

## PROGNOSE

## Dirk Holtmannspötter und Axel Zweck Technologien von morgen

### Zukunftsstudien im Vergleich



Der Blick in die Zukunft ist nach wie vor unmöglich. Aber es gibt wissenschaftliche Methoden, die fundierte Prognosen erlauben.

Foto: IHP, Frankfurt/Oder

Die Abteilung Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH hat im Juni 2004 im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung eine Vergleichsstudie internationaler Technologieprognosen vorgelegt. Die Druckauflage der Studie war innerhalb weniger Wochen vergriffen. Mit diesem Artikel sollen wesentliche Aussagen der Studie einem weiteren Leserkreis in kompakter, tabellarischer Form zugänglich gemacht werden. Die gesamte Studie in elektronischer Form kann auf [www.zt-consulting.de/publikationen](http://www.zt-consulting.de/publikationen) unter dem Stichwort „Vergleich von Technologieprognosen“ kostenlos abgerufen werden.

Themenübergreifende Technologieprognosen bieten einen Einblick in die Einschätzungen und Erwartungen von Regierungen, Forschungsinstitutionen oder Unternehmen hinsichtlich der sich abzeichnenden **Technologieentwicklung** und den zu ihrer Entfaltung anzuwendenden **Strategien**, oft fokussiert auf den jeweiligen nationalen Kontext. Internationale Organisationen als Auftraggeber solcher Zukunftsstudien ergänzen den Blickwinkel um globale oder zumindest überregionale, auf Wirtschaftsräume ausgerichtete Einschätzungen. Ebenso zahlreich und unterschiedlich wie die Auftraggeber und Durchführenden sind auch Anlass, Zeithorizont und Technologiefokus. Das Zusammenführen solcher unterschiedlicher nationaler Studien bietet aufgrund genau dieser Heterogenität zwar eine methodische Herausforderung, kann aber gerade aus demselben Grund auf Differenzen zwischen internationalen Zukunftsvorstellungen aufmerksam machen. Ein internationaler Vergleich derartiger Technologieprognosen kann dazu beitragen, ein Gesamtbild zukünftiger Technologieentwicklungen zu erhalten.

Ziel der Studie ist es, diese Überlegungen aufzugreifen und – aufbauend auf einem vom VDI-Technologiezentrum 1993 vorgelegten ersten Vergleich – systematisch auszubauen. Es werden Gemeinsamkeiten und Differenzen ausgewählter amerikanischer, europäischer und japanischer Studien herausgearbeitet. Hierfür wurde zunächst ein **intensives Screening** der zugänglichen übergreifenden Technologieprognosen durchgeführt, die in deutscher oder englischer Sprache in den USA, Europa und Japan publiziert wurden.

Die so vorgefundenen Studien differieren im Hinblick auf Zielsetzung, Detaillierungsgrad, berücksichtigte Technologiefelder und abgedeckte sozio-ökonomische Aspekte ebenso wie hinsichtlich der zeitlichen und inhaltlichen Analyseperspektiven. Um trotz dieser Differenzen in den Studien zu einer groben Einschätzung der technologischen Gesamtsituation zu kommen, müssen die Studien einem **gemeinsamen Analyseraster** unterworfen werden. So können Gemeinsamkeiten und auffällige Abweichungen sichtbar gemacht werden.

Die Analyse stellt die Aussagen der übergreifenden Technologieprognosen zu verschiedenen Technologiefeldern gegenüber. Dabei interessiert vor allem, welche gemeinsamen **Erwartungen** vorzufinden sind, aber auch welche **Differenzen** bestehen. Soweit in diesen Bereichen Informationen vorliegen, werden auch die **erwarteten Realisierungszeiträume** genannt.

Abgerundet wird die Studie durch einen umfangreichen Anhang mit einer Auswahl bestehender Technologieprognosen, Organisationen und Internetadressen.

In der Studie werden mit den Begriffen „Technologieprognose“ beziehungsweise „Technologiestudie“ ausschließlich Arbeiten verstanden, die mehrere Technologiefelder untersuchen und neben den technologischen auch gesellschaftliche, politische, ökonomische sowie sozioökonomische Aspekte berücksichtigen. „**Foresight-Studien**“ sind typische Vertreter dieser Klasse von Technologieprognosen. Foresight wird in diesem Zusammenhang definiert als ein Prozess der **„Vorausschau mit dem Ziel, systematisch die mittel- bis langfristigen Perspektiven neuer Technologien, Märkte und gesellschaftlicher Bedürfnisse und Trends frühzeitig zu analysieren, deren Potenzial zu prüfen sowie die Voraussetzungen für ihre Realisierung abzuschätzen“**. Da sich aber nicht alle dargestellten Studien eindeutig als Foresight-Studien im strengen Sinne einordnen lassen und um ungenaue Abgrenzungen zu anderen Ansätzen der Technikanalyse zu vermeiden, sprechen wir im weiteren Verlauf dieser Meta-Studie der Einfachheit halber allgemeiner von „Technologieprognosen“ oder „Technologiestudien“. Darunter verstanden werden stets themenübergreifende Studien in dem ausgeführten Sinne.

#### **Folgende Kriterien zur Studienauswahl werden angelegt:**

1. Die Länderauswahl wird begrenzt auf die wesentlichen Wettbewerber Deutschlands im Technologiebereich.
2. Auftraggeber der Studie ist eine Regierung oder Regierungseinrichtung auf nationaler Ebene.
3. Der geographische Bezugsrahmen der Studien bezieht sich mindestens auf die Entwicklungen in einem Staat oder auf übergeordnete Regionen beziehungsweise Wirtschaftsräume.
4. Der technologische Bezugsrahmen umfasst mindestens ein Technologiefeld mit mehreren Einzeltechnologien.
5. Die bearbeiteten Fragestellungen berücksichtigen neben technischen Aspekten auch sozioökonomische Auswirkungen der angesprochenen Technologien.
6. Die Studien sind in Deutsch oder Englisch verfügbar.

#### **Die folgenden Studien werden verglichen:**

- ◆ Niederlande: Technology Radar (NL)
- ◆ USA: New Forces at Work. - Industry Views Critical Technologies - (US1)
- ◆ USA: The Global Technology Revolution - Bio/Nano/Materials Trends and Their Synergies with IT by 2015 - (US2)
- ◆ USA: Converging Technologies for Improving Human Performance - Nano/Bio/IT and Cognitive Science - (US3)
- ◆ UK: Foresight. The Programme (UK)
- ◆ Japan: The Seventh Technology Foresight - Future Technology in Japan towards the Year 2030 - (JP)



**Dr. Dirk Holtmannspötter** ist Mitarbeiter der Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH.



**Dr. Dr. Axel Zweck** leitet die Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH.

Studie	Auftraggeber	Durchführung	Publikationsjahr	Zeithorizont
Niederlande: Technology Radar (NL)	Niederländisches Wirtschaftsministerium	RAND Europe und Coopers & Lybrand Technology Consultants, Innovation and Technology Management SA	1998	10 Jahre
USA: New Forces at Work. - Industry Views Critical Technologies - (US1)	Office of Science and Technology Policy (OSTP)	RAND' Critical Technologies Institute	1998	5 bis 20 Jahre
USA: The Global Technology Revolution - Bio/Nano/Mate- rials Trends and Their Syner- gies with IT by 2015 - (US2)	National Intelligence Council (NIC)	RAND' National Defense Research Institute (NDRI)	2001	15 Jahre
USA: Converging Tech- nologies for Improving Human Performance - Nano/ Bio/IT and Cognitive Science - (US3)	National Science and Technology Council (NSTC), Subcommittee on Nanoscale Science, Engineer- ing and Technology (NSET)	National Science Foundation (NSF) und Department of Commerce (DoC)	2002	10 bis 20 Jahre
UK: Foresight. The Programme (UK)	Department of Trade and Industry (DTI), Office of Science and Technology (OST)	National Research Councils	verschiedene Teilstudien im Zeitraum von 1999 bis 2002	10 bis 20 Jahre
Japan: The Seventh Tech- nology Foresight - Future Technology in Japan towards the Year 2030 - (JP)	Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), Council of Science and Technology (CST)	Science and Technology Foresight Center of the National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP), in Zusammenarbeit mit dem Institute for Future Techno- logy (IFTECH)	2001	30 Jahre

Abb. 1: Kurzcharakterisierung der betrachteten  
Technologieprognosen

### Darstellung von Struktur und Inhalt der einzelnen Studien

Die Studie „Technology Radar“ (NL) untersucht zwei zentrale Fragestellungen: Welche Technologiefelder werden in den nächsten zehn Jahren für die niederländische Wirtschaft von strategischer Bedeutung sein? Welche Maßnahmen sind erforderlich, um die Wissensbasis in diesen Technologiefeldern ausreichend zu verstärken? Methodisch basiert die Untersuchung auf Literaturrecherchen und Interviews.

Seit 1991 fordert der US-Kongress in regelmäßigen Intervallen einen Bericht zur Lage der US-Technologieunternehmen. Der vierte vorgelegte Bericht ist die hier beschriebene Studie „New Forces at Work“ (US1). Im Rahmen der Studie wurde mithilfe von Experteninterviews eine Identifizierung der für die USA relevanten Technologiebereiche, der hier so genannten „Critical Technologies“ (Schlüsseltechnologien) aus industrieller Sicht vorgenommen.

Die Studie „The Global Technology Revolution“ (US2) wurde im Rahmen der Arbeiten für die Publikation „Global Trends 2015“ in Auftrag gegeben. Sie legt den Schwerpunkt auf die Bereiche Nanotechnologie, Biotechnologie und Materialwissenschaften, deren gegenseitige Beeinflussung sowie die jeweiligen Synergieeffekte mit den Informationstechnologien. Die Autoren sehen in diesem Feld das Potenzial für eine globale technologische Revolution bis zum Jahr 2015.

Als „konvergierende Technologien“ werden in der Studie „Converging Technologies for Improving Human Potential“ (US3) die folgenden vier wissenschaftlich-technologischen Bereiche kategorisiert: 1. Nanotechnologie und Nanowissenschaft, 2. Biotechnologie und Biomedizin, 3. Informationstechnologie und 4. Kognitionswissenschaften. Der Titel der Studie zielt auf die Synergie erzeugende Kombination der vier genannten Bereiche ab. Die Studie basiert auf den Beiträgen eines Experten-Workshops.

Bei den Ergebnissen von „Foresight – The Programme“ (UK) handelt es sich um eine ganze Reihe von Studien, die im Rahmen des Foresight-Programms der britischen Regierung entstanden sind. Die Durchführung des Programms verteilt sich auf verschiedene „National Research Councils“ und weitere, im Rahmen des Regierungsprogramms eingebundene Einrichtungen. Ziel war die Identifikation von signifikanten Marktchancen und -bedrohungen sowie von neu entstehenden beziehungsweise aufkommenden technologischen Potenzialen.

Seit 1971 werden in Japan im Abstand von fünf Jahren Delphi-Befragungen herausgebracht. Hauptziel dieser Befragungen ist es, die zukünftige Richtung der technologischen Entwicklung in Japan möglichst frühzeitig absehen zu können. Sie soll einen Beitrag zur Ausrichtung und Formulierung der Wissenschafts- und Technologiepolitik leisten und darüber hinaus als grundlegende Referenz für die strategische Ausrichtung im Bereich der privaten Wirtschaft dienen. Der „Technology Foresight-Bericht“ (JP) ist das Ergebnis eines gängigen zweistufigen Delphi-Verfahrens.

### Themenbezogene vergleichende Darstellung

	NL	US1	US2	US3	UK	JP
Transport und Verkehr, Logistik		x	(x)	(x)	x	x
Luft- und Raumfahrt				(x)	x	x
Bauen und Wohnen			(x)			x
Meerestechnik und Schifffahrt					x	x
Energie	x	x	(x)	x	x	
Nano- und Mikrosystemtechnologie		(x)	x	x	x	x
Materialtechnik	x	x	x	(x)	x	x
Produktions- und Prozesstechnik	x	x	x	x	x	
Informations- und Kommunikationstechnologien	x	x	x	x	x	x
Elektronik	x	x	x	(x)	x	x
Biotechnologie und Life Sciences	x	x	x	x		x
Gesundheit (inkl. Medizintechnik) und Ernährung		x	x	x	x	x
Nachhaltigkeit und Umwelt		x	(x)	x	x	
Verteidigung und Sicherheit		x		x	x	(x)
Dienstleistungen				x	x	

Diese acht Schwerpunkthemen werden im Rahmen der Vergleichsstudie eingehender dargestellt. Übersichten und Diskussionen der wichtigsten Aspekte sind nachfolgend wiedergegeben. Zu jedem Schwerpunkthema sind in einer Tabelle Technologien aufgeführt, die in der jeweiligen Technologieprognose als prioritär eingeschätzt werden. In der zugehörigen Diskussion werden wesentliche Übereinstimmungen und Unterschiede der betrachteten Technologieprognosen aufgezeigt und übereinstimmend als wichtig betrachtete sozio-ökonomische Rahmenbedingungen genannt.

### Stichworte

Technologieprognosen

Zukunftsstudien

Foresight, Meta-Analyse

Vergleichsstudie

**Abb. 2: Übersicht über die inhaltlichen Schwerpunkte der Technologieprognosen**

**x** – Technologieprognose befasst sich ausführlich mit dem Themenfeld

**(x)** – Themenfeld wird in der Technologieprognose lediglich am Rande behandelt; die grau hinterlegten Themenfelder wurden von mindestens vier Technologieprognosen als Schwerpunkthemen behandelt

Studie	Technologien von hoher Priorität + genannter Realisierungszeitraum
Technology Radar (NL)	Energiespartechnologien: reduzierter Energieverbrauch durch verbesserte Prozesstechnik
New Forces at Work (US1)	Brennstoffzellen, Solarzellen und Batterien
Foresight Programme (UK)	Technologien zur emissionsarmen bis emissionsfreien Energieversorgung (bis 2030)
Seventh Technology Foresight (JP)	Batterie- und Zelltechnologien (je nach Technologie zwischen 2014 und 2018)

Abb. 3: Übersicht und Vergleich „Energie“

### Übersicht und Vergleich: Energie

In allen Studien wird der Trend zu alternativen und erneuerbaren Energiequellen hervorgehoben. Daneben ist in den beiden aktuelleren Studien UK und JP der Trend erkennbar, Technologien für eine emissionsarme oder emissionsfreie Nutzung fossiler Brennstoffe zu entwickeln. In der japanischen Delphi-Befragung wird beispielsweise der Entwicklung von Technologien zur Gewinnung von Methanhydrat mit einem Zeithorizont bis 2022 eine große Bedeutung

beigemessen. Auch verbesserte Brennstoffe auf Kohlebasis spielen eine Rolle.

Nach Einschätzung der Studien US1, UK und JP haben Batterie- und Zelltechnologien eine hohe Wichtigkeit. Die beiden Studien US1 und JP weisen auf mögliche Probleme hin, die der erwartete Anstieg des Energieverbrauchs in Entwicklungsländern mit sich bringen könnte.

### Übersicht und Vergleich: Nano- und Mikrosystemtechnologie

Im Bereich der Mikrosystemtechnik werden am häufigsten Mikrosensoren genannt, die als Voraussetzung für intelligente Produkte gesehen werden. Mikrosensoren erlauben es, unterschiedliche Informationen zu geringen Kosten zu erfassen und (digital) weiterzuverarbeiten, wodurch die Möglichkeiten der Steuerung immens erweitert werden.

Bei der Nanotechnologie stehen Nanomaterialien und die Fabrikation von Nanostrukturen im Vordergrund. Während die Nanotechnologie in den Studien US1 und NL aus dem Jahre 1998 noch wenig Beachtung findet, nimmt sie in den aktuelleren Publikationen – besonders in US2 und US3 – eine zentrale Rolle ein. Dort wird die Erwartung formuliert, dass von der Nanotechnologie Umwälzungen der gesamten technologischen Entwicklung ausgehen werden.

Studie	Technologien von hoher Priorität + genannter Realisierungszeitraum	
New Forces at Work (US1)	evolutionäre Entwicklung von Mikrosensoren mit möglicherweise revolutionären Konsequenzen	langfristige Entwicklung von nanotechnischen Materialien
Global Technology Revolution (US2)	integrierte Mikrosysteme für die biotechnologische Forschung, die chemische Synthese und als Sensoren bis 2015	
Improving Human Performance NBIC (US3)	Nanofabrikation völlig neuer Kategorien von Materialien, Geräten und Systemen	
Foresight Programme (UK)	Nanofabrikation	Molekulare Nanotechnologie an der Schnittstelle Physik/Bio
Seventh Technology Foresight (JP)	Nanokatalysatoren	Selbstorganisation von Biomolekülen, Block-Co-Polymeren und Dendrimeren

Abb. 4: Übersicht und Vergleich „Nano- und Mikrosystemtechnologie“

### Übersicht und Vergleich: Materialtechnik

Naturgemäß ist die Materialtechnik ein sehr breites Feld mit einer Vielzahl von Materialklassen und Bezügen zu praktisch sämtlichen Technologiefeldern. Dies spiegelt sich auch in den untersuchten Studien wider und zeigt sich in der Fülle an diskutierten Materialien. Auffallend häufig werden Keramiken, Composite und Polymere genannt. Biomaterialien – verstanden als biologisch verträgliche Materialien – werden in fünf von sechs Studien angesprochen. Auch die Biomimetik als Entwicklungsverfahren für neue Materialien wird häufig erwähnt.

Der Computer-Modellierung wird insgesamt große Bedeutung für die Materialentwicklung zugesprochen, insbesondere die aktuellen Studien US2, US3, UK und JP weisen darauf nachdrücklich hin.

Studie	Technologien von hoher Priorität + genannter Realisierungszeitraum	
Technology Radar (NL)	Polymere und Composite sowie Oberflächenbehandlung von strategischer Bedeutung für die Niederlande im Zeitraum bis 2008	
New Forces at Work (US1)	Biopolymere mit beträchtlichen Marktchancen bis 2008	Schaltbare Klebstoffe 2008
Global Technology Revolution (US2)	Biomimetische Materialien 2015	Intelligente Materialien, mit Sensoren und Aktuatoren ausgestattet, reagieren auf Umwelteinflüsse 2015
Improving Human Performance NBIC (US3)	Nanomaterialien	
Foresight Programme (UK)	Prognostische Modellierung (kontinuierliche Weiterentwicklung)	
Seventh Technology Foresight (JP)	Materialien für eine nachhaltige Entwicklung	Computerwissenschaften für das Design von Materialien und Prozessen

Abb. 5: Übersicht und Vergleich „Materialtechnik“

Die Materialtechnik wird schließlich als ein Bereich beschrieben, der eng mit der Nanotechnologie zusammenhängt und von nanotechnologischen Erkenntnissen stark profitieren wird.

### Übersicht und Vergleich: Produktions- und Prozesstechnik

Aus den fünf Studien, die sich zur Produktions- und Prozesstechnik äußern, lässt sich eine gemeinsame Vision ableiten. In den beiden früheren Studien (NL und US1 von 1998) sind zunächst nur einzelne Elemente dieser Vision enthalten, wie etwa Produktionsautomation, IT zur Beschleunigung der Produktentwicklung oder Technologien, die ein schnelleres Erreichen der Produktionsschwelle ermöglichen. In den drei neueren Studien (US2, UK, JP) ist die Vision dann klar formuliert, und es zeigen sich bemerkenswerte Übereinstimmungen.

Gemäß dieser Vision wird Produktion als eine Dienstleistung angesehen, die den gesamten Lebenszyklus umfasst. Beginnend mit dem Design bis hin zu den Produktstadien am Ende der Produktlebensdauer, wie Sammlung und Recycling. Das Produkt enthält eine Vielzahl von Sensoren, die dessen Funktionsfähigkeit überwachen, auf erforderliche Wartungsarbeiten hinweisen und das Erreichen des Nutzungsendes an-

Abb. 6: Übersicht und Vergleich „Produktions- und Prozesstechnik“

Studie	Technologien von hoher Priorität + genannter Realisierungszeitraum	
Technology Radar (NL)	Katalyse, Trenntechnologien und Produktionsautomation von strategischer Bedeutung für die Niederlande im Zeitraum bis 2008	
New Forces at Work (US1)	computerbasierte und andere Technologien zur Beschleunigung des Produktentwicklungszyklus	Technologien, die die Produktionsschwelle reduzieren und das Hochskalieren der Produktion unterstützen
Global Technology Revolution (US2)	„Agile Fertigung“ bis 2015	
Foresight Programme (UK)	Produktion als Dienstleistung über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts (Vision für 2020)	Massenproduktion von Einzelanfertigungen bis 2020
Seventh Technology Foresight (JP)	weite Verbreitung von Systemen, die nach dem Prinzip Design-Fertigung-Sammlung-Recycling funktionieren und mindestens 90 Prozent des Materials wiederverwenden bis 2016	weite Verbreitung von lokalen Fertigungssystemen, die ohne Testphase direkt nach einem digitalen 3-D-Modell produzieren, das digital zur Fertigungsstätte übertragen wird – bis 2009

**keywords****technology prognoses****future studies****foresight****meta-analysis****comparative study**

zeigen. Aspekte der Energie-Effizienz und Umweltverträglichkeit werden voll berücksichtigt. Die Produktion ist vom Design über die eigentliche Fabrikation einschließlich der Lieferkette komplett digital abgebildet. Dadurch wird ein fließender Übergang vom Entwurf zur Produktion ermöglicht, was eine vollständige Individualisierung der Produkte bei gleichzeitiger Massenproduktion erlaubt. Die gesamte Logistik erfolgt fertigungssynchron, die Lagerhaltung wird minimiert, der Transport erfolgt mit großer Effizienz. Auch bezüglich des Zeitraums der Umsetzung herrscht große Übereinstimmung; diese wird zwischen 2015 und 2020 für realistisch angesehen.

**Übersicht und Vergleich: Informations- und Kommunikationstechnologien**

Sämtliche der betrachteten Studien diskutieren an zentraler Stelle Software und insbesondere die Softwareentwicklung. Als ein Grund für die große Aufmerksamkeit die diesem Thema zukommt, wird darauf hingewiesen, dass die Leistungsfähigkeit von Software nicht im gleichen Umfang gewachsen ist wie die Leistungsfähigkeit der Hardware, die sowohl bei den Prozessoren als auch bei der Übertragung und Speicherung von Daten bereits seit längerem exponentiell gestiegen ist. Gerade die Entwicklung komplexer Softwaresysteme bereitet dagegen hartnäckige Probleme. Dies mag mit ein Grund dafür sein, dass die Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal im Zusammenhang mit der Softwareentwicklung besonders häufig als Engstelle benannt wird.

Bei der Hardware wird zum einen die Konvergenz von Computer- und Kommunikationsgeräten prognostiziert, zum anderen die zunehmende Integration verschiedener Gerätetypen in ein globales Netzwerk. Dabei wird auch auf die wachsende Bedeutung von (miniaturisierten) Sensoren zur Erzeugung digitaler Informationen hingewiesen.

**summary**

**Comprehensive technology prognoses provide an insight into the assessments and expectations of governments, research institutions and companies with respect to the emerging technology development. An international comparison of this type of technology prognoses may contribute to devise an overall picture of the future technology development. This paper presents in a concise form the key results of such a comparative study.**

Studie	Technologien von hoher Priorität + genannter Realisierungszeitraum	
Technology Radar (NL)	Softwaretechnologien (Softwareentwicklung, Datenbanken, interaktive und multimediale Software) von strategischer Bedeutung für die Niederlande im Zeitraum bis 2008	
New Forces at Work (US1)	fortschreitende Konvergenz von Computer- und Kommunikationsgeräten über den Zeitraum bis 2008	
Global Technology Revolution (US2)	globale Informationsversorgungseinrichtungen bis 2015	
Improving Human Performance NBIC (US3)	Integration von sensorischen Systemen, Computer- und Kommunikationssystemen in ein ubiquitäres und globales Netzwerk bis etwa 2020	Entwicklung von direkten Schnittstellen zwischen Hirn und Maschine (Zeithorizont 2020)
Foresight Programme (UK)	keine Priorisierung der diskutierten Technologien	
Seventh Technology Foresight (JP)	schnelle und fehlerfreie Entwicklung großer Softwarepakete durch Fortschritte in der Qualitätsprüfung von Software (Zeithorizont 2019)	

Abb. 7: Übersicht und Vergleich „Informations- und Kommunikationstechnologien“

## Übersicht und Vergleich: Elektronik

Studie	Technologien von hoher Priorität + genannter Realisierungszeitraum	
Technology Radar (NL)	Mechatronik von strategischer Bedeutung für die Niederlande im Zeitraum bis 2008	
New Forces at Work (US1)	Nachfolger für die Photolithographie	
Global Technology Revolution (US2)	Halbleiterbasierte Nanoelektronik mit Gate-Längen von 35 Nanometer bis 2015 (entsprechend der ITRS '99)	
Foresight Programme (UK)	Siliziumbasierte Elektronik entsprechend der ITRS während der nächsten Dekade	
Seventh Technology Foresight (JP)	hochintegrierte Schaltkreise mit minimaler Strukturgröße von 10 Nanometern bis 2015	nichtflüchtige Speicher mit einer Kapazität von mehr als 100 Gigabyte bis 2016

Abb. 8: Übersicht und Vergleich „Elektronik“

In den verschiedenen Studien wird ein Trend zur Digitalisierung konstatiert oder als selbstverständlich zugrunde gelegt, der den gesamten Arbeitsprozess umfasst und so neue Formen der Einflussnahme ermöglicht. Eine Voraussetzung dafür sind immer kleiner werdende und leicht verfügbare Sensoren. Wesentlich für die Nutzung dieser digitalen Informationen sind leistungsfähige Softwaresysteme und Telekommunikationstechnologien.

Die Planungen gemäß der International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) werden in den verschiedenen Studien im Wesentlichen als die maßgeblichen Meilensteine für die Entwicklungen in der Elektronik angesehen. Eine Reihe von Alternativen, unter anderem Quantencomputer und Molekularelektronik, werden in verschiedenen Studien angesprochen. Auf einer Zeitskala bis etwa zum Jahr 2015 werden diese aber als nicht konkurrenzfähig eingeschätzt.

## Übersicht und Vergleich: Biotechnologie und Life Sciences

Abb. 9: Übersicht und Vergleich „Biotechnologie und Life Sciences“

Mit Ausnahme der niederländischen Studie nennen alle hier betrachteten Technologieprognosen „Genomik“ oder ihr zuzuordnende Technologien an zentraler Stelle im Bereich der Biotechnologie und Life Sciences. Hier werden enorme Fortschritte erwartet, besonders auf medizinischem, aber auch auf dem landwirtschaftlichen Sektor. Allerdings weisen insgesamt drei Studien auf ethisch oder rechtlich problematische Aspekte auf diesem Gebiet hin, die möglicherweise Hemmnisse darstellen könnten.

Eine wichtige Voraussetzung für die erwarteten enormen Fortschritte stellt die prognostizierte starke Weiterentwicklung im Bereich Bioinformatik dar. Dies betrifft neue Systeme zur Speicherung, Übermittlung, Organisation und Auswertung von biologischen Daten – speziell aus der Genomik und Proteomik.

Studie	Technologien von hoher Priorität + genannter Relisierungszeitraum	
Technology Radar (NL)	Gentechnologie (eine Reihe kombinierbarer DNA-basierter Techniken, die den Transfer genetischen Materials von einem Organismus in einen anderen ermöglichen)	
New Forces at Work (US1)	Technologien zur Entwicklung von genetisch modifizierten Organismen (Anfang des 21. Jahrhunderts)	Technologien im Bereich Bioinformatik (Systeme zur Datenarchivierung und -übertragung)
Global Technology Revolution (US2)	„Genetic Profiling“: Technologien zur Erstellung individueller genetischer Profile und DNA-Analysen (bis 2015)	Proteomik: hauptsächlich zur Entwicklung individualisierter Diagnostik und Therapie (nicht vor 2015)
Foresight Programme (UK)	„Human Cognome Project“ (2012 bis 2022)	
Seventh Technology Foresight (JP)	Methode zur Entfernung von Krebszellen aus dem Körper, basierend auf Einsichten in die molekularbiologischen Mechanismen von Krebszellen (2020)	Proteomik: zur Entwicklung individualisierter Diagnostik und Therapie (2013)



Studie	Technologien von hoher Priorität + genannter Realisierungszeitraum	
New Forces at Work (US1)	Technologien im Bereich molekularer Medizin zur Entwicklung individualisierter Diagnostik und Therapie (bis 2018)	
Global Technology Revolution (US2)	Technologien zur gezielten Therapie- und Arzneimittelentwicklung und im Bereich Tissue und Organ Engineering (bis 2015)	
Improving Human Performance NBIC (US3)	Technologien aus der kombinierten Anwendung von Bio- und Nanotechnologie im medizinischen Bereich, hauptsächlich Nano-Implantate, -roboter und -geräte (2012 bis 2022)	
Foresight Programme (UK)	Technologien im Bereich präventiver und regenerativer Medizin, auf Basis genetischer Informationen, Gentherapie und Stammzellenforschung (frühestens 2010)	
Seventh Technology Foresight (JP)	Technologien im Bereich regenerativer Medizin, auf molekularbiologischer Ebene und Stammzellenforschung (2020)	Technologien für eine nachhaltige und umweltfreundliche Agrarproduktion

Abb. 10: Übersicht und Vergleich „Gesundheit und Ernährung“

## Übersicht und Vergleich: Gesundheit und Ernährung

Auf den erwarteten Fortschritten in der Genomik und Proteomik wird die Vision der Entstehung einer **individualisierten Diagnostik und Therapie** gegründet (US1, US2, JP), in der präventive und regenerative Verfahren eine zunehmende Rolle spielen.

Sowohl im Rahmen des britischen Foresight-Programms als auch bei der japanischen Delphi-Studie spielt das Thema „**Alternde Gesellschaft**“ eine besonders wichtige Rolle. Im britischen Programm gibt es ein eigenes bereichsübergreifendes Gremium zu diesem Thema und auch im Rahmen der japanischen Untersuchung wurde

ein Subkomitee dazu eingerichtet. Darüber hinaus wird es auf vielen Technologiefeldern als Querschnittsthema angesprochen.

## Fazit

Die einzelnen Technologieprognosen bieten zwar teilweise Priorisierungen innerhalb einzelner Technologiefelder. Allerdings findet sich in keiner der Studien ein Versuch, übergreifende Prioritäten im Vergleich zwischen den verschiedenen Technologiefeldern aufzuzeigen, sodass sich auch die oben getroffenen, stark komprimierten Aussagen nicht in einer noch knapperen Synopsis zusammenfassen lassen. Eine Aussage im absoluten Sinne, welche als wichtigste Technologie angesehen wird, ist nicht möglich. Zu einer solchen Priorisierung bedarf es in jedem Falle Vorgaben durch den Auftraggeber der jeweiligen Technologiestudie. Derartige Vorgaben erfolgen am besten in Form eines Kriterienrasters, anhand dessen der Studiausführende die erhobenen (Technologie-) Informationen einordnen und bewerten kann. Inwiefern weitere Bewertungsvorgaben vorlagen und schärfere Prioritätensetzungen existieren, ist den Autoren des vorliegenden Vergleichs nicht bekannt, in den veröffentlichten Studien zumindest sind sie nicht enthalten.

Statt einer Gewichtung oder Rangfolge lässt sich ohne Bewertungsvorgabe die Konvergenz der Technologiefelder als zentrales Motiv ablesen. Dies wird an den summierten Aussagen zu den Technologiefeldern unmittelbar deutlich. Danach entsteht zunehmend der Eindruck, dass es vier große Technologiesegmente gibt (Bio – Nano – Material – Information und Kommunikation), die trotz ihrer offensichtlichen Unterschiede in starker Wechselbeziehung zueinander stehen und deren Erfolge und Fortschritte von den Erfolgen und Fortschritten der jeweils anderen Segmente abhängen.

Die Auflösung der Grenzen zwischen den Disziplinen schreitet demnach voran und die Interdisziplinarität nimmt eine zunehmend wichtige Rolle für die technische Entwicklung ein. Die in den betrachteten Studien angedachten Perspektiven und Visionen spannen einen weiten Bogen an Möglichkeiten auf und auch hier bedarf es externer Vorgaben zur Priorisierung.

## Kontakt:

Dr. Dirk Holtmannspötter  
 Dr. Dr. Axel Zweck  
 Zukünftige Technologien Consulting  
 der VDI Technologiezentrum GmbH  
 Graf Recke Straße 84  
 40239 Düsseldorf  
 Tel.: +49-(0)2 11/62 14-4 86  
 Fax: +49-(0)2 11/62 14-1 39  
 E-Mail: holtmannspoetter@vdi.de  
 www.zt-consulting.de