

Technologiefrühaufklärung im Verteidigungsbereich ¹

Matthias Grüne

Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT
Appelsgarten 2, 53879 Euskirchen

Juli 2012

Die moderne Zukunftsforschung entstand nach dem Zweiten Weltkrieg zunächst aus dem militärischen Sektor der USA heraus.² Die grundsätzliche Fragestellung war, worauf man sich in der Zukunft einzustellen habe, um langfristige, strategische Orientierungen vornehmen und Planungsentscheidungen treffen zu können. Es war also von Anfang an eine auf praktische Konsequenzen ausgerichtete Forschungsrichtung. Eine nicht unwichtige Facette dieser Gesamtfragestellung war die erwartete zukünftige Technologieentwicklung. Die militärische Bedeutung des im Verlauf des Zweiten Weltkrieges rasanten technischen Fortschritts war überdeutlich geworden. Da die Technik zunehmend komplex wurde und technische Systeme oft nicht mehr von einzelnen Ingenieuren oder Wissenschaftlern vollständig durchschaubar waren, wurde ein systematisches und breites Vorgehen zur Zukunftsabschätzung der fortschreitenden Hochtechnologie für Sicherheitspolitik und militärische Planung immer unverzichtbarer.³

Heutzutage ist wehrtechnische Zukunftsanalyse zum Zwecke der Planungsunterstützung wichtiger denn je. Der technische Fortschritt und durch diesen ausgelöste Veränderungen menschlicher Möglichkeiten und Verhaltensweisen haben sich besonders durch die IKT-Revolutionen⁴ erheblich beschleunigt. Dabei befindet sich die Wehrtechnik seit mehreren Jahrzehnten bis auf Ausnahmen nicht mehr an der Spitze des technischen Fortschritts.

Dazu kommt der fortschreitende politische Wandel nach dem Ende des Kalten Krieges, dem 11. September 2001 und dem Arabischen Frühling. Zusammen haben diese Entwicklungen zu erheblichen und weiter im Fluss befindlichen Veränderungen des erwarteten Aufgabenspektrums für Streitkräfte geführt.

¹ Erschienen in: Popp, Reinhold/ Zweck, Axel (Hg.) (2013): Zukunftsforschung im Praxistest. Zukunft und Forschung Band 3. Wiesbaden, 195-230. DOI 10.1007/978-3-531-19837-8_9

² (Kreibich 2006). Eine wichtige Rolle spielte hier die 1945 bzw. 1948 zum Nutzen der US Air Force gegründete RAND Corporation (Campbell 2004, Listone/Turoff 2002).

³ Die so entstandene technologiebezogene Zukunftsforschung war zunächst stark darauf ausgerichtet, quantitative Modelle zu entwickeln und anzuwenden. Nach einem halben Jahrhundert (auch desillusionierender) Erfahrung sind aus einer Reihe von Gründen qualitative Ansätze mittlerweile in den Vordergrund getreten.

⁴ IKT = Informations- und Kommunikationstechnik

Seitens der militärischen Planung wird darauf mit neuen Doktrinen wie „Transformation“ (sich stetig reformierende Streitkräfte), „Vernetzte Sicherheit“ (ressortübergreifend), „Homeland Security“ usw. reagiert, die einen höheren Beratungsbedarf auch bezüglich zukünftiger technologischer Rahmenbedingungen generieren.

Schließlich zeigt nicht zuletzt die Erfahrung der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts mit militärischen Großprojekten mit Planungs- und Entwicklungszeiten von mehreren Jahrzehnten, dass die Planung dynamischer werden muss. Gleichzeitig erzwingt die Haushaltsmittelverknappung in allen westlichen Staaten die Priorisierung von Forschungs- und Rüstungsvorhaben (d.h. gleichzeitig die selektive Aufgabe solcher Vorhaben). Dies stellt die wichtigste Aufgabe der Rüstungsverantwortlichen dar und erfordert intensive Beratung bezüglich der zu erwartenden technologischen Entwicklung.

Die erforderliche Auseinandersetzung mit der technologischen Zukunft muss insbesondere eine Frühwarnfunktion vor sich abzeichnenden Diskontinuitäten bzw. umwälzenden Veränderungen erfüllen. Zum anderen sollen aber auch Chancen herausgearbeitet werden, die die eigene Forschungsplanung aufgreifen sollte. Notwendige Elemente des Vorgehens sind zunächst die Identifikation aufkommender zukunftsrelevanter Technologiethemata sowie deren Analyse und Bewertung auf Anwendungspotenziale, technologisches und nichttechnologisches Umfeld sowie Entwicklungsdynamik hin. Hieraus sind die Prognose ihrer langfristigen Entwicklungen und die Analyse ihrer Relevanz bezüglich des Anwendungsbereiches (hier einschließlich eines etwaigen militärischen Bedrohungspotenzials) ableitbar. Um das so gewonnene Lagebild technologisch wahrscheinlicher Zukünfte aus dieser „Erkenntniswelt“ in die „Handlungswelt“ der Entscheidungsträger transferieren zu können, muss es im Hinblick auf die Implikationen für Zielfindung und Strategiegenerierung interpretiert werden (Wiemken 2009 und 2010). Schließlich ist die Implementierung der Ergebnisse in die vorhandenen Strategie- und Planungsprozesse erforderlich. Ein solches Vorgehen wird heute (insbesondere im Bereich von Unternehmen) insgesamt als Technologiefrühaufklärung oder Technologiefrüherkennung bezeichnet (Achatz/Braun/Sommerlatte 2012, Zweck 2009, Weimert 2009). Ein Beispiel für deren konkrete Umsetzung im Verteidigungsbereich ist die weiter unten beschriebene „Wehrtechnische Vorausschau“.

(Militarily) Disruptive Technologies

Im Bereich der wehrtechnischen Zukunftsanalyse gibt es eine Reihe internationaler Kooperationen im zwischenstaatlichen, europäischen und NATO-Kontext. Hier hat man sich in den letzten Jahren auf eine zentrale, gemeinsam zu untersuchende Fragestellung verständigt: die Suche nach „*Disruptive Technologies*“. Dieser Begriff wurde ursprünglich einer ökonomischen Betrachtung der Computerindustrie entlehnt, bei der Disruptive Technologies solche Technologien bezeichnen, deren Durchsetzung am Markt die Spielregeln eines Marktes massiv verändern bzw. mächtige Marktteilnehmer bei Nichtbeachtung von

diesem verdrängen können.⁵ Ein weiteres Beispiel wäre die Digitalfotografie, die auf völlig anderen technologischen Grundlagen beruht (und damit andere Branchen ins Spiel bringt) als die klassische, chemische Fotografie, der sie anfangs hoffnungslos unterlegen war. Im Kontext der Rüstungsplanung wurde dieser Begriff inzwischen analog als „planungsbrechend“ definiert: „Eine *Disruptive Technology* im Bereich Verteidigung und Sicherheit stellt eine technologische Entwicklung dar, die die militärische Operationsführung beträchtlich verändert ... und eine Anpassung des Planungsprozesses und der langfristigen Zielfindung erzwingt.“⁶ Dieser „planungsbrechende“ Charakter (die „Disruption“) kann sich auf einen breiten Bereich von Operationen von Streitkräften oder Sicherheitskräften beziehen, aber auch auf eine begrenzte Schar von Operationstypen.

Die Ermittlung und Charakterisierung technologischer Themen, die als Kandidaten für derartige *Disruptive Technologies* angesehen werden, stellt letztlich den Versuch dar, zukünftige, technologisch getriebene Paradigmenwechsel, wie sie etwa die durch die IKT-Entwicklung angestoßene „Revolution in Military Affairs (RMA)“ darstellt, vorauszuahnen. Diesem Vorgehen dient eine Technologiebewertung anhand fester Vorgaben sowie der internationale Abgleich der Ergebnisse im Rahmen eines ständigen, institutionalisierten Diskurses. Dazu gehört auch das Planspiel „Disruptive Technology Assessment Game“, auf das weiter unten eingegangen wird.

Technologiefrühaufklärung im Fraunhofer INT

Das Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT in Euskirchen leistet seit fast 40 Jahren Technologiefrüherkennung bzw. -aufklärung im Auftrag des deutschen Bundesministeriums der Verteidigung. Dabei hatte stets die praktische Nützlichkeit der Ergebnisse Vorrang vor wissenschaftstheoretischen und methodischen Grundsatzüberlegungen. Andererseits mussten sich die Analyseergebnisse in einem Umfeld bewähren, wo es zu jeder Fachfragestellung Experten mit tiefer gehender Fachkenntnis

⁵ Genauer gesagt entwickelt sich eine ökonomisch verstandene *Disruptive Technology* abseits des Mainstream-Marktes in einem (evtl. neuen) Nischenmarkt, bis sie zu einem gewissen Punkt aufgrund erheblich verbesserter Performance bei gleichzeitig erheblich gestiegenen Marktbedürfnissen den Markt plötzlich übernimmt und Firmen fatal überraschen kann, die sich immer nur an den (kürzerfristigen) Kundenbedürfnissen orientiert haben (Bower/Christensen 1995, Christensen 1997). Ähnliche Schwelleneffekte können auch für *Disruptive Technologies* im Bereich Verteidigung und Sicherheit erwartet werden.

⁶ “A Disruptive Technology in the realm of defence and security represents a technological development which significantly ‘changes the rules or conduct of conflict’ within one or two generations and forces the planning process to adapt to it and to change the long-term goals.” (Ruhlig/Wiemken 2006, 7)

“A Disruptive Technology stands for a technological development which changes the conduct of operations (including the rules of engagement) significantly within short time and thus alters the long-term goals for concepts, strategy and planning.” (López-Vicente/Rademaker 2011, 6-2)

gibt, so z.B. beim Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung. Hieraus ergab sich ein pragmatischer Anspruch auf wissenschaftliche Belastbarkeit, sowohl bezüglich der Vorgehensweise als auch der Inhalte.⁷

Technologie-Binnenperspektive

Die Fragestellung der Technologiefrühaufklärung kann unterschiedliche Perspektiven einnehmen. Die naturwissenschaftlich-technologische Perspektive ist geprägt von der Fragestellung, welche Technologien absehbar zukünftig zur Verfügung stehen werden und wie sich die technologischen Fähigkeiten/Möglichkeiten mit hoher Wahrscheinlichkeit entwickeln werden. Daneben beschäftigen sich die soziologisch-politologische und die ökonomische Perspektive mit Fragen wie den sozioökonomischen Bedingungen für Technologieentwicklung (Technology-Push vs. Market-Pull) einschließlich des Wissenschafts- und Innovationssystems, der Technikfolgenabschätzung, der Rezeption des technischen Fortschritts, der beobachteten und antizipierten Entwicklung der Märkte. Alle diese Perspektiven sind vielfach miteinander verwoben, nicht zuletzt hinsichtlich der Triebkräfte von Entwicklungen. Jedoch ist das Gesamtsystem Technik/Wirtschaft/Gesellschaft zu komplex, um vollständige Zukunftsbilder mit aussagekräftiger Detaillierung seriös vorhersagen zu können.

Daher verfolgt das Fraunhofer INT von Anfang an den Ansatz einer Beschränkung auf die Domäne von Wissenschaft und Technologie selbst, unter weitgehender Ausblendung von sozioökonomischen Einflüssen. Damit sollen die *genuinen* Beiträge dieses Bereichs beschrieben werden, die den härtesten Realisierungsbedingungen unterliegen, nämlich der naturwissenschaftlichen prinzipiellen Möglichkeit und der technologischen praktischen Machbarkeit. Denn in der Naturwissenschaft (und somit auch in der Technik) sind nicht *alle denkbaren* Zukünfte auch *möglich (kontingent)*! Welche der möglichen Zukünfte wahrscheinlich sind, dafür ist wiederum der Zeithorizont ausschlaggebend.⁸

In der INT-Analyse ist allerdings sehr wohl die Untersuchung möglicher Anwendungen/Produkte/technischer Fähigkeiten enthalten. Sozioökonomische Faktoren usw. werden gewissermaßen als „Außenwelt“ betrachtet und über die Wahrnehmung gesellschaftlicher Megatrends⁹ (einschl. Konstanten) sowie über die Analyse wahrscheinlicher Zukünfte, wie sie z.B. von Regierungsinstitutionen

⁷ Ein solcher pragmatischer Ansatz wird auch in der angelsächsischen Bezeichnung „*Practitioners in Futures Research*“ widerspiegelt, die die Zukunftsforschung als angewandte Disziplin sieht mit der nutzbringenden Anwendung (und nicht dem „Elfenbeinturm“) als relevanter Situation.

⁸ Ein Modell zur kombinatorischen Evolution von Technologie findet sich in (Arthur 2009), zusammengefasst in (Agar 2009).

⁹ etwa aus einschlägigen Foresight-Studien

gesehen werden¹⁰, von Fähigkeitsforderungen der politisch-militärischen Entscheidungsträger¹¹ und von öffentlichen Förderprogrammen und deren Zielsetzungen berücksichtigt. Die Verknüpfung wird hier jedoch meist nur rückwirkend hergestellt, d.h. genuin naturwissenschaftlich-technische Trendaussagen werden auf zugeordnete Megatrends oder Zielvorgaben bezogen, die den jeweiligen Trend befördern. Es erscheint nicht möglich, aus übergreifenden sozioökonomischen Trends technische Innovationen abzuleiten, da erstere zwar Bedarf und Ressourcen für letztere schaffen, aber die Realisierung doch sehr harten genuin naturwissenschaftlich-technologischen Bedingungen unterliegt.

Schließlich ist es für die Nützlichkeit der Technologiefrühaufklärung wichtig, dass eine so erhaltene Zukunftsvorstellung zu einem gemeinsamen Zukunftslagebild (mit allen Bedingtheiten und Alternativen) für alle am Entscheidungsprozess Beteiligten, d.h. für die Streitkräfte (oder ggf. auch Sicherheitskräfte) als „Endnutzer“, für Rüster, Sicherheitspolitiker und Haushälter, wird. Daher wird immer wieder angestrebt, auch partizipative Elemente in den Prozess einzubauen (meist in Form gemischt besetzter Workshops, s. auch unten „Disruptive Technology Assessment Game“).

Kompetenzen

Zur Durchführung von Technologiefrühaufklärung im beschriebenen Sinne hat sich der Ansatz bewährt, neben Methoden- und Prozesskompetenz auch eigene Sachkompetenz, d.h. fachlich-inhaltliche Kompetenz bezüglich des Untersuchungsgegenstandes, aufzubringen. Es geht hierbei darum, die naturwissenschaftlichen Konzepte und Theorien, die hinter den bei der Technikbeschreibung verwendeten Begriffen stehen, zu verstehen und somit ein eigenes Verständnis für die funktionellen Grundlagen der untersuchten Technologien zu entwickeln. So ist eine eigene Urteilsfähigkeit realisierbar, die z.B. das substantiell Neue in neuen Entwicklungen herausdestillieren oder unterschiedliche Begriffsverwendung für gleiche Inhalte erkennen kann. Auch kann auf diese Weise sachgerechter eine hierarchische Struktur (bis hin zu eigenen Taxonomien) in den Objektraum hineingebracht werden, die unerlässlich ist, will man den gesamten weiten Bereich von Naturwissenschaft und Technologie einigermaßen überblicken. Es ist also eine *innerdisziplinäre* Sachkompetenz in *allen* natur- und ingenieurwissenschaftlichen Schlüssel-disziplinen wünschenswert, die natürlich nur als *interdisziplinäres* Team

¹⁰ einschl. dort verwendeter Szenarien und Schlüsselfaktoren. Im deutschen Verteidigungsbereich ist hier insbesondere das Dezernat Zukunftsanalyse im Zentrum für Transformation der Bundeswehr (zukünftig im Planungsamt der Bundeswehr) zu nennen.

¹¹ Diese sind für Deutschland u.a. niedergelegt in den Verteidigungspolitischen Richtlinien VPR (BMVg 2011), dem Weißbuch der Bundeswehr (BMVg 2006), der Konzeption der Bundeswehr KdB (BMVg 2004), offiziellen Szenaren (d.h. für die Fähigkeitenanalyse festgelegten fiktiven, aber recht konkreten Einsatzumgebungen – nicht zu verwechseln mit Szenarien), sowie in weiteren innerministeriellen Dokumenten im Planungsprozess.

realisiert werden kann. Dadurch wird auch eine Gesprächsfähigkeit mit Fachforschern bis auf eine gewisse Detailebene ermöglicht.

Ein weiterer Vorteil eines durchweg naturwissenschaftlich-technisch geprägten Vorausschauteams ist die gemeinsame Sprache¹², die ja in der Wissenschaft generell eine Verständigung auf gemeinsame Modellvorstellungen und Deutungskonzepte beinhaltet. So ist die Gewinnung eines fachübergreifenden „Gesamtlagebildes der wahrscheinlichen technologischen Zukunft“ als integriertes Ergebnis des Vorausschauteams auf der begrifflichen Ebene leichter.

Neben diesem „*Know-what*“, das die sachlich-inhaltliche Richtigkeit und Belastungsfähigkeit der Vorausschauergebnisse sicherstellen soll, ist jedoch auch eine Kompetenz zur Durchführung geeigneter und belastbare Ergebnisse versprechender Technologievorausschauprozesse, also ein „*Know-how*“ erforderlich. Dieses kann als Methoden- und Prozesskompetenz beschrieben werden (Weimert 2009).

Methodenkompetenz umfasst zum einen die Kenntnis und Anwendungsfähigkeit geeigneter kanonischer Methoden der Zukunftsforschung. Hier einen Überblick zu schaffen, erfordert wegen der dynamischen Begriffsverwendung und ständigen, kreativen Neukombination von Methodologien in der Community einen eigenen analytischen Aufwand.¹³ Darüber hinaus ist aber auch die sichere Anwendung und ggf. auch Reflexion der basalen wissenschaftlichen Arbeitsweise hier von grundlegender Bedeutung. Insofern sorgt eine so verstandene Methodenkompetenz dafür, dass die Technologiefrühaufklärung als wissenschaftliche Metafragestellung den Kriterien der Wissenschaftlichkeit (und einer durch diese sichergestellten Belastbarkeit) genügt.

Prozesskompetenz bezeichnet die Fähigkeit zum Maßschneidern des Prozessdesigns nach Kundenbedarf, möglichem Aufwand, Zeithorizont und verfügbaren Methoden sowie die kommunikative Kompetenz zur Durchführung des Prozesses. Darin ist sowohl die Klärung der zu untersuchenden Fragestellung enthalten als auch die Frage, wie im Verlauf der Erkenntnisgewinnung die flexible Anpassung des Prozesses zum Nutzen des Kunden einerseits und die methodische Stringenz andererseits austariert werden können. In der Prozesskompetenz äußert sich die eigentliche „Fachkompetenz“ als Zukunftsforscher bzw. „Technologiefrühaufklärer“, die ganz wesentlich von der Erfahrung in der Bearbeitung dieser Grundfragestellung getragen wird. Diese Erfahrung ist auch

¹² Dies gilt mit der leichten Einschränkung, dass eine gewisse „Sprachgrenze“ zwischen den physikalisch-chemisch-ingenieurmäßig geprägten und den lebenswissenschaftlichen Bereichen der Naturwissenschaften beobachtet werden kann.

¹³ Ein Versuch der Klassifikation der großen Menge etablierter Zukunftsforschungsmethoden nach ihrer zentralen Funktion findet sich in (Reschke/Weimert 2010).

ein zentrales Instrument, um im bewussten Perspektivwechsel von Beschreibung der Gegenwart zu Projektion der Zukunft die jeweilige Fortschrittsgeschwindigkeit der einzelnen beobachteten naturwissenschaftlich-technologischen Entwicklungslinien einschätzen zu können. Daher stellt die Prozesskompetenz im Wesentlichen die Nützlichkeit und Anwendbarkeit der Ergebnisse sicher.



Abb. 1: „Kompetenzdreieck“ der Technologievorausschau. Alle drei Dimensionen von Kompetenz sollten nach der Erfahrung des Fraunhofer INT hinreichend ausgebildet sein, um mit vertretbarem Aufwand valide und verwendbare Zukunftsaussagen generieren zu können. Nach: (Weimert 2009).

Zentral für Aufbau und Erhalt des beschriebenen „Kompetenzdreiecks“ (s. Abb. 1) ist langjährige personelle und auftragsbezogene Kontinuität, die einen Wissens- und Erfahrungspool für das gesamte Vorausschauteam erzeugen kann. Nur so lassen sich dauerhaft belastbar *Urteilsfähigkeit* (bezüglich Prognose und Relevanz), *Vertiefungsfähigkeit* (in Fachfragestellungen) und *Beratungsfähigkeit* (eines Auftraggebers/Kunden mit sehr spezifischen Rahmenbedingungen und eigenen Prozessen) realisieren.

Abstützung auf Experten

Ein anderer, häufig verwendeter Ansatz zum Hereinholen der erforderlichen Sachkenntnis in Technologiefrühaufklärungsprozesse beruht auf der systematischen Einbindung von Fachexperten durch ein in erster Linie *methodisch* geschultes und erfahrenes Vorausschauteam. Die von den Fachexperten formulierten oder befruchteten Zukunftsaussagen werden durch das Vorausschauteam entweder aufgenommen oder selbst generiert und geeignet zu einem Gesamtbild zusammengesetzt. Selbstverständlich sind Experten, insbesondere als Teilnehmer methodisch durchdachter Befragungs- oder Interaktionsprozesse, eine wertvolle Informationsquelle (auch für ein fachlich kompetentes Vorausschauteam). Sie können insbesondere zur Strukturierung des Suchraums sowie zur Ergänzung, Verfeinerung und Verfestigung gewonnener Aussagen beitragen. Wird jedoch die erforderliche Sachkenntnis überwiegend von externen Fachexperten getragen, so besteht zum einen stets

die bereits beschriebene Gefahr eines fundamentalen Nichtverständnisses bzw. der Irrtumsmöglichkeit bezüglich der Inhalte und naturwissenschaftlichen Konzepte, falls dieser Prozess auf rein begrifflicher Ebene verweilt. Des Weiteren ist es in der Praxis häufig schwierig, Fachexperten zu einer engagierten Mitarbeit in solchen Prozessen zu motivieren. Gerade die wertvollsten Protagonisten ihrer Disziplin (etwa im Sinne eines „Genius Forecasting“) sind häufig überbeansprucht und sehen keinen Gewinn für ihre innerdisziplinäre Forschung durch eigene Beiträge zur Gewinnung allgemeiner Zukunftsaussagen.

Als noch schwieriger erweist es sich jedoch, den Fachexperten die erforderliche Denkweise, d.h. die einzelne Fachfragestellungen überschreitende „Vorauschaubrille“, abzuverlangen. Schließlich sind sie Experten eben nicht für solche übergreifenden Fragestellungen, sondern für die konkrete Forschung innerhalb ihrer Subdisziplin, häufig sogar nur innerhalb von Einzelströmungen ihrer Subdisziplin. In der deutschen akademischen Szene gehört es eher zum Kommentar, sich nicht zu der Arbeit von Kollegen zu äußern, die auf benachbarten Feldern forschen. Gerade die Herstellung von Zusammenhängen einzelner Forschungslinien ist aber eine wertvolle Quelle für die Gewinnung interessanter Zukunftsaussagen. Eine weitere Schwierigkeit in diesem Zusammenhang ist die für Fachexperten ungewohnte Fragestellung der zeitlichen Einordnung erwarteter Entwicklungen in ihrem Fachgebiet. Generell besteht hier die Neigung von Forschern, bei Prognosen über ihr eigenes Fachgebiet kürzerfristige Entwicklungen zu über- und längerfristige zu unterschätzen.

Ansatz und Vorgehensweise im Fraunhofer INT

Die rein technologiegetriebene Sichtweise des Fraunhofer INT stellt natürlich eine Vereinfachung dar, die aber den Vorteil hat, pragmatisch operationalisierbar zu sein. Dabei wird im Wesentlichen ein lineares Innovationsmodell zugrunde gelegt, bei dem die verschiedenen Grade der technischen Konzipierung und Konkretion von der naturwissenschaftlichen Entdeckung bis zum kommerziellen Produkt seriell durchlaufen werden.¹⁴ Dementsprechend wird vorausgesetzt, dass wesentliche Teile der Technikentwicklung in Ablauf und Richtung prognostiziert werden können, wenn man das frühe Ende dieser Innovationskette, also die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung, betrachtet. Über nicht voraussehbare zukünftige Ereignisse lassen sich ohnehin keine seriösen Aussagen machen, fundamentale Überraschungen sind aber seltener als gemeinhin angenommen. Technologieentwicklung vollzieht sich zumindest in großen Teilen in einer kombinatorischen Evolution (vgl. Agar

¹⁴ Auch dies stellt wiederum eine Vereinfachung dar, die aber als Arbeitshypothese sehr brauchbar ist (Steinmüller 1997, 86–101). Eine differenziertere, zweidimensionale Klassifizierung von Forschungsaktivitäten (Stokes 1997) wird seit kurzem im Fraunhofer INT zugrunde gelegt, um mithilfe bibliometrischer Analysen Forschungsthemen charakterisieren und evtl. prognostizieren zu können (Jovanović 2011).

2009). Daher besteht Überraschung meist in überraschter Wahrnehmung von zuvor in diesem Kontext nicht Wahrgenommenem, aber Vorhandenem.

Auch das in der modernen Zukunftsforschung eigentlich gebotene Denken in Alternativen wird bei diesem Ansatz in gewisser Weise etwas vernachlässigt, da eine gewisse Fokussierung auf den als wahrscheinlichsten ermittelten Entwicklungspfad stattfindet. Dabei werden aber sehr wohl Bedingtheiten der technologischen Entwicklungsschritte explizit untersucht und berücksichtigt, was wiederum implizit den Aspekt alternativer Zukünfte in die Betrachtung einführt. Eine besonders geeignete Form zur Herausarbeitung und Darstellung solcher Bedingtheiten stellt die Erarbeitung von Technologie-Roadmaps dar (vgl. z.B. Möhrle/Issenmann 2008).

Im Mittelpunkt des Vorgehens am Fraunhofer INT steht die Identifikation sog. technologischer *Kernthemen* und die Prognose von deren erwarteter Zukunftsentwicklung. Damit sind Forschungs- bzw. Entwicklungsthemen gemeint, die eine große Dynamik und ein großes Anwendungspotenzial aufweisen und mit einem hinreichend großen (ggf. steigenden) Aufwand vorangetrieben werden (Highlights, thematische Hot-Spots). Zu diesen Kernthemen werden einzelne *Trendaussagen* generiert, d.h. Einzelaussagen zu für die Zukunft erwartetem Reifegrad, Bedingtheiten, Anwendungen und Verbreitungsgrad.¹⁵ Weiterhin ist der technologische Kontext eines solchen Kernthemas wichtig (s.u.), da sich hieraus die bei der Prognose zu berücksichtigenden Bedingtheiten ableiten lassen. Und schließlich ist eine Kenntnis der wesentlichen Forschungsakteure wertvoll, nicht zuletzt zum Nutzen der Quellenkritik.

Methodisch stehen Scanning und Monitoring, also die ungerichtete und die gerichtete Suche nach geeigneten Themen und Aussagen, im Vordergrund. Dabei sorgt eine themenfeldübergreifende wissenschaftliche Recherchekompetenz, die sich in Quellenkritik, begrifflicher Orientierungsfähigkeit sowie der Fähigkeit zur Nutzung großer Fachliteraturdatenbanken und -recherche-tools äußert, für eine wissenschaftliche Fundierung der erhaltenen Ergebnisse. Durch Metascanning von Zukunftsstudien anderer Institutionen werden von Zeit zu Zeit sowohl das Technologiefeld-Raster, das *top-down* der Orientierung und Strukturierung des Monitoring-Prozesses dient, als auch die wichtigsten Trendaussagen und deren Wichtung einer Überprüfung unterzogen.¹⁶

Das Scanning und Monitoring kann durch ein kontinuierliches systematisches Screening von sog. *Schlüsselquellen* realisiert werden. Damit sind solche Quellen gemeint (i.Allg. Fachzeitschriften), bei deren Kenntnisnahme insgesamt erwartet werden kann, keine wesentliche Technologieentwicklung zu verpassen. Um die Annahme, eine Quelle sei eine Schlüsselquelle, zu evaluieren, können die subjektive Erfahrung von Fachexperten ausgewertet

¹⁵ Eine allgemeinverständliche Zusammenstellung solcher technologischer Kernthemen und dazugehöriger Trendaussagen aus eineinhalb Jahrzehnten enthält (Kretschmer 2010).

¹⁶ Zu derartigen Metaanalysen vgl. (Holtmannspötter et al. 2010), (Kretschmer 1992), (Kretschmer 2010).

oder Stichprobenrecherchen, bibliometrische Analysen, *Journal Impact Factors* u. dgl. zu Rate gezogen werden. Die kontinuierliche Beobachtung eines Kanons von einmal festgelegten Schlüsselquellen war historisch für das Fraunhofer INT die einzige Möglichkeit, mit damals sehr bescheidenen Personalressourcen von einigen wenigen Wissenschaftlern und ohne die Recherchemöglichkeiten, die heutzutage über das Internet verfügbar sind, eine annähernd flächendeckende Technologiebeobachtung zu realisieren. Abhängig vom darstellbaren Aufwand kann man sich hierbei ggf. auf Quellen höherer Ordnung beschränken, also auf Sekundär- und Tertiärliteratur, die bereits höher aggregierte Informationen enthalten als die einzelne Forschungsergebnisse berichtende Primärliteratur. Eine *Garantie* für lückenlose Technologiefrühaufklärung bietet das Schlüsselquellen-Screening natürlich nicht, weshalb es durch weitere Vorgehensweisen ergänzt werden sollte. Dabei ist insbesondere die Nutzung wissenschaftlicher Konferenzen interessant, da sich hier relevante Informationen häufig erheblich früher (ein Jahr oder mehr) als in der Fachliteratur gewinnen lassen.

Auf die hier insgesamt skizzierte inhaltsbezogene Kernmethodik, die sich üblicherweise als *Desk Research* darstellt, kann nach der langjährigen Erfahrung im Fraunhofer INT nicht verzichtet werden.¹⁷ Daneben empfiehlt es sich, weitere Methoden *unterstützend* einzusetzen, um zusätzliches Wissen zu generieren, vorhandene Abschätzungen zu erhärten, die Darstellbarkeit/Vermittelbarkeit von Ergebnissen zu verbessern oder einer übereinstimmenden Lagebeurteilung wichtiger Prozessteilnehmer durch Partizipation näherzukommen.

Die bereits erwähnten internetbasierten Fachliteraturdatenbanken mit ihren mächtigen, sich weiter entwickelnden Recherchertools¹⁸ können für ein iteratives Austasten der Wissenslandschaft genutzt werden. Sie stellen durch Boolesche Operatoren und Histogramme Funktionalitäten zur Verfügung, mit deren Hilfe die Metadaten wissenschaftlicher Publikationen, wie z.B. Titel, autorenvergebene Keywords, redaktionsvergebene Keywords, Abstracts, Subject Areas (denen die jeweilige Zeitschrift zugeordnet ist) sowie Referenzen (Zitationen), iterativ und kombiniert ausgewertet werden können. Zentrales Element ist dabei das Herausarbeiten, bzw. immer weitergehende Verfeinern, einer geeigneten Suchanfrage. Dazu dient eine Kombination verschiedener klassischer Recherchestrategien, von Schritten „händischer“ inhaltsbezogener Analyse sowie der Nutzung weiterer (Offline-) Softwaretools. So lassen sich z.B. durch eine fachliche Bereinigung von Fundstellen-Listen und das Auswerten von Schlüsselbegriff-Kookkurrenzen Schlüsselveröffentlichungen herausdestillieren sowie ggf. Verschiebungen von Forschungsrichtungen (etwa von der

¹⁷ Eine Untersuchung im Auftrag der EU-Kommission hat ergeben, dass die dort „Literature Review“ genannte Vorgehensweise in den untersuchten fast 800 Foresight-Studien am häufigsten verwendet wurde (Popper 2007).

¹⁸ Gemeint sind hier etwa das Web of Knowledge von Thomson Reuters (<http://apps.webofknowledge.com>), und hierin insbesondere das Web of Science, oder SciVerse SCOPUS von Elsevier (<http://www.scopus.com>).

Grundlagen- in die Angewandte Forschung) oder das Entstehen neuer interdisziplinärer Themenbereiche diagnostizieren. Es handelt sich hier gewissermaßen um eine Mischform von Bibliometrie (Achatz/Braun/Sommerlatte 2012) und Vorstufen des Text Mining (Weimert 2011), die jedoch wegen der erforderlichen intensiven „händischen“ Tätigkeit eines kompetenten Wissenschaftlers allenfalls als „halbautomatisch“ bezeichnet werden kann.

Die seit den 60er Jahren vor allem für Evaluationsfragestellungen eingesetzte Bibliometrie beschäftigt sich mit der statistischen Analyse (also dem „Vermessen“) von Publikations- und Zitieraktivitäten. Erst seit einigen Jahren wird sie in der Technologiefrühaufklärung als Unterstützungsmethode in der Praxis eingesetzt¹⁹, wobei ihr Potenzial in diesem Bereich noch nicht vollständig ausgelotet ist. Aufgrund der Heterogenität der Daten bedarf es hier eines erheblichen Software- und Prozess-Aufwandes, um „aufgereinigte Datensätze“ zu erzeugen, die sich sauber auswerten lassen.²⁰ Ferner ist Fachkompetenz bei der iterativen Erstellung geeigneter Suchanfragen erforderlich. Die interessanteste Frage scheint aber zu sein, ob diese dem Prinzip nach rückwärtsgewandte Methode geeignet ist, wirkliche Zukunftsprojektionen zu entwerfen. Dazu ist letztlich eine geeignete Modellbildung über die Entwicklung von Forschungsthemen erforderlich. Ein modellbildender Ansatz sowie ein entsprechendes Verfahren zu diesem Thema („Footprint-Analyse“) wurde am Fraunhofer INT entworfen, muss aber noch weiter entwickelt und evaluiert werden (Jovanović 2011). Ein weiterer interessanter Ansatz sind epidemische Modelle, die die Verbreitung von Wissen mathematisch analog der Ausbreitung von Krankheiten beschreiben (Goffman/Harmon 1971, Vitanov/Ausloos 2012). In jedem Falle ist die Bibliometrie hervorragend geeignet, die Forschungslandschaft abhängig von Themen aufzuschlüsseln, also z.B. Exzellenzzentren zu identifizieren, die Publikationen mit Schlüsselcharakter sowie aussagekräftige Expertenmeinungen stellen können.

Die Einbeziehung von Expertenmeinungen kann bei der Technologiefrühaufklärung (bei allen weiter oben beschriebenen grundsätzlichen und praktischen Schwierigkeiten) wertvolle Dienste zur Ergänzung und Vergewisserung der Desk-Research-Ergebnisse leisten. Damit können sie auch eine qualitätssichernde Funktion erfüllen und nicht zuletzt die Glaubwürdigkeit der Ergebnisse für den Auftraggeber erhöhen. Hier kommen Fragebogen, leitfadengestützte Interviews, ausführlichere schriftliche Expertisen und Workshops zur Anwendung. Formalisiertere Verfahren der Abfrage von Expertenmeinungen, die sich hier eignen, sind etwa die verschiedenen Varianten der Delphi-Methode (s. z.B. Linstone/Turoff 2002) und des Technologie-Roadmappings (s. z.B. Möhrle/Issenmann 2008). Dabei darf aber, neben der Berücksichtigung des erheblichen Aufwandes, den solche Methoden mit sich bringen, auch der Effekt nicht aus

¹⁹ so z.B. im EU-FP6-Projekt SMART (Schumacher 2007) und im 1. Zyklus des BMBF-Foresight-Prozesses (Cuhls/Ganz/Warne 2009)

²⁰ Hierfür wird am Fraunhofer INT eine eigene bibliometrische Programmbibliothek entwickelt, die Werkzeuge zu Datenbeschaffung, -bereinigung, -analyse und -visualisierung enthält.

den Augen verloren werden, dass hier häufig eine Art „Mainstreaming“, also die Verständigung auf eine Mehrheitsmeinung, befördert wird. Dies kann natürlich bei der Suche nach „Emerging Topics“, also neu aufscheinenden Forschungsthemen (und -disziplinen) nur bedingt weiterhelfen. Weiterhin ist eigene Sachkompetenz auf Seiten von z.B. Moderatoren, Protokollanten, Rapporteurs in Experten-Workshops unverzichtbar, um die wirklich relevanten Informationen korrekt aufnehmen und ggf. durch Nachfragen die Nutzung des Expertenwissens optimieren zu können.

Das „Prognoseproblem“

Die mit all diesen methodischen Ansätzen gewonnenen Informationen bestehen im Wesentlichen aus einer Lagebeschreibung von Stand und Entwicklungslinien der Forschung. Dazu kommen einzelne Zukunftsaussagen von Fachexperten und anderen Zukunftsforschern. All das muss nun in ein schlüssiges Lagebild der technologischen *Zukunft* überführt werden, das vorgefundene technologische Entwicklungsstränge sowie als solche identifizierte emergente Technologien extrapoliert und konsistente Aussagen zu für die Zukunft erwartetem Reifegrad, Anwendungen und Verbreitungsgrad der Technologien trifft.

Hierzu dient im beschriebenen Ansatz wesentlich die eigene fachlich fundierte Erfahrung mit der Fortschrittsgeschwindigkeit im jeweiligen Technologiefeld (unter der erwähnten Annahme eines linearen und wesentlich von innertechnologischen Faktoren dominierten Innovationsprozesses). Entscheidend ist hier, das Bewusstsein der Ungewissheit, die eine solche Projektion bzw. Prognose beinhaltet, zu schärfen und insbesondere sprachlich zum Ausdruck zu bringen (entsprechend dem „Zukünfte“-Paradigma). Diese Ungewissheiten können durch die explizite Diskussion von Bedingtheiten und Verknüpfungen mit anderen Technologiefeldern sowie durch eine Ungenauigkeit von Zeitangaben („kurz- bis mittelfristig“ statt „in fünf Jahren“), die dem Sachverhalt angemessen ist, deutlich gemacht und genauer eingekreist werden. Zur Vergewisserung und ggf. Korrektur solcher Einschätzungen, meist bezüglich der Angabe von Zeithorizonten, dienen Zukunftsbilder der Tertiärliteratur, einzelne Prognosen von Experten (auch in der Literatur) sowie die Reflexion eigener (und fremder) Prognosen aus der Vergangenheit. Der subjektive Charakter solcher Einschätzungen wird nie ganz zu vermeiden sein und sollte daher auch in der Ergebniskommunikation deutlich werden. Gleichzeitig kann durch wissenschaftlich verantwortungsvolle Vorgehensweise das subjektive Moment letztlich sehr weit minimiert werden, sodass das Ergebnis bei gleichem Datenmaterial und gleicher Qualifikation und Erfahrung des Vorausschauteams auch mit anderen Personen im Wesentlichen unverändert wäre. Diese anzustrebende Qualität der Ergebnisse stellt in der Zukunftsforschung gewissermaßen das Analogon zur Reproduzierbarkeit in den Naturwissenschaften dar.

Um belastbare Zukunftsaussagen treffen zu können, ist ein möglichst ausführliches Lagebild der Gegenwart und der ihr innewohnenden Dynamik erforderlich. Auch das Bild von Gegenwart und Vergangenheit ist dabei kaum jemals frei von modellhaften Annahmen und Interpretationen. Zur Projektion in die Zukunft muss zusätzlich eine Prämisse über die Konstanz entweder der gegenwärtigen Situation oder beobachteter Trends oder gegebener Strukturen in die Zukunft hinein gesetzt werden (Neuhaus 2011). Dabei kann die menschliche Intuition insofern in die Irre führen, da Menschen im Allgemeinen lineare Trends sehr gut erfassen können, exponentielle (z.B. Kapitalwachstum durch Verzinsung) und beschränkte oder logistische (also einem Sättigungswert zustrebende, z.B. das Größenwachstum der meisten Organisationen) jedoch nicht (Steinmüller 2011). Und schließlich muss ein beobachteter Trend sich nicht notwendigerweise in die Zukunft fortsetzen (getreu dem Bonmot „A trend is a trend until it bends.“).

Dazu kommt eine Unsicherheit durch Überraschungen, die in der Grundlagenforschung häufig als die Widerlegung von bis dahin als sicher geglaubten „Dogmen“ bzw. „Wahrheiten“ erscheinen. Dann sind sie auch für Fachleute überraschend. So verstieß die Harnstoffsynthese aus anorganischen Substanzen durch Friedrich Wöhler 1828 (Wöhler 1828) gegen die Vorstellung, organische Substanzen wie Harnstoff könnten nur unter Mitwirkung einer „Vis vitalis“ entstehen, über die nur Lebewesen verfügen. Die von Dan Shechtman 1982 entdeckten Quasikristalle (Shechtman et al. 1984; Nobelpreis für Chemie 2011) weisen wie Kristalle eine langreichweitige atomare Ordnung auf, aber mit einer Symmetrie, wie sie für Kristallgitter grundsätzlich nicht möglich ist.²¹ Georg Bednorz und Alex Müller synthetisierten Hochtemperatur-Supraleiter aus keramischen Materialien (Bednorz/Müller 1986; Nobelpreis für Physik 1987), obwohl man allgemein dieses Phänomen allenfalls bei Metallen vermutet hatte. Andre Geim und Konstantin Novoselov gelang 2004 die Herstellung von Graphen (Novoselov/Geim 2004; Nobelpreis für Physik 2010), obwohl seit vielen Jahrzehnten durch theoretische Rechnungen nachgewiesen worden war, dass diese Kohlenstoffmodifikation nicht existieren kann.²²

Derartige Überraschungen können nicht vorausgeahnt, wohl aber (bei sorgfältiger Beobachtung der Grundlagenforschung) frühzeitiger als durch die allgemeine Öffentlichkeit erkannt werden. Dann ergibt sich aber das generelle Problem von „Weak Signals“, dass die Entdeckung in der Zukunft auch folgenlos wieder verschwinden kann.

²¹ Solche Strukturen waren zehn Jahre zuvor (für die Ebene) mathematisch entdeckt worden, es war aber nicht vermutet worden, dass sie in der Natur vorkommen und dort den Raum ausfüllen. Mittlerweile hat die Internationale Kristallographische Union ihre Definition von Kristallen so angepasst, dass Quasikristalle darunterfallen (Kungl. Vetenskapsakademien 2011).

²² Graphen (mit Betonung auf der zweiten Silbe) besteht aus isolierten zweidimensionalen Kohlenstoffschichten. Tatsächlich könnte eine perfekt ebene Kohlenstoffschicht nicht isoliert existieren, Graphen ist aber in der Realität etwas gewellt.

Für die Abschätzung des zeitlichen Verlaufs der praktischen Durchsetzung einer Technologie müssen, wie erwähnt, vielfältige Wechselwirkungen auch mit anderen, z.B. unterstützenden oder konkurrierenden, Technologien betrachtet werden, deren Entwicklungsgeschwindigkeit wesentlichen Einfluss haben kann. Eine sehr instruktive schematische Darstellung dieser Abhängigkeiten ist der in Abb. 2 abgebildete sog. Technologiekomplex, der auch Markteinflüsse enthält (Geschka/Schauffele/Zimmer 2002).

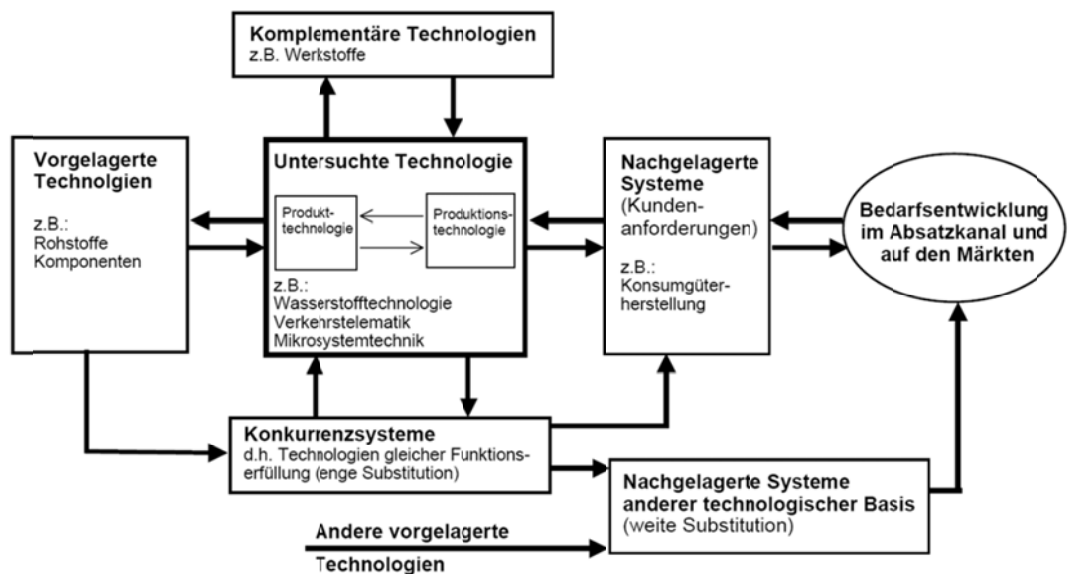


Abb. 2: Technologiekomplex. Technologischer Wirkungsverbund einer untersuchten Produkttechnologie, dessen Zusammenhänge bei einer Technologieprognose beachtet werden sollten, da sie Auswirkungen auf die grundsätzliche Weiterentwicklungsfähigkeit sowie die tatsächliche Durchsetzung einer Technologie und auf deren zeitlichen Verlauf haben. Aus: (Geschka/Schauffele/Zimmer 2002).

Die große Schwierigkeit von Voraussagen über die zeitliche Zukunftsentwicklung neuer Technologien lässt sich an einigen Beispielen erläutern. Ein Fall, bei dem der Übergang eines grundlegend neuen physikalischen Effektes in die Anwendung außerordentlich schnell verlief, ist die Nutzung des im Jahre 1988 entdeckten Riesenmagnetwiderstandseffekts (GMR; 2007 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet). Der eine Entdecker, Albert Fert, hatte diesen schnellen Praxisbezug wohl nicht vorausgesehen, denn er publizierte die Entdeckung des neuen Effekts (Baibich et al. 1988). Der zeitgleiche Entdecker Peter Grünberg verfasste jedoch zunächst eine Patentanmeldung (Grünberg 1989). Es dauerte dann nur neun Jahre, bis der neue Effekt in Schreib-Lese-

Köpfen von Festplatten zu einem weiteren Pfeiler der Hightech-Produktentwicklung geworden war.²³

Ein Beispiel für viel größere Zeiträume ist das batteriebetriebene Automobil. Vor dem Ersten Weltkrieg gab es in den USA mehr Elektro- als Benzin-Kraftfahrzeuge, da sie als die ausgereifere, benutzerfreundlichere und sauberere Alternative galten. 1899 wurde mit einem Elektroauto erstmals die Marke von 100 km/h überschritten (Heinen 2010). Heute hat aus einem Bündel an technologischen und nichttechnologischen Gründen erneut ein Entwicklungsboom zur Elektromobilität eingesetzt, bei dem die *vollelektrischen* Reichweiten von Pkws noch nicht signifikant gegenüber 1900 gestiegen sind. Für die nähere Zukunft können jetzt jedoch deutliche Fortschritte erwartet werden. Für welchen Zeitraum hätte wohl ein Zukunftsforscher im Jahre 1900 die großflächige Einführung von batteriebetriebenen Automobilen prognostiziert? Wohl kaum für die Zeit um 2020!

Ein weiteres Beispiel für die Schwierigkeit auch kürzerfristiger Prognosen stellt der französische Aérotrain dar, ein spurgeführtes Hochgeschwindigkeitsfahrzeug auf Basis des Luftkisseneffekts (Guigueno 2008). Im Jahre 1974 stellte dieses Fahrzeug einen Geschwindigkeitsrekord von 430 km/h auf, und im selben Jahr wurde der Vertrag über den Bau einer Aérotrain-Strecke für den regulären Personenverkehr geschlossen. Der konventionell schienengeführte TGV war damals noch 100 km/h langsamer, und parallel hatte die Entwicklung der Magnetschwebbahn Transrapid begonnen. Dass der Aérotrain heute völlig und der Transrapid praktisch bedeutungslos sind, war aus damaliger Sicht nicht zwingend abzusehen.

Aus diesen Beispielen wird offensichtlich, dass auch unter Beachtung und Analyse des technologischen und nichttechnologischen Umfeldes die prinzipielle Unsicherheit von Technologieprognosen nur gemindert und nicht aufgehoben werden kann.

Technologiefrühaufklärung im Verteidigungsbereich

Wird Technologiefrühaufklärung im Auftrag eines Verteidigungsministeriums (oder von dessen nachgeordnetem Amtsbereich) durchgeführt, so müssen gewisse Besonderheiten dieses Auftraggebers beachtet werden. Zu den heutigen Rahmenbedingungen für Forschung, Entwicklung und Beschaffung von Wehrmaterial gehört, dass der technische Fortschritt spätestens seit den 80er Jahren von *zivilen* Entwicklungen und Märkten getragen wird. Das bedeutet, Technologiefrühaufklärung im Auftrag des Verteidigungsministeriums muss zunächst die allgemeine Wissenschafts- und Technikentwicklung bearbeiten und dann, in einem zweiten Schritt, die Transition neuer technologi-

²³ Nur durch die Einführung dieser Technologie konnte der Trend des „Mooreschen Gesetzes“ im Bereich der Speichermedien damals weitergeführt werden.

scher Entwicklungen in Wehrtechnik analysieren, wofür eine eigenständige und spezifische Urteilsfähigkeit (getragen von entsprechender Sachkompetenz) erforderlich ist. Der technische Fortschritt vollzieht sich in einigen Gebieten (v.a. der Informations- und Kommunikationstechnik) heute rasant und sprunghaft, ist weltweit verteilt und bringt auch neue Akteure im Forschungsgeschehen auf.

Trotzdem bestehen besondere Anforderungen für Wehrmaterial, die von den zivilen Märkten so nicht bedient werden, wie etwa Robustheit in feindseliger Umgebung oder Kompatibilität mit vorhandenen Systemen. Die entsprechende Anpassung ziviler Produkte an diese Anforderungen wird heute allgemein als „*Customizing*“ bezeichnet. Dabei bestehen zunehmende Überlappungen zu zivilen, sich ebenfalls an der allgemeinen Hightech-Entwicklung orientierenden Sicherheitstechnologien, die mit „*Dual Use*“ bezeichnet werden. Diesen Effekt wenn möglich mittelsparend zu nutzen ist ein Anliegen der militärischen Seite. Schließlich bleiben einige Bereiche der Wehrtechnik, insbesondere bei Waffentechnik und Schutztechnologien, die nicht vom zivilen Sektor erhältlich sind. Hier spricht man von „*Add-on*“, welches durch eigene Forschung und Entwicklung des Verteidigungsbereichs realisiert werden muss.

Eine weitere Rahmenbedingung bei der Betrachtung der Eigenschaften möglicher wehrtechnischer Systeme ist, dass heutige militärische Operationen fast nur noch teilstreitkräfteübergreifend („*joint*“) und im internationalen Verbund („*combined*“) durchgeführt werden. Damit wird die Kompatibilität wehrtechnischer Systeme zu einem zentralen Anliegen, wobei diese aber in Marktkonkurrenz und sehr ungleichzeitig beschafft werden können.

Für die gestellten Anforderungen an wehrtechnische Ausrüstung ist weiterhin prägend, dass die Einsatzumstände für die Bundeswehr (also zukünftige „*Kriegsbilder*“) immer unvorhersehbarer werden. Neu hinzugekommen sind insbesondere asymmetrische Konfliktbilder, bei denen der Gegner mit einfachsten Mitteln aufwändige militärische Maßnahmen konterkariert (z.B. Partisanentaktik).²⁴ Die Anpassung der Bundeswehr an erkannte Veränderungen soll dabei stetig durch den Prozess der „*Transformation*“ stattfinden. Als ideale, aber schwierig zu realisierende Vision wird über eine „*zukunftsrobuste Bundeswehr*“ nachgedacht, die im Prinzip auch denkbare Wildcards/Trendbruchereignisse²⁵ berücksichtigt. Dazu würde es auch gehören, zunehmend Szenarien (alternative Zukünfte) statt Szenare (genau festgelegte Kampfarenen)

²⁴ In solchen Konflikten ist, trotz des geringen Aufwandes der Gegenseite, für moderne, wertegebundene Demokratien eine möglichst große technische Überlegenheit der eigenen Streitkräfte unverzichtbar. Die einzige Alternative wäre eine inakzeptable Form der Repression (vgl. z.B. Algerienkrieg 1954–1962).

²⁵ siehe dazu z.B. (Steinmüller/Steinmüller 2004)

bei der Planung zugrunde zu legen. Dies ist aber schwierig im Planungsprozess abzubilden.²⁶

Das immer dynamischere sicherheitspolitische Umfeld führt dazu, dass Bedarfsänderungen in wesentlich kürzeren Zeiten stattfinden, als traditionelle Beschaffungsvorgänge v.a. für Großsysteme abbilden können (Beispiel „Jäger 90“/Eurofighter). Für dieses grundsätzliche Phänomen gibt es noch keine, auch nur theoretische, zufriedenstellende Lösung. Einstweilen wird versucht, mit neuen Beschaffungswegen wie „einsatzbedingtem Sofortbedarf (ESB)“ und „*Rapid Fielding*“ den drängendsten Bedarf der Streitkräfte vor Ort zu erfüllen.

Dies alles ist planerisch davon überformt, dass die für die wachsenden militärischen Aufgaben (einschl. Forschung) verfügbaren Haushaltsmittel immer knapper werden. Lag dies zunächst an der allgemeinen Abrüstung nach dem Ende des Kalten Krieges („Friedensdividende“), so begründet heute die explodierende Staatsverschuldung diesen Zwang.

Derzeit werden von Seiten der wehrtechnischen Planer folgende Konsequenzen aus dieser Situation gezogen: Wenn immer möglich, soll am Markt verfügbares Gerät („COTS = Commercial-off-the-Shelf“) beschafft werden, statt Eigenentwicklungen zu betreiben. Ist das nicht möglich, so wird zunächst geprüft, ob COTS-Material unaufwändig einsatzfähig gemacht oder einsatzreifes Gerät bei NATO-Partnern erworben werden kann. Nur wenn das nicht geht, werden Eigenentwicklungen erwogen. Eine verstärkte europäische Zusammenarbeit in diesem Bereich (hierbei ist besonders die Gründung und Entwicklung der Europäischen Verteidigungsagentur EDA zu nennen) verspricht hier Synergiegewinne für die Zukunft. Dabei führt die geschilderte Gesamtsituation dazu, dass eine ständig neu begründete „*Priorisierung*“, eigentlich ein Ranking, sämtlicher Forschungs- und Rüstungsvorhaben im Mittelpunkt der Aufgaben der wehrtechnischen Planer steht. Dies bedarf umso dringender möglichst abgesicherter Erkenntnisse über die erwartbare technologische Zukunft. Und es erschwert allgemein, Forschungsvorhaben voranzutreiben, die keinen kurzfristigen Nutzen (im Sinne von *Customizing* oder *Add-on*) für die Streitkräfte garantieren können, also etwa die Beschäftigung mit potenziellen zukünftigen *Disruptive Technologies*.

Zu den Besonderheiten des Verteidigungsbereiches gehört des Weiteren vor allem, dass die Betrachtung und Planung wehrtechnischer „Forschung und Technologie“²⁷ in einem Zusammenspiel von „Bedarfsträger“ (das sind die Streitkräfte, die technologische Produkte/Systeme nutzen) und „Bedarfsdecker“ (das ist der Rüstungsbereich, der Ausrüstung aller Art verfügbar macht) geschieht. Dieser Dialog ist stark am Schlüsselbegriff der militärischen „Fähigkeiten“ orientiert, die der „Bedarfsträger“ letztlich realisieren soll.²⁸ Er ist zwar

²⁶ Studien hierzu wurden in den letzten Jahren vom Dezernat Zukunftsanalyse im Zentrum für Transformation der Bundeswehr (zukünftig im Planungsamt der Bundeswehr) durchgeführt.

²⁷ entspricht im zivilen Bereich in etwa Forschung und Vorentwicklung

²⁸ Hierin kann man eine gewisse Analogie zu Geschäftsmodellen im Bereich des zivil-industriellen Innovationsmanagements sehen.

in institutionalisierten gemischten Arbeitsgruppen organisiert, trotzdem entwickeln beide Seiten häufig ein separates Verständnis zukünftiger Möglichkeiten, Bedrohungen und Notwendigkeiten. Hier ist also von Seiten der Beratung die Beachtung und Kenntnis einer doppelten Kundenperspektive erforderlich.

Schließlich muss das besondere Vokabular im deutschen Verteidigungsbereich beachtet werden, das Begriffen wie etwa „Basistechnologie“, „Zukunftstechnologie“, „Entwicklung“, „Auftrag“, „System“, „Projekt“ ganz spezifische und häufig vom allgemeinen Sprachverständnis abweichende Bedeutungen zuweist.²⁹

Im Folgenden werden zwei Vorgehensweisen der wehrtechnischen Zukunftsanalyse beschrieben, wie sie in den letzten Jahren unter Mitwirkung bzw. als Eigenentwicklung des Fraunhofer INT entstanden sind. Beim „Disruptive Technology Assessment Game“ der NATO steht die Technologiebewertung durch das Zusammenspiel von Technologieexperten und Soldaten im Zentrum. Die für das deutsche Verteidigungsministerium entwickelte Wehrtechnische Vorausschau untersucht die Bedeutung technologischer Zukunftsentwicklungen für die wehrtechnische und militärische Planung durch intensive mehrstufige Analyse aus verschiedenen Perspektiven.

Disruptive Technology Assessment Game der NATO

Im Rahmen der NATO wurde eine Methode entwickelt, um in einer Formalisierung des Dialogs zwischen Technologen aus dem Bereich der Rüstungsplanungs-Unterstützung und militärischen Nutzern neuer Technologien zu einer gemeinsamen Bewertung neuer Technologien zu gelangen. Unter einigen NATO-Partnern war es als ein Defizit angesehen worden, dass im Rahmen der diversen nationalen Technologiefrühaufklärungsaktivitäten oftmals zu wenig die Anwendungsrelevanz und die Auswirkungen neu aufscheinender Technologien im militärischen Bereich analysiert wurden. Dies ist besonders dann von Bedeutung, wenn die neuen Technologien zu Entwicklungen führen, die nicht durch Extrapolation von zu beobachtenden Trends fassbar sind. Solche potenziellen *Disruptive Technologies* (s.o.) können innerhalb einer kurzen Zeitspanne einschneidende Veränderungen für die Planer erzwingen, z.B. bei der Beurteilung von Bedrohungslagen, der Planung von Schutzmaßnahmen oder bei Fähigkeitsforderungen. Eine solche Analyse erfordert allerdings eine enge Kooperation von Wissenschaftlern und operationell erfahrenen militärischen Anwendern, um ein gemeinsames Verständnis von technologischen Möglichkeiten und militärischen Anforderungen zu gewinnen.

²⁹ Ein zentrales Dokument, in dem eine Reihe dieser Begrifflichkeiten definiert wird, ist die Festlegung der Vorgehensweise bei der wehrtechnischen Planung, das sog. „Customer Product Management“ (BMVg 2010).

Vorgehen / Methodologie

Zu diesem Zweck wurde im Rahmen des „Systems and Analysis Studies Panel (SAS)“ der NATO Research & Technology Organisation (NATO-RTO) im Jahr 2006 die Aktivität SAS-062 „Assessment of Possible Disruptive Technologies for Defence and Security“ ins Leben gerufen, in der eine Methode zur Evaluation neuer Technologien erarbeitet wurde. Resultat dieser Arbeitsgruppe war das so genannte „Disruptive Technology Assessment Game“ (DTAG). Diese Methode wurde ab 2009 in der Nachfolgeaktivität SAS-082 „Disruptive Technology Assessment Game: Extension and Applications“ zur Bewertung von Technologien im militärischen Kontext eingesetzt. In beide Aktivitäten war das Fraunhofer INT intensiv eingebunden (Neupert et al. 2009, NATO RTO 2010 und 2012).

Der gesamte Prozess der Evaluierung neuer Technologien verläuft in vier Phasen. Zu Beginn steht das Technologiemonitoring in den einzelnen Staaten. Hier werden Technologieentwicklungen identifiziert und intuitiv bezüglich ihrer wehrtechnischen Relevanz für einen Zeitraum ab ca. 2020 bewertet (*Bottom-up*-Ansatz). Eine Möglichkeit für den Austausch solcher Informationen in einem einheitlichen Format ist die Nutzung hierfür entwickelter formalisierter Technologiesteckbriefe, sogenannter „Technology Cards“ (T-Cards). Von deutscher Seite gehen in diesem Schritt auch die Ergebnisse der Wehrtechnischen Vorausschau (s.u.) mit ein. Alternativ ist es auch möglich, disruptive (militärische) Fähigkeiten zu identifizieren mit anschließender Rückwärtsanalyse bezüglich der hierfür benötigten Technologien (*Top-down*-Ansatz). Dieser Weg stellt umgekehrt eine wertvolle Themenquelle für die Wehrtechnische Vorausschau dar.

In einem zweiten, kreativen Schritt werden auf Basis der identifizierten Technologien sog. Systemideen für militärische Geräte generiert. Hintergrund ist, dass es nicht möglich wäre, die Auswirkungen von Technologien auf militärische Operationen direkt zu bestimmen. So wäre es nicht zielführend, einen Soldaten zu fragen, welche Auswirkungen denn z.B. „Energy Harvesting“³⁰ auf den Konvoischutz hat. Es kann stattdessen nur der Einfluss von durch solche Technologien in der Zukunft realisierbaren militärischen Systemen und Fähigkeiten analysiert werden. Diese Systemideen werden als sog. „Idea-of-System Card“ (IoS-Card) entwickelt. Diese IoS-Cards enthalten auf der ersten Seite eine kurze Beschreibung des Systems, wie sie für den nachfolgenden DTAG-Schritt benötigt wird, die zweite und dritte Seite enthalten weitergehende Informationen zu den dahinter stehenden Technologien (und damit Bezug etwa zu den T-Cards), operationellem Nutzen, Leistungsparametern usw. Ein Beispiel wäre ein Netzwerk aus wartungsfreien, weiträumig verteilten Bodensensoren, die durch Energy Harvesting mit Energie versorgt werden und

³⁰ Das Nutzbarmachen von Umgebungsenergie (etwa aus Lichteinstrahlung, Wärme, mechanischer Bewegung, Strömung, elektromagnetischen Immissionen) durch Umwandlung in Elektrizität mithilfe unterschiedlicher technologischer Lösungen.

damit eine zeitlich unbegrenzte weiträumige Gebietsüberwachung ermöglichen.

Der dritte Schritt und Kern der Aktivität ist das sog. *Disruptive Technology Assessment Game*. Hier wird durch Interaktion von militärischem Personal mit praktischer Einsatzerfahrung und Technologieexperten anhand eines fiktiven Konfliktszenarios der potenzielle Nutzen der Systemideen in der Konfrontation getestet. Die militärischen Akteure bilden dabei ein „blaues Team“, das die eigenen Streitkräfte darstellt, und ein „rotes Team“ zur Repräsentation eines Gegners. Die DTAGs laufen jeweils über eine Woche, während der zumeist vier verschiedene militärische Einsätze durchgespielt werden. Hierbei stehen der Ablauf der Konfliktsimulation und die qualitative Bewertung der Systemideen im Vordergrund. Damit unterscheidet sich das als *Tabletop Game* konzipierte DTAG vom deutlich aufwändigeren Typ des *War Game*, bei dem die technischen Spezifikationen wesentlich schärfer gefasst sind und simulationsbasiert quantitative Aussagen gemacht werden. Die letztere Vorgehensweise ist jedoch für weiter in der Zukunft liegende Technologien und daraus abgeleitete Systeme, die sich weniger exakt in allen Facetten modellieren lassen, weniger geeignet. Es hat sich als sinnvoll erwiesen, jede der Konfliktsituationen zweimal durchzuspielen. In der ersten Runde steht den Teilnehmern nur das aktuelle Spektrum militärischer Systeme zur Verfügung. Bei der zweiten Runde können sie die durch IoS-Cards repräsentierten Systemideen nutzen. Im Vergleich der beiden Durchläufe wird der Einfluss der neuen Systeme auf z.B. das Einsatzkonzept gut sichtbar.

Im letzten Schritt werden die während der in mehreren DTAGs gesammelten und detailliert dokumentierten Informationen zur Nutzung der Systeme, den Auswirkungen auf den Ablauf der militärischen Operationen, möglichen Gegenmaßnahmen, Verbesserungsvorschlägen etc. ausgewertet. Auf dieser Grundlage lassen sich nun fundierte Aussagen bezüglich des disruptiven Potenzials der den Systemideen zugrunde liegenden Technologien machen, auf deren Basis Empfehlungen für die Forschungs- und Technologieplanung ausgesprochen werden können.

Die verschiedenen Schritte dieses Ansatzes (Identifikation vielversprechender Technologien, Kreation von Systemideen, Assessment Game, Analyse mit Blick auf Planungsunterstützung) enthalten Charakteristika sehr unterschiedlicher Prognosemethoden, was vom methodischen Standpunkt aus günstig ist. Der Ansatz enthält kreative Elemente uneingeschränkter Denkers, und die DTAGs ermöglichen eine offene Kommunikationsplattform. Gleichzeitig kann es durch das Zusammenbringen technologischer und militärischer Experten vermieden werden, dass unrealistische technische oder taktische Schlussfolgerungen gezogen werden. Während einiger DTAGs waren zusätzlich noch NGOs wie das Rote Kreuz vertreten, um die Randbedingungen noch realistischer zu gestalten, sowie Studenten zur Erweiterung der Kreativität.

„Lessons learned“

Das „Disruptive Technology Assessment Game“ hat sich als fruchtbares Diskussionsforum für Technologen, Analytiker und militärische Befehlshaber mit unterschiedlichem Hintergrund bezüglich Ausbildung, Nationalität und Erfahrung erwiesen. Es wurde eine herausfordernde Atmosphäre geschaffen, die die Teilnehmer dazu brachte, über ihren alltäglichen Horizont hinauszublicken. So wurden von den Teilnehmern auch neue Ideen entwickelt, die nach Überarbeitung durch die Technologen in neue IoS-Cards mündeten und in nachfolgenden DTAGs evaluiert wurden. Diese strukturierte Form der Technologiebewertung hat sich als ein kosteneffektiver Ansatz erwiesen, Entscheidungsträger bezüglich der Investition in militärische Systeme bzw. in zugrunde liegende Technologien zu beraten. Die bislang im Rahmen von NATO-SAS durchgeführten DTAGs konzentrierten sich naturgemäß auf militärische Szenarien, generell sollte die Methode in modifizierter Form auch für zivile Sicherheitsszenarien anwendbar sein. Dies ist derzeit im Rahmen eines EU-Projekts geplant.³¹

Die Wehrtechnische Vorausschau

Seit 1971 war im Bundesministerium der Verteidigung (BMVg) eine „Wehrtechnische Vorausschau“ (WTV) erstellt worden als „Grundlagendokument der Rüstungsabteilung für langfristige Zwecke“, d.h. als normative Vorgabe für die Erarbeitung von Planungsdokumenten wie z.B. der „Militärstrategischen Konzeption der Bundeswehr“. Ab 1975 war das Fraunhofer INT unterstützend an dieser Aktivität beteiligt. Nach dem Ende des Kalten Krieges wandelte sich der Charakter dieses Dokumentes. Es stellte nicht mehr eine normative („grundlegende“) Planungsvorgabe dar, sondern sollte nun den Auftrag einer „wertfreien, explorativen Darstellung der Lage und der absehbaren technologischen Trends“³² erfüllen. Es war von einem Planungsdokument zu einem Dokument der Planungsunterstützung geworden und wird seit 2000 vom Fraunhofer INT eigenverantwortlich herausgegeben. Es richtet sich an rüstungstechnische, militärische und sicherheitspolitische Planer, also sowohl an die Bedarfsträger als auch an die Bedarfsdeckerseite.

Die etwa alle fünf Jahre erstellte sog. WTV-Gesamtdarstellung wurde dabei von einer vertiefenden, für den BMVg-Amtsbereich herausgegebenen Schriftenreihe unterfüttert, die zunächst „WTV-Materialien“, dann „WTV-Einzelbände“ und schließlich „Analysen und Expertisen zur WTV“ hieß³³.

³¹ EU-FP7-Projekt ETCETERA (Evaluation of Critical and Emerging Technologies for the Elaboration of a Security Research Agenda), <http://www.etcetera-project.eu>.

³² Weisung des Hauptabteilungsleiters Rüstung, 1990.

³³ Heute aufgegangen in den „Analysen und Expertisen zur Technologievorausschau“.

Der Auftrag verlangte eine interessenunabhängige, neutrale, rein *explorative* Herangehensweise und einen Gesamtüberblickscharakter. Hieraus ergab sich ein summarisch-lexikalischer Ansatz. Zu dessen Realisierung wurde zunächst mittels einer Synopse wichtiger Zukunftsstudien (Metascanning) und Schlüsselveröffentlichungen mit Überblickscharakter sowie wichtiger rüstungsbezogener Planungsstrukturen ein flächendeckendes Begriffssystem erarbeitet (Kretschmer 1992). Daraus ergab sich eine Gliederung, die auftragsgemäß sowohl die Gebiete der Wehrtechnik als auch alle Technologiebereiche mit potenzieller wehrtechnischer Relevanz umfasste.

Sämtliche sich so ergebenden Themen wurden dann einer literaturbasierten Analyse unterzogen und bezüglich wichtiger Aspekte, technologischem Stand und technologischer Zukunftserwartungen beschrieben, letztere mit einem möglichst langfristigen Zeithorizont. Als Grundlage diente ein (schon damals) datenbankunterstütztes kontinuierliches Screening von Schlüsselquellen sowie ergänzende Literaturrecherchen. Beides musste sich aus Aufwandsgründen meist auf Sekundär- (z.B. Review-Artikel) und Tertiärliteratur (Studien) beschränken.

Der Gesamtüberblickscharakter führte dazu, dass in dem Dokument selbst nicht tiefer in die technische Materie eingedrungen werden, sondern nur ein allgemeiner technologischer Rahmen aufgespannt werden konnte. Daher waren, trotz einer allgemein von den Nutzern als wertvoll erachteten Funktion als Nachschlagewerk, aus dieser Analyse nicht unmittelbar planerische Entscheidungen ableitbar. Eine vom Fraunhofer INT erarbeitete Empfehlung war ohnehin ausdrücklich ausgeschlossen. Auf dieser Vertiefungsebene war auch ein häufigeres Erscheinen der WTV nicht sinnvoll darstellbar, sodass im zeitlichen Verlauf nur jeder zweite zuständige Referent im BMVg ein neues Lagebild in Form der WTV erhielt. Durch den lexikalischen Charakter war die Prognosekomponente zudem nicht besonders stark ausgeprägt, häufig genügte eine Darstellung aller relevanten Aspekte der aktuellen Technologie sowie der zugeordneten Forschungsthemen den Ansprüchen.

Paradigmenwandel durch Neue Medien

Um die Jahrtausendwende wurden durch verschiedene neue Medien Paradigmenwandel in zahlreichen hier relevanten Bereichen spürbar. Bei der *Informationsbeschaffung* wurde zunächst die Recherche nach Quellen und später auch die Verfügbarkeit von Volltexten durch internetbasierte Datenbanken (z.B. INSPEC, Elsevier ScienceDirect, Google Scholar) erheblich erleichtert und beschleunigt. Später kamen immer größere verlagsübergreifende Datenbanken mit mächtigen Recherchertools dazu (z.B. Web of Science, SCOPUS), durch die ausgefeiltere Recherchestrategien sowie Bibliometrie durch jeden Bearbeiter am Arbeitsplatz erst möglich wurden. Die *Wikipedia* wurde immer belastbarer und hat sich als „Universalglossar“, das zum Einstieg eine begriffliche Orientierung erheblich beschleunigen kann, als äußerst nützlich

erwiesen. Das Aufkommen der „Billigflieger“ erleichterte zudem den europäischen persönlichen wissenschaftlichen Austausch erheblich.

Auch im Bereich des *Wissensmanagements* hat die fortschreitende IT-Revolution durch Wikis, Ontologien, Literaturverwaltungssoftware bis hin zu neuen partizipativen Bewertungs- und Meinungsbildungsprozessen (*Web 2.0*) einen Paradigmenwandel bewirkt. Das Internet selbst übernimmt inzwischen in Teilen die Rolle eines Wissensmanagement-Systems (mit einer großen Zahl unbekannter Teilnehmer).

Die erwähnten Literaturdatenbanken eröffnen darüber hinaus ganz neue Möglichkeiten der *Informationsanalyse*, wie etwa Bibliometrie oder Text Mining. Trotz der rasant gestiegenen Zahl an Publikationen ist daher heute auch für flächendeckende Technologiefrühaufklärung der Zugriff auf die Ebene der Primärliteratur (Einzelergebnisse in *Peer-reviewed Journals*) mit beherrschbarem Aufwand möglich, während man sich früher überwiegend auf Quellen höherer Aggregationsstufen abstützen musste. Mit Primärliteratur ist man aber zeitnäher an den neuen Entwicklungen und erhöht die Chance, Neues zu finden, das evtl. noch nicht im Mainstream der Forschungsbeobachtung abgebildet ist.

WTV 2011+: Analyse einzelner technologischer Kernthemen

Durch diesen Paradigmenwandel sind ganz neue Möglichkeiten für das methodische Vorgehen bei der Erarbeitung der WTV entstanden. Mittlerweile hat sich auch der Auftrag für die WTV gegenüber vergangenen Jahrzehnten geändert. Entsprechend der oben geschilderten Notwendigkeit zur Priorisierung (Ranking) aller Forschungs- und Rüstungsvorhaben ist ein Bedarf an schnellerer, direkterer und detaillierterer Planungsunterstützung entstanden, die sich näher am täglichen Bedarf der Entscheidungsträger bewegen muss. Daher wurde der Auftrag zur WTV Ende des vergangenen Jahrzehnts verändert. Zentrale Aufgabe ist nun nicht mehr ein lexikalischer Gesamtüberblick („Gesamtlagebild der wehrtechnischen Zukunft“), sondern die Identifikation, Analyse, Prognose und Bewertung einzelner hervorstechender Technologiethemen mit potenzieller zukünftiger Relevanz für den Verteidigungsbereich. Der Prognoseaspekt soll stärker hervortreten, die Vorausschau soll so weit in die Zukunft reichen wie bei dem jeweiligen Thema seriös machbar. Bewertet werden sollen die technologische Reife und Machbarkeit, die wehrtechnische Anwendbarkeit, das Bedrohungspotenzial und die planerische Situation des jeweiligen Technologiethemas.

Eine Handlungsempfehlung an die Adressen der Rüstungsforschungsplanung (Bedarfsdecker) und der Fähigkeitenanalyse (Bedarfsträger) ist nunmehr ausdrücklich gefordert. Diese Handlungsempfehlung wird nicht mit oder zwischen ministeriellen Stellen oder anderen Interessenträgern abgestimmt, sie soll vielmehr die unvoreingenommene Meinung des Beraters Fraunhofer INT widerspiegeln. Dabei soll jedoch die Sichtweise des Verteidigungsministeriums berücksichtigt werden, d.h. bekannte Strukturen, Prozesse, Zielstellungen usw. des Ministeriums sollen mit bedacht werden. Daraus ergibt sich, dass eine

Analyse der nationalen und internationalen wehrtechnischen Planungslandschaft nun unerlässlich ist.

Die neue „WTV 2011+“ erscheint seit Anfang 2011 im Quartalsrhythmus, wodurch aktuelle Ergebnisse zeitnah verfügbar gemacht werden können. Durch eine breite Streuung der jeweils untersuchten Technologiethemen baut sich trotz Schwerpunktsetzung auf besonders dynamische Einzelthemen bereits nach wenigen Jahren ein (kumulatives) Gesamtlagebild auf. Abb. 3 zeigt schematisch die Rahmenbedingungen, die für die WTV 2011+ gelten.

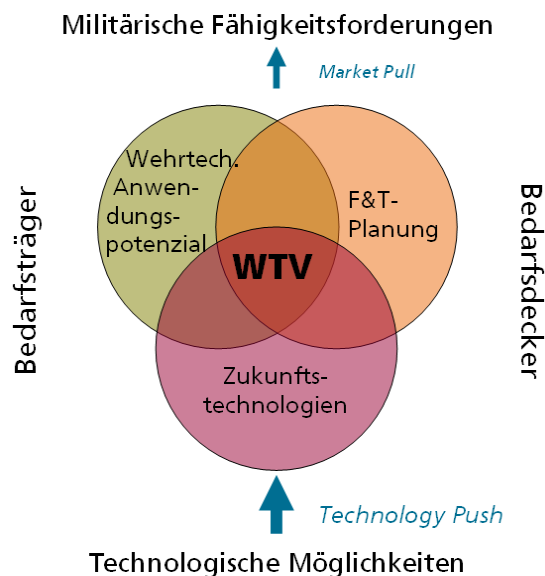


Abb. 3: Spannungsfeld und Dimensionen der Analyse der Wehrtechnischen Vorausschau 2011+. Triebkräfte sind die Entwicklung der technologischen Möglichkeiten sowie der militärischen Fähigkeitsforderungen. In diesem Rahmen werden Zukunftstechnologien, deren wehrtechnisches Anwendungspotenzial und die zugeordnete wehrtechnische Forschungs- und Technologieplanung untersucht und bewertet. Aus der Zusammenschau dieser Aspekte werden Handlungsempfehlungen abgeleitet, die idealerweise die Sichtweise von Bedarfsträger und Bedarfsdecker gleichermaßen berücksichtigen.

Erster Schritt der Erarbeitung der WTV ist die Themenfindung. Hierzu findet ein *Themenfindungs-Workshop* statt, in dem im Plenum des Vorausschauteams ein klassisches moderiertes Brainstorming durchgeführt wird. In diesem Team sollte in der Summe eine möglichst breite fachliche Kompetenz sowohl im naturwissenschaftlich-technischen als auch im wehrtechnischen Bereich versammelt sein. Neben der genauen Fragestellung können beim Brainstorming bereits aus anderen Zusammenhängen vorgemerkte Themenkandidaten als Vorgabe dienen. Sie sollen durch weitere Themen aus allen Wehrtechnik- und Technologiebereichen ergänzt werden. Es kann sich dabei neben eigentlichen Technologiethemen (z.B. drahtlose UV-Kommunikation) auch um technologiegetriebene anwendungsorientierte Themen (z.B. allelektrisches Schiff, neue

Flugzeugkonzepte) handeln. Bei der anschließenden Bewertung und Auswahl der Themen in einer moderierten Diskussion kommen zwei Klassen von Kriterien zur Anwendung. Die Relevanz der Themen wird durch die inneren Kriterien Dynamik, allgemeines Anwendungspotenzial, wehrtechnisches Anwendungspotenzial und Zukunftspotenzial (technologisches Umfeld, absehbarer Bedarf) beschrieben. Für die Eignung der Themen kommen äußere (kundenorientierte) Kriterien zur Anwendung. Berücksichtigt werden hier die thematische Nähe bereits behandelter Themen, die Themenbandbreite eines Quartalsbandes sowie die Aufmerksamkeit beim Auftraggeber oder in der internationalen Wehrtechnik-Vorausschau-Community für einen Themenbereich.

Da die weitere Bearbeitung eines Themas arbeitsteilig und parallel durch Experten für Technologiefürklärung und für Planung vorgenommen wird, wird eine klare, kurze Definition sowie eine Liste von ersten Recherche-Keywords als Ausgangspunkt erstellt. Davon ausgehend entsteht zunächst eine ausführlichere Technologiebeschreibung, die eine klare definitorische Ab- und Eingrenzung des Themas sowie eine Analyse des Standes der Technik enthält. Im Technologiefürklärungs-Strang folgt nun die Prognose in Form einer Zukunftsprojektion der beobachteten technologischen Entwicklungstrends einschließlich zeitlicher Abschätzungen der technologischen Reife, soweit seriös möglich.

Wesentlicher Meilenstein in dieser Phase ist der sog. *Technologieabgleich-Workshop*, der der Vergewisserung des erhaltenen Zukunftsbildes und der Vervollständigung erkannter technologischer Querbeziehungen (im Sinne des oben beschriebenen Technologiekomplexes sowie bezogen auf wehrtechnische Anwendungspotenziale) dient. Dabei konfrontiert der jeweilige Autor das Plenum der Technologiefeld-Experten des Technologiefürklärungsteams mit seinen bisherigen Ergebnissen. Nach der Präsentation wird anhand von zwei Klassen von Leitfragen diskutiert, die sich einerseits auf allgemeine technologische Querbezüge und andererseits auf hier berührte militärische Einsatzformen und Fähigkeiten beziehen. Durch diesen Plenaransatz kann das gesammelte Erfahrungswissen mobilisiert und insbesondere interdisziplinäre Zusammenhänge aufgezeigt werden.

Nach Einarbeitung der so erhaltenen Erkenntnisse folgen verschiedene Bewertungsschritte. Die *allgemeine Bewertung* berücksichtigt die Bedeutung und Dynamik der zivilen Entwicklung der Technologie sowohl unter der Technology-Push- als auch unter der Market-Pull-Perspektive. Dabei werden Entwicklungsstand und Prognose, mögliche Anwendungen und forschersische Herausforderungen, wichtige zivile Forschungsakteure und -projekte, komplementäre und konkurrierende Technologien, Besonderheiten und Nachteile sowie etwaige rechtliche Problematiken berücksichtigt und benannt.

Die anschließende *wehrtechnische Bewertung* entspricht gewissermaßen dem Schritt von der T-Card zur IoS-Card beim Disruptive Technology Assessment Game. Durch Projektion des technologischen Zukunftspotenzials auf das Wissen über wehrtechnische Systeme und Fähigkeitsforderungen wird die wehrtechnische Relevanz anhand möglicher militärischer Anwendungen, militärischer Vor- und Nachteile sowie evtl. unterstützter militärischer

Fähigkeiten und Missionstypen erarbeitet und bewertet. Alle Bewertungen der WTV werden rein qualitativ formuliert und nicht in parametrisierter oder gar quantifizierter Form vorgenommen. Das würde eine Vergleichbarkeit vortäuschen, die bei grundsätzlich sehr unterschiedlichen Themen häufig nicht gegeben ist. Eine Form parametrisierter Bewertung sind die Technology Readiness Levels (TRL), wie sie von NASA und US-Verteidigungsministerium erarbeitet wurden (Department of Defense 2011). Diese werden vom Fraunhofer INT im Auftrag z.B. des schwedischen Beschaffungsamtes (Försvarets Materielverk FMV) angewendet, haben sich aber für die eigene Technologiefrühaufklärung als ungeeignet erwiesen.

Die durch die Planungsexperten parallel erarbeitete *planerische Bewertung* untersucht die gegenwärtige und zukünftige Bedeutung der betreffenden Technologie in den wehrtechnischen Planungsprozessen und Strategien Deutschlands, wichtiger europäischer Länder, der USA, anderer bedeutender Staaten, der Europäischen Union (Europäische Verteidigungsagentur EDA) und der NATO. Hier werden durch Abgleich mit den verfügbaren planerischen Schlussfolgerungen anderer Länder das eigene Urteil gestärkt und Kooperationsoptionen sowie Risiken bei Nichttätigkeit aufgezeigt.

Die Handlungsempfehlung wird auf Basis der vorgenommenen Bewertungen gemeinsam durch Technologiefrühaufklärungs- und Planungsexperten erarbeitet. Die dann folgende *Empfehlungskonferenz* unter Moderation der Gesamtprojektleitung dient der Abstimmung und Harmonisierung der Empfehlungen untereinander, mit dem erhaltenen Gesamtbild und mit der erwarteten Rezeption beim Auftraggeber. Es folgt ein tiefgehender Redaktionsprozess, bei dem innere Logik und Reihenfolge des Textes, Vertiefungsgrad der Aussagen und inhaltliche Dichte sowie die rezipienten- und sachgerechte Sprache auf den Prüfstand gestellt werden. Die stete Beteiligung von Mitgliedern eines Kernteams stellt dabei die Kontinuität in allen Qualitätskriterien und in der „Gesamtphilosophie“ auch über längere Zeiträume sicher.

Ergebnis ist ein Dokument mit streng limitiertem Umfang. Dies ist nötig, da im Nutzerkreis die Kenntnisnahme ausführlicherer Dokumente einen erheblichen Mehraufwand bedeutet und daher häufig unterbleibt. Daraus ergibt sich eine hochverdichtete Darstellung, bei der im gegebenen Umfang maximaler „Tiefgang“ angestrebt wird. Durch eine intensive und gleichbleibende Strukturierung des Textes (einschließlich Marginalien und hervorgehobener Schlüsselbegriffe) wird das Auffinden von Informationen eines bestimmten Charakters erleichtert, und es werden unterschiedliche, auch selektive, Leseweisen unterstützt. Dabei folgt die Einteilung der Kapitel der auch im militärischen Bereich verbreiteten Logik „A–B–S“ („ansprechen–bewerten–schlussfolgern“). Ergänzt werden diese Verarbeitungshilfen durch eine schematisch-formalisierte Zuordnung des Themas zu im wehrtechnischen Bereich relevanten nationalen und internationalen Fähigkeits- und Technologietaxonomien. Auf diese Weise kann der Nutzer schnell erfassen, inwiefern das bearbeitete Thema in seinen Aufgabenbereich fällt. Die Angabe ausgewählter *weiterführender* Quellen liefert weitere „Abholpunkte“.

WTV 2011+: Analyse langfristiger Systemkonzepte

Das bisher beschriebene Vorgehen untersucht mögliche Auswirkungen auf die Bundeswehr und planerische Konsequenzen ausgehend von der erwarteten Entwicklung von Einzeltechnologien (technologischen Kernthemen). Abb. 4 zeigt schematisch, wie diese Technologien als Bestandteile von zukünftigen Systemen den Streitkräften die Fähigkeiten ermöglichen, die für die verschiedenen im Rahmen zukünftiger Konfliktszenarien antizipierten militärischen Operationen erforderlich sind. Aus ihnen sind zukünftige wehrtechnische Anwendungen ableitbar, die als Komponenten oder Subsysteme eingesetzt werden. Das eigentlich vom Soldaten eingesetzte Gerät ist dann ein aus solchen Komponenten zusammengesetztes System (wie etwa ein Waffensystem, ein Flugzeug, ein Funkgerät, ein Leitstand). Mithilfe solcher Systeme (und geeignet ausgebildetem Personal) können die Streitkräfte militärische Fähigkeiten darstellen, die wiederum zur Ausführung von Aufträgen bei unterschiedlichen Operationstypen befähigen. Ganz generell ist das Handeln der Streitkräfte vom verfassungsmäßigen Auftrag und den erwarteten Kriegs- und Konfliktbildern geprägt.

Es hat sich als sinnvoll erwiesen, den im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Bottom-up-Ansatz (bezogen auf Abb. 4) der Wehrtechnischen Vorausschau einmal jährlich durch einen komplementären Top-down-Ansatz zu ergänzen, der von der Systemebene ausgeht. Dabei werden visionäre langfristige Systemkonzepte auf ihre technische Realisierbarkeit in einem Zeithorizont von ca. 30 Jahren hin untersucht.

Bundeswehr der Zukunft (aus technologischer Sicht)

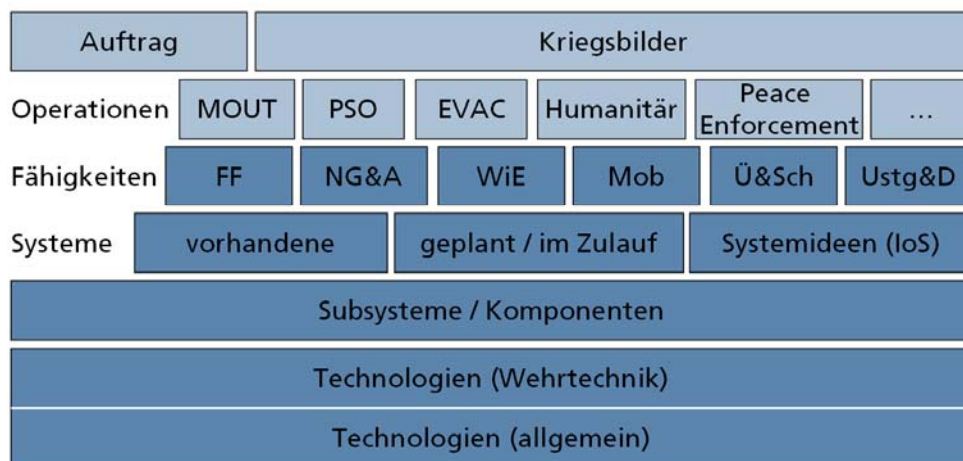


Abb. 4: Schematische Darstellung der Rahmenbedingungen für die Bewertung von Zukunftstechnologien bezüglich ihrer Bedeutung für die Erfüllung zukünftiger Aufgaben der Bundeswehr. (s. Text). Die Abkürzungen bedeuten: MOUT = Military Operations in Urban Terrain (Streitkräfteoperationen in urbanem Umfeld), PSO = Peace-Support Operations (friedensunterstützende Einsätze), EVAC = Evakuierungseinsätze, FF = Führungsfähigkeit, NG&A = Nachrichtengewinnung und Aufklärung, WiE = Wirksamkeit im Einsatz, Mob = Mobilität, Ü&Sch = Überlebensfähigkeit und Schutz, Ustg&D = Unterstützung und Durchhaltefähigkeit, IoS = Idea of System.

Es werden die folgenden Analyse- und Syntheseschritte durchlaufen, die jeweils durch ein Kapitel des Textes wiedererkennbar abgebildet werden. Zunächst werden zu einem Thema visionäre, langfristige Systemkonzepte (wie etwa „Kampfschiff der Zukunft“) in der wehrtechnischen Literatur recherchiert, wie sie von (häufig amerikanischen) militärisch-akademischen Institutionen publiziert werden. Es folgt ein erster Analyseschritt, indem die für die Realisierung der vorgefundenen Zukunftskonzepte relevanten Technologien identifiziert werden. In einem zweiten Analyseschritt werden diese Einzeltechnologien bezüglich ihrer Anwendbarkeit bzw. Reife zum angenommenen Zeitpunkt in der Zukunft (z.B. 2040) analysiert. Es findet also, wie beim oben beschriebenen Bottom-up-Ansatz, eine Untersuchung von Stand der Technik und beobachteten Entwicklungslinien mit anschließender Prognose statt.

Es folgt eine Synthese dieser Einzelprognosen, indem aus ihrer Synopse die technologische Realisierbarkeit der untersuchten Systemkonzepte abgeleitet wird. Schließlich wird in Form eines Zukunftsbildes eine eigene Vorstellung entwickelt, was als wahrscheinlichste Ausprägung des untersuchten Systemtyps zum gegebenen Zeitpunkt erwartet werden kann. Zudem werden Auswirkungen auf die militärische Ausrüstung insgesamt, auf Nutzungsarten der Systeme, militärische Fähigkeiten und operationelle Möglichkeiten sowie etwaige neue Bedrohungen beschrieben.

Bei dem hier gewählten Zeithorizont und dem technologieübergreifendem Charakter der Analyse ist eine Handlungsempfehlung an die wehrtechnischen und militärischen Planer nicht sinnvoll möglich. Das beschriebene, auf Ebene der technologischen Realisierungsvoraussetzungen fundierte Zukunftsbild kann jedoch dort eine belastbare Diskussionsgrundlage für die langfristige Zielfindung bieten.

Qualitätssicherungsmaßnahmen

Die Erstellung der WTV 2011+ folgt einem ambitionierten, relativ inflexiblen und sich stetig wiederholenden Zeitplan mit hoher Arbeitsteilung. Um nicht z.B. an den Schnittstellen zwischen Prozessschritten bzw. Bearbeitern zuviel Qualität einzubüßen, ist ein striktes Projektcontrolling unverzichtbar. Dieses verlangt eine ausreichende Dokumentation aller Prozesse und Prozessschritte. Dem Dokumenten- und Wissensmanagement dient ein Wiki.

Der Qualitätssicherung dienen aber noch weitere Maßnahmen. Zum einen ist eine wiederholte Anwendung des Peer-Review-Prinzips vorgesehen, wozu vor allem die abschließende Redaktion (nach einem „Zehnaugenprinzip“) dient. Themenkonferenz, Technologieabgleich-Workshop und Empfehlungskonferenz dienen der interaktiven Überprüfung von Zwischenergebnissen. Dabei wird auch die Konsistenz der getroffenen Aussagen in unterschiedlichen Projekten bzw. Fragestellungen geprüft. Hierbei sind auch die diversen Workshops und

Studien im nationalen und internationalen Verteidigungsbereich im Blick, an denen das Fraunhofer INT beteiligt ist.

Fazit

Technologiefrühaufklärung im Verteidigungsbereich, und hier insbesondere eine konsequente und kontinuierliche Herangehensweise, wie sie in der Wehrtechnischen Vorausschau verwirklicht ist, ist für eine zukunftsfähige und vorsorgende staatliche Planung dauerhaft erforderlich und erweist sich auch in der Praxis als nützlich. Dabei ist es von Vorteil, im Vorausschauteam eigene (möglichst breit gestreute) *Sachkompetenz* im naturwissenschaftlich-technischen Bereich mit erfahrungstragender *Prozesskompetenz* sowie entsprechender *Methodenkompetenz* zu vereinen. Eine Erschließung des Fachwissens ausschließlich über die Einbindung von Fachexperten erweist sich dagegen in diesem Kontext häufig als problematisch. Diese können aber zur Schärfung des Urteils und zur Ergänzung der gewonnenen Aussagen wertvolle Beiträge leisten.

Für ein Projekt wie die Wehrtechnische Vorausschau ist, aufbauend auf einer kontinuierlichen Technologiefrühaufklärungs-Tätigkeit, ein erheblicher zusätzlicher Aufwand erforderlich. Dabei ist personelle und auftragsbezogene Konstanz wichtig zum Aufbau und Erhalt der genannten Kompetenzen. Nur so lassen sich dauerhaft und belastbar *Urteilsfähigkeit* (bezüglich Prognose und Relevanz), *Vertiefungsfähigkeit* (in Fachfragestellungen) und *Beratungsfähigkeit* (eines Auftraggebers/Kunden mit sehr spezifischen Rahmenbedingungen und eigenen Prozessen) realisieren.

Das Forschungs- bzw. Prozessdesign muss sich natürlich immer nach dem leistbaren Aufwand richten, dabei sollte jedoch ein gewisser Aufwand für Qualitätssicherungsmaßnahmen immer explizit vorgesehen werden. Zu diesen gehören ein konsistenter, nachvollziehbarer Prozess sowie besondere Schritte des Abgleichs und der Rückversicherung innerhalb dessen. Dazu zählt aber auch ein nicht unerheblicher Aufwand der Projektleitung (auch bei sich mit hoher Frequenz wiederholenden Prozessabläufen), das Bewusstsein der Grundphilosophie und der Details der zu durchlaufenden Schritte bei den Beteiligten lebendig zu halten.

Um eine *Beratungskompetenz* im Verteidigungsbereich realisieren zu können, ist die Kenntnis der „Handlungswelt des Auftraggebers“ (einschließlich seiner Sprache!) wichtig. Insbesondere müssen hier *Bedarfsträger-* und *Bedarfsdeckerperspektive* gleichermaßen berücksichtigt werden. Dabei ist eine allgemeingültige Beobachtung bei so langfristigen Vorhaben, dass ein kontinuierlicher Dialog mit dem Auftraggeber diesen „mit ins Boot holt“ und zu Solidarisierungseffekten bei Vorliegen des Produktes führt.

Die gegebene Verschränkung von Technology-Push und Capabilities-Demand-Pull (dem „Sog“ der militärischen Fähigkeitsforderungen) in ihrer speziellen Ausprägung beim Thema Wehrtechnik kann durch die Methode des *Disruptive Technology Assessment Game* adressiert werden. Dieses Vorgehen entspricht

der geltenden Doktrin der kontinuierlichen Transformation von Streitkräften und Ausrüstung und hat sich in der Praxis weiterentwickelt und als tauglich erwiesen. Auch hier ist ein nicht zu unterschätzender Aufwand vonnöten, und zwar insbesondere bei Vor- und Nachbereitung der Planspiele.

Generell kann internationale Zusammenarbeit mit anderen Institutionen, die Technologiefrühaufklärungsaktivitäten für ihre Verteidigungsministerien bzw. analog auf der europäischen Ebene durchführen, ganz wesentlich zu einem Abgleich bzw. einer Rückversicherung des eigenen Zukunfts-„Gesamtlagebildes“ beitragen. So können zum einen nationale „perspektivische Verzerrungen“ vermieden und andererseits der hohen internationalen Verflechtung und fortschreitenden Europäisierung auf Auftraggeberseite Rechnung getragen werden.

Eine unmittelbare Einwirkung auf Entscheidungen des beratenen Auftraggebers ist sehr selten nachweisbar, kommt aber in Einzelfällen vor. Meist werden Planungsentscheidungen im Bereich der wehrtechnischen Forschung von vielen, nicht zuletzt politischen und haushalterischen Gesichtspunkten geprägt, wozu auch von außen nicht transparente Vorgänge im Wechselspiel unterschiedlicher Zuständigkeiten im ministeriellen Bereich gehören. Die bei der Technologiefrühaufklärung erarbeiteten Empfehlungen können und sollen den Kunden ohnehin nicht von den Aufgaben der Zielfindung und der Ableitung von Aktionen entlasten. Die wichtigste Funktion der Technologiefrühaufklärung ist die längerfristige Frühwarnung, also das Aufbringen neuer Forschungsrichtungen, -themen, -paradigmen und -möglichkeiten. In diesem Bereich hat die Arbeit der letzten Jahrzehnte ihre Nützlichkeit unter Beweis gestellt.

Danksagung

Ich danke den Herausgebern dieses Bandes für die Ermöglichung dieses Artikels. Ich danke besonders M. John, U. Neupert und S. Reschke für wertvolle Beiträge und Diskussionen.

Literaturverzeichnis

Achatz, Reinhold/ Braun, Michael/ Sommerlatte, Tom (Hg.) (2012) *Lexikon Technologie- und Innovationsmanagement*. Düsseldorf.

Agar, Jon (2009) *On the Origin of Technology*. In: *Nature*, Vol. 461, Sep. 2009, 349.

Arthur, W. Brian (2009) *The Nature of Technology: What It Is and How It Evolves*. New York.

Baibich, Mario N./ et al. (1988) *Giant Magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices*. In: Physical Review Letters, Volume 61, Issue 21, Pages 2472–2475.

Bednorz, J.G./ Müller, K.A. (1986) *Possible High T_c Superconductivity in the Ba-La-Cu-O System*. In: Zeitschrift für Physik B Condensed Matter, Vol. 64 (No. 2), 189–193.

BMVg (2004) *Grundzüge der Konzeption der Bundeswehr*. Berlin, Aug. 2004, verfügbar unter: <http://www.asfrab.de/konzeption-der-bundeswehr.html> . (Die KdB selber ist Verschlusssache.)

BMVg (2006) *Weißbuch 2006 zur Sicherheitspolitik Deutschlands und zur Zukunft der Bundeswehr*. Berlin, Okt. 2006, verfügbar unter: <http://www.bmvg.de> Startseite > Sicherheitspolitik > Angebote > Dokumente > Weißbuch.

BMVg (2010) *Customer Product Management (CPM) 2010*. Verfahrensbestimmungen für die Bedarfsermittlung, Bedarfsdeckung und Nutzung in der Bundeswehr. Bonn, 23.6.2010, verfügbar unter: <http://www.bwb.org> Startseite > Projekte > CPM.

BMVg (2011) *Verteidigungspolitische Richtlinien. Nationale Interessen wahren – Internationale Verantwortung übernehmen – Sicherheit gemeinsam gestalten*. Berlin, 27.5.2011, verfügbar unter: <http://www.bmvg.de> Startseite > Sicherheitspolitik > Angebote > Dokumente > Verteidigungspolitische Richtlinien.

Bower, Joseph L./ Christensen, Clayton M. (1995) *Disruptive Technologies. Catching the Wave*. In: Harvard Business Review, Jan.–Feb. 1995, 43–53.

Campbell, Virginia (2004) *How RAND Invented the Postwar World*. In: Invention & Technology. Summer 2004.

Christensen, Clayton M. (1997) *The Innovator's Dilemma. When New Technologies Cause Great Firms to Fail*. Boston MA.

Cuhls, Kerstin/ Ganz, Walter/ Warnke, Philine (2009) *Foresight-Prozess im Auftrag des BMBF. Etablierte Zukunftsfelder und ihre Zukunftsthemen. Sowie: Foresight-Prozess im Auftrag des BMBF. Zukunftsfelder neuen Zuschnitts*. Karlsruhe, Stuttgart. Verfügbar unter: <http://www.isi.fraunhofer.de/isi-de/v/projekte/bmbf-foresight.php> .

Department of Defense (2011) *Technology Readiness Assessment (TRA) Guidance*. Verfügbar unter: <http://www.acq.osd.mil/chieftechnologist/publications/docs/TRA2011.pdf> , 27.1.2012.

Geschka, Horst/ Schaufele, Jochen/ Zimmer, Claudia (2002) *Explorative Technologie-Roadmaps. Eine Methodik zur Erkundung technologischer Entwicklungslinien und Potentiale*. In: Möhrle, M.G./ Isenmann, R. (Hg.) Technologie-Roadmapping. Zukunftsstrategien für Technologieunternehmen. Berlin, Heidelberg, New York, 105–128.

- Goffman, William/ Harmon, Glynn (1971) *Mathematical Approach to the Prediction of Scientific Discovery*. In: Nature, Vol. 229 (No. 5280), 103–104.
- Grünberg, Peter (1989) *Magnetic Field Sensor with a Thin Ferromagnetic Layer*. Europäisches Patentamt EP0346817 (A2) – 1989-12-20.
- Guigueno, Vincent (2008) *Building a High-Speed Society. France and the Aérotrain, 1962–1974*. In: Technology and Culture, Vol. 49, 21–40.
- Heinen, Marco (2010) *Im Rausch der Geschwindigkeit*. In: Der Spezialist, Ausg. 15, Apr. 2010.
- Holtmannspötter, Dirk/ Rijkers-Dfrasne, Sylvie/ Ploetz, Christiane/ Thaller-Honold, Svetlana/ Zweck, Axel (2010) *Technologieprognosen. Internationaler Vergleich 2010*. Zukünftige Technologien Nr. 88. Düsseldorf.
- Jovanović, Miloš (2011) *Fußspuren in der Publikationslandschaft. Einordnung wissenschaftlicher Themen und Technologien in grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung mithilfe bibliometrischer Methoden*. Stuttgart.
- Kreibich, Rolf (2006) *Zukunftsforschung*. Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung IZT. Arbeitsbericht Nr. 23/2006. Berlin.
- Kretschmer, Thomas (1992) *Forschungs- und Technologiefelder der Zukunft. Analyse nationaler und internationaler Prognosen und Programme*. In: Neue Technologien, Fraunhofer INT, Euskirchen, April 1992.
- Kretschmer, Thomas (Hg.) (2010) *Neue Technologien. Kernthemen des Technologiemonitorings am INT zwischen 1996 und 2009*. Stuttgart.
- Kungl. Vetenskapsakademien (2011) *Scientific Background on the Nobel Prize in Chemistry 2011. The Discovery of Quasicrystals*. Verfügbar unter: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2011/advanced-chemistryprize2011.pdf , 27.1.2012.
- Linstone, Harald A./ Turoff, Murray (eds.) (2002) *The Delphi Method. Techniques and Applications*. Newark NJ. Verfügbar unter: <http://is.njit.edu/pubs/delphibook/delphibook.pdf> .
- López-Vicente, Patricia/ Rademaker, Michel (2011) *RTO-SAS-DTOG: Disruptive Technology Assessment Game*. NATO RTO-MP-IST-099/RSY-024. Verfügbar unter: <http://ftp.rta.nato.int/public/PubFullText/RTO/MP/RTO-MP-IST-099/MP-IST-099-06.doc> , 16.1.2012.
- Möhrle, Martin/ Isenmann, Ralf (2008) *Technologie-Roadmapping: Zukunftsstrategien für Technologieunternehmen*. Berlin, Heidelberg.
- NATO RTO (2010) *Assessment of Possible Disruptive Technologies for Defence and Security*. RTO Technical Report TR-SAS-062. Verfügbar unter: <http://www.rto.nato.int/abstracts.aspx?RestrictRDP=6>

NATO RTO (2012) *Disruptive Technology Assessment Game – Evolution and Validation*. RTO Technical Report TR-SAS-082. Verfügbar unter: <http://www.rto.nato.int/abstracts.aspx?RestrictRDP=6>

Neuhaus, Christian (2011) *Kühne Würfe. Möglichkeiten und Grenzen (quantitativer) Prognose-Verfahren*. Vortrag beim 6. Treffen der AG „Methoden“ des Netzwerks Zukunftsforschung e.V., Düsseldorf, 24.2.2011.

Neupert, Ulrik/ Rademaker, J.G.M./ Römer, Silke/ Wiemken, Uwe (2009) *Assessment of Potentially Disruptive Technologies for Defence and Security*. In: Elsner, P. (Hg.): Fraunhofer Symposium Future Security. Stuttgart, 310–315.

Novoselov, K.S./ Geim, A.K./ et al. (2004) *Electric Field in Atomically Thin Carbon Films*. In: Science, Vol. 306 (No. 5696), 666–669.

Popper, R./ Keenan, M./ Miles, I./ Butter, M./ Sainz, G. (2007) *Global Foresight Outlook 2007: Mapping Foresight in Europe and the Rest of the World*. The EFMD Annual Mapping Report 2007, Report to the European Commission. Manchester.

Reschke, Stefan/ Weimert, Birgit (2010) *Futuring: Vorbereiten der Unternehmung auf das Unbekannte*. In: Gundlach, C./ Glanz, A./ Gutsche, J. (Hg.): Die frühe Innovationsphase – Methoden und Strategien für die Vorentwicklung. Düsseldorf, 245–273.

Schumacher, G./ et al. (2007) *Future Perspectives of European Materials Research*. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Materie und Material/Matter and Materials, Band 35. Jülich.

Shechtman, D/ Blech, I./ Gratias, D./ Cahn, J.W. (1984) *Metallic Phase with Long-Range Orientational Order and No Translational Symmetry*. In: Physical Review Letters, Vol. 53, 1951–1953.

Steinmüller, Angela/ Steinmüller, Karlheinz (2004) *Wild Cards. Wenn das Unwahrscheinliche eintritt*. Hamburg.

Steinmüller, Karlheinz (1997) *Grundlagen und Methoden der Zukunftsforschung. Szenarien, Delphi, Technikvorausschau*. Sekretariat für Zukunftsforschung, Werkstattbericht 21, Gelsenkirchen.

Steinmüller, Karlheinz (2011) *Möglichkeiten und Grenzen quantitativer Prognostik*. Vortrag beim 6. Treffen der AG „Methoden“ des Netzwerks Zukunftsforschung e.V., Düsseldorf, 24.2.2011.

Stokes, Donald E. (1997) *Pasteur's Quadrant: Basic Science and Technological Innovation*. Washington D.C.

Vitanov, Nikolay K./ Ausloos, Marcel R. (2012) *Knowledge Epidemics and Population Dynamics Models for Describing Idea Diffusion*. In: Scharnhorst, Andrea/ Börner, Katy/ Besselaar, Peter van den (Hg.): Models of Science Dynamics. Encounters Between Complexity Theory and Information Sciences. Berlin, 69–126.

Weimert, Birgit (2009) *Methoden der Zukunftsforschung und Technologie-Frühaufklärung*. Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT, Institutsseminar, Euskirchen, 25.2.2009.

Weimert, Birgit (2011) *Text Mining*. In: Strategie und Technik, 2/2011, 82.

Wiemken, Uwe (2009) *Prognosen und Planung. Technologievorausschau vor dem Hintergrund staatlicher Planung*. In: Diskurs Technik und gesellschaftlicher Wandel; Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT, Euskirchen, Mai 2009, verfügbar unter: <http://publica.fraunhofer.de>

Wiemken, Uwe (2010) *Technologievorausschau vor dem Hintergrund staatlicher Vorsorge und Planung*. In: Hauss, K./ Ulrich, S./ Hornbostel, S. (Hg.): Foresight – Between Science and Fiction (IFQ Working Paper 7) Bonn, 35–51.

Wiemken, Uwe/ Ruhlig, Klaus (2006) *Disruptive Technologies – Widening the Scope*. In: Diskurs Technik und gesellschaftlicher Wandel; Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT, Euskirchen, April 2006, verfügbar unter: <http://publica.fraunhofer.de>

Wöhler, Friedrich (1828) *Ueber künstliche Bildung des Harnstoffs*. In: Poggendorfs Annalen, Band 12, 253–256.

Zweck, Axel (2009) *Foresight, Technologiefrüherkennung, und Technikfolgenabschätzung. Instrumente für ein zukunftsorientiertes Technologiemanagement*. In: Popp, Reinhold/ Schüll, Elmar (Hg.): Zukunftsforschung und Zukunftsgestaltung. Beiträge aus Wissenschaft und Praxis. Berlin, Heidelberg, 195–206.

Dr. Matthias Grüne, geb. 1964, studierte Chemie an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität in Bonn und promovierte dort in Physikalischer Chemie. Seit 2000 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter des Fraunhofer-Instituts für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT mit den Schwerpunkten Methodik und Praxis technologiebezogener Zukunftsforschung, wehrtechnisches Potenzial neuer Technologien, Nanotechnologie, Werkstoffe, militärische Nutzung des Weltraums, Raketenabwehr und strategische Waffensysteme sowie übergreifende Sicherheitsfragestellungen. Seit 2009 leitet er dort die Abteilung Technologieanalysen und -vorausschau sowie das Geschäftsfeld „Trends und Entwicklungen in Forschung und Technologie“. Neben wissenschaftlichen und populärwissenschaftlichen Publikationen hat er an zahlreichen Auftragsstudien mitgewirkt und war an gutachterlichen Stellungnahmen und Workshops insbesondere im Bereich der Zukunftsanalyse des BMVg beteiligt.