etwa der Schweizer Armee dabei helfen, neue Taktiken und vom Einsatzverfahren zu entwickeln. Um das Potenzial der Künstlichen Intelligenz und Wargaming besser abschätzen zu können, hat armasuisse W+T erste Versuche mit einem Computerspiel durchgeführt. armasuisse W+T will nun die gewonnenen Erkenntnisse im Bereich der Luftverteidigung genauer analysieren.

**Text:** Dr. Matthias Sommer, Dr. Michael Rüeeggger

## Mit Künstlicher Intelligenz besser entscheiden

Wargaming ist für die Schweizer Armee ein unverzichtbares und vielfältig einsetzbares Instrument, das viele Vorteile vereint. Mit Wargaming kann eine Konfliktsituation simuliert und erkundet werden. So profitiert etwa die Armeepanung von dieser Methode, um neue Konzepte zu entwickeln und diese in einem taktischen Umfeld rasch und ohne grossen Aufwand zu testen. Führungskräfte schätzen dabei die Möglichkeit, Entscheidungen zu überprüfen und die Konsequenzen verschiedener Handlungsoptionen gegeneinander abzuwägen, bevor entsprechende Befehle gegeben werden. So kann beispielsweise Wargaming bei der Bekämpfung einer Pandemie helfen herauszufinden, zu welchem Zeitpunkt, an welchem Ort, welche Massnahmen ergriffen werden sollten, um die Blaulichtorganisationen in der Schweiz optimal zu unterstützen.

Wie jede Methode hat jedoch auch Wargaming gewisse Einschränkungen. So sind Wargames getrieben durch die Entscheidungen der Mitspielenden. Dabei ist jedes Spiel einzigartig und nicht reproduzierbar. Zudem ist die Anzahl Spiele, die durch menschliche Spielerinnen und Spieler – im Gegensatz zu virtuell Spielenden – gespielt werden, stark limitiert. Dadurch sind statistische Aussagen über einen bestimmten Spielausgang nicht möglich. Nicht zuletzt ist der Ausgang eines Wargames, wie zum Beispiel bei einem Schachspiel, auch stark vom Können der Spielenden abhängig.

## Forschungsprojekt Wargaming

Gegenwärtig findet Wargaming in der Schweizer Armee vor allem als Mensch-Mensch-Interaktion statt. Um diesen Prozess zu verbessern und zu beschleunigen, wird im Projekt «Wargaming» daran geforscht, wie menschliche Spieler und Spielerinnen durch Computer ersetzt werden können. Die Herausforderung liegt darin, dass Computer die komplexen Spielregeln (besser?) erfassen können. Mit modernen Algorithmen gelingt es damit den virtuellen Spielern, erfolgreiche Taktiken zu entwickeln. Daran können sich dann die menschlichen Spieler und Spielerinnen messen, Konzepte erproben sowie sich aus- und weiterbilden.

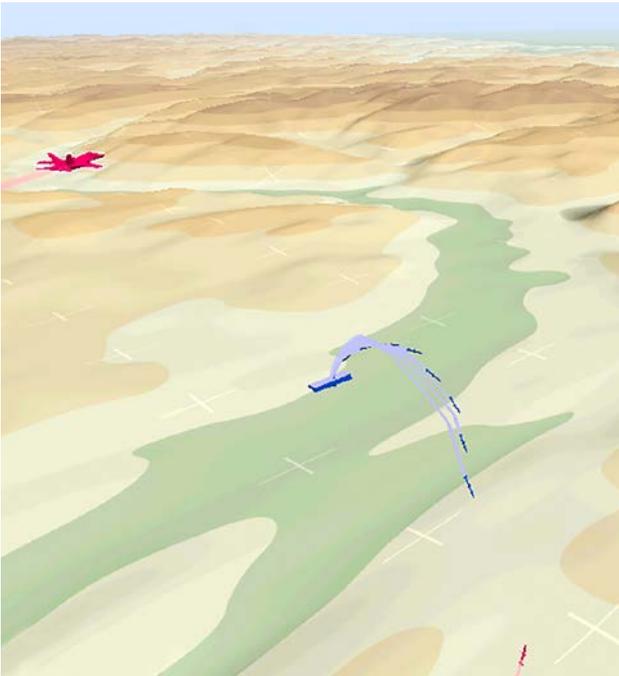


Abbildung 1: Beispiel eines Boden-Luft-Verteidigungsszenarios.

Künstliche Intelligenz (KI; auf Englisch Artificial Intelligence, AI) hat nun das Potenzial, diese Beschränkungen zu überwinden und ermöglicht es, Wargames statistisch zu analysieren. Mittels Künstlicher Intelligenz lassen sich digitalisierte Wargames beispielsweise vollautomatisch spielen und analysieren. Dabei treten sogenannte intelligente Agenten gegeneinander an und lernen während unzähligen Partien, welches taktische Vorgehen in Verbindung mit welchen militärischen Fähigkeiten und technischen Systemen den grössten Erfolg verspricht.

Künstliche Intelligenz könnte so Personen mit Entscheidungs- und Planungsfunktion zukünftig dabei helfen, neue Taktiken und Einsatzverfahren zu entwickeln. Zum Beispiel um herauszufinden, welche Kombinationen von militärischen Fähigkeiten gewinnbringend und welche Anforderungen für neu zu beschaffende militärische Systeme kritisch sind.

#### Erste Anwendung im Bereich der Luftverteidigung

Um das Potenzial von Künstlicher Intelligenz zur Unterstützung beim Wargaming besser abschätzen zu können, haben Mitarbeitende von armasuisse Wissenschaft und Technologie (W+T) im Rahmen eines Forschungsprojektes erste Versuche durchgeführt. Dazu wurde das Brettspiel New Techno War digitalisiert und erste Algorithmen getestet. Die Resultate waren vielversprechend und bestätigten erste Einschätzungen über die optimale Spieltaktik. Allerdings ist dieses Spiel sehr abstrakt und damit nicht unmittelbar auf realistische Szenarien anwendbar.

In einem nächsten Schritt sollen deshalb nun die gewonnenen Erkenntnisse im Bereich der Luftverteidigung genauer analysiert werden. Aufgrund aktueller Beschaffungsprojekte wurde der Fokus auf die Luftverteidigung gelegt. Dabei stehen drei Ziele im Vordergrund: Als Erstes kann im Rahmen der Umsetzung des sogenannten «Concept Development and Experimentation» der Lösungsraum abgetastet werden, um vielversprechende neue Taktiken und Strategien zu entdecken. Dies ist gerade bei der Entwicklung von Einsatzrichtlinien für die zu beschaffenden Bod-luv-Systeme interessant. Zweitens können konkrete Einsatzszenarien im Sinne einer Course-of-Action-Analyse, auf Deutsch taktische Handlungsmöglichkeit, im Detail untersucht und optimiert werden, ein Kernelement des Gebietes Operations Research. Und drittens sollen diese Methoden auch im Training zum Einsatz kommen: Indem Auszubildende gegen Künstliche Intelligenz antreten (Red Teaming), können sie vielfältige Szenarien trainieren und damit die Effektivität der Ausbildung verbessern.

Um diese Ziele zu erreichen, braucht es ein computerbasiertes, d. h. virtuelles Modell der Gefechtsituation, die simuliert werden soll. Weiter ist ebenfalls ein Algorithmus nötig, der selbständig lernt, in diesem Modell erfolgreiche Entscheidungen zu treffen.

Die Gaming-Industrie hat zahlreiche Modelle hervorgebracht, die sowohl sehr realitätsnah sind, als auch die vorhandenen Rechenkapazitäten effizient ausnutzen. Das macht Computerspiele zu interessanten Kandidaten für die Simulation von Gefechts-szenarien. Das Computerspiel «Command: Modern Operations» eignet sich für die Simulation von Luft- und Seekampfszenarien auf der taktischen Stufe. Es liegt in einer professionellen Version mit realistischen Parametern vor, die auch von NATO-Staaten zur Analyse und Missionsplanung von Luftverteidigungsszenarien eingesetzt wird.

#### Concept Development and Experimentation (CD & E)

CD & E – so lautet der Name eines Prozesses, den Streitkräfte befolgen, um neue, innovative Ideen und Technologien ins Feld zu bringen. Dabei handelt es sich um eine wissenschaftliche Methode zur Entwicklung von neuen Konzepten sowie deren experimentelle Überprüfung. Sie schliesst neben der fortwährenden Anpassung der Fähigkeiten an sich verändernde Sicherheitsbedrohungen und neue militärische Erfordernisse auch explizit die konsequente Nutzung von Innovationen mit ein.

Das Szenario, das in diesem Forschungsprojekt verwendet wird, beinhaltet ein gegnerisches Flugzeug mit der Mission, in einen Zielraum über der Schweiz einzufliegen. Eine eigene Flugabwehrstellung versucht, dies zu verhindern. Die optimale Taktik des einfliegenden Flugzeugs ist also, entweder den Erfassungsbereich des Radars zu umfliegen oder die Flugabwehrstellung anzugreifen.

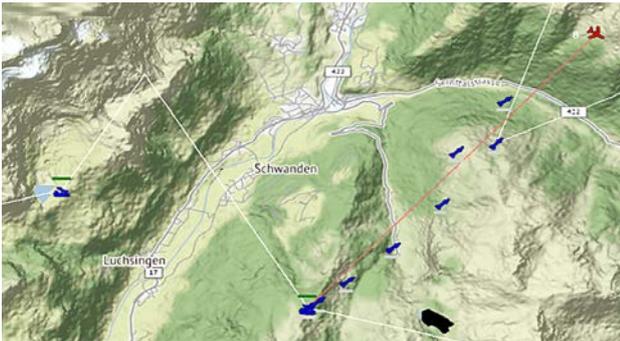


Abbildung 2: Screenshot der Simulations-Software «Command: Modern Operations».

An die Stelle eines klassischen Computerprogramms, das vordefinierte Schritte abarbeitet, tritt ein Algorithmus. Die Anforderung an den Algorithmus, der dieses Spiel selbstständig spielen soll, ist im Wesentlichen der folgende: Er soll durch «Trial-and-Error», also Versuch und Irrtum, selbstständig lernen, möglichst oft zu gewinnen. Diesen Prozess kann man sich durchaus wie menschliches Lernen vorstellen. Der Algorithmus baut Erfahrung auf, indem er verschiedene Strategien ausprobiert und für

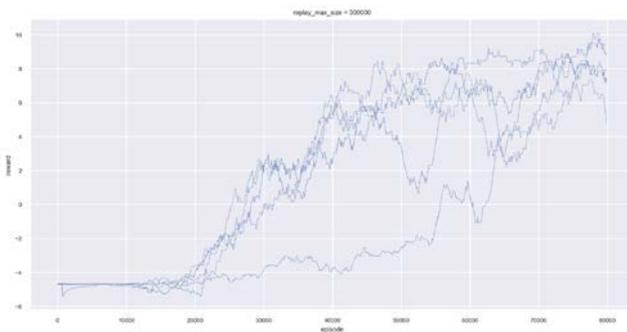


Abbildung 3: Zeitlicher Lernfortschritt eines Reinforcement-Learning-Algorithmus.

jede Gegebenheit die erfolgversprechendste auswählt. Unter dem Begriff «Reinforcement Learning» werden genau solche Algorithmen zusammengefasst. Damit wurden bemerkenswerte Erfolge erzielt: Eine Software mit solchen Algorithmen schlägt die meisten, wenn nicht sogar alle, menschlichen Spielenden bei Computerspielen wie etwa Starcraft und auch bei traditionellen Brettspielen wie beispielsweise Go.

Eine Herausforderung bei der Anwendung von Reinforcement Learning auf das Computerspiel «Command: Modern Operations» liegt hier insbesondere an den vielen möglichen spielbaren Aktionen, die sich zu einer unüberschaubaren Anzahl Strategien kombinieren lassen. Dies ist eine Herausforderung für die verfügbare Recheninfrastruktur. Um mit der vorhandenen Hardware in nützlicher Zeit Resultate zu erzielen, ist im ersten Jahr des Forschungsprojektes «Artificial Intelligence for Integrated Air Defense» (AI4IAD) der Algorithmus «Monte Carlo Tree Search» erprobt worden. Mit diesem Algorithmus lässt sich der Lösungsraum auf die sinnvollen Strategien einschränken und damit Rechenzeit sparen. Damit gelang der bemerkenswerte Erfolg im Spiel gegen den weltweit führenden Go-Spieler Lee Sedol, obschon das Spiel Go lange Zeit aufgrund seiner Komplexität als unbeherrschbar für Künstliche Intelligenz galt.

Allerdings muss der Algorithmus dafür sehr viele Spieldurchläufe absolvieren. Da dieser Algorithmus sehr komplex ist, hat sich jedoch die Anbindung an die Simulationsumgebung als inkonsistent herausgestellt. Für simple Szenarien zeigte sich zwar ein befriedigendes Lernverhalten, das sich aber nicht auf anspruchsvollere Szenarien verallgemeinern liess. Für solche erweiterten Szenarien wird deshalb aktuell eine weitere Klasse von Algorithmen getestet, die sogenannten Deep-Q-Netzwerke. Diese sind einfacher zu handhaben, lernen aber weniger effizient und weniger stabil. Bildlich gesprochen kommen diese Algorithmen auf ausgefallene oder unrealistische Ideen. Unter Umständen können sich diese dazu eignen, Auszubildende auf unvorhergesehene Situationen vorzubereiten.

In Abbildung 4 ist zu sehen, wie Künstliche Intelligenz in der Entdeckungsphase auch suboptimale oder sogar aussichtslose Taktiken ausprobiert. In der sog. Konvergenzphase werden dann nur noch kleine Variationen vorgenommen, um zur optimalen Taktik zu gelangen.

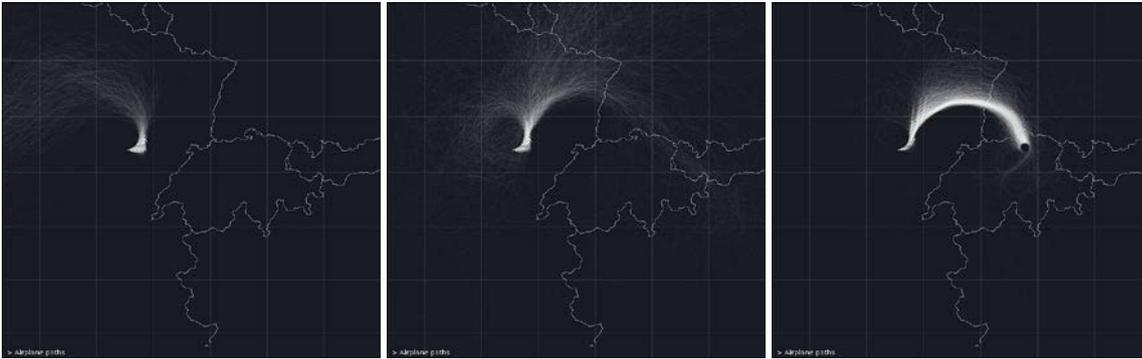


Abbildung 4: v.l.n.r.: Initial-, Entdeckungs- und Konvergenzphase.

Um diese komplexen Fähigkeiten auf einem Computer zu programmieren, hat armasuisse W+T Unterstützung aus dem akademischen Umfeld geholt. Das Istituto Dalle Molle di Studi sull'Intelligenza Artificiale (IDSIA) in Lugano genießt international einen hervorragenden Ruf im Bereich der AI-Forschung. Daneben kann armasuisse W+T auf eine langjährige und erfolgreiche Zusammenarbeit mit diesem Institut zurückblicken. Aus diesen Gründen wurde IDSIA von armasuisse W+T beauftragt, sie bei der Entwicklung eines passenden Algorithmus für die Optimierung der Luftverteidigung zu unterstützen.

#### Wie geht es weiter?

Die gewonnenen Erkenntnisse will armasuisse nun in der Luftverteidigung mit dem Projekt AI4IAD konkret anwenden und die Wirkung aus dem Labor aufs Feld bringen. Weitere Anwendungen dieses Algorithmus gibt es bereits im Bereich der hybriden Kriegsführung. Dort geht es darum, den Mehrwert von heutigen und zukünftigen Technologien in einem für die Schweizer Armee relevanten Kontext zu analysieren - beispielsweise Drohenschwärme, präzisionsgelenkte Munition oder Hyperschallwaffen.

Einen grossen Stellenwert für den operativen Einsatz wird es haben, ob die Entscheide, die die eingesetzten Algorithmen gefällt haben, auch von ihnen erklärbar sind. Denn um zu einer Entscheidung zu gelangen, sind zwei Dinge wichtig: Zu wissen, welche Taktik die grösste Erfolgchance verspricht – und wieso. Aus diesem Grund wird armasuisse W+T künftig Algorithmen erforschen, die es ermöglichen, Entscheidungen der Künstlichen Intelligenz besser nachzuvollziehen und für Führungskräfte und Entscheidungsträgerinnen und -träger erklärbar zu machen. Erst wenn Entscheidungen transparent, nachvollziehbar und erklärbar sind, werden Menschen ihnen auch vertrauen. Um Entscheidungen noch besser zu erklären, sollen diese Informationen zukünftig vermehrt visualisiert werden. Denn Algorithmen generieren eine Unmenge an Daten, welche für involvierte (oder beteiligte) Personen aufgearbeitet und entsprechend visualisiert werden müssen. Hier wird armasuisse W+T in weiteren Forschungsprojekten die optimale Lösung für die Interaktion zwischen Mensch und Maschine suchen.



**DR. MATTHIAS SOMMER**  
Wissenschaftlicher Projektleiter

Matthias Sommer ist wissenschaftlicher Projektleiter im Team für Operations Research bei armasuisse Wissenschaft und Technologie. Er betreut Themen in den Bereichen Modellierung, Simulation sowie Künstliche Intelligenz.



**DR. MICHAEL RÜGSEGGER**  
Leiter Operations Research

Michael Rügsegger ist seit 2019 stellvertretender Fachbereichsleiter Forschungsmanagement und Operations Research sowie Leiter Operations Research und System Analyse bei armasuisse Wissenschaft und Technologie.

Zusammen mit seinem Team unterstützt er Führungskräfte der Schweizer Armee beim Treffen von Entscheidungen. Dazu simuliert er mögliche Einsatzszenarien im Bereich der Verteidigung und Katastrophenhilfe, um die Wirksamkeit von neuen Technologien, Systemen sowie taktischen Vorgehensweisen zu untersuchen.

# Wie Schweizer Robotik erprobt und an die Armee übergeben wird

Der Schutz und die Sicherheit von Einsatzkräften können durch den Einsatz von Robotern erhöht werden. Die Roboter steigern auch die Effektivität und Effizienz von Missionen. Dies, weil sie gewisse Informationen wesentlich schneller erfassen, nicht ermüden und in für den Menschen unerreichbare oder lebensgefährliche Orte vordringen. Hierbei nimmt das Schweizer Drohnen- und Robotik-Zentrum eine wichtige Rolle ein, denn sie erprobt mit Robotern den Ernstfall. In diesem Artikel erfahren Sie, welche Einsatzszenarien erprobt werden, wie die Künstliche Intelligenz die Roboter verlässlicher und autonomer macht und wie die Roboter an die Schweizer Armee übergeben werden.

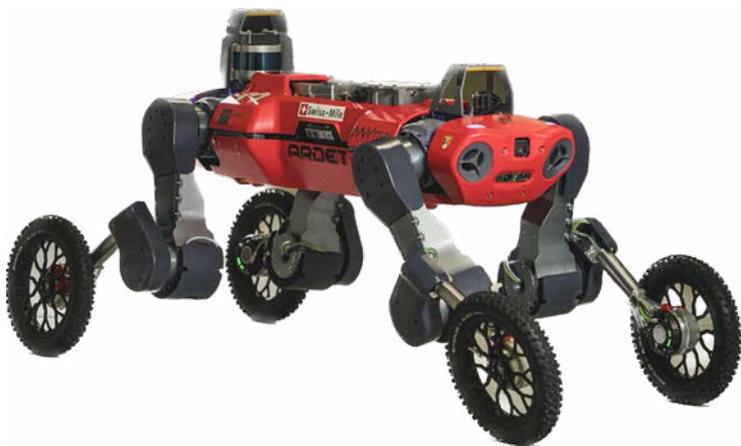
**Text:** Dr. Tonya Müller

Der Roboter R2-D2 aus der Star-Wars-Saga wird vielen ein Begriff sein. Dieser intelligente Roboter mit dem halbrunden Kopf navigiert, erkennt Gefahren und rettet als «Allzweckwerkzeug» seine Freunde Luke Skywalker und Prinzessin Leia aus bedrohlichen Situationen. Das Schweizer Drohnen- und Robotik-Zentrum (SDRZ) beschäftigt sich nicht mit Technologie für intergalaktische Aufgaben. Es befasst sich aber durchaus mit Technologien, die als intelligente Allzweckwerkzeuge dienen könnten, um die Truppen der Schweizer Armee und weitere staatliche Sicherheitsorgane in bedrohlichen Situationen technisch zu unterstützen.

## Wie ferngesteuerte Baumaschinen Aufgaben in Risikogebieten durchführen

Die Schweizer Armee verwendet für ihre Schiessübungen oft Fanggruben. Darin häufen sich verschossene Munition, Muni-

tionsteile und aber auch Blindgänger an. Nun müssen zahlreiche solche Fanggruben wie auch grossflächige Schiessplätze von Munitionsrückständen befreit werden. Genau für solche Aufgaben mit gefährlicher, kontaminierter Schwerlast ist der Schreitbagger namens ARMANO gedacht. Dieser ferngesteuerte Bagger kann nicht nur Fanggruben, sondern auch chemisches oder radioaktives Material räumen. Anstelle der risikobehafteten und zeitintensiven Räumung durch Menschenhand, könnten Einsatzkräfte dank ARMANO das tonnenschwere Material aus sicherer Distanz lokalisieren und bergen. Neuerdings kann der Bagger auch an einer Saugmaschine angeschlossen werden. Dadurch kann kontaminiertes Material deutlich schneller weggeführt werden. Um die Fähigkeiten und die Zuverlässigkeit vom ARMANO für den echten Einsatz in der Armee zu überprüfen, haben die Maschinenführer vom Lehrverband Genie/Rettung/ABC (LVBGRABC) mehrere Tests mit dem Kompetenzzentrum für Kampfmittelbeseitigung und Minenräumung (KAMIR), mit Schutz und Rettung Zürich (SRZ) und mit den Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) durchgeführt. Die Maschinenführer konnten – aus einer Distanz von bis zu mehreren hundert Kilometern – den ARMANO in explosions-, einsturz- oder lawinengefährdeten Gebieten fernsteuern. Dank zahlreicher Kameras und Sensoren am Bagger, wird diese Umgebung im entfernten Kontrollcockpit auf vier grossen Bildschirmen in Echtzeit dargestellt. Alle Kamerabilder zeigen zusätzlich virtuelle Elemente in Form von eingefärbten Flächen und Punkten. Diese sogenannte Augmented Reality soll für den Maschinenführer die Tiefenwahrnehmung und Orientierung im Raum verbessern, da diese aufgrund der Fernbedienung eingeschränkt sind. Die Tests verliefen erfolgreich, weshalb ARMANO sowie ein noch leistungsfähiger ferngesteuerter Raupenbagger Ende 2021 an den LVBGRABC übergeben wurden.



Der ANYmal kann auch mit Räder ausgestattet sein, was die Transportgeschwindigkeit erhöht und den Einsatz energieeffizienter macht.

Generell erfolgt die Übergabe von Robotern an die Schweizer Armee im Rahmen von ARDET. ARDET steht für Advanced Robotic Detachment und bezeichnet einen gemeinsam vom SDRZ



Das Kernteam bei der Übergabe vom Tauchroboter Proteus: Br Stefan Christen (Kdt LVGRABC), Hptm Kim Rindlisbacher (KAMIR-Taucher), Jonas Wüst (Tethys Robotics), Kai Holtmann (SDRZ VBS), Dr. Markus Höpfinger (Leiter SDRZ VBS) (v.l.n.r.)

und dem LVGRABC entwickelten Prozess. Mit diesem Prozess können Roboter bereits bei geringerem technischen Reifegrad in die Armee überführt und eingesetzt werden. Die Vorteile sind vielfältig. So können Forschende die Roboter den Bedürfnissen des Bedarfsträgers fortlaufend anpassen. Weiter kann die Armee mit dem raschen technischen Wandel mithalten, und sie kann bereits vor einer Beschaffung Erfahrungen in den Bereichen Ausbildung, Finanzen, Sicherheit oder benötigtes Personal sammeln.

### Wie der Laufroboter vollständig autonom ein Lagebild erstellt

Wechseln wir nun zu einem Einsatzbeispiel für einen Roboter in einem geschlossenen Gebäudekomplex. Zahlreiche Labore arbeiten mit chemischen und radioaktiven Komponenten. Im Falle einer Explosion könnten Chemikalien auslaufen, die Luft könnte toxisch sein und radioaktive Bestandteile könnten frei herumliegen. In solchen Szenarien wollen Einsatzkräfte möglichst schnell und akkurat ein Lagebild erstellen und Menschen auffinden. Der vierbeinige Roboter des SDRZ namens ANYmal kann in solchen Einsatzbereichen vollständig autonom in die Gefahrenzone entsandt werden. Im Gegensatz zu anderen Robotern mit Raupen oder Rädern, überwindet der Laufroboter Spalten und Hindernisse, steigt Treppen hoch und richtet sich nach einem Sturz wieder auf. Dank dem ferngesteuerten Arm kann er auch Objekte fassen, Schalter betätigen und Türen öffnen. Zusätzlich kann er mit einem Detektor aus sicherer Distanz Gefahrenstoffe identifizieren. Der ANYmal kann bis zu drei Stunden das Gefahrengebiet selbständig erkunden, bevor er neu geladen werden muss. Während dieser Dauer erstellt er in Echtzeit eine Karte

des Ereignisperimeters, lokalisiert sich in dieser, identifiziert Gefahrenquellen, ortet Menschen und zeichnet deren Positionen auf. Seit Kurzem wurden die Füße des ANYmal durch Räder ersetzt. Dank dieser Rad-Bein-Kombination behält der Roboter die Vorteile des Laufens, erreicht jedoch Geschwindigkeiten von bis zu sechzig Stundenkilometern und kommt dadurch deutlich schneller und energieeffizienter voran. Diese Vielfältigkeit, Agilität und Autonomie vom ANYmal führte die Forschungspartner im Jahr 2021 zum Sieg des international anspruchsvollsten Robotikwettbewerbes, der sogenannten Subterranean Challenge der Defence Advanced Research Projects Agency (DARPA) des US-Verteidigungsministeriums.

Der ANYmal entstammt der gleichen Schweizer Forschungsgruppe wie die ferngesteuerten Baumaschinen. Dies ermöglicht es, Erkenntnisse in der Nutzung von Künstlicher Intelligenz (KI) zwischen den Systemen zu transferieren. Die KI ist fundamental, um die Kapazitäten und insbesondere auch die Autonomie dieser Roboter weiterzuentwickeln. Sie wird hierbei auf zwei Arten verwendet: Erstens verfeinert die KI die Regel- und Kontrollsysteme für immer komplexer werdende Missionen und Einsatzgebiete. Zweitens erfasst und komprimiert die KI Sensordaten für eine nutzer-optimierte Darstellung.

### Wie der Tauchroboter unter Wasser aufklärt

Von den Robotern an Land wechseln wir nun zu einem Roboter, der im Wasser Unterstützung leistet. In Schweizer Gewässern finden jährlich hunderte Einsätze statt, um Objekte zu bergen und um Stellen zu überwachen, an denen in der Vergangenheit Munition versenkt wurde. Spezialkräfte verbringen hierfür Stunden in

**ARMANO**

TRL 6

«Ihr kennt mich aus der Presse als der «Bombenbagger aus Mitholz».»



**F** Automatisierung eines unbemannten Schreitbaggers, für den Einsatz in schwer zugänglichem und für Menschen gefährlichem Gelände

**P** ETH Zürich, Robotic Systems Lab; Menzi Muck, Leica Geosystems, Moog

**A** Detektion und Räumung von kontaminierter Schwerlast, autonome Arbeiten in Gefahrenzonen.

**G** L: 6,2 m, B: 2,4–6 m, H: 2,5 m (Transporthöhe); 13 000 kg

**E** 20–24 h, je nach Arbeitsintensität

**S** 10 km/h

**ANYmal-C**

TRL 6

«Ich wurde in den letzten Jahren stark entwickelt – von der Uni bis zum Produkt eines Start-ups – und finde mich heute autonom in Räumen zurecht.»



**F** Bessere Beurteilung der zukünftigen Mobilität im Gelände

**P** ETH Zürich, Robotic Systems Lab; ANYbotics AG

**A** Personensuche & Inspektionen von Infrastrukturen

**G** L: 1,05 m, B: 0,52 m, H: 0,83 m; 50 kg

**E** 2–4 h

**S** 3,6 km/h

**Legende Robocards:**

**F** Forschungsziel | **P** Partner | **A** Anwendungsfokus | **G** Grösse und Gewicht | **E** Energieversorgung | **S** Geschwindigkeit  
Halten Sie Ihre Handykamera auf den QR-Code, um weitere Informationen zu erhalten.

tiefen und kalten Gewässern und sind potenziell auch chemischen oder explosiven Risiken ausgesetzt. Um solche Aufgaben zu unterstützen, kommt nun der Tauchroboter namens Proteus zum Zug. Dessen Einsatz erhöht die Sicherheit, da er aus der Ferne ein mit Munition kontaminiertes Gebiet untersuchen kann. So liefert der Roboter eine digitale Datenbasis, die mit anderen Einsatzkräften wie der Polizei ausgetauscht werden kann, um eine Strategie im Umgang mit den Gefahrgütern planen zu können.

Nun, wie sieht Proteus genau aus? Er hat einen rechteckigen Körper und ist an jeder Ecke mit zwei Propellermotoren bestückt. Dies macht ihn ausserordentlich manövrierfähig. Der Roboter hat einen Greifarm und überträgt ein Kamerabild sowie ein Sonarbild in Echtzeit. Das Sonarbild stellt auch bei schlechten Sichtbedingungen die Oberflächenstruktur der umliegenden Gegenstände dar. Er kann bis auf 600 Meter tauchen und kann trotz den kalten Temperaturen bis zu vier Stunden Hilfe leisten. Zurzeit wird erforscht, wie der Roboter sich mit Unterwasser-GPS lokalisieren kann, um dann ein Gefahrengebiet autonom abzusuchen und zu kartographieren. Nebst ARMANO und ANYmal wurde auch Proteus fortlaufend im engen Austausch mit den Einsatzkräften der Schweizer Armee getestet und evaluiert. Nach bereits zwei Jahren arbeitete dieser so zuverlässig, dass er ebenfalls im Rahmen von ARDET an die Taucher vom KAMIR übergeben wurde.

Basierend auf dem Wissen von Proteus, arbeitet der Forschungspartner des SDRZ an einem neuen Roboter für den Einsatz in Fließgewässern. Dieser soll die Aufklärung unter Bedingungen

oder an Einsatzorten ermöglichen, die für die Militärtäucher eine zu hohe Gefahr darstellen. Der Flussroboter könnte zum Beispiel bei höheren Fließgeschwindigkeiten, bei der Gefahr von Schwemmholz, oder in Gebieten oberhalb von Staudämmen und Wasserkraftwerken zum Einsatz kommen.

**Wie modulare Drohnen und Roboter im Verbund eingesetzt werden könnten**

Alle oben vorgestellten Roboter haben verschiedene Fähigkeiten und Eigenheiten. Doch wie kann deren Betrieb vereinheitlicht werden und wie könnten diese kooperieren, um gemeinsam einen Mehrwert zu schaffen? Ein Projektziel ist, die spezifischen Fähigkeiten von einzelnen Robotern so zu kombinieren, dass sie die Lagebilderfassung, Aufklärung, Kommunikationsunterstützung, Überwachung oder Inspektion möglichst schnell, vollständig und verlässlich durchführen können. Um dieses Potential zu evaluieren, forscht das SDRZ gemeinsam mit einem Schweizer Unternehmen an einem Standard. Basierend auf diesem Standard sollen die Roboter über die gleiche Bedienerschnittstelle kontrolliert und lokalisiert werden. Zudem sollen die Roboter ihre Messdaten über die gleiche Schnittstelle übertragen. Für die Einsatzkräfte bietet ein solcher Standard grosse Vorteile: Die Vereinheitlichung der Bedienung und der Daten reduziert die Ausbildungszeit und vereinfacht die operativen Prozesse.

Die erwähnten Beispiele zeigen, wie die Expertise der Schweizer Robotik-Industrie und Forschungslandschaft zu Gunsten

**Proteus****TRL 6**

«Meine acht Antriebe ermöglichen mir die Fortbewegung unter Wasser in alle Richtungen und ein beliebiges Ausrichten des Greifarms.»



- F** Untersuchung, wie Unterwasserroboter Taucher bei ihrer Arbeit unterstützen können
- P** ETH Zürich, Autonomous Systems Lab, Tethys Robotics
- A** Unterstützung bei Tauchmissionen
- G** L: 0,73 m, B: 0,66 m, H: 0,4 m; 28 kg
- E** solange externe Stromversorgung sichergestellt ist
- S** ca. 5 km/h

**ASTRO****TRL 8**

«Ich komme mit unterschiedlichen Nutzlasten in den Einsatz und soll bald in einer Gruppe von Drohnen funktionieren.»



- F** Modulares Messsystem
- P** ETH Zürich, Arktis, FH Graubünden, Auerion
- A** Kartografieren von Messdaten, Lagebild in Krisensituationen
- G** D: 1.4 m, H: 0,4 m; 3.1 kg
- E** 0.5h mit 1 kg Nutzlast
- S** ca. 25km/h



der nationalen Sicherheit genutzt wird. Das SDRZ ist bestrebt, Lösungen im Bereich der Fortbewegungskonzepte, Navigation, Mensch-Maschine-Schnittstellen und Schlüsseltechnologien zu erforschen, die die Einsatzkräfte gerne und effektiv einsetzen können. Mit der Übergabe einzelner Roboter an die Schweizer Armee wurde der Prozess ARDET initiiert. Nun gilt es, diesen Prozess so zu strukturieren und zu festigen, dass sich diese ra-

sant entwickelnde Technologie in Zukunft noch effizienter in die Einsatzkräfte übertragen lässt. Obwohl die hier erwähnten Roboter weit davon entfernt sind, um wie R2-D2 nahtlos mit Personen zu interagieren, kann die Zusammenarbeit von Mensch und Maschine schon heute zur effizienteren Bewältigung von gefährlichen Situationen dienen und den Schutz und die Sicherheit erhöhen.



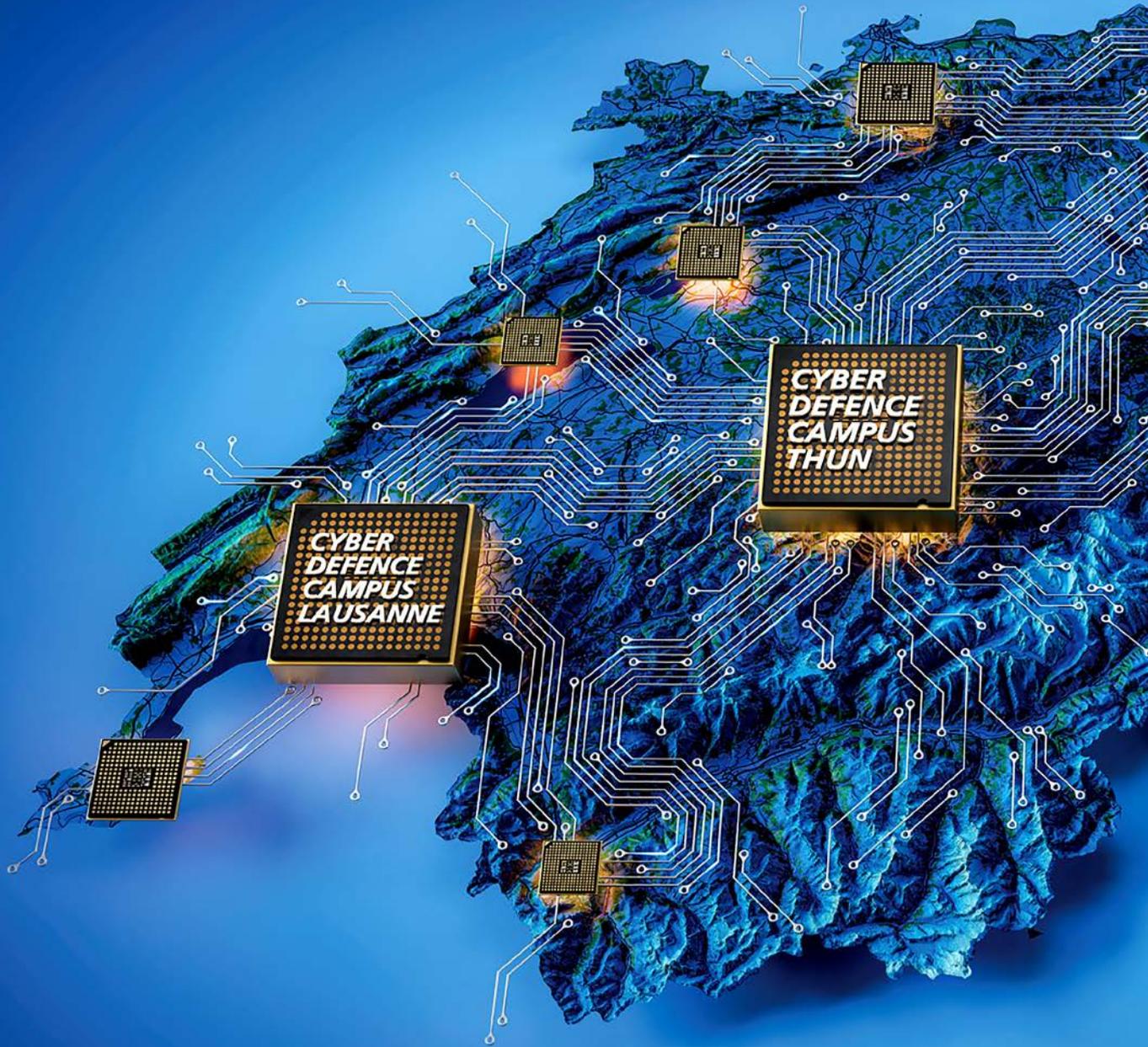
**DR. TONYA MÜLLER**  
Wissenschaftliche Projektleiterin

Tonya Müller ist Maschinenbauingenieurin ETH. Nach ihrem Studium folgten ein Doktorat an der Universität Oxford in England und eine Stelle als Systemingenieurin im Bereich der Weltraumtechnologie. Seit dem Sommer 2020 ist sie beim SDRZ tätig, wo sie an der Schnittstelle zwischen den Bedarfsträgern der Schweizer Armee und den Partnern in der Schweizer Industrie und der Forschungsinstitutionen arbeitet. Ihren Fokus setzt sie auf Projekte in den Bereichen Schiessplatzräumung, Radioaktivitätsmessung und Personensuche in Trümmerhaufen.

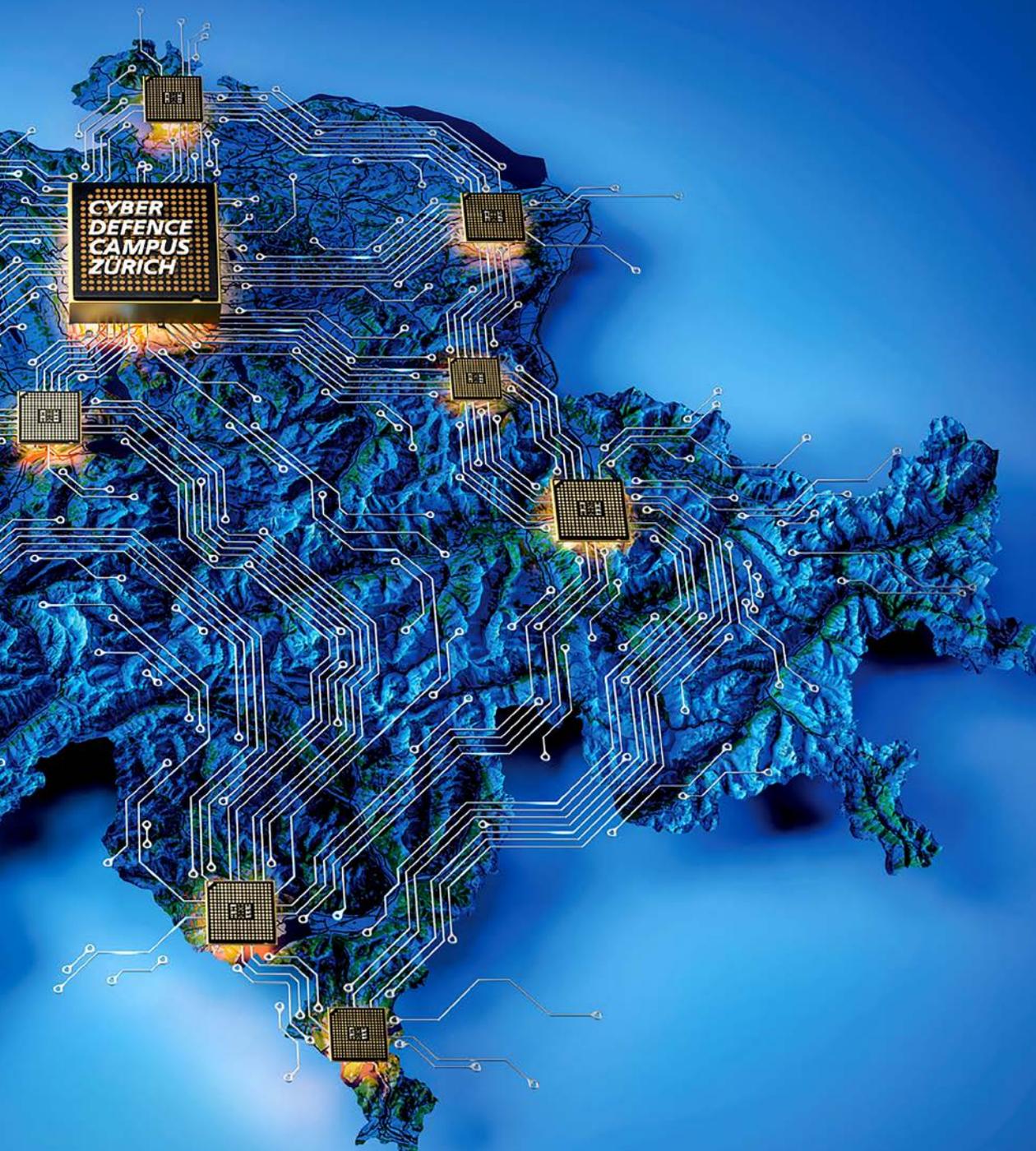
**Technology Readiness Level**

Der Technology Readiness Level (TRL), zu Deutsch als Technologie-Reifegrad übersetzt, ist eine Skala zur Bewertung des Entwicklungsstandes von neuen Technologien. Er gibt auf einer Skala von 1 bis 9 an, wie weit entwickelt eine Technologie ist.

- TRL 9** | Qualifiziertes System mit Nachweis des erfolgreichen Einsatzes
- TRL 8** | Qualifiziertes System mit Nachweis der Funktionstüchtigkeit im Einsatzbereich
- TRL 7** | Prototyp im Einsatz
- TRL 6** | Prototyp in Einsatzumgebung
- TRL 5** | Versuchsaufbau in Einsatzumgebung
- TRL 4** | Versuchsaufbau im Labor
- TRL 3** | Nachweis der Funktionstüchtigkeit einer Technologie
- TRL 2** | Beschreibung der Anwendung einer Technologie
- TRL 1** | Beobachtung und Beschreibung des Funktionsprinzips



# CYD Campus: Kompetenznetzwerk für die Schweizer Cyberabwehr



Die Forschung des Cyber-Defence (CYD) Campus ist eine Investition in die nachhaltige Sicherstellung des erforderlichen Expertenwissens und der wissenschaftlich-technischen Kompetenzen für die Aufgaben und Tätigkeiten des Bundes im Bereich der Cyberverteidigung. Der CYD Campus setzt Forschungsprojekte zusammen mit einem internationalen Kompetenznetzwerk von Hochschulen und Industriepartnern um. Damit fördert er zukünftige, strategisch und taktisch relevante Schlüsseltechnologien und wirkt als zentraler Treiber für Innovationen und die Weiterentwicklung der notwendigen operationellen Cyberdefence-Fähigkeiten im VBS.

**Text:** Sarah Frei

Aufgrund der zunehmenden Bedrohungen im Cyberraum ist die Cyberverteidigung für das Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport (VBS) zu einer strategischen und operativen Priorität geworden. Darum entwickelt und betreibt das Departement seit über drei Jahren den Cyber-Defence Campus, ursprünglich als Bestandteil des Aktionsplans für Cyberdefence (APCD), und heute als Teil der «Strategie Cyber VBS». Der CYD Campus bietet dem VBS dabei eine Antizipations- und Wissensplattform, um technologische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Cyber-Trends zu identifizieren und zu beurteilen. Die Handlungsfelder und die entsprechende Aufgabenverteilung legt die

Chefin des Departements, Bundesrätin Viola Amherd, in der Ausrichtung der «Strategie Cyber VBS» fest. Eine Schlüsselaufgabe des CYD Campus stellen die Forschung und die Innovation von Cybertechnologien dar. Durch die Zusammenarbeit im Rahmen von Forschungsprojekten mit Hochschulen und der Industrie werden aufkommende Cyberrisiken identifiziert und innovative Lösungen entwickelt, um Gefahren im Cyberraum wirksam zu begegnen. Die Forschungsprogramme greifen auf ein internationales Kompetenznetzwerk mit Universitäten, Industrie und Regierungspartnern zurück (Tabelle 1).

## Forschungspartner

Tabelle 1

Staatliche Partner/Bund	Hochschulen	Industriepartner
<ul style="list-style-type: none"> <li>Schweizer Armee</li> <li>Nachrichtendienst des Bundes NDB</li> <li>Bundespolizei fedpol</li> <li>Bundesamt für Statistik BFS</li> <li>Swisstopo</li> <li>Nationales Zentrum für Cybersicherheit NCSC</li> <li>Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL</li> <li>NATO CCDCOE</li> <li>US Air Force Research Lab</li> <li>US Army Research Lab</li> <li>Luxemburgische Armee</li> <li>European Defence Agency EDA</li> <li>Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI), DE</li> <li>Swissnex</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>EPF Lausanne</li> <li>Center for Digital Trust (C4DT)</li> <li>ETH Zürich</li> <li>Zürich Information Security and Privacy Center (ZISC)</li> <li>Militärakademie an der ETH Zürich</li> <li>Universität Freiburg</li> <li>Universität Genf</li> <li>Universität Zürich</li> <li>Universität Lausanne</li> <li>Universität Neuchâtel</li> <li>Universität St. Gallen</li> <li>Universität Oxford, UK</li> <li>KU Leuven, BEL</li> <li>IMDEA, ESP</li> <li>Universität Murcia, ESP</li> <li>Universität Rey Juan Carlos, ESP</li> <li>TU Kaiserslautern, DE</li> <li>ZHAW</li> <li>FHNW</li> <li>SUPSI</li> <li>Northeastern University, USA</li> <li>HEIG-VD</li> <li>HEVS</li> <li>Hochschule Luzern</li> <li>Fachhochschule OST</li> <li>HEPIA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kudelski Security</li> <li>IBM Research</li> <li>Noser Engineering</li> <li>Ad Novum</li> <li>Astrocast</li> <li>Swisscom</li> <li>CounterCraft</li> <li>Tune Insight</li> <li>Cysec</li> <li>Plug and Play</li> <li>Anapaya</li> <li>RUAG</li> <li>Decentriq</li> <li>Flarm Technologies</li> <li>Cybexer</li> </ul>

### Forschungsprogramm Cyberspace

Angriffe aus dem Cyberspace sind mit einem schwer abschätzbaren Schadenspotenzial verbunden und werden aufgrund der Durchdringung der Digitalisierung in der Gesellschaft zu einer zentralen Herausforderung. Darum ist es äusserst wichtig, die Sicherheit der Cybersysteme zu erhöhen, um sie vor Angriffen zu schützen. Hier setzt das Forschungsprogramm Cyberspace an: Konkretes Ziel ist es, technologische Fachkompetenzen aufzubauen und sicherzustellen, um Risiken im Cyberspace zu identifizieren, zu beurteilen und zu reduzieren. Die Forschenden beschäftigen sich unter anderem mit der gezielten Analyse von Schwachstellen in kritischen Infrastrukturen und Geräten, der Cybersicherheit in den Operationssphären Luft, Weltraum und Boden, dem Schutz digitaler Daten sowie der angewandten

Kryptographie. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Technologieschwerpunkte, während Tabelle 3 die Kompetenzbereiche des Forschungsprogramms aufzeigt.

Doch wie gehen die Forschenden vor, um die Zielsetzungen zu erreichen? Sie nutzen moderne Laborinfrastrukturen, um wissenschaftliche Ergebnisse in einem praxisnahen militärischen Umfeld zu untersuchen. Neben einem Cybersecurity Lab, in dem sich die Sicherheit von Software und Hardwarekomponenten in einer isolierten Umgebung erforschen lässt, sind domänenspezifische Labore vorhanden, wo die Forschenden die Sicherheit von zukünftiger Fahrzeug-, Flugzeug-, Satelliten-, Internet- oder 5G-Kommunikation untersuchen können.

## Technologieschwerpunkte

Tabelle 2

<b>Sichere mobile Betriebssysteme</b>	Sichere Kommunikation und Verarbeitung von sensiblen Daten auf Smartphone bei gleichzeitiger Nutzung von unsicheren Applikationen.
<b>Täuschung im Cyberspace</b>	Anlockung eines Angreifers durch Falschinformationen und vermeintlich ungeschützter Umgebung (Next-generation Honeypots).
<b>Sicherheit von zukünftigen Fahrzeugen, Ladeinfrastrukturen, und industrielle Kontrollsysteme</b>	Schwachstellenforschung und Entwicklung von Gegenmassnahmen.
<b>5G Sicherheit</b>	Praktische Untersuchungen an Testinfrastruktur für den militärischen Einsatz.
<b>Künstliche Intelligenz in der Cyberabwehr</b>	Automatisierung des Blue und Red Teams mittels maschinellem Lernen.
<b>Quantum-sichere Kryptologie</b>	Untersuchung der Sicherheit und Anwendbarkeit sowie Schwachstellen von neuen Kryptologie-Standards.
<b>Cybersicherheit in der Luft- und Raumfahrt</b>	Identifikation von Schwachstellen bei existierenden Kommunikationssystemen und Entwicklung von Gegenmassnahmen.
<b>Identifikation von Software und Geräteschwachstellen</b>	Neue Methoden und Analysen von Software, die den Quellcode nicht offenlegt; Schwachstellenforschung.
<b>Abwehr von Einsatzsystemen mit programmierbaren Netzen</b>	Schutz von Netzwerken, Verschleierung des Datenverkehrs und sichere Routing-Techniken.
<b>Lagebild Cyberspace</b>	Verständnis und Zusammenführung von Informationen aus verschiedenen Quellen.
<b>Cyber-Training</b>	Methoden, um Personen im Cyberbereich auszubilden, etwa durch Simulatoren, Ausbildungsplattformen und Trainings. Beispiel: Cyber Ranges: eine interaktive Technologieumgebung, in dem Sicherheitsvorfälle simuliert werden können, damit Cybersicherheitsexperten lernen, wie sie Angriffe erkennen und abwehren können.

## Kompetenzfelder Cyberspace

Tabelle 3



### Cyber Schutz

Um Bedrohungen frühzeitig zu erkennen und die Widerstandsfähigkeit im Cyberspace zu erhöhen, werden neue Sicherheitstechnologien und Cyber-Abwehrmethoden entwickelt. Dies umfasst auch die Untersuchung von Methoden zur automatischen Erkennung und Behebung von Schwachstellen.



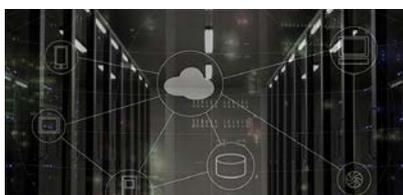
### Cyber Operationsfähigkeiten

Hier wird die Reaktionsfähigkeit untersucht, um mögliche Folgen bei Störvorfällen zu begrenzen. Wenn nötig, kann auch eine Abwehr von Cyberangriffen durch Gegenmassnahmen zur aktiven Verteidigung erfolgen.



### Cyber Lagebilder

Ähnlich wie ein Radar zur Überwachung des Luftraums, benötigt es im Cyberspace einen Überblick über die zahlreichen und vielfältigen Bedrohungen. Die Cyber-Bedrohungslage ist komplex und entwickelt sich rasch weiter. Neue Ansätze und Verfahren werden untersucht, um ein Gesamtlagebild der Aktivitäten und Bedrohungen im Cyberraum darzustellen.



### Robuste und hochsichere Cyber Infrastrukturen:

Damit die Armee aber auch kritische Infrastrukturen in Notlagen und Krisen einsatzfähig bleiben, müssen sie jederzeit über funktionierende und sichere Informations- und Steuersysteme verfügen können. Dies erfordert hochsichere, robuste und autonome Cyber Infrastrukturen. Dafür werden unter anderem Lösungen zur Verminderung oder Beseitigung von Risiken untersucht, die von den möglicherweise in Zukunft verfügbaren Quantencomputern oder vom Einsatz von begrenzt vertrauenswürdiger Hard- und Software ausgehen.

## Forschungsprogramm Data Science

Informations- und Kommunikationstechnologien gewinnen immer mehr an Bedeutung, denn Geräte sind zunehmend untereinander vernetzt. Dadurch wird eine grosse Menge an Daten erzeugt, aus der sich eine Vielzahl von Informationen gewinnen lässt. Hier eröffnet die Datenwissenschaft neue Möglichkeiten, Daten zu erfassen und zu analysieren, die zum Beispiel der Verteidigung einen taktischen Vorteil oder eine Informationsüberlegenheit verschaffen können. Denn mit Hilfe geeigneter Techniken ist es möglich, Informationen zu erhalten, die nicht nur unerlaubte Aktivitäten offenlegen, sondern auch Aufschluss über mögliche Akteure und deren Absichten liefern.

Der Fokus des Forschungsprogramms liegt darin, die Kompetenzen in den Bereichen Datenbeschaffung, -verwaltung, -verarbeitung und -analyse zu stärken sowie die Künstliche Intelligenz vor Angriffen zu schützen (Tabelle 5). Das Aufkommen neuer Algorithmen und mathematischer Modelle hat es möglich gemacht, neue Zusammenhänge zu erkennen und neue Phänomene aus Daten zu entdecken. Diese neuen Ansätze eröffnen jedoch nicht nur neue Chancen, sondern bergen auch Risiken, die es zu bewerten gilt.

Konkret sammeln die Forschenden Daten im digitalen Raum, überprüfen den Datenschutz von Geräten, erhöhen die Robust-

heit von maschinellem Lernen, bauen Vorhersage-Modelle zur Antizipation von Ereignissen oder optimieren die Sprachverarbeitungssysteme für ausgewählte Szenarien. Aber auch der digitale Informationsraum, insbesondere in Verbindung mit sozialen Netzwerken, gewinnt für das Forschungsprogramm Data Science zunehmend an Bedeutung: Die Risiken von Falschinformationen sind spätestens seit der Corona-Pandemie offenkundig. Gezielte Desinformationskampagnen bergen die Gefahr, die Gesellschaft zu spalten und die Abgrenzung zwischen authentischen Nachrichten und Falschnachrichten zu erschweren. Weil dies gesellschaftlich hoch relevant ist, hat das Data Science Team einen Forschungsschwerpunkt auf die Identifizierung von Fehlinformationen und Desinformationskampagnen gelegt und mehrere Projekte in diesem Themenbereich vorangetrieben.

In diesem Zusammenhang analysieren die Forschenden beispielsweise das Verhalten von Twitter-Konten, um zu untersuchen, wie eine Nachricht sich verbreitet. Denn die Verbreitung von Falschinformationen und authentischen Informationen folgt in der Regel unterschiedlichen Mustern. Um den öffentlichen Diskurs zu schützen, forschen CYD Campus WissenschaftlerInnen ebenfalls an unterschiedlichen Methoden, die bei der automatischen Erkennung von gefälschten Medieninhalten im Netz unterstützen können.

## Technologieschwerpunkte

Tabelle 4

<b>Adversarial Machine Learning</b>	Prüfung künstlicher Intelligenz auf ihre Robustheit und Erhöhung der Widerstandsfähigkeit von Modellen des maschinellen Lernens gegenüber Angriffen.
<b>Federated Machine Learning</b>	Verteilung der Intelligenz des maschinellen Lernens zum Schutz der Privatsphäre und der Daten vor Angriffen.
<b>Frühwarnsignale</b>	Mit Hilfe von Frühwarnsignalen lassen sich Ereignisse wie Konflikte antizipieren.
<b>Maschinelle Übersetzung</b>	Dank des maschinellen Lernens werden Übersetzungsmodelle trainiert, um Dialekte oder auch kontextspezifische Sätze zu übersetzen.
<b>Multimodal Fusion</b>	Die Fusion von multimodalen Daten erlaubt die automatische Erzeugung von Lagebildern.
<b>Erkennung von Desinformation</b>	Mit Hilfe von Bild- und Textverarbeitung lassen sich Publikationen, die mit Desinformation in Zusammenhang stehen, in sozialen Medien identifizieren.
<b>Big Data-Ansätze</b>	Neue Ansätze und Architekturen ermöglichen es, grosse Datenmengen zu speichern und zu verarbeiten, z. B. durch GPUs und Clouds.
<b>Computer Vision</b>	Bilder enthalten eine grosse Menge an Informationen, sind jedoch schwer zu verarbeiten, da sie unstrukturiert sind. Mithilfe des maschinellen Lernens lassen sich Objekte, Aktivitäten oder Absichten erkennen.
<b>Datenschutzrisiken</b>	Hier werden die Risiken aufgezeigt, die mit der Anwendung des maschinellen Lernens auf personenbezogene Daten verbunden sind. Oft ist es möglich, die Charaktereigenschaften von Personen zu ermitteln.
<b>Internet der Dinge (IoT) Plattformen</b>	Das Internet der Dinge produziert eine grosse Menge an Daten, die gespeichert und verarbeitet werden müssen. Maschinelles Lernen kann auch dabei helfen, Angriffe auf IoT-Geräte zu erkennen.
<b>Dark Web</b>	Im Dark Web stehen sehr viele Daten zur Verfügung. Da das Dark Web unstrukturiert ist, müssen speziellen Algorithmen entwickelt werden um diese Daten automatisch zu Orten, filtrieren und herunterladen.

## Kompetenzfelder Data Science

Tabelle 5



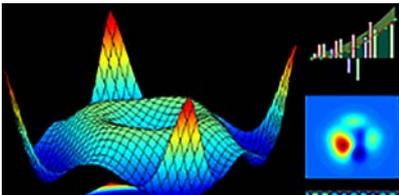
### Datenbeschaffung

Mit den sozialen Netzwerken, dem Internet der Dinge oder in öffentlichen Datenbanken sind diverse Quellen und Datenarten verfügbar. Diese Daten bieten neue Möglichkeiten, erfordern aber andere Beschaffungswege, welche die Aspekte wie den Wahrheitsgehalt und die Raum-Zeit-Dimension berücksichtigen. Hier werden neue Ansätze, gestützt auf partizipative oder frei zugängliche Plattformen, untersucht.



### Datenpflege

Für die operative Führung sind zuverlässige, qualitativ hochstehende Informationen zum richtigen Zeitpunkt notwendig. Für die Beurteilung von Informationssystemen und modernen Infrastrukturen werden Kompetenzen angeeignet, wobei die zunehmende Datenmenge (Big Data Problematik), ihre Geschwindigkeit und ihre Heterogenität berücksichtigt werden.



### Datenverarbeitung und -analyse

Hier werden Algorithmen, gestützt auf maschinellem Lernen, geprüft; sie sollen in den Datensätzen Muster und Wiederholungen erkennen. Diese können für diverse Anwendungen eingesetzt werden, etwa für die Erkennung von Auffälligkeiten, die Klassifizierung von Signalen, Texten, Sprachen oder Bildern sowie für die Graphenanalyse.



### Robustheit von Künstlicher Intelligenz

Künstliche Intelligenz bildet heute die Grundlage für immer mehr operative Entscheide. Es muss deshalb sichergestellt werden, dass diese nicht von Gegenspielern manipuliert werden und dass die Entscheidungsmodelle gegen Angriffe widerstandsfähig sind.



#### DR. VINCENT LENDERS

arbeitet seit 2008 bei armasuisse Wissenschaft und Technologie

Hier leitet er seit 2009 den Fachbereich Cybersicherheit und Data Science. In seiner Funktion verantwortet er den Cyber-Defence Campus, bestehend aus einem Team von rund 30 Mitarbeitenden und zahlreichen CYD Fellows, Hochschulpraktikanten und Studierenden. Zu den Schlüsselaufgaben des CYD Campus gehören die Forschung und Innovation von Cybertechnologien, die Früherkennung von Trends im Cyber-Bereich sowie die Ausbildung von Cyberspezialistinnen und -spezialisten. Er promovierte an der ETH Zürich in Elektrotechnik und Informationstechnologien und war Postdoc an der Princeton University.



#### DR. G R ME BOVET

arbeitet seit 2015 bei armasuisse Wissenschaft und Technologie

Er ist Leiter der Gruppe Data Science sowie Forschungsprogrammleiter beim Cyber-Defence Campus. Zu den Forschungsschwerpunkten gehören die Datenbeschaffung, Datenpflege, Datenanalyse und die Robustheit von Künstlicher Intelligenz. Zudem leitet er die Entwicklung des Data Science Lab. Seine Forschungsinteressen liegen im Bereich des Adversarial Machine Learning (ML), Federated ML und Trusted Artificial Intelligence (AI). Er hat einen PhD von T l com Paris und einen Executive MBA der Universität Fribourg.



#### DR. BERNHARD TELLENBACH

arbeitet seit 2022 bei armasuisse Wissenschaft und Technologie

Er ist Leiter der Gruppe Cybersicherheit sowie Forschungsprogrammleiter beim Cyber-Defence Campus. Zu seinen Forschungsaktivitäten gehören der Cyber Schutz, Cyber Operationsf higkeiten, Cyber Lagebilder und robuste und hochsichere Cyber Infrastrukturen. Er hat an der ETH Zürich promoviert und war zehn Jahre an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) als Professor und Forschungsschwerpunkt-leiter tätig.



WENN EINE SEKUNDE EWIG DAUERT



Zeitsynchronisation geschieht oft unbemerkt im Hintergrund. Je nach Messmethode sind die Zeitangaben mehr oder weniger genau und somit nicht für alle Anwendungen gleich gut geeignet.

# Wenn eine Sekunde ewig dauert

Ob Computer, Smartphone oder Küchenanzeige: überall steht die gleiche Uhrzeit. Doch was bedeutet eigentlich «gleich»? Kleine Zeitabweichungen können im Alltag unbemerkt bleiben, bei komplexen Sensorsystemen jedoch einer Ewigkeit gleichkommen. Wie kann also eine möglichst genaue Zeitsynchronisation zwischen vernetzten Geräten sichergestellt werden? Armasuisse Wissenschaft und Technologie testet dazu eine neue Methode aus: White Rabbit. Diese soll eine genauere und sicherere Synchronisation ermöglichen als mit gängigen Methoden.

**Text:** Dr. Christof Schüpbach

In älteren Agentenfilmen sieht man es noch oft: Die Agenten vergleichen vor einer wichtigen Operation ihre Uhren, damit die Bombe exakt zur geplanten Zeit hochgeht. Wenn auch weniger spektakulär, kennen viele Menschen noch das manuelle Richten der Uhr aus dem Alltag. Während wir früher die genaue Zeit nach der Uhr am Bahnhof oder dem Zeitzeichen am Radio richteten, müssen wir uns heute nur selten noch darum kümmern. Unsere Uhren und anderen elektronischen Gadgets sind alle vernetzt und justieren sich dank Internetverbindung automatisch nach. Doch wie genau laufen unsere Uhren dadurch synchron und wofür braucht es eine genaue Zeit sonst noch?

## **Auf Millionstel und Milliardstel genau**

Unser intuitives Verständnis der Zeit ist eher limitiert. So ist es auch nicht verwunderlich, dass im alltäglichen Sprachgebrauch «ein Bruchteil einer Sekunde» für viele von uns die kleinste gebräuchliche Zeiteinheit ist. Etwas exakter ist die erwähnte Zeitsynchronisation unserer Elektronik wie Smartphones und Computer. Doch auch die ist gewöhnlich höchstens auf mehrere Tausendstelsekunden genau. Dies ist für unseren Alltag längst exakt genug. Hingegen muss es in anderen Bereichen deutlich genauer sein. Im Finanzsektor beispielsweise will man Käufe und Verkäufe von Wertpapieren auf Millionstel einer Sekunde genau zeitlich abstimmen, um so die Gewinne zu optimieren.

Nochmals genauer, nämlich auf Milliardstel einer Sekunde, müssen militärische Sensorsysteme synchronisiert sein. Dies, um den Ursprung von Funksignalen zu orten. Doch wie erreicht man das?

### Satelliten messen die Zeit

In den meisten Fällen nimmt man dafür Satellitennavigationssysteme wie beispielsweise das Global Positioning System GPS zu Hilfe. Bei diesen Systemen wird die Zeit zusammen mit dem Ort bestimmt. Dadurch hat ein GPS-Empfänger eine immer auf wenige Milliardstelsekunde genaue Zeit und kann diese weiteren Systemen zur Verfügung stellen. Diese Form der Zeitsynchronisation ist grundsätzlich eine attraktive Lösung, da sie ortsunabhängig und auch mobil einsetzbar ist und keine Netzanbindung benötigt. Leider hat sie aber auch einige Nachteile. Das grösste Problem: sie ist sehr anfällig auf Funkstörungen. Schon mit einfachsten Störgeräten kann ein GPS-Signal übertönt und so für den Empfänger nutzlos gemacht werden. Ein anderes Problem ist, dass man bei Satellitensystemen von den jeweiligen Betreibern abhängig ist. Entscheiden diese, das System abzuschalten, steht es nicht mehr zur Verfügung. Zudem erlaubt neuste Störtechnologie sogar Täuschungen. So können beliebige Orte und Zeiten vorgegaukelt und dadurch Sensorsysteme gezielt getäuscht werden. Deshalb ist es für militärische Anwendungen äusserst wichtig, eine robustere Alternative zu haben.

### So pünktlich wie der Hase im Märchen

Wichtig war eine genaue Zeitmessung an unterschiedlichen Orten auch für das Kernforschungsinstitut CERN in Genf bei der Erneuerung der Teilchenbeschleuniger. Hierfür benötigten alle Technologien, die bei Projektstart existierten, eine spezielle Infrastruktur. Genauer gesagt, mussten die Geräte mit Spezialkabeln miteinander verbunden werden, obwohl die gesamte Infrastruktur bereits über herkömmliche Datennetze miteinander verbunden war. Daher setzten sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nun zum Ziel, die Zeitsynchronisation direkt über dieses bestehende Datennetzwerk zu realisieren, ohne die aufwändige Spezialverkabelung, und dabei eine Zeitgenauigkeit von weniger als einer Milliardstelsekunde zu erreichen. Diese neu entwickelte Technologie erreichte das Ziel und kann in der Tat unter günstigen Bedingungen sogar Genauigkeiten von einigen zehn Picosekunden, das heisst Billionstelsekunden, erreichen. Das Projekt wurde in Anlehnung an den immer verspäteten Hasen bei Alice im Wunderland «White Rabbit» getauft.

Heute ist die White-Rabbit-Technologie bereits in einigen kommerziell verfügbaren Netzwerkgeräten wie beispielsweise Router eingebaut. Trotzdem ist der Einsatz noch nicht sehr weit verbreitet, und deshalb fehlt es an Erfahrung, welche Einschränkungen unter welchen Umständen zu erwarten sind. So könnten beispielsweise durch den Einsatz gewisser Komponenten wie

Repeater, also Signalverstärker, oder Router in einem Netzwerk Probleme entstehen. Gerade bei etwas älteren Komponenten ist nicht bekannt, ob sie mit White Rabbit kompatibel sind oder möglicherweise die Zeitsynchronisation verschlechtern könnten. Genau dies untersuchen Mitarbeitende von armasuisse Wissenschaft und Technologie (W+T). Sie wollen herausfinden, ob, oder mit welchen Einschränkungen oder Anpassungen, diese neue White-Rabbit-Technologie in den existierenden Netzwerken der Armee einsetzbar sein könnte.

*Das grösste Problem: sie ist sehr anfällig auf Funkstörungen. Schon mit einfachsten Störgeräten kann ein GPS-Signal übertönt und so für den Empfänger nutzlos gemacht werden.*

### Erste White-Rabbit-Tests mit zivilen Forschungspartnern

Die ersten Tests unternahmen die armasuisse-Forschenden des Fachbereichs Kommunikation und elektromagnetischer Schutz mit der Hochschule für Technik und Architektur in Fribourg. In einem Laboraufbau haben sie eine Netzstruktur aufgebaut, wie sie in einem typischen, schweizweiten Einsatz mit mehreren Knoten, also Geräten an verschiedenen Standorten, vorkommen würde. So können die fraglichen Komponenten einzeln ausgetauscht und deren Einfluss auf die Genauigkeit der Zeitsynchronisation getestet werden. Die erzielten Laborresultate zeigten sehr kleine Zeitabweichungen im Bereich von 100 Picosekunden (Billionstelsekunden) zwischen Knoten, die mit bis zu 200 Kilometer langen Glasfaserkabeln miteinander verbunden sind. Die White-Rabbit-Technologie ist also bestens für die Sensorsysteme der Armee geeignet und ist deutlich genauer als satellitenbasierte Systeme, ohne anfällig auf Störungen zu sein.

Um den Schritt vom Labor in die reale Welt zu machen, kooperieren die Forschenden mit dem Eidgenössischen Institut für Metrologie Metas und dem Universitätsnetzbetreiber Switch. Gemeinsam werden sie in den nächsten Monaten einen Aufbau innerhalb des Switch-Netzes machen. Hierbei wird die genaue Zeit der Schweiz vom Metas in einer Schleife über mehrere Stationen transportiert. So können die Beteiligten überprüfen, wie zuverlässig und genau die Synchronisation auch in einem echten Einsatzfall, in einem echten Netzwerk ist.

In einem weiteren Schritt soll schliesslich White Rabbit im Führungsnetz Schweiz eingesetzt werden. Dies, damit die genaue Zeit an jedem fixen militärischen Standort als Dienstleistung abrufbar ist.

### Auch ohne Kabel?

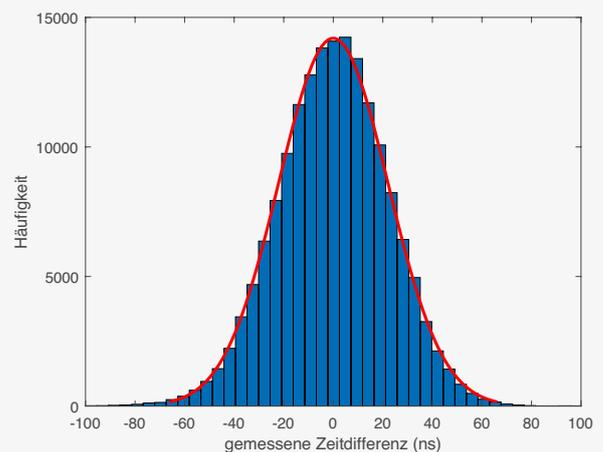
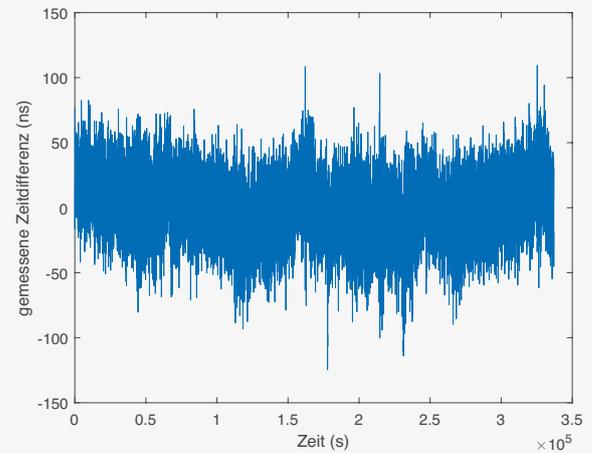
Natürlich ist es in militärischen Szenarien bei weitem nicht immer möglich, mit einem Kabel an das Netz angeschlossen zu sein. Beispielsweise bei mobil eingesetzten Sensorsystemen bleibt heute nur der Griff zurück auf die Satellitennavigationsysteme. Um diese Lücke zu schliessen, forschen die Mitarbeitenden von armasuisse W+T auch an Möglichkeiten, die Zeit über Funk oder über Lasersysteme übertragen zu können. Die grosse Herausforderung: Das Zeitsignal wird über die Luft übertragen. Dabei können sich die Bedingungen der Signalausbreitung bereits während der Reise ändern, beispielsweise wegen einem vorbeifahrenden Auto. So ist nie ganz klar, wie lange das Signal vom Sender zum Empfänger tatsächlich gereist ist. Diese Unsicherheit führt dazu, dass drahtlose Methoden immer etwas schlechter sind als die verkabelten.

Bei einem Experimentalsystem, das auf sehr billigen Komponenten aus der «Internet of Things»-Welt stammen, konnten die Forschenden über eine Funkdistanz von 13 Kilometern über mehrere Tage hinweg die Zeitabweichung auf weniger als 50 Nanosekunden beschränken. Dies ist durchaus vergleichbar mit dem, was man mit Satellitennavigationsystemen erreichen kann.

Alle diese Erkenntnisse werden schliesslich dazu beitragen, dass die Systeme der Armee zukünftig weniger von unzuverlässigen Satellitennavigationsystemen abhängig sind und mit noch präziseren Zeitangaben der berühmten Schweizer Pünktlichkeit auch weiterhin alle Ehre machen können.

#### Wie lassen sich Funksignale orten

Funksignale kann man orten, indem Sensoren die Ankunftszeit der Signale an verschiedenen Orten messen. Da sich ein Funksignal mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet, kann man aus den gemessenen Zeitunterschieden den Ursprungsort des Signals errechnen. Ein Beispiel: Licht legt in einer Milliardstelsekunde 30 Zentimeter zurück. Will man also den Ursprung des Signals auf einige Meter genau bestimmen, muss auch die Ankunftszeit beim Sensor auf einige Milliardstelsekunden genau gemessen werden.

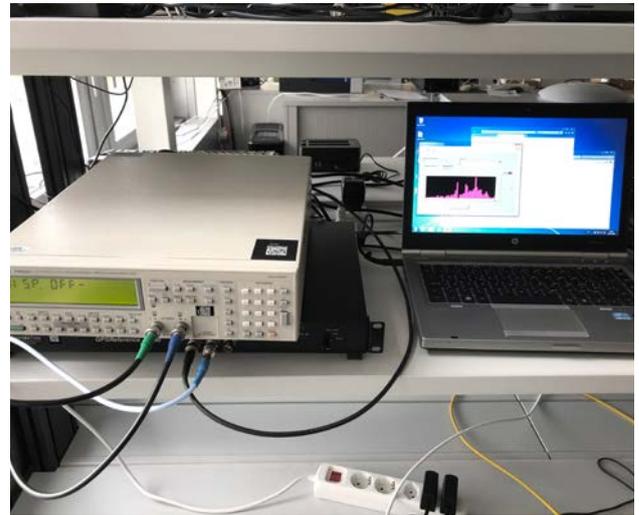


Wenn zwei Zeitquellen verglichen werden, schwankt die gemessene Zeitdifferenz kurzfristig (oberes Bild). Erst die Statistik (unten) über längere Zeit ergibt dann das volle Bild der Qualität der Zeitquelle.

Die Zeitabweichungen werden über längere Zeit gemessen. Daraus kann die Abweichung und damit die Güte der Zeitsynchronisation bestimmt werden. Hier ein Beispiel aus der Messung der Zeitübertragung per Funk.



In einem Langstreckentest wird die Zeit per LoRa-Funk von Thun auf den Niesen und wieder zurück übertragen. In Thun kann dann die Genauigkeit zwischen der Originalzeit und der übertragenen Zeit gemessen werden.



Ein Messaufbau im Labor vergleicht zwei Zeitquellen. Um die Qualität einer Zeitquelle zu bestimmen, müssen die Werte über Tage genau gemessen werden.



Experimentelles System für die drahtlose Zeitsynchronisation, basierend auf der «Internet of Things»-Funktechnologie LoRa. Das System zeigte eine Genauigkeit von 50 Nanosekunden über eine Strecke von 13 km.



Entwickelte Hardware für die LoRa-basierte Zeitsynchronisation während der Tests über die 13 km Teststrecke von Thun auf den Niesen.



**DR. CHRISTOF SCHÜPBACH**  
Leiter Forschungsprogramm

Christof Schüpbach ist stellvertretender Leiter des Fachbereichs Kommunikation und elektromagnetischer Schutz. Er leitet seit 2020 das Forschungsprogramm Kommunikation. Seine Tätigkeiten umfassen Projekte im Bereich Drahtloskommunikation, Funkaufklärung, elektronische Kriegsführung und Passivradar.



What will the education of the future be like? The combination of various technologies such as augmented reality, artificial intelligence and simulations enable new methods.

# Technology will never again develop as slowly as it does today

Humanity has a problem. Nowadays, technologies are changing so fast that many of us feel overwhelmed by them. The reason: For thousands of years, progress was linear – the world barely changed over generations. However, these days everything is developing exponentially at an increasingly rapid pace. And the human brain is not used to this speed. Or just not yet?

**Text:** Dr. Michael Jäger

People prefer stability. Yet the world is anything but stable. Volatility, uncertainty, complexity and ambiguity have become features of our modern age. However, technologies are not created overnight. Years, if not decades of research and development are required for this purpose. Exponential growth requires time at first, before a technology suddenly reveals its resounding potential, seemingly from one day to the next, and spawns drastic changes. A classic example is our daily companion, the smartphone. Nowadays it is algorithms, which are developed by a handful of specialists, that decide how we communicate with each other or which advertising we see.

## THE ANSWER TO VUCA IS VUCA

VUCA stands for Volatility, Uncertainty, Complexity and Ambiguity which have become features of our modern world. It describes the difficult framework conditions, for example, in corporate management. And the answer to VUCA is in turn VUCA: but this time, the letters stand for Vision, Understanding, Clarity and Agility.

**A technology alone, however, is not sufficient to develop a solution**

Meanwhile, technology convergence makes possible almost everything which until now seemed like science fiction, even in our daily lives. Convergence is the combination of two or more technologies which to date have developed separately from each other. If they are interconnected, they give rise to new solutions. For example, the connection between artificial intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT) will bring about an efficiency in business processes and reduce CO<sub>2</sub> emissions. As a result of these technology combinations, people will experience more progress over the next decade than in the last 100 years. Not one sector, not even the Armed Forces, will be spared from the change which the convergence of technologies has accelerated.

**ETHICAL ASPECTS IN THE APPLICATION OF TECHNOLOGY**

It is not the technology alone that is decisive, but rather what is possible with the combination of technologies. And it is not the technology itself that is controversial, but its application: artificial intelligence is all well and good when used in the diagnosis of cancer, but not when used with autonomous weapon systems.

**Building the right mindset: Army4.0**

The mindset behind Army4.0 is an important step towards the future. In addition to organisational and cultural changes, such as heightening appeal, these include the increase in willingness over time. But also to address the challenges of the 21st century quickly and effectively and to develop capability management. However, it is often difficult enough to define the skills we will need in five years. This applies not only to society, but also to the Armed Forces. How will we manage to build up the skills that will be relevant in twenty years? One key element is strategic technology management.

The goal of technology management at armasuisse S+T is to transfer the technological developments to the time axis. These technology roadmaps help, among other things, to make the most appropriate decision during procurements and to derive various possible future scenarios.

**How armasuisse S+T runs technology management**

One key principle of technology management for Army4.0 lies in the question: “Which technologies can be used to achieve the military capabilities required in the future?” This fundamental question places the future challenges of the Armed Forces in the focus of further development. It is not the technology alone that is decisive, but rather what is possible with the combination of these technologies and how they support the Armed Forces in exercising their abilities. Various methods are used to achieve realistic results. These methods of technology management include roadmapping, think tank impulses, environmental and expert workshops, exchange with industry and monitoring. These methods are embedded in the technology management cycle.



What is possible, when, with this technology? Augmented reality not just on paper, but in field trials.

**THREE EXAMPLES OF OUTPUTS FROM TECHNOLOGY MANAGEMENT**

- 1. Technology roadmaps**
  - Focusing on knowledge and making it visible
  - Developing shared ideas
  - Chance to compare with third parties (Industry Exchange Days)
  - Basis for strategic roadmaps and impulse papers
- 2. Impulse papers**
  - Out-of-the-box ideas
  - Based on technological trends (such as forecasting) or expertise
  - Current, relevant and independent
  - Input for innovation projects
- 3. Strategic roadmaps**
  - Why: Trends, security policy aspects, politics
  - What: Applications
  - How: Technologies, resources

To simply do nothing and hope that everything will still be the same in twenty years would be irresponsible. That is why armasuisse S+T is researching together with the Armed Forces on topics of the future. Let us therefore prepare ourselves for future challenges together and try to keep pace with technological change. For the current and future security of Switzerland.



**DR. MICHAEL JÄGER**  
Scientific project manager

Dr Michael Jäger has been working as a scientific project manager at armasuisse Science and Technology since 2016. In the area of technology management, he is active at the interface of technology forecasting, research and innovation.

# Das Unsichtbare sehen – Wie Radarbilder Wolken durchdringen

Für Erdaufnahmen werden oftmals Kameras auf Satelliten und Flugzeugen eingesetzt. Doch schlechte Wetterbedingungen sowie die Tageszeit können die Qualität der Bilder stark beeinträchtigen. Für solche Bedingungen untersuchen Mitarbeitende des Forschungsprogramms «Aufklärung und Überwachung» von armasuisse Wissenschaft und Technologie eine Lösung. Sogenannte abbildende Radargeräte ermöglichen Bilder der Erdoberfläche auch bei Wolken und in der Nacht. Deshalb ist die Armee an dieser Methode und an den Erkenntnissen von armasuisse W+T sehr interessiert.

**Text:** Dr. Peter Wellig

SAR-Aufnahme von der Stadt Zug mit dem Forschungssensor MIRANDA-35

## Satelliten über der Ukraine

Erinnern Sie sich noch an die plötzliche russische Invasion in die Ukraine Ende Februar 2022? Russische Truppen waren in vielen Grenzregionen in die Ukraine eingedrungen, im Norden aus Weissrussland, im Osten von den Provinzen Donezk und Luhansk und im Süden von der Krim aus. Dabei setzten die russischen Truppen massive Kriegsgeräte wie Panzer ein und es bildeten sich Kolonnen von Fahrzeugen. Um das Land erfolgreich zu verteidigen und die Zivilbevölkerung zu schützen, war die ukrainische Armee zu jedem Zeitpunkt auf Informationen des Nachrichtendienstes angewiesen. Solche Informationen betrafen beispielsweise die aktuellen Standorte, Verschiebungen und Truppenstärken des Gegners und basierten insbesondere auf ausgewerteten Satellitenbildern von befreundeten Staaten.

**«Doch ausgerechnet Anfang März 2022 lag eine grosse Wolkenschicht über weiten Teilen der Ukraine. Der Blick nach unten auf die Erdoberfläche war für mehrere Tage nicht möglich.»**

Auf den visuellen und infraroten Satellitenbildern wurden nur Wolken dargestellt. Doch selbst bei wolkenfreiem Himmel zeigten visuelle Satellitenbilder abends und nachts nicht, wohin sich die Truppen verlagert haben. Wie kann man trotz Dunkelheit oder Wolkenschicht herausfinden, wo sich militärische Truppen befinden?

## Radarbild der Erdoberfläche

Die Lösung sind Bilder von Spionage- und kommerziellen Satelliten, die Radarwellen verwenden. Denn die elektromagnetischen Radarwellen durchdringen problemlos Wolken, Dunst und Rauch. Und dies auch in der Nacht. Deshalb generieren diese sogenannten abbildenden Radarsysteme auch bei Wolken und in der Nacht Aufnahmen der Erde aus weiter Ferne. Doch wie funktionieren diese Satelliten im Detail?

Im sogenannten Streifenmodus ist während der Bildaufnahme die Radarantenne auf dem Satelliten seitwärts zur Flugrichtung gerichtet und zeigt nach unten auf die Erdoberfläche. Indem sich der Satellit vorwärtsbewegt und seine Antenne seitlich ausgerichtet ist, entsteht ein Aufnahmestreifen parallel zu seiner Flugbahn. Noch weiter verbessert werden kann die Bildauflösung in einem anderen Aufnahmemodus, dem sogenannten Spotlight Modus. Bei diesem nimmt der vorbeifliegende Radarsatellit nicht einen Streifen auf, sondern beobachtet ein Gebiet über eine längere Zeit, das jeweils fünf Kilometer lang und breit ist. Das erreicht der Satellit, indem er den Antennenstrahl lenkt und die Ausrichtung auf das Gebiet nachführt.

In der englischen Sprache werden abbildende Radarsysteme Synthetic Aperture Radar genannt – kurz SAR. Das Radarbild oder eben SAR-Bild erzeugt eine zweidimensionale Darstellung eines Geländes und ähnelt auf den ersten Blick einer Fotoaufnahme der Erde. Doch das täuscht. Ein heller Bildpunkt deutet an, dass ein grosser Anteil der ausgesendeten Radarwelle zurückgestrahlt wurde, ein dunkler hingegen entspricht einer schwachen Radarrückstrahlung. Somit stellt das SAR-Bild die Rückstreuung

## Aufnahmeprinzipien – Streifenmodus und Spotlight-Modus

«Synthetic Aperture Radar (SAR)»-Geräte werden auf Flugzeugen, Helikoptern oder Satelliten integriert. Die Antennen sind seitwärts und schräg nach unten ausgerichtet. Im sogenannten Streifenmodus erstellt das Radargerät parallel zur Flugrichtung einen Aufnahmestreifen der Erdoberfläche. Im Spotlight-Modus hingegen werden Aufnahmen eines Gebietes mit quadratischer Fläche gemacht. Dies wird durch Lenkung des Antennenstrahls und Fokussierung auf das überfliegende Gebiet ermöglicht. Der Spotlight-Modus erreicht eine bessere Bildauflösung als der Streifenmodus, allerdings ist die Flächenleistung kleiner.

der Radarwellen von der Erdoberfläche für eine bestimmte Abbildungsgeometrie sowie für die gewählten Radarparameter dar. Deshalb benötigt jemand, der diese Bilder auswerten will, gute Kenntnisse zu Streumechanismen und Radargrundlagen. Interessant ist, dass durch den Vergleich von mehreren SAR-Bildern kleinste Veränderungen auf der Erde erkannt werden können. Gar im Millimeterbereich berechnete die Schweizer Firma sarmap SA aus Caslano Veränderungen von Staudämmen. Und das ist doch sehr erstaunlich, wenn man an die grosse Distanz von 700 Kilometern vom Satelliten zur Erde denkt.

## Aufklärungsbilder bei jedem Wetter

Auch die Schweizer Armee hat Interesse, bei jedem Wetter und zu jeder Tageszeit aufzuklären. Deshalb ist sie an eigenen SAR-Systemen auf Drohnen und Flugzeugen sowie an entsprechenden Satellitenbildern interessiert. Allerdings stellen sich viele offene Fragen zu dieser Technologie. Zum Beispiel, ob sich die SAR-Technologie für das Schweizer Gelände überhaupt eignet. Denn die beste Bildqualität erreicht ein SAR-System bei Aufnahmen von einem flachen Gelände. Hügel und Gebirge hingegen erzeugen auf den SAR-Bildern störende Abbildungseffekte, was die Interpretation der Bilder erschwert. Sind SAR-Systeme auch dazu geeignet, ein Gebiet stundenlang zu überwachen? Mit Videokameras auf Flugzeugen und Drohnen ist die Überwachung eines Gebiets bereits seit Jahren möglich, sofern keine Wolken vorhanden sind. Nämlich durch Kreisflüge und indem die Kameras auf das Gebiet zeigen und nachgeführt werden. Dies im Gegensatz zu SAR-Systemen. Sie wurden für Aufnahmen von Längsstreifen und nicht für Kreisflüge entwickelt. Neue Fortschritte in der Antennentechnologie und beim Generieren der Bilder erlauben jedoch auch Aufnahmen bei Kreisflügen. Deshalb sind seit einiger Zeit auch Überwachungsmissionen mit SAR-Systemen auf bemannten Flugzeugen sowie Drohnen möglich. Zusätzlich lassen sich diese grundsätzlich 2-dimensionalen Abbilder auch mit Informationen zur dritten Dimension, der Höhe, ergänzen. Mit dieser Information könnten beispielsweise Radarbilder von urbanen Szenen besser interpretiert werden. Technisch realisieren lässt sich dies, indem mehrere Antennen zum Einsatz kommen. So zeigen Forschungsergebnisse zu 3D-SAR das Potenzial von 3D-Radarbildern auf.

## Vier Antennen erkennen kleinste Objekte

Der Armeestab, das Kommando Operationen und wir von armasuisse W+T haben das Potenzial, aber auch die Komplexität sowie die Risiken der SAR-Technologie erkannt. Deshalb verfolgen und beurteilen wir zusammen mit Partnern die neusten Entwicklungen.



Foto des Leichtfliegers Delphin auf dem Flugplatz in Grenchen. Das Forschungsgerät MIRANDA-35 ist in dem weissen Pod unterhalb des rechten Flügels integriert.



Das Forschungsgerät MIRANDA-35 wird von einer Bodenstation aus gesteuert. Hierzu dient eine Funkdatenverbindung.

Beispielsweise führen wir mit dem Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR aus Deutschland Untersuchungen zum Forschungsgerät MIRANDA-35 durch. Dieses Forschungsgerät erlaubt uns zu testen, wo SAR-Systeme in Zukunft zum Einsatz kommen könnten. So können wir auf alle seine Messdaten und Zwischenresultate zugreifen, was bei einem eingeführten militärischen System in der Regel nicht möglich ist.

Das Radarsystem MIRANDA-35 ist mit vier Empfangsantennen ausgestattet. Damit lassen sich vier SAR-Bildstreifen mit einer Bildpunktauflösung von aktuell zehn Zentimetern aufnehmen. Das heisst: wir können zwei Objekte am Boden, die mehr als zehn Zentimeter auseinanderliegen, klar unterscheiden. Diese Auflösung ist im Gegensatz zu der Auflösung von visuellen

Kameras unabhängig von der Distanz. Das heisst, die zehn Zentimeter Auflösung lassen sich bei einer beliebigen Flughöhe erreichen.

Äusserst anspruchsvoll ist es, aus den empfangenen Radarechos ein Bild zu generieren. Würde man lediglich die Radarechos in einem Bild darstellen, liesse sich nur ein schwarzes Bild mit einzelnen weissen Streifen erkennen. Das wäre also ein Bild ohne Nutzen. Um ein Ziel am Boden trotzdem in einem Bild zu erkennen – etwa ein Fahrzeug – müssen Hunderte oder gar Tausende von Radarechos mit speziellen Algorithmen weiterverarbeitet werden. Wie man solche Radarbilder generiert, wissen etwa Fachleute am Geographischen Institut der Universität Zürich, welche bereits MIRANDA-Daten zu einem Bild verarbeitet.



Während einer SAR-Aufnahme fuhren Mitarbeiter von W+T einen Lastwagen, der mit Messgeräten und sogenannten Radarreflektoren ausgerüstet war. Damit konnte überprüft werden, ob die Geschwindigkeiten und Fahrrichtungen des Lastwagens korrekt durch das Forschungsgerät gemessen wurden.

### Hält die SAR-Technologie, was sie verspricht?

Zur Qualitätsanalyse und um die Grenzen von neuen Anwendungen zu untersuchen, bauten wir von armasuisse W+T und der Universität Zürich spezielle Messanordnungen in den überflogenen Testgebieten auf. Beispielsweise verteilten wir sogenannte Radarreflektoren am Boden, um die Qualität der Bilder zu testen. Bei den Radarreflektoren ist bekannt, wie viele Anteile der Radarwellen zurückgestrahlt werden. Basierend auf diesen bekannten Eigenschaften berechneten wir, wie hell der entsprechende Bildpunkt auf dem Radarbild erscheinen sollte. Durch den Vergleich des theoretischen Wertes mit dem gemessenen SAR-Bildpunkt konnten wir die Qualität des SAR-Bildes und somit die des Gesamtsystems abschätzen. In einem weiteren Versuch statteten wir Fahrzeuge mit Radarreflektoren und GPS-Empfängern aus. Damit beurteilten wir, wie gut die automatische Erkennung von bewegten Zielen war und ob die Geschwindigkeit der Fahrzeuge korrekt gemessen wurde, was in der Tat der Fall war. Auch testeten wir die Möglichkeiten der SAR-Technologie bis an ihre Grenzen. Zum Beispiel überprüften wir, ob Menschengruppen oder sogar einzelne Menschen auf den SAR-Bildern zu erkennen sind. Der Mensch streut im Gegensatz zu einem Fahrzeug nur einen kleinen Anteil der Radarwellen zurück. Aber auch dies liess sich messen.

### Elektronische Kriegsführung auch bei Radarsatelliten

Kommen wir zum Schluss auf die SAR-Satellitenbilder der Ukraine zurück. In den Monaten vor der russischen Invasion wurde der europäische Radarsatellit Sentinel-1A bei Aufnahmen des Grenzgebietes zwischen Russland und der Ukraine gestört. Das heisst, der Satellit wurde bewusst mit einer elektromagnetischen Strahlung vom Boden aus bestrahlt. Das bedeutete, dass die SAR-Bildaufnahmen des überflogenen Gebietes nicht verwertbar waren. Unser Forschungspartner sarmap SA und unsere Fachexperten bei armasuisse W+T untersuchen nun, ob sich diese starke Störung aus den Radarechosignalen filtern lässt und ob trotz Störung eine brauchbare Aufnahme dieses Abschnitts generiert werden kann. Diese Untersuchungen erlauben uns zu beurteilen, inwiefern generische Störungen in SAR-Geräten unterdrückt werden können.

#### Eckdaten des Forschungsgerätes MIRANDA-35

*Betriebsfrequenz:* 35 Gigahertz

*Bildauflösung in Entfernungsrichtung:*  
10 cm

*Flughöhe über Boden bei Aufnahme:*  
600 m – 3000 m

*Anzahl Empfangskanäle:* 4

*Flugplattformen:* DA42 CENTAUR  
von armasuisse und Delphin von  
Fraunhofer FHR

*Forschungspartner:* Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR, Universität Zürich, armasuisse Kompetenzbereich Luftfahrtssysteme



**DR. PETER WELIG**

Leiter Forschungsprogramm

Seit 2008 leitet Dr. Peter Wellig bei armasuisse Wissenschaft und Technologie das Forschungsprogramm Aufklärung und Überwachung. Er zeigt in dem Forschungsprogramm neue Möglichkeiten zur Informationsbeschaffung auf, beispielsweise für die Luftraumüberwachung, Bodenaufklärung oder für die wetterunabhängige Bildaufklärung. Herr Wellig ist promovierter Elektroingenieur ETH mit Weiterbildungen in Projekt- und Forschungsmanagement. Er ist seit dem Jahr 2016 Vertreter der Schweiz in dem Sensor- und Elektronik-Panel der Forschungsorganisation der NATO, bei der die Schweiz im PfP-Mandat partizipiert.

# PAR LES LIENS DU SENS : armasuisse Sciences et technologies x AgenceProton

Avec des imaginaires technologiques, AgenceProton embarque armasuisse Sciences et technologies dans des univers fictionnels, proches de la réalité. Découvrez les coulisses de cette collaboration originale.

Interview avec Gaëlle Rey, réalisée par Anela Ziko

## Chère Gaëlle Rey, décrivez ce que vous faites dans votre travail quotidien.

Avec mon associé Etienne Guerry, nous sommes partis du constat que bien trop souvent les innovations technologiques sont majoritairement incrémentales plutôt que de rupture. Dans les grandes organisations, les talents sont là, mais les équipes R&D s'auto-censurent, et enterrent les idées les plus différenciantes à la seconde même où elles sont énoncées. Or ces idées sont celles qui portent les germes de la plus forte création de valeur ! Face à l'accélération de la course à l'innovation technologique et à l'accroissement de la compétition mondiale, nous avons donc décidé de mettre à profit nos expériences respectives pour nous attaquer à ce problème de fond.

Et cela commence par aller au cœur des organisations, à comprendre leur culture organisationnelle, à s'acculturer à leurs méthodes de travail, et à prendre la mesure de la complexité de leurs produits. Nous sommes portés par l'engagement d'accompagner les structures (Centres de recherche, Etats, Industries, ...), dans une démarche d'introspection créative. Cela consiste à déconstruire l'environnement familier du concepteur, à changer le regard sur les automatismes. A titre d'exemple, nous pouvons créer des jeux de rôles sur-mesure, intégrant des contraintes et des possibilités différentes du Monde réel. Ce peut être une nouvelle physique et des matériaux exotiques, une supply-chain contrôlée exclusivement par des intelligences artificielles, ou qui fonctionne sans énergie fossile. Nous pouvons nous affranchir des règlements en vigueur, et déclarer les déchets illégaux, donner une personnalité juridique aux ressources de la nature, à un écosystème spécifique ... Y a pas de limites !

Au sein de l'AgenceProton, notre quotidien est d'accompagner les stratégies, les décideurs et les visionnaires des organisations à forte composantes technologiques, dans un Monde aux ressources finies. En apportant des méthodes sur-mesure d'innovation et de créativité qui stimulent les énergies positives et l'intelligence collective par l'imaginaire, nous aidons à générer une nouvelle dynamique de transformation.

## Comment se présente la collaboration entre vous et armasuisse Sciences et technologies ?

La rencontre avec armasuisse s'est faite par le réseau que j'avais

développé, du temps où je dirigeais une plateforme technologique franco-suisse. Pendant près de dix ans (de 2009 à 2019), avec mon équipe d'ingénieurs et de docteurs, nous avons produit des innovations de rupture pour nos actionnaires privés et publics, et de façon plus large pour des grands groupes. Pour ce faire, nous développons ou allions chercher des briques technologiques issus de laboratoires de recherche, d'écoles et d'universités. Cette quête m'a conduit à collaborer de façon transfrontière, avec aussi bien le Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM), le CERN, l'Université de Genève (UNIGE), de Lausanne (UNILE) et de Neuchâtel (UNINE), côté suisse ; que le CEA, l'Université Grenoble-Alpes (UGA) et Savoie Mont Blanc (USMB), côté français. J'ai repris ensuite mes études à l'Ecole Polytechnique à Paris dans le cadre d'un Executive Master en « Technologie, Management et Innovation ». Et au sortir de mon parcours diplômant, en 2021, alors que j'avais exprimé dans mon entourage professionnel, le souhait de faire de la créativité et de travailler sur les imaginaires technologiques, Quentin Ladetto m'a contacté !

A l'allumage, il y a eu l'envie de travailler ensemble, avec chacun l'esprit large et le regard neuf. Et quand Quentin Ladetto m'a précisé son rôle et son ambition au sein d'armasuisse S+T, j'étais en ébullition. Il souhaitait agréger des énergies et des talents dans l'émergence et la conduite de projets expérimentaux et novateurs. Oui c'était pour l'Armée suisse, une institution qui peut intimider ! Toutefois, avec Quentin Ladetto nous nous sommes reconnus dans une même aspiration, celle de mettre la créativité au service d'une vision. Et puis très vite, Etienne Guerry s'est greffé à l'aventure. Tout s'est fait, j'ai envie de dire « naturellement », comme une évidence, sans lourdeur administrative excessive et portés par la joie d'avoir presque « carte blanche » – dans les conditions générales bien sûr.

Le périmètre de la première mission s'est dessiné dans des réunions préparatoires, où la confiance réciproque a d'emblée installé un climat serein. Quentin Ladetto est un leader, et il sait amener en douceur un cadre, tout en ne bridant pas nos premières idées balbutiantes. Je dirai que la collaboration a démarré dans une grande fébrilité. En toile de fond, il y a tout de même la responsabilité écrasante de servir l'Armée Suisse. Et la production n'en ait que plus gratifiante !

### A quels projets de recherche participez-vous ?

Nous évoluons au sein du programme de recherche « Prospective technologique » d'armasuisse Sciences et technologies (S+T), piloté par Quentin Ladetto. La mission première de la prospective technologique consiste à identifier et à analyser les technologies du futur. Au côté des experts autour de Quentin Ladetto, Etienne Guerry et moi-même sommes plutôt des « trublions », des créatifs comme des « éponges », capteuses de tendances. Notre travail de recherche consiste à aller vers des propositions originales, partant de sourcing de technologies. Nous avons par exemple réalisé une série de fiches produits plausibles, au service du Soldat du Futur, à l'horizon 2040–2050. Pour cela, nous avons mis en œuvre une méthode éprouvée, encore peu répandue, celle du Design Fiction.

Sur la base du rapport prospectif de la SATW (Académie suisse des sciences techniques) Technology Outlook 2021, le projet a visé à fournir une couche d'information ainsi qu'une interprétation supplémentaire des tendances technologiques en mettant en évidence leurs applications possibles dans l'environnement des forces armées. Le travail a intégré des éléments rédactionnels, graphiques et artistiques. La méthodologie a évalué également l'effort nécessaire pour ajouter une composante spécifique de défense à un travail qui se concentre exclusivement sur les tendances technologiques civiles. Entre héritage et emprunt, nous avons imaginé des produits sur la base de spécifications techniques mi-réalistes mi-fantaisistes.

De façon plus générale, notre travail dans ce projet de recherche est de transformer davantage de difficultés en défi créatif, que ce soit par l'imagination, l'exploration et l'expérimentation. C'est en tous les cas la conviction partagée entre Quentin Ladetto et l'AgenceProton. Par effet de rebonds intellectuels, nous imaginons d'autres applications potentielles des produits ou d'autres axes de développement impensés jusqu'alors. Ensemble, nous partageons des moments formidables de questionnements, de foisonnements, favorisés par la facilité avec laquelle se transmette entre nous, les idées et les initiatives.

### Qu'avez-vous pu gagner pour vous-même et pour votre domaine grâce à la collaboration avec armasuisse S+T

En 1995, je rejoins le groupe Développement Electronique de Thales Optronique, comme jeune ingénieur micro électronicienne. Une fois passé l'émerveillement, je prends très vite la mesure des défis à relever, à mon échelle et à ceux de l'organisation. La première guerre du Golfe est encore dans tous les esprits et les préoccupations. La société a des produits qu'elle doit réussir à imposer sur son marché, et d'autres à lancer. Une véritable compétition entre quatre caméras thermiques européennes s'est ouverte quelques mois plus tôt, pour équiper le viseur de l'hélicoptère TIGRE destiné au marché français. CATHERINE est présentée pour relever le défi, et tous les moyens nécessaires sont donc mobilisés. L'équipe autour de moi s'affaire et mise sur la réussite d'une présentation en condition réelle, dont l'enjeu est capital. Pour ma part, je me vois intégrée dans un projet stratégique connexe, celui du développement d'un circuit intégré pour la première caméra thermique portable destinée au champ de bataille. Sa spécification est redoutable de par sa simplicité : 2-2-2 (voir à 2 km, peser 2 kg et coûter 200 000 francs). J'ai la conscience forte de travailler pour le Soldat du Futur. Nous

sommes près de 30 ans en arrière. Aujourd'hui ces jumelles sont plus connues sous le nom de SOPHIE et équipent des milliers de soldats. Grâce à armasuisse S+T je retrouve cette fébrilité, le premier élan qui m'a porté vers Thales Optronique : celui d'imaginer et d'infléchir sur des choix technologiques, qui dessineront le Soldat du Futur. En l'occurrence, nous nous projetons dans 30 ans, celui de 2050. Quand nous sommes dans une équipe R&D comme je l'ai vécu, nous restons éloignés du terrain des opérations militaires et des conflits. Et nous n'avons pas accès aux usagers de nos innovations, à savoir le soldat. J'en ai toujours nourri une frustration. Dans bien d'autres domaines, que ce soient le luxe, l'agro-alimentaire, la synergie entre concepteurs et utilisateurs/usagers/clients va de soi. Avec la collaboration armasuisse S+T, j'ai pu rompre avec ce non-sens. Nous avons accès au personnel militaire avec comme point d'orgue, des événements d'intelligence collective comme par exemple DEFTECH. La richesse des échanges est d'autant plus forte, que cette proximité est attendue de part et d'autre.

Quant à l'AgenceProton, ma nouvelle aventure entrepreneuriale, compter armasuisse S+T parmi ses tout premiers clients, est gage de sérieux et de crédibilité. L'offre en conseil en innovation est foisonnante et cela distingue. C'est un atout qui va nous accompagner Etienne Guerry et moi-même, dans l'affirmation de notre différence et le développement de notre entité.



**GAËLLE REY**  
Co-fondatrice AgenceProton

Gaëlle Rey, ingénieur en architecture de systèmes complexes, a un parcours fortement orienté innovation technologique. Elle a dirigé des équipes pluridisciplinaires à l'échelle internationale. Son travail l'a conduit progressivement à intégrer des champs créatifs, décloisonnant ainsi les savoirs techniques. Elle aime maturer des solutions disruptives, éprouver des potentialités et des sens possibles. En tandem avec Etienne Guerry au sein de l'AgenceProton, elle engage une dynamique de transformation des organisations.



**ETIENNE GUERRY**  
Co-fondateur AgenceProton

De formation en communication et sciences de gestion, Etienne Guerry travaille la scénarisation de l'innovation, de la Recherche à l'Industrie. Fort de sa culture scientifique et de sa passion pour la Science-Fiction, il s'approprie dans une démarche créative, des outils de production graphique et de facilitation. Il fonde l'AgenceProton avec Gaëlle Rey afin d'explorer à deux les productions d'imaginaires dans les grandes organisations à forte composante technologique.

