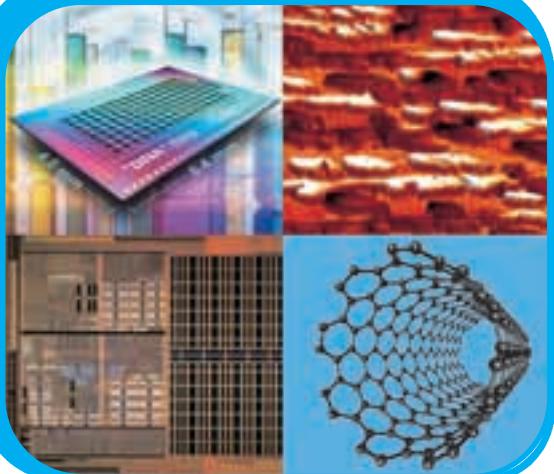


Übersichtsstudie

Internationale Tech-
nologieprognosen
im Vergleich



Gefördert vom



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Internationale Technologieprognosen im Vergleich

Petra Seiler

Dirk Holtmannspötter

Ulrich Albertshauser

Herausgeber:
Zukünftige Technologien Consulting
der VDI Technologiezentrum GmbH
Graf-Recke-Str. 84
40239 Düsseldorf

im Auftrag und mit Unterstützung des
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Diese Vergleichsstudie entstand im Rahmen des Vorhabens "Maßnahmen zur Entfaltung von Innovations- und Technikanalyse (ITA)" (Förderkennzeichen PLI 1459 A) der Abteilung Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH im Auftrag und mit Unterstützung des Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Referat LS 21.

Projektleitung: Dr. Dr. Axel Zweck

Durchführung: Petra Seiler, M. A.

Dr. Dirk Holtmannspötter

Dr. Ulrich Albertshauser

Zukünftige Technologien Nr. 52

Düsseldorf, im Januar 2004

ISSN 1436-5928

Für den Inhalt zeichnen die Autoren verantwortlich. Die geäußerten Auffassungen stimmen nicht unbedingt mit der Meinung des Bundesministerium für Bildung und Forschung überein.

Außerhalb der mit dem Auftraggeber vertraglich vereinbarten Nutzungsrechte sind alle Rechte vorbehalten, auch die des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen photomechanischen Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie) und das der Übersetzung.

Titelbild:

Oben links: Nanotechnologie - Eiseninseln auf Wolfram, Quelle: Institut für Angewandte Physik der Universität Hamburg.

Oben rechts: Biotechnologie - DNA-Chip, Quelle: Infineon Technologies AG, München.

Unten links: Materialtechnologie - Strukturbild einer Nanoröhre, Quelle: Infineon Technologies AG, München.

Unten rechts: Informationstechnologie - 64 bit-Prozessor, Quelle: AMD Saxony, Dresden.

Zukünftige Technologien Consulting (ZTC)
der VDI Technologiezentrum GmbH

Graf-Recke-Straße 84
40239 Düsseldorf

Die VDI Technologiezentrum GmbH ist im Auftrag und mit Unterstützung des
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) tätig.

Vorwort

Im Jahre 1993 legten wir unsere Analyse „Internationale Technologieprognosen im Vergleich“ vor. Ihr Ziel war ein Vergleich japanischer und amerikanischer Einschätzungen zur zukünftigen technologischen Entwicklung. Durch diese Studie angeregt wurden wir gebeten, dieses Konzept im Rahmen eines schon laufenden Projektes im Auftrag des BMBF aufzugreifen und einen erneuten Vergleich ausgewählter technologischer Zukunftsstudien anzugehen.

Wegen der Fülle vorhandener Studien über zukunftsrelevante technologische Entwicklungen, war eine scharfe Auswahl und Begrenzung der betrachteten Studien erforderlich. Nicht Gegenstand der Betrachtung waren von vornherein Analysen die sich nur einem technologischen Feld widmeten, Analysen wie sie im Rahmen der Technologiefrüherkennung zur Vorbereitung konkreter unternehmerischer oder förderpolitischer Entscheidungen üblich sind. Selbst dann blieb jedoch eine große Zahl von interessanten Studien übrig, weshalb weitere zeitliche und inhaltliche Einschränkungskriterien herangezogen wurden und lediglich eine übersichtliche Zahl von sechs Studien zur Analyse verblieb. Es wurden schließlich Studien verglichen, die eine Übersicht über alle als relevant gesehenen Technologien boten. Ziel war es einen Vergleich von Auswahl und Darstellung der herausgestellten Technologien anzustellen und unterschiedliche Schwerpunkte zu verdeutlichen.

Die Ergebnisse der nun vorliegenden Studie bieten zum einen ein methodisches Raster, wie derartige Studien miteinander verglichen werden können und damit eine Orientierung für umfangreichere Arbeiten in diesem Gebiet. Es wird deutlich auf welchem Abstraktionsniveau Ergebnisse aus dem Vergleich der Studien zu erwarten sind und was nicht erwartet werden kann. Inhaltlich deutlich wird, welche Schwerpunkte in den verschiedenen Studien gesehen werden.

Trotz aller Einschränkungen sind die Ergebnisse für weitere Arbeiten im Rahmen von Foresight, wie zum Beispiel für den laufenden deutschen FUTUR-Prozess oder die Technologiefrüherkennung hilfreich.

Dr. Dr. A. Zweck

Inhaltsverzeichnis

1 ZIELSETZUNG UND AUFBAU	1
2 SPRACHGEBRAUCH, RECHERCHE UND DARSTELLUNG	3
2.1 Sprachgebrauch	3
2.2 Recherche	3
2.3 Darstellung	4
3 AUSWAHL DER STUDIEN	5
3.1 Abgrenzung des Untersuchungsfeldes	5
3.2 Kriterien	5
4 KURZBESCHREIBUNGEN DER AUSGEWÄHLTEN STUDIEN	11
4.1 Die Niederlande: Technology Radar	11
4.2 USA: New Forces at Work. Industry Views Critical Technologies	14
4.3 USA: The Global Technology Revolution. Bio/Nano/Materials Trends and Their Synergies with Information Technology by 2015	16
4.4 USA: Converging Technologies For Improving Human Performance. Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science	18
4.5 Großbritannien: Foresight. The Programme	21
4.6 Japan: The Seventh Technology Foresight - Future Technology in Japan towards the Year 2030	23
5 VERGLEICH DER ÜBERGEORDNETEN TECHNOLOGIEFELDER	29
5.1 Identifikation der Technologiefelder	29
5.2 Energie	30
5.3 Nano- und Mikrosystemtechnologie	35
5.4 Materialtechnik	41
5.5 Produktions- und Prozesstechnik	49
5.6 Informations- und Kommunikationstechnologien	56
5.7 Elektronik	67
5.8 Biotechnologie und Life Sciences	74
5.9 Gesundheit und Ernährung	81
5.10 Übersicht der zentralen Aussagen zu den benannten Technologiefeldern und Fazit	89
6 ZUSAMMENFASSUNG	95
LITERATURÜBERSICHT	97

1 ZIELSETZUNG UND AUFBAU

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 der Studien.

Das Zusammenführen solch unterschiedlicher nationaler Studien bietet aufgrund genau dieser Unterschiedlichkeit 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 im Hinblick auf zukünftige Technologieentwicklungen zu geben.

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

Differenzen und Gemeinsamkeiten ausgewählter europäischer, amerikanischer und japanischer Technologieprognosen

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, um Gemeinsamkeiten und auffällige Abweichungen sichtbar machen zu können.

Diese übergeordnete Zielsetzung erfordert es zunächst, die Vielzahl von Studien einer Kategorisierung zu unterwerfen. Hierzu wird in Kapitel 2 zunächst eine für die vorliegende Meta-Studie geltende Definition der Bezeichnungen „Technologieprognose“ und „Technologiestudie“ gegeben. In Kapitel 3 werden dann die herangezogenen Auswahlkriterien dargestellt und begründet. Die so für die Analyse ausgewählten Technologieprognosen werden im Kapitel 4 detaillierter vorgestellt, um dem Leser das benötigte Hintergrundwissen über Inhalt, Zielsetzung und Methode der Prognosen bereitzustellen.

Die Analyse in Kapitel 5 stellt die Aussagen der übergreifenden Technologieprognosen im Hinblick auf verschiedene Technologiefelder 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.

2 SPRACHGEBRAUCH, RECHERCHE UND DARSTELLUNG

2.1 Sprachgebrauch

In der vorliegenden Meta-Analyse werden mit den Begriffen „Technologieprognose“ bzw. „Technologiestudie“ ausschließlich Studien verstanden, die mehrere Technologiefelder untersuchen und neben den technologischen auch gesellschaftliche, politische, ökonomische sowie sozio-ökonomische Aspekte berücksichtigen. „Foresight-Studien“ sind typische Vertreter dieser Klasse von Technologieprognosen. Foresight wird in diesem Zusammenhang 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 Potential zu prüfen sowie die Voraussetzungen für ihre Realisierung abzuschätzen“¹ definiert. Da sich aber nicht alle dargestellten Studien eindeutig im strengen Sinne als Foresight Studien einordnen lassen, und auch um ungenaue Abgrenzungen zu anderen Ansätzen der Technikanalyse zu vermeiden, sprechen wir im weiteren Verlauf der vorliegenden Meta-Studie der Einfachheit halber allgemeiner von „Technologieprognosen“ oder „Technologiestudien“, darunter verstanden werden stets themenübergreifende Studien in dem ausgeführten Sinne.

Technologieprognosen können auch politische, ökonomische und gesellschaftsrelevante Aspekte beinhalten

2.2 Recherche

Zur Identifizierung der relevanten Technologieprognosen wurde eine breit angelegte Literatur- und Internetrecherche durchgeführt, die zum einen an bekannten Institutionen und Firmen anknüpft, die regelmäßig Prognosen herausgeben, zum anderen ein breites Spektrum an deutschen und englischen Suchbegriffen (Zukunftsstudien, Future Studies, Technologieprognose, Technology Forecast, Vorausschau, Foresight, Zukunftszenarien, Future Scenarios) verwendet.

Literatur- und Internetrecherche

Aufgenommen in die vertiefende Analyse wurden in deutscher oder englischer Sprache verfügbare Technologieprognosen ab 1998 aus den für Deutschland ökonomisch bedeutenden Regionen. Im Fokus stehen damit die USA, Japan und ausgewählte europäische Staaten. Die detaillierte Erläuterung der Auswahlkriterien findet sich in Kapitel 3.

Auswahlkriterien

Auf Grund der Auswahlkriterien für die Aufnahme in die vorliegende Meta-Studie musste eine beträchtliche Anzahl von Studien, die im Rahmen der Recherche aufgefunden wurden, vernachlässigt werden. Diese

¹ A. Zweck, C. Krück, M. Braun: Was also ist Foresight? In: Wechselwirkung, Nr 112/Jg 23, 2001

Studien werden im Anhang aufgelistet, der keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben kann.

2.3 Darstellung

Kurzbeschreibung

Die zur vertiefenden Analyse ausgewählten Studien werden zunächst in einer charakterisierenden Kurzbeschreibung vorgestellt, die sowohl einen Überblick über den Auftraggeber, die durchführende Institution sowie das Erscheinungsjahr und den Zeithorizont als auch einen Einblick in die inhaltliche Dimension und Zielsetzung der Technologieprognosen gibt. Außerdem werden die angesprochenen Technologien tabellarisch aufgeführt. Für die vergleichende Analyse ist bereits bei der Darstellung eine weitgehend einheitliche Strukturierung sinnvoll, die Inhalt, angesprochene Technologien und Ausrichtung der Studien übersichtlich anspricht.

Die Einteilung der berücksichtigten Technologien erfolgt dabei hierarchisch im Gliederungsniveau I bis III. In den Studien anzutreffende Kategorisierungen wie „Technologiekategorie“, „Technologiefeld“, „Technologiekomplex“, „Einzeltechnologie“ etc. werden dabei in Gliederungsniveaus transformiert, jedoch nicht begrifflich übernommen.

Bei der Aufnahme von Nennungen der Technologiefelder oder Einzeltechnologien ist es unerheblich, ob diese innerhalb der beschriebenen bzw. analysierten Studien in einer hierarchischen Beziehung zueinander stehen oder unabhängig voneinander gelistet sind. Wichtiger ist es für die Zwecke dieser Studien, die explizite Nennung von Technologien als solche zu berücksichtigen und entsprechend zu kategorisieren. Eine Bewertung der Stellung der Studien bzw. Technologien im Gesamtgefüge der Technologiehierarchie erfolgt, soweit nötig, in den abschließenden zusammenfassenden Beschreibungen.

3 AUSWAHL DER STUDIEN

3.1 Abgrenzung des Untersuchungsfeldes

Spätestens seit Beginn der 90er Jahre ist weltweit ein deutlicher Zuwachs an Studien zur Einschätzung kritischer Technologiebereiche und Foresight-Studien zu beobachten. Als kritische Technologie - oder auch Schlüsseltechnologie - werden Technologien bezeichnet, die für die Zukunft als besonders bedeutsam eingeschätzt werden. Eine ganze Reihe von Einflussfaktoren hat dazu beigetragen, Technologiestudien weltweit zu einem bevorzugten Instrument der Prospektion werden zu lassen. Die zunehmende Komplexität von Technologien, der rasante Wissenszuwachs und die gegenseitige Durchdringung von Wissenschaftsbereichen gerade im Bereich der Invention neuer Anwendungsmöglichkeiten sind einige der Gründe hierfür. Immer kürzer werdende Innovationszyklen begleitet von einem intensivierten Wettbewerbsdruck im Zuge der Globalisierung tragen ein Übriges zum wachsenden Bedarf an rechtzeitigem Orientierungswissen internationaler Organisationen, Regierungen und Unternehmen bei.

Technologieprognosen und Zukunftsstudien weisen eine große Vielfalt hinsichtlich ihrer Auftraggeber, Ausrichtung und Zielsetzung auf

Im Zuge dieser Entwicklung wurden spezialisierte Institute gegründet, darunter das „Critical Technologies Institute“² in den USA, oder Programme aufgelegt, so bspw. das regional ausgerichtete Programm „Technology Foresight for Latin America“³. Zahlreiche Großunternehmen wie bspw. Shell oder DaimlerCrysler, private Forschungseinrichtungen, nationale und internationale Universitäten wie bspw. die Universität der UNO, internationale Forschungsgruppen wie ESTO und Organisationen erstellen Zukunftsstudien unterschiedlichsten Inhalts und mit verschiedensten Zielsetzungen.

Auftraggeber

Vor diesem Hintergrund erfährt diese Studie Bedeutung und Herausforderung zugleich: Gerade Deutschland als Exportnation mit seiner vorrangigen Ausrichtung auf Produkte der Hochtechnologie ist auf die rechtzeitige Identifizierung neuer Trends und Entwicklungspfade angewiesen. Dieser Notwendigkeit tragen nicht nur selbsterstellte Technologieprognosen Rechnung, sondern auch das Monitoring international verfügbarer Studien.

3.2 Kriterien

Die Vielzahl dieser Zukunftsstudien einer vergleichenden Analyse zu unterziehen, stellt nicht nur eine qualitative Herausforderung dar, sondern ist schon auf Grund der Menge des Materials nur über eine eingren-

² Das "Critical Technologies Institute" heißt seit 1998 "Science and Technology Policy Institute" (www.rand.org/scitech/stpi/).

³ Vgl.: www.foresight.ics.trieste.it:81/ oder www.unido.org/doc/4219

zende Fragestellung oder eine systematische Abgrenzung durchführbar. Das Anliegen der vorliegenden Studie, über einen Vergleich internationaler Studien zu einer Einschätzung und Identifikation übergreifender Technologiefelder zu gelangen allein, führt zu keiner hinreichenden Fokussierung der verfügbaren Datengrundlage. Daher werden im Folgenden Selektionskriterien aufgeführt und im Anschluss daran erläutert, um über ein schrittweises Filtern der Grundgesamtheit zu einer in sich schlüssigen und vom Umfang zu bearbeitenden Schnittmenge an Zukunftsstudien zu gelangen. Folgende Kriterien 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, bspw. Wirtschaftsräume.
4. Der technologische Bezugsrahmen umfasst mindestens ein Technologiefeld mit mehreren Einzeltechnologien.
5. Die bearbeiteten Fragestellungen berücksichtigen neben technischen Aspekten auch sozio-ökonomische Auswirkungen der angesprochenen Technologien.
6. Die Studien sind in Deutsch oder Englisch verfügbar.

3.2.1 Länderauswahl

USA und Japan

Ein erster Selektionsschritt galt den in dieser Studie zu berücksichtigenden Staaten, die Technologieprognosen in Auftrag geben oder in denen Institutionen wie Forschungseinrichtungen und Unternehmen als Auftraggeber oder Publizierende in Erscheinung treten. Eine grobe Abgrenzung aus globaler Perspektive drängt sich aufgrund des Anliegens dieser Studie auf, die stärksten Wettbewerber des außereuropäischen Raums, die USA und Japan, in die Analyse einzubeziehen. Damit fallen zunächst Zukunftsprognosen aus dem Raster, die aus Staaten der übrigen Regionen stammen, wie etwa Studien aus Australien, Thailand oder afrikanischen Staaten. Aber auch Technologieprognosen möglicher künftiger Konkurrenten wie der Tigerstaaten werden hier nicht berücksichtigt.

Großbritannien und die Niederlande

Neben den USA und Japan sind die europäischen Nachbarstaaten nicht nur die wichtigsten Absatzmärkte, sondern zugleich schärfste Wettbewerber, wobei die Konkurrenz im Technologiebereich vor allem von westeuropäischen Nationen ausgeht. In die vorliegende Studie wurden Großbritannien und die Niederlande als Stellvertreter der europäischen

Wettbewerber einbezogen. Die Wahl fiel auf diese beiden Staaten, da einerseits Großbritannien als ein Mitglied der G 8 die zweitgrößte Volkswirtschaft in Europa ist, andererseits die Niederlande als Standort multinationaler Konzerne selbst einen zu kleinen Absatzmarkt aufweisen, um nicht auf eine sehr intensive Beobachtung der internationalen Märkte angewiesen zu sein. Die in den übrigen europäischen Staaten ebenfalls zahlreich anzutreffenden Prognosen wie bspw. Österreich, Italien oder Polen/Slowakei fallen aus dieser Untersuchung heraus.

Damit umfasst die Studie Technologieprognosen aus vier Staaten:

- USA,
- Japan,
- Großbritannien und
- Niederlande.

Sie können als Referenzen für Deutschland sowohl im Hinblick auf die Durchführung von Technologieprognosen als auch im Hinblick auf die künftige technologische Ausrichtung und Wettbewerbsfähigkeit dienen.

3.2.2 Auftraggeber

Auch im Hinblick auf die Auftraggeberschaft ist eine Abgrenzung erforderlich. So reicht die Bandbreite der Institutionen, die Zukunftsprognosen in Auftrag geben von multi- oder internationalen Organisationen über Regierungen, Regierungsorganisationen und Forschungsinstituten bis hin zu Verbänden und Einzelunternehmen. Mit der unterschiedlichen Auftraggeberschaft einher geht in der Regel auch eine differenzierte Ausrichtung in thematischer wie geographischer Hinsicht.

Besonders deutlich wird dieser Zusammenhang im Rahmen deutscher Technologie- und Zukunftsprognosen. So werden im Auftrag der Bundesregierung etwa Studien zur technologischen Leistungsfähigkeit der Bundesrepublik auch im Vergleich zu anderen Staaten veröffentlicht. Am anderen Ende der Skala stehen kleinräumliche Zukunftsprognosen, wie sie etwa von zahlreichen Regierungen deutscher Bundesländer in Auftrag gegeben werden.

Entsprechend der prinzipiellen Korrelation von Auftraggeberschaft und Studieninhalt werden Studien nicht berücksichtigt, die von Institutionen oder Organisationen unterhalb der staatlichen Ebene in Auftrag gegeben worden sind. Darüber hinaus finden auch Verbände als Auftraggeber hier keine Berücksichtigung.

Staatliche Ebene

Da es die Auftraggeber sind, die die inhaltliche Ausrichtung der Studie bestimmen und damit ihr Erkenntnisinteresse formulieren, wurde die Auftraggeberschaft als Abgrenzungskriterium für diesen zweiten Selektionsschritt gewählt.

Technologieprognosen mit nationalem Bezugsrahmen

3.2.3 Geografischer Bezugsrahmen

Wurden zuvor die Herkunftsländer der Studien angesprochen, fokussiert dieses Abgrenzungskriterium den geographischen Bezugsrahmen der Studieninhalte. So beschäftigen sich die Technologieprognosen internationaler Organisationen in der Regel aus einer globalen Perspektive mit den zu erwartenden Entwicklungspfaden, während sich die erwähnten Regionalstudien der deutschen Bundesländer bspw. auf einen innerdeutschen Horizont beziehen.

Zentral für die vorliegende Analyse ist der Vergleich angestrebter bzw. prognostizierter Entwicklungen und Anstrengungen im Bereich zukünftiger Technologien auf nationaler Ebene und ihre möglichen Auswirkungen auf die künftige Wettbewerbsfähigkeit. Damit fallen zunächst alle Zukunftsstudien aus dem Raster, die unterhalb dieses Levels angesiedelt sind. Studien, die einer globalen Ausrichtung folgen werden in die Analyse mit einbezogen, soweit sie Informationen hinsichtlich der für diese Vergleichsstudie ausgewählten Staaten enthalten. Verzichtet wird damit auch auf die Berücksichtigung global angelegter Studien, die entweder keine gesonderte Erwähnung der hier betrachteten Staaten enthalten oder aus einer übergeordneten Sicht weltweite Trends beleuchten.

Technologieprognosen, die mindestens drei Technologiebereiche abdecken

3.2.4 Inhaltliche Abgrenzung

Neben der bisher erfolgten räumlichen Abgrenzung ist es aufgrund der Vielzahl inhaltlicher Schwerpunktsetzungen hinsichtlich technologischer und sozio-ökonomischer Prognosen unabdingbar, auch eine inhaltlich-thematische Abgrenzung vor zu nehmen. Zum einen werden rein sozio-ökonomische Studien aufgrund des fehlenden Technologiebezugs aus der Betrachtung ausgeklammert. Aber auch Zukunftsprognosen, die sich mit einer einzelnen Technologie oder einem sehr begrenzten Technologiefeld beschäftigen, werden in dieser Zusammenstellung nicht berücksichtigt. Für diese Entscheidung sind zwei Gründe ausschlaggebend: Zum einen sind derartige Studien auf Grund der einseitigen Ausrichtung nur schwer vergleichbar, zum andern erfordert der Vergleich möglicher technologischer und strategischer Zukunftsausrichtung von Staaten mehr als die Konzentration auf eine einzige Technologie.

Die Auswahl konzentriert sich daher auf Technologieprognosen, die mehrere Technologiefelder abdecken und im Idealfall mindestens drei Schlüsseltechnologien mit differenten Anwendungsmöglichkeiten und Einzeltechnologien beinhalten. Studien, die nur ein Technologiefeld umfassen, dieses aber als Schlüsseltechnologie definieren und hierin eine Vielzahl unterschiedlicher Verknüpfungen zu anderen Technologiefeldern geben, werden in die Auswahl aufgenommen.

Neben der inhaltlichen Eingrenzung in qualitativer Hinsicht ist auch eine zeitliche Beschränkung zu treffen. Diese betrifft zum einen den Zeit-

punkt, an dem die Studie erstellt bzw. veröffentlicht wurde, zum anderen den Zeithorizont, den die Studie in ihrer Prognose berücksichtigt. Selbstverständlich werden in vorliegendem Vergleich die jeweils aktuellsten verfügbaren Zukunftsstudien einbezogen. Ein Kompromiss wurde dahingehend eingegangen, dass Studien bis zurück in das Jahr 1998 berücksichtigt wurden. Im Hinblick auf den Prognosehorizont wurde versucht, eine möglichst einheitliche Linie in den Studien zu finden sowohl in Bezug auf den Zeitraum als möglichst auch hinsichtlich des Endjahres. Im Ergebnis wurden Prognosen einbezogen, die bis zum Jahr 2030 reichen.

3.2.5 Sozio-ökonomische Fragestellungen

Technologischer Fortschritt bedeutet nicht nur das isolierte Auftreten neuer Verfahren, Produktionsmethoden, Anwendungen und Produkte, sondern nimmt auch unmittelbaren Einfluss auf die Wirklichkeit aller gesellschaftlicher Teilbereiche bis hin zu tiefgreifenden Umwälzungen im Leben jedes Einzelnen. Klassische Beispiele für solch grundlegende technologieinduzierte Veränderungen in Gesellschaften sind die Erfindung von Dampfmaschine und Automobil oder Computer und Telekommunikation. Die sich abzeichnenden Entwicklungslinien bspw. im Bereich roter und grüner Gentechnologie oder der Nanotechnologie deuten auf ähnlich einschneidende Veränderungen hin.

Vor diesem Hintergrund scheint es geboten, neben den rein technologischen Fragestellungen auch die künftige Entwicklung sozioökonomischer Variablen zu beleuchten. Daher ist die Adressierung dieser Fragestellungen in den Technologieprognosen eine weitere Bedingung, um in den Rahmen der vorliegenden Analyse einbezogen zu werden.

3.2.6 Sprachverfügbarkeit

Ein letzter Abgrenzungsfaktor, der eher auf ressourcenbezogener Notwendigkeit als auf strategischem Kalkül beruht, ist die Beschränkung auf Zukunftsprognosen, die in deutscher oder englischer Sprache zugänglich sind. Diese Abgrenzung betrifft aufgrund der getroffenen Länderauswahl in erster Linie jedoch nur japanische Studien, von denen die international ausgerichteten und zugänglichen jedoch ohnedies in englischer Sprache verfasst sind. Damit ist dieses Abgrenzungskriterium lediglich als Komplettierung des Analyserasters zu sehen, ohne dass es praktische Auswirkungen auf die Studienauswahl hatte.

In deutscher oder englischer Sprache zugänglich

4 KURZBESCHREIBUNGEN DER AUSGEWÄHLTEN STUDIEN

4.1 Die Niederlande: Technology Radar

Auftraggeber: Niederländisches Wirtschaftsministerium

Durchgeführt von: RAND Europe und Coopers & Lybrand Technology Consultants, Innovation and Technology Management SA

Erscheinungsjahr: 1998

Zeithorizont: 10 Jahre

Die Studie verfolgt zwei zentrale Fragestellungen: 1. Welche Technologiefelder werden in den nächsten zehn Jahren für die niederländische Wirtschaft und Industrie von strategischer Bedeutung sein? 2. Welche Maßnahmen sind erforderlich, um die Wissensbasis in diesen Technologiefeldern ausreichend zu verstärken? Außerdem sollen mögliche Barrieren der Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Unternehmen identifiziert werden.

In geografischer Hinsicht ist die Studie national ausgerichtet. Die allgemeine technologische Entwicklung wird allerdings in einem internationalen Rahmen betrachtet. Methodisch basiert die Untersuchung auf Literaturrecherchen und Interviews. Es wurden überwiegend nationale und internationale Studien sowie Interviews mit repräsentativen Vertretern aus sämtlichen Wirtschaftssektoren und Einschätzungen von Experten aus den Bereichen Wissenschaft und Technologie ausgewertet. Die Untersuchung lief insgesamt über einen Zeitraum von einem Jahr.

Die Studie beschreibt zwei Phasen. In der ersten Phase wurden in mehreren Schritten aus insgesamt 46 Technologien bzw. Technologiefeldern (anhand ihrer Bedeutung für insgesamt 22 Wirtschaftssektoren) 15 Technologien/Technologiefelder mit strategischer Bedeutung für die Niederlande in den nächsten 10 Jahren identifiziert. In der zweiten Phase wurde dann ermittelt, ob in den identifizierten Technologien ein ausreichender Wissensaufbau stattfindet. Die beiden nachfolgenden Tabellen geben einen Überblick über die Gesamtheit der Technologiefelder (Tabelle 4.1) und der daraus identifizierten Menge von 15 Technologiefeldern mit strategischer Bedeutung (Tabelle 4.1a).

Technologiefelder mit strategischer Bedeutung für die niederländische Wirtschaft und Industrie

Tabelle 4.1: Übersicht über Struktur und Inhalte der Studie „Technology Radar“

Gliederungsebene I	Gliederungsebene II
Prozesstechnologie	<ul style="list-style-type: none"> • Reaktortechnologie • Katalyse • Prozessentwicklung • Trenntechnologien • Physikalische Transportphänomene
Biotechnologie	<ul style="list-style-type: none"> • Züchten von Nutzpflanzen und -tieren • Gentechnologie • Steuerung metabolischer Pfade • Bioprozesstechnologie • Arzneimittelentwicklung
Materialtechnologie	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung und Produktion (E&P) von Metallen • E&P von Keramiken • E&P von klassischen Materialien/Werkstoffen • E&P von Polymeren • E&P von Kompositen • E&P von funktionalen Materialien (optische, elektrische, mechanische) • Verbindungstechnologien • Oberflächenbehandlung • Oberflächenchemie- und physik
Diskrete Produktionstechnologie	<ul style="list-style-type: none"> • Bearbeitungstechnologien • Verformungstechnologien • Produktionsautomation • Nanofabrikationstechnologien • Mikrofabrikationstechnologien
Guss- und Abformtechnologie	<ul style="list-style-type: none"> • Rheologie • Kolloidchemie • Molekularphysik
Energietechnologie	<ul style="list-style-type: none"> • Energieumwandlung in Elektrizität • Energieumwandlung in Wärme • Energiespartechnologien • Technologien zu erneuerbaren Energien
Opto- und Mikroelektronik	<ul style="list-style-type: none"> • Mikroelektronische Komponenten, allg. • Mikroelektronische Komponenten, Sensoren und Aktuatoren • Technologien für eingebettete Software • Mikroelektronische Systementwicklung • Mechatronik • Messtechnik und Prozesskontrolle

Informations- und Kommunikationstechnologie	<ul style="list-style-type: none"> • Computer- und Netzwerksysteme • Daten- und Wissenssysteme • Softwareentwicklung • Technologien für interaktive und multimediale Anwendungen • Algorithmen und Grundlagenforschung
Technologien im Bauingenieurwesen	<ul style="list-style-type: none"> • Fluidmechanik und -dynamik • Geotechnologie • Technologien für verbesserte Gebäude • Technologien für neue Formen der Infrastruktur

Tabelle 4.1a: Technologiefelder mit strategischer Bedeutung

Gliederungsebene I	Gliederungsebene II
Prozesstechnologie	<ul style="list-style-type: none"> • Katalyse • Trenntechnologien
Biotechnologie	<ul style="list-style-type: none"> • Gentechnologie • Bioprozesstechnologie
Materialtechnologie	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung und Produktion von Polymeren • Entwicklung und Produktion von Kompositen • Oberflächenbehandlung
Diskrete Produktionstechnologie	<ul style="list-style-type: none"> • Produktionsautomation
Energietechnologie	<ul style="list-style-type: none"> • Energiespartechnologien
Opto- und Mikroelektronik	<ul style="list-style-type: none"> • Mechatronik • Messtechnik und Prozesskontrolle • Mikroelektronische Komponenten: Sensoren und Aktuatoren
Informations und Kommunikationstechnologie	<ul style="list-style-type: none"> • Daten- und Wissenssysteme • Technologien für interaktive und multimediale Anwendungen • Softwareentwicklung

4.2 USA: New Forces at Work. Industry Views Critical Technologies

Auftraggeber:	Office of Science and Technology Policy (OSTP)
Durchgeführt von:	RAND's Critical Technologies Institute
Erscheinungsjahr:	1998
Zeithorizont:	5 bis 20 Jahre

Ziel der Studie war die Identifikation von Schlüsseltechnologien für die amerikanische Industrie

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, in Auftrag gegeben vom „Office of Science and Technology Policy“ (OSTP). Im Rahmen der Studie wurde eine Identifizierung der für die USA relevanten Technologiebereiche, der hier sogenannten „Critical Technologies“ (Schlüsseltechnologien) aus industrieller Sicht vorgenommen. Dabei berücksichtigt die Studie nicht explizit sozioökonomische Fragestellungen, es wird aber als zentrales Anliegen der Studie betont, dass sie versucht neue Quellen in den Bewertungsprozess von Schlüsseltechnologien mit einzubeziehen und darüber hinaus neue Wege und Dialogformen zwischen Regierung und Industrie im Bereich der Wissenschafts- und Technologiepolitik zu gehen. Die Studie versteht sich selbst als eine Art Pilotprojekt in dem Bestreben darin, Möglichkeiten zu finden, neue Stimmen in den formalen politischen Diskussionsprozess mit einzubeziehen - in diesem Fall Vertreter der US-amerikanischen Industrie. Aus diesem Grund erscheint die Aufnahme dieser Studie sinnvoll.

Die Informationsgrundlage der Studie sind Daten aus einer Reihe von Interviews, die mit Vertretern aus der Industrie und dem Dienstleistungssektor durchgeführt wurden. Es handelte sich dabei um qualitative Interviews, in denen die Befragten detaillierte Antworten geben konnten, die protokolliert wurden. Insgesamt wurden aus einer Aufstellung von 80 US-amerikanischen Firmen 39 zur Befragung ausgewählt. Auf der Basis eines 19 Fragen umfassenden Katalogs konnten sich die Vertreter der Unternehmen dazu äußern, in welchen Technologien sie Schlüsseltechnologien für ihr Unternehmen bzw. ihren Industriezweig sehen und welchen Technologien sie nationale Wichtigkeit zuschreiben würden. Darüber hinaus sollte unterschieden werden zwischen gegenwärtigen (near-term) und zukünftigen (long-term) Schlüsseltechnologien.

Tabelle 4.2: Übersicht über Struktur und Inhalte der Studie „New Forces at Work“

Gliederungsebene I	Gliederungsebene II	Gliederungsebene III
Kritische Technologien von heute: Technologien mit Sektor übergreifender Ubiquität		
<ul style="list-style-type: none"> • Software • Mikroelektronik und Telekommunikation • Fortgeschrittene Fertigungstechnologie • Materialien/Werkstoffe • Sensoren und Bildgebungstechnologien 		
Querschnittstechnologien		
<ul style="list-style-type: none"> • Trenntechnologie • Wartungs- und Reparaturtechnologie • Technologien zur Koordination von komplexen Produkten und Systemen 		
Technologien in Evolution und Revolution		
<ul style="list-style-type: none"> • Elektronik und Informationstechnologie • Materialien • Biotechnologie • Energie 	<ul style="list-style-type: none"> • Software und Anwendungen • Computer Hardware • Fertigung von Computer- und Kommunikationsausrüstung • Neue Herstellungsverfahren für herkömmliche Materialien • Umweltfreundliche Materialien • Medizin • Landwirtschaft • Kommunikation 	<ul style="list-style-type: none"> • Objektorientierte Programmierung • Spracherkennung • effiziente Datenabfragen • Bildgebung und 3-D-Darstellung • Computer „Intelligenz“ • Magnetische und optische Datenspeicher • Displays • Lithographie • Brennstoffzellen • Solarzellen • Lithium-Polymer Batterien

4.3 USA: The Global Technology Revolution. Bio/Nano/Materials Trends and Their Synergies with Information Technology by 2015

Auftraggeber:	National Intelligence Council (NIC)
Durchgeführt von:	RAND's National Defense Research Institute (NDRI)
Erscheinungsjahr:	2001
Zeithorizont:	15 Jahre

Zusammenspiel von Materialwissenschaft, Nano- und Biotechnologie hat das Potential einer globalen technologischen Revolution

Die Studie wurde vom „National Intelligence Council“ (NIC) im Rahmen der Arbeiten für die Publikation „Global Trends 2015“ in Auftrag gegeben. Die Studie „Global Trends 2015“ identifiziert globale Schlüsselknoten und Trends und versucht ihre möglichen Auswirkungen auf die Welt im Jahr 2015 einzuschätzen, mit dem Ziel frühzeitig entsprechende nationale Strategien im Umgang mit zukünftigen Herausforderungen und Möglichkeiten zu entwickeln. Identifiziert wurden Schlüsselknoten und Trends aus den Bereichen Wissenschaft und Technik, sozioökonomischen Bereichen sowie Politik und Wirtschaft.

Die Technologiestudie „The Global Technology Revolution“ fokussiert nun auf Wissenschaft und Technik und hier speziell auf die Bereiche: Nanotechnologie, Biotechnologie und Materialwissenschaften, die gegenseitige Beeinflussung dieser drei Bereiche sowie deren jeweilige Schnittstellen und gegenseitige Synergieeffekte mit den Informationstechnologien. Denn im Zusammenspiel dieser Technologien und den damit verbundenen Entwicklungen sehen die Autoren das Potential für eine signifikante globale technologische Revolution bis zum Jahr 2015, deren Auswirkungen ihrer Ansicht nach das Leben in sämtlichen Bereichen maßgeblich beeinflussen werden.

Zusätzlich werden im Rahmen der Studie sogenannte „Technology Wild Cards“ identifiziert. Dabei handelt es sich um Technologien, deren aktueller Entwicklungsstand zwar nicht notwendigerweise dafür spricht, dass sie signifikante globale Auswirkungen in den nächsten 15 Jahren haben werden, bei denen aber im Falle einer unvorhersehbaren Entwicklung (z. B. einem entscheidenden Durchbruch in der Forschung) dann sehr viel schneller als gegenwärtig anzunehmen mit bedeutenden Auswirkungen zu rechnen ist.

Die in der Studie dargestellten Trends und möglichen Entwicklungen sind global zu verstehen. Aufgrund der Rolle des Auftraggebers NIC, der sich als Informationsdienst für US-Behörden, Institutionen und politische Entscheidungsträger versteht, kommt der Studie aber eine nationale Be-

deutung zu, z. B. als Ausgangspunkt für mittel- und langfristige strategische Überlegungen des NIC.

In der Studie werden keine genauen Angaben darüber gemacht, welche Methoden angewandt wurden, um zu den dargestellten Trends und Einschätzungen möglicher Entwicklungen zu kommen. Es wird lediglich darauf hingewiesen, dass die Trends auf der Basis von bereits existierenden Vorausschauen, Foresight-Aktivitäten sowie Aussagen und Einschätzungen eines breiten Spektrums von Gruppen und Individuen generiert wurden. Auch über den Zeitraum der Untersuchung und der Entstehung der Studie werden keine näheren Angaben gemacht.

Tabelle 4.3: Übersicht über Struktur und Inhalte der Studie „The Global Technology Revolution“

Gliederungsebene I	Gliederungsebene II	Gliederungsebene III
Biotechnologie	<ul style="list-style-type: none"> • Genomik • Therapien und Arzneimittelentwicklung • Biomedizinisches Engineering 	<ul style="list-style-type: none"> • Erstellung genetischer Profile, DNA-Analyse • Klonen • genetisch modifizierte Organismen • Organisches Gewebe und Organe • künstliche Materialien, Organe, Bionik • Biomimetik, angewandte Biologie • chirurgische und diagnostische Biotechnologie
Materialtechnologie	<ul style="list-style-type: none"> • Intelligente Materialien • Agile Fertigung 	<ul style="list-style-type: none"> • Rapid Prototyping • Selbstorganisation
Nanotechnologie	<ul style="list-style-type: none"> • Nanostrukturierte Halbleiter • integrierte Mikrosysteme 	

4.4 USA: Converging Technologies For Improving Human Performance. Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science

Auftraggeber: National Science and Technology Council (NSTC), Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering and Technology (NSET)

Durchgeführt von: National Science Foundation (NSF) und Department of Commerce (DoC)

Erscheinungsjahr: 2002

Zeithorizont: 10 bis 20 Jahre

Als „konvergierende Technologien“ werden in der Studie die folgenden vier wissenschaftlich-technologischen Bereiche kategorisiert:

- ◆ Nanotechnologie und Nanowissenschaft
- ◆ Biotechnologie und Biomedizin
- ◆ Informationstechnologie
- ◆ Kognitionswissenschaften

Dabei zielt der Terminus „konvergierende Technologien“ auf die Synergie erzeugende Kombination der vier genannten Bereiche ab. In der Studie werden Chancen und Auswirkungen der konvergierenden Technologien auf die fünf folgenden thematischen Forschungsbereiche eingeschätzt und dargestellt:

- ◆ Erweiterung der menschlichen Kognition und Kommunikation
- ◆ Verbesserung der Kommunikation in Gruppen und gesellschaftlichen Prozessen
- ◆ Verbesserung der menschlichen Gesundheit und der physischen Fähigkeiten
- ◆ Nationale Sicherheit
- ◆ Verbinden von Wissenschaft und Ausbildung

Dabei wird davon ausgegangen, dass durch die Kombination der vier Technologiebereiche ein beschleunigter wissenschaftlicher sowie sozialer Fortschritt erreicht werden kann. Dazu werden auch sozioökonomische Aspekte in die Betrachtung miteinbezogen. Zu den zentralen Fragestellungen der Studie gehören: Was muss in den nächsten 10 bis 20 Jahren getan werden, um die besten Ergebnisse in den genannten Bereichen zu erzielen zu können? Welche visionären Ideen können die Forschung leiten, um möglichst umfassende unterstützende Leistungen für die Menschheit

zu erreichen? Welches sind die dringlichsten Themen und Aspekte im Hinblick auf Forschung und Ausbildung? Wie kann eine entsprechende nationale Strategie zur Steigerung der individuellen und gesellschaftlichen (Leistungs-)Fähigkeiten/Ressourcen entwickelt werden? Die Fragestellungen unterliegen dabei in erster Linie einem nationalen Fokus.

Die Studie basiert auf den Beiträgen eines Experten-Workshops mit führenden Vertretern aus den Bereichen Politik, Wissenschaft und Wirtschaft, organisiert von der „National Science Foundation“ und dem „Department of Commerce“, im Dezember 2001. Zusätzlich zu den Workshop-Beiträgen wurde die Studie um vertiefende Artikel von - im Anhang der Studie namentlich genannten - Experten aus Wissenschaft und Technik ergänzt. Eine sogenannte „Vorabpublikation“ der Studie war im Juni 2002 fertiggestellt, also ca. ein halbes Jahr nach Durchführung des Workshops.

Tabelle 4.4: Übersicht über Struktur und Inhalte der Studie „Converging Technologies“

Gliederungsebene I	Gliederungsebene II
Erweiterung der menschlichen Kognition und Kommunikation	<ul style="list-style-type: none"> • The Human Cognome Project: Erforschung von Struktur und Funktion des menschlichen Gehirns. • Personal Sensory Device Interfaces: Entwicklung von „Arrays“ für „personal sensory device interfaces“, um die menschlichen Möglichkeiten der Wahrnehmung und Kommunikation zu vergrößern. • Enriched Community: Entwicklung von Robotern und Informationssystemen, die sich den menschlichen Bedürfnissen anpassen.
Verbesserung der Kommunikation in Gruppen und gesellschaftlichen Prozessen	<ul style="list-style-type: none"> • The Communicator: Enhancing Group Communication, Efficiency and Creativity: Entwicklung eines Kommunikations-Systems, das helfen soll die Ungleichheit zwischen Kommunikationspartnern, die Isolation bestimmter Individuen von ihrer Umwelt, kulturelle Konflikte u. A. zu verringern.
Verbesserung der menschlichen Gesundheit und der physischen Fähigkeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Nano-Bio-Processor: Programmierung komplexer biologischer Informationen (pathways) auf einem Chip, der Antworten des Körpers imitieren kann und entsprechende med. Behandlungen unterstützt. • Self-Monitoring of Physiological Well-Being and Dysfunction Using Nano Implant Devices: Toolset zum Erproben und Kontrollieren von biologischen Funktionen des Körpers. • Nano-Medical Research and Intervention Monitoring and Robotics:

	<p>Toolset für medizinische Forschung und Eingriffe durch multifunktionale Nanoroboter.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Multimodalities for Visual-Hearing-Impaired: Entwicklung multimodaler Kommunikationsgeräte (z.B. für Blinde). • Brain-to-Brain and Brain-to-Machine Interfaces. • Virtual Environments
Nationale Sicherheit	<ul style="list-style-type: none"> • Data Linkage, Threat Anticipation and Readiness: Entwicklung bezahlbarer Miniatursensoren, die Daten aus gefährlichen Gebieten übermitteln; High-speed Prozessoren. • Uninhabited Combat Vehicles: Entwicklung von Automatiktechnologien, die Piloten in Kriegsflugzeugen überflüssig machen. • Warfighter Education and Training: Entwicklung neuer preisgünstiger virtueller Übungsformen für Soldaten, durch Zusammenschluss von Nano- und Informationstechnologien. • Chemical /Biological /Radiological / Explosive (CBRE) Detection and Protection: Entwicklung neuartiger Waffen und Schutzmaßnahmen (z. B. Kleidung, Masken) für Soldaten. • Warfighter Systems: Entwicklung vollkommen neuartiger Kriegsflugzeuge. • Non-Drug Treatments for Enhanced of Human Performance: Entwicklung neuartiger Substanzen zur Steigerung der geistigen und körperlichen Fähigkeiten von Soldaten durch die Kombination von Nano- und Biotechnologien. • Application of Brain-Machine Interfaces.
Verbindung von Wissenschaft und Ausbildung	<ul style="list-style-type: none"> • Herstellung finanziell erschwinglicher technischer (Lern)-Systeme, damit sich die Kluft zwischen arm und reich nicht auf das Ausbildungssystem ausweitet. • Neue Erkenntnisse aus dem Bereich Kognitionswissenschaften werden das Lernen verändern. Entsprechende neuartige Lehr- und Lerntechniken werden entwickelt werden. • Ausbildung und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses in Schulen.

4.5 Großbritannien: Foresight. The Programme

Auftraggeber:	Department of Trade and Industry (DTI) Office of Science and Technology (OST)
Durchgeführt von:	National Research Councils
Erscheinungsjahr:	verschiedene Teilstudien im Zeitraum von 1999-2002
Zeithorizont:	10-20 Jahre

Hierbei handelt es sich nicht um eine einzelne Studie, sondern vielmehr um eine ganze Reihe von Studien, die im Rahmen des Foresight Programms der britischen Regierung entstanden sind. Dieses Programm stellt die einzelnen Studien in einen übergeordneten Zusammenhang und erfüllt sämtliche Kriterien um in die Auswahl der vorliegenden Meta-Studie aufgenommen zu werden (vgl. Kapitel 3): Auftraggeber des Programms ist eine Regierung auf nationaler Ebene, der geografische Bezugsrahmen ist national, der technologische Bezugsrahmen umfasst ein breites Spektrum von Technologiefeldern und darüber hinaus finden sozio-ökonomische Aspekte Berücksichtigung. Die Durchführung des Programms liegt nicht in der Hand einer Institution, sondern verteilt sich auf verschiedene „National Research Councils“ und weitere, im Rahmen des Regierungsprogramms eingebundene Einrichtungen.

Begonnen wurde das britische Foresight Programm nach einer umfangreichen Überprüfung der Regierungspolitik in den Bereichen Wissenschaft und Technologie im Jahr 1993. Die ersten Visionen und Handlungsempfehlungen wurden 1995 veröffentlicht, woraufhin einige Jahre der Entwicklung und Umsetzung folgten. Im Jahr 1999 begann dann die nächste Phase des Foresight Programms, die 2002 abgeschlossen wurde.

Über diesen Zeitraum wurden die Arbeiten von drei bereichsübergreifenden Gremien und 11 Sektorgremien begleitet, die jeweils einen wichtigen Faktor der britischen Wirtschaft repräsentierten:

Bereichsübergreifende Gremien

- ◆ Alterung der Bevölkerung
- ◆ Verbrechenvorbeugung
- ◆ Fertigung im Jahr 2020

Sektorgremien

- ◆ Siedlungsraum und Transportwesen
- ◆ Chemikalien
- ◆ Verteidigung und Luft- und Raumfahrtsysteme
- ◆ Energie und natürliche Umwelt

Ziel ist das frühzeitige Erkennen von signifikanten Marktchancen und technologischen Potentiale sowie das Aufzeigen von möglichem politischen Handlungsbedarf

- ◆ Finanzdienste
- ◆ Nahrungskette und Agrarprodukte für die Industrie
- ◆ Gesundheitswesen
- ◆ Information, Kommunikation und Medien
- ◆ Seefahrt
- ◆ Materialien
- ◆ Einzelhandel und Verbraucherdienste

Die verschiedenen thematischen Einzelstudien sind den genannten Gruppen zugeordnet und bilden die Grundlage für die in Kapitel 5 vorgenommene vergleichende Analyse.

Ziel des Programms war die Identifikation von signifikanten Marktchancen und -bedrohungen sowie von neu entstehenden bzw. aufkommenden technologischen Potentialen. Die betroffenen Bereiche in Politik und Bildung sollten ermittelt und etwaiger Handlungsbedarf aufgezeigt werden. Langfristig sollen so Wettbewerbsvorteile gesichert und die Steigerung der Lebensqualität unterstützt werden.

4.6 Japan: The Seventh Technology Foresight - Future Technology in Japan towards the Year 2030

Auftraggeber: Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), Council of Science and Technology (CST)

Durchgeführt von: Science and Technology Foresight Center of the national Institute of Science and Technology Policy (NISTEP), in Zusammenarbeit mit dem Institute for Future Technology (IFTECH)

Erscheinungsjahr: 2001

Zeithorizont: 30 Jahre

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, da in der Förderung von Wissenschaft und Technik die entscheidende Grundlage für das gesunde Wachstum der japanischen Wirtschaft gesehen wird. Diese Technologie-Vorausschau für die nächsten 30 Jahre soll einen Beitrag zur entsprechenden Ausrichtung und Formulierung der Wissenschafts- und Technologiepolitik leisten und darüber hinaus als grundlegende Referenz für die strategische Ausrichtung im Bereich der privaten Wirtschaft dienen.

Delphi-Befragungen werden in Japan alle fünf Jahre durchgeführt

Der hier dargestellte jüngste „Technology Foresight-Bericht“ hat gegenüber seinem Vorläufer einige kleinere Änderungen erfahren. So wurden beispielsweise die 16 Technologiefelder um 3 sozioökonomische Themenfelder erweitert.

Entsprechend diesen 16 Technologiefeldern und 3 sozioökonomischen Themenfeldern richtete das IFTECH jeweils ein Subkomitee ein. Wobei es insgesamt nur 14 technologische Subkomitees gibt, da die Technologiefelder „Rohstoffe und Energie“ und „Umwelt“ zusammengefasst und von nur einem Subkomitee bearbeitet wurden, ebenso wie die Felder „Meeres- und Geowissenschaften“ und „Weltraum“. Geleitet wurde jedes dieser Subkomitees von einem Mitglied des Hauptkomitees, welches vom MEXT innerhalb des NISTEP eingerichtet worden war.

Die 14 Subkomitees mit technologischer Ausrichtung erarbeiteten die Themen der Delphi-Befragung, wählten die Teilnehmer aus und analysierten die Ergebnisse der Befragung im Feld ihrer jeweiligen Expertise. Die 3 neu hinzugekommenen Subkomitees identifizierten mögliche zukünftige sozioökonomische Erfordernisse.

Der „Technology Foresight-Bericht“ ist das Ergebnis eines gängigen zweistufigen Delphi-Verfahrens. Beteiligt wurden 4448 Personen (3016 Personen schickten auch den Fragebogen der zweiten Runde zurück). Zentrale Aspekte, die in den 16 übergeordneten Themenfeldern u. A. abgefragt wurden, sind: Die Wichtigkeit des Themas für Japan, die zu erwartenden Effekte, der anzunehmende Realisationszeitraum, die derzeit führenden Länder auf dem jeweiligen Gebiet, die effektiven Maßnahmen, welche die Regierung ergreifen sollte sowie die möglichen Probleme für Japan bei der Realisierung.

Eine Übersicht über die thematischen Inhalte und die Gliederungsstruktur der 16 Technologiefelder gibt Tabelle 4.6.

Tabelle 4.6: Übersicht über Struktur und Inhalte der Studie „The Seventh Technology Foresight“

Gliederungsebene I	Gliederungsebene II	Gliederungsebene III
Information und Kommunikation	<ul style="list-style-type: none"> • Lifestyle, Wohlfahrt, Erziehung und Kultur • Administration, Industrie, Verkehr und Verteilung • Software • Kommunikation • Computer • Rundfunk und Fernsehen • Inhalte • Periphere Themen 	<ul style="list-style-type: none"> • 24 Themen • 15 Themen • 16 Themen • 14 Themen • 10 Themen • 10 Themen • 5 Themen • 2 Themen
Elektronik	<ul style="list-style-type: none"> • Mikroelektronik • Optoelektronik • Molekular-, Bio- und Sensorelektronik • Speicher- und Displayelektronik 	<ul style="list-style-type: none"> • 30 Themen • 15 Themen • 15 Themen • 9 Themen
Lebenswissenschaften	<ul style="list-style-type: none"> • Einzelne Organismen • Moleküle • Gewebe/Organe • Zellen • Gruppen • Periphere Themen 	<ul style="list-style-type: none"> • 28 Themen • 20 Themen • 19 Themen • 13 Themen • 4 Themen • 4 Themen

Gesundheit und Medizin	<ul style="list-style-type: none"> • Behandlung • Mechanismen der Krankheitsentwicklung • Verbesserung der Diagnostik • Grundlagen (Funktionen des Körpers etc.) • Verbesserung der Vorsorge • Verbesserung der Rehabilitationsmethoden • Integration und Systematisierung • Gesundheitsförderung 	<ul style="list-style-type: none"> • 48 Themen • 15 Themen • 9 Themen • 8 Themen • 7 Themen • 6 Themen • 6 Themen • 2 Themen
Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Fischerei und Ernährung	<ul style="list-style-type: none"> • Landwirtschaftsindustrie: Nutzpflanzen • Landwirtschaftsindustrie: Viehhaltung • Bio-Industrie • Generelles • Fischerei • Forstwirtschaft • Periphere Themen 	<ul style="list-style-type: none"> • 19 Themen • 16 Themen • 14 Themen • 13 Themen • 10 Themen • 8 Themen • 2 Themen
Meeres- und Geowissenschaften	<ul style="list-style-type: none"> • Meeresobservation, Vorhersage, Überwachung • Ressourcen, Energie, Raumnutzung • Erdbeobachtung und Vorhersage • Schutz/Schaffung der Meeressumwelt • Naturkatastrophenvorsorge/Bereitschaft • Generelles • Schutz/Schaffung der globalen Umwelt • Periphere Themen 	<ul style="list-style-type: none"> • 16 Themen • 11 Themen • 11 Themen • 10 Themen • 6 Themen • 3 Themen • 3 Themen • 5 Themen
Weltraum	<ul style="list-style-type: none"> • Low earth orbit, intermediate earth orbit • High earth orbit • Inner planet orbit • Outer planets and beyond 	<ul style="list-style-type: none"> • 27 Themen • 4 Themen • 2 Themen • 7 Themen

Rohstoffe und Energie	<ul style="list-style-type: none"> • Metalle • Generelles • Wasser Ressourcen • Prävention gegen Flutwellen • Verbesserung der Wasserqualität • Nicht-Metalle • Knappe Rohstoffe • Elektrizität • Solar-, Wind- und Meeresenergie, Biomasse und Geothermie • Nuklearenergie • Veredelte Energiequellen • Öl, Kohle, Gas • Heizenergie • Energie-Systeme • Peripherie Themen in Bezug auf das soziale System 	<ul style="list-style-type: none"> • 6 Themen • 5 Themen • 5 Themen • 5 Themen • 5 Themen • 1 Thema • 1 Thema • 15 Themen • 12 Themen • 5 Themen • 5 Themen • 5 Themen • 3 Themen • 3 Themen • 3 Themen
Umwelt	<ul style="list-style-type: none"> • Risiken durch Umweltverschmutzung • Globale Erwärmung • Recycling • Ozonabbau • Meeresverschmutzung • Abholzung der Regenwälder • Saurer Regen • Wüstenbildung • Generelles • Luftqualität • Wasserqualität • Lärm • Peripherie Themen 	<ul style="list-style-type: none"> • 8 Themen • 6 Themen • 4 Themen • 3 Themen • 3 Themen • 3 Themen • 2 Themen • 2 Themen • 1 Thema • 2 Themen
Werkstoffe und Prozesse	<ul style="list-style-type: none"> • Organische Materialien, Makromoleküle • Halbleiter, elektronische Materialien • Anorganische- und Keramikmaterialien • Biologische Materialien • Metalle und Supraleiter • Verbundstoffe und Verbundsysteme 	<ul style="list-style-type: none"> • 25 Themen • 25 Themen • 20 Themen • 13 Themen • 13 Themen • 7 Themen

5 VERGLEICH DER ÜBERGEORDNETEN TECHNOLOGIEFELDER

5.1 Identifikation der Technologiefelder

Themenmatrix

In diesem Abschnitt werden die ausgewählten Technologieprognosen hinsichtlich ihrer inhaltlichen Schwerpunkte beschrieben. Das Ergebnis ist in einer Themenmatrix zusammengefasst. Die Matrix stellt dar, welche Technologieprognose sich mit welchen Themen befasst. Diese Aufstellung beschränkt sich auf benannte Themenfelder nach der Gliederungsstufe I. Da die verschiedenen Studien starke Unterschiede in der Terminologie aufweisen, werden eigene Bezeichnungen für übergeordneten Themenfelder zur Einordnung verwendet.

Eigene Bezeichnungen
für übergeordnete The-
menfelder

Tabelle 5.1: Übersicht über die inhaltlichen Schwerpunkte der Technologieprognosen

	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 u. 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 (incl. 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

Befasst sich eine Technologieprognose ausführlich mit einem Themenfeld, so ist dies durch ein **x** in der entsprechenden Spalte gekennzeichnet. Wird ein Technologiefeld erwähnt aber nicht eigenständig als Schwerpunkt behandelt, ist dies durch ein eingeklammertes (**x**) in der entsprechenden Spalte gekennzeichnet.

Grau hinterlegte
Themenfelder
als Schwerpunktthemen

Die grau hinterlegten Themenfelder wurden von mindestens vier oder mehr Technologieprognosen als Schwerpunktthemen behandelt. Diese acht Themenfelder werden im Rahmen der vorliegenden Studie dargestellt und analysiert.

5.2 Energie

Studie Niederlande: Technology Radar

Im Rahmen der niederländischen Studie werden Energietechnologien definiert als Technologien zur Erzeugung, Umwandlung und Nutzung von Energie. Nicht mit einbezogen wurden dabei Technologien zum Abbau von primären Brennstoffen (Kohle, Öl, Gas) und zu deren Umwandlung durch Raffinations-Prozesse. Untergliedert wurde der Bereich in die folgenden vier Technologiefelder:

- Energiewandlung in Elektrizität
- Energiewandlung in Wärme
- **Energiespartechnologien**
- Technologien zu erneuerbaren Energien

Das Technologiefeld mit strategischer Bedeutung für die Niederlande in den nächsten zehn Jahren ist optisch hervorgehoben. Die wichtigsten Entwicklungen auf diesem Gebiet zeigen sich, der Studie zu Folge, in folgenden Bereichen:

- Redesign von Prozessen - zur Reduzierung des Energieverbrauchs
- Katalyse - zur Entwicklung von Alternativen für energieaufwändige chemische Prozesse
- Prozessintegration - zur Wiederverwendung von Restwärme
- Prozesskontrolle und Sensorik - für eine energieeffiziente Prozessführung
- Neue Trennprozesse - als Alternativen zu thermischen Trennprozessen
- Neue biotechnologische Prozesse - als Alternativen für energieaufwändige chemische Prozesse
- Materialtechnologie - zur Verbesserung der Leistung thermodynamischer Prozesse

-
- Dematerialisierung - zur Reduzierung der Menge der Abfallstoffe und -prozesse

Die Studie nennt einige beispielhafte Trends, die in verschiedenen Wirtschaftssektoren zu beobachten sind. So sind energiesparende Technologien in Industriesektoren mit hohem Energieverbrauch oft strategisch wichtige Schlüsseltechnologien, weil die Investition in diese Technologien eine drastische Kostensenkung bedeuten kann. Einige Industriesektoren beziehen daher die Entwicklung von energiesparenden Technologien von vornherein in das Design und die Konstruktion ihrer Arbeitsprozesse mit ein.

Folgende sozioökonomische Problempunkte werden konstatiert:

Ehrgeizige Energiesparziele von Politikern werden von Seiten der Industrie nicht immer als sinnvoll angesehen. Außerdem bedarf es zum Erreichen von Energiesparzielen der Regierung umfangreicher öffentlicher wie privater Forschung und Entwicklung. KMU, die bisher eher wenig in energiesparende Technologien investieren, würden sich demnach wahrscheinlich mit großen Wissenslücken und erheblichen Investitionen konfrontiert sehen, sobald gesetzliche Regulierungen eingeführt würden.

Studie (1) USA: New Forces At Work

Energie wird von mehr als der Hälfte aller, im Rahmen der Studie, Befragten als ein Bereich genannt, in dem zukünftige technologische Entwicklungen einen ganz massiven Wandel in Industrie und globaler Wirtschaft mit sich bringen könnten.

In nahezu allen befragten Industriesektoren wird der steigende Bedarf an sauberer und nachhaltiger Energie als zentrales Zukunftsthema gesehen.

Aus globaler Perspektive wird im Besonderen der erwartete steigende Bedarf an Energie in den Entwicklungsländern als wichtiges Thema eingestuft.

Gewinnung von sauberer und nachhaltiger Energie ist ein zentrales Zukunftsthema

Die am häufigsten genannten Technologien sind:

- Brennstoffzellen, Solarzellen und Lithium-Polymer Batterien. Bei erwarteten Anwendungsmöglichkeiten für Brennstoffzellen, z. B. für Hybridautos, wird davon ausgegangen, dass diese bereits in naher Zukunft auf dem Markt eingeführt werden. Konkrete Realisierungszeiträume werden aber nicht genannt. Längerfristig wird damit gerechnet, dass Brennstoffzellen (in Kombination mit superstarken neuen Werkstoffen und ultraleichten Polymeren und Keramiken) zu erheblichen Energieeinsparungen im Transportsektor führen können und sich dadurch auch die erheblichen Umweltbelastungen durch fossile Brennstoffe reduzieren lassen;

- Im Bereich der Solarenergie werden z. B. Solarzellen, die Energie aus passiven Quellen gewinnen können (wie z. B. einem parkenden Auto) als vielversprechend eingestuft;
- Leichtgewichtsbatterien mit hoher Lebensdauer.

Studie UK: Foresight Programme

Im Rahmen des Foresight Programms wurden vom Sektorgremium „Energie und natürliche Umwelt“ mögliche Entwicklungen und damit verbundene Herausforderungen für die Forschung und Entwicklung bis zum Jahr 2040 aufgezeigt. Dazu gehören:

- die Entwicklung von Technologien zur nachhaltigen Erzeugung von Elektrizität in den Bereichen: fossile Brennstoffe, erneuerbare Energieressourcen und Kernenergie,
- die Erhöhung der Effizienz der Energieerzeugung einschließlich der kombinierten Wärme- und Stromerzeugung,
- die Erhöhung der Effizienz der Technologien in der Endanwendung,
- Technologien für den Bereich Transport und Verkehr, insbesondere Brennstoffzellen und damit verbundene Technologien zur Produktion von Wasserstoff oder alternativen Kraftstoffen wie Methanol,
- die Nutzung von Biomasse und Abfallstoffen,
- Energiespeicherung und Batterien,
- Mechanismen zur Erleichterung/Förderung des Emissionshandels,
- Kohlendioxid Sequestrierung und
- die verbesserte Brennstoffgewinnung auf Kohlebasis.

Als entscheidender Trend wird auch hier die Entwicklung weg von den fossilen Brennstoffen hin zu erneuerbaren alternativen Energien gesehen. Vorrangiges Ziel ist die emissionsarme bis emissionsfreie Energieerzeugung/Stromerzeugung. Die Bereiche Energiespeicherung und alternative Kraftstoffe werden als Schlüsselbereiche identifiziert. Auch der mögliche Einsatz von Kernenergie in der Zukunft wird thematisiert.

Für den Bereich der emissionsarmen bis emissionsfreien Energieerzeugung aus fossilen Brennstoffen, Biomasse und Abfallstoffen wurde im Rahmen einer speziellen Arbeitsgruppe eine Strategie für die Forschung und Entwicklung bis zum Jahr 2030, mit Handlungsempfehlungen für die Politik entwickelt. Im Rahmen der Erstellung dieser FuE-Strategie wurden - langfristig gesehen - folgende Kraftwerkstechnologien als Schlüsseltechnologien identifiziert:

- Gasturbinen,

-
- Brennstoffzellen,
 - Brennstoffvergasung und
 - neue thermische Prozessführungszyklen.

Studie Japan: The Seventh Technology Foresight

Laut der Delhi-Befragung geht der Trend allgemein zu alternativen Energiequellen und erneuerbaren Energien anstelle von fossilen Brennstoffen. Die Studie stellt Trends auf zwei Gebieten (ausgewählt aufgrund ihres Wichtigkeitsgrades unter den Top 20 Themen) heraus und beschreibt diese hinsichtlich ihres aktuellen und erwarteten Standes.

(1) Batterie- und Zelltechnologien

Entsprechend Japans Status als weltweit führendem Produzenten von Solarzellen und den erheblichen Subventionsmaßnahmen, die zur Förderung der Nutzung von Solarzellen aufgewendet werden, sind auch die Erwartungen hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung auf diesem Gebiet relativ hoch. Unter den ersten 20 Themen mit hohem Bedeutungsgrad im Bereich „Energie“ finden sich 2 Themen zur Solarzellentechnologie:

- Die Anwendung von großflächigen Dünnfilmsolarzellen mit einem Zellkonversionsfaktor über 20 %, mit einem prognostizierten Realisierungszeitpunkt für das Jahr 2015 und
- die verbreitete Anwendung von Solarzellen für den Energiebedarf in Privathaushalten, mit einem angegebenen Realisierungszeitpunkt für das Jahr 2014.

Ein wachsendes Interesse an Brennstoffzellen zeigt sich in der Nennung von 3 Themen unter den Top 20:

- Die breite Anwendung von Brennstoffzellen als hocheffiziente, umweltsichere und portable Energiequellen (z. B. für Elektrofahrzeuge). Die Realisierung wird für das Jahr 2015 prognostiziert,
- die breite Anwendung von Brennstoffzellen mit Feststoffpolymer-elektrolyten zur kombinierten Wärme- und Stromversorgung, bis zum Jahr 2017 und
- die Anwendung von Brennstoffzellen mit Feststoffelektrolyten in der Größenordnung von 10 MW zur kombinierten Wärme- und Stromversorgung in Bezirken und Projekte zur verteilten Energieversorgung, mit einem Realisierungszeitpunkt im Jahr 2018.

Weitere 2 Themen unter den Top 20 beziehen sich auf Speicherbatterien:

- Die breite Anwendung sekundärer Batterien mit hoher Energiedichte für Kraftfahrzeuge, prognostiziert wird eine Realisierung im Jahr 2015 sowie

- die Anwendung von elektrischen Energiespeichern mit sekundären Batterien zum Belastungsausgleich, mit einem genannten Realisierungszeitpunkt im Jahr 2015.

Insgesamt hat der Bereich Batterien und Zelltechnologien damit einen Anteil von 7 Themen unter den Top 20 Themen, was für die hohen Erwartungen spricht, die mit diesen Technologien verbunden werden.

(2) Technologien zur Entwicklung von sauberen Brennstoffen, wie

- Technologien zur Gewinnung von Methanhydrat, mit einem prognostizierten Realisierungszeitpunkt im Jahr 2022,
- Technologien, die Wasserstoff durch thermochemische Aufspaltung produzieren sowie
- Technologien zur Herstellung von synthetischen Brennstoffen wie Methan, Methanol und DME im Jahr 2018.

Als mögliche Probleme in Japan führt die Studie im Hinblick auf Kohle- und Kernenergie an, dass beide mit einem negativen Image belastet sind. Mit Hinweis auf die Tatsache, dass Kohle der fossile Brennstoff mit den größten Reserven ist, wird die Entwicklung von Technologien zur sauberen Nutzung von Kohle, wie Kohleverflüssigung und Kohlevergasung aber als wesentlich angesehen. Dies gelte besonders für Entwicklungsländer, da hier erwartet wird, dass der zukünftige Energieverbrauch mit der Beschleunigung der wirtschaftlichen Entwicklung in die Höhe schnellen wird.

Die Studie weist aus diesem Grund explizit darauf hin, dass Bemühungen um ein möglichst breites öffentliches Bewusstsein und Verständnis für die Bedeutung dieser Technologien unabkömmlich sind.

Übersicht und Vergleich: Energie

Tabelle 5.2

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)

Diskussion

- ◆ 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.
- ◆ Neben dem in den Studien mehrfach hervorgehobenen Trend zu alternativen und erneuerbaren Energiequellen ist in den beiden aktuel-leren Studien UK und JP ein 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 Methanol mit einem Zeithorizont bis 2022 eine große Bedeutung beigemes-sen. Auch verbesserte Brennstoffe auf Kohlebasis spielen eine Rolle.

5.3 Nano- und Mikrosystemtechnologie

Studie Niederlande: Technology Radar

In der Liste von Technologien mit internationaler Bedeutung werden als einzige Technologien, die einen Bezug zu Nano- und Mikrosystemtechnologie aufweisen, Nano- und Mikrofabrikationstechnologien genannt. Nanofabrikationstechnologien werden allerdings für keinen der nieder-ländischen Wirtschaftssektoren als strategisch wichtig angesehen, Mikro-fabrikationstechnologien nur im Hinblick auf Anwendungen in der Elektronik. Nanotechnologie und Mikrosystemtechnologie werden dement-sprechend in dieser Studie nicht weiter diskutiert.

Studie USA (1): New Forces At Work

Im Kapitel über die „heutigen“ Schlüsseltechnologien, d. h. die Schlüsseltechnologien des Jahres 1998, werden Sensoren insgesamt angesprochen, das Schwergewicht liegt dabei auf Mikrosensoren. Die Entwicklung der Mikrosensoren wird als evolutionär betrachtet, während der Einfluss der Mikrosensorik als möglicherweise revolutionär gesehen wird. Bezüge bestehen zur Produktion und zur Prozesstechnik einschließlich der Logistik. In diesen Bereichen stellen Mikrosensoren den Schlüssel zur Digitalisierung dar. Wesentlich dafür ist die Senkung der Kosten bei gleichzeitiger Miniaturisierung.

Beim Blick in die Zukunft werden unter dem Kapitel „Materialien“ nanotechnische Materialien besonders hervorgehoben als eine Klasse, die langfristig das Potential hat sich zu „einer Industrie innerhalb der Materialindustrie“ zu entwickeln. Daneben werden nanostrukturierte Oberflächen und Selbstorganisation angesprochen, die sich auf einer Zeitskala bis 2013 allmählich entwickeln werden.

Nanomaterialien:
Potential für „eine
Industrie in der
Materialindustrie“

Nanotechnologie als
Treiber

Studie USA (2): The Global Technology Revolution

Nanotechnologie ist einer der vier Schwerpunkte der Studie „The Global Technology Revolution“. Wesentlichen Einfluss wird demnach die Nanoelektronik (in Form der konventionellen Halbleiterelektronik mit minimalen Strukturgrößen um 35nm) als Treiber für die Fortschritte in den Informationstechnologien haben (vgl. Abschnitt 5.2.6). Außerdem werden Nanomaterialien als Ausgangspunkt für eine Vielzahl von innovativen Produkten gesehen (vgl. Abschnitt 5.2.3). Darüber hinaus werden die folgenden Aspekte aus dem Bereich Nano- und Mikrosystemtechnologie angesprochen:

Integrierte Mikrosysteme

Über den Zeitraum der nächsten 5 bis 10 Jahre werden chemische, fluidische, optische, mechanische und biologische Komponenten zusammen mit logischen Funktionseinheiten auf einem Chip integriert werden. Dies wird kurzfristig Fortschritte in der Messtechnik und beim Gerätbau mit sich bringen. Bis zum Jahr 2015 wird dann erwartet, dass auf diesem Wege die biotechnologische Forschung, die chemische Synthese und Sensoren allgemein wesentlich verbessert werden können. Ganze Systeme können dann zu einem Bruchteil der Kosten hergestellt werden und eine Revolution bei der Erfassung und Verarbeitung von Informationen in einer Vielzahl ziviler und militärischer Anwendungen auslösen.

Selbstorganisation

Verfahren der Selbstorganisation werden auf dem Zeithorizont bis 2015 als eine „wild card“ angesehen, d. h. die Realisierung ist unwahrscheinlich, könnte aber im Eintrittsfall das gesamte Szenario maßgeblich beeinflussen und sich dann etwa als eine echte Alternative zu lithographischen Verfahren etablieren. Konkrete Beispiele sind die Kolloidkristallisation und die DNA-basierte Selbstorganisation.

Molekulare Fertigung

Verschiedene Experten haben das Konzept einer echten molekularen Fertigung propagiert, bei der die Produkte tatsächlich Atom für Atom bzw. Molekül für Molekül aufgebaut werden. Während vereinzelte Realisierungen in kleinerem Maßstab bis 2015 für möglich gehalten werden, werden Anwendungen im industriellen Maßstab als unwahrscheinlich angesehen. Molekulare Fertigung wird als die am wenigsten konkrete aller vorgestellten Technologieoptionen in der Studie bezeichnet.

Studie USA (3): Converging Technologies for Improving Human Performance

Nanotechnologie ist einer von vier thematischen Schwerpunkten der Studie „Converging Technologies“. Dies ist jedoch mehr in dem Sinne zu verstehen, dass diejenigen Entwicklungen, die durch Nanotechnologie ermöglicht werden, in der Studie ausgearbeitet und in Vision vorgestellt werden. Auf die technologischen Einzelheiten der Realisation wird das Augenmerk nicht so sehr gelegt. Eine Ausdrucksform für die dem Bericht zugrundeliegenden Überzeugungen ist dort wie folgt zusammengefasst:

„Wenn die Kognitionswissenschaftler es sich vorstellen können,
können es die Nano-Leute bauen,
die Bio-Leute können es implementieren und
die IT-Leute können es kontrollieren.“

Die künftige Rolle der Nanotechnologie wird also darin gesehen, völlig neue Kategorien von Materialien, Geräten und Systemen zur Anwendung in der Produktion, Konstruktion, Medizin und im Transport zu realisieren. IT spielen eine Rolle bei der Erforschung und im Entwurf. Mit Biotechnologien sollen einerseits durch Implementation von Bioprozessen bestimmte Materialien hergestellt werden, andererseits sollen Bioprozesse als Vorlage für die Synthese neuer anorganischer Materialien dienen.

Diskussion der Nanotechnologie durch das „Materials Panel“

Studie UK: Foresight Programme

Nanotechnologie wurde in der zweiten Runde des UK Foresight Prozesses von einer Arbeitsgruppe des „Materials Panel“ bearbeitet, nachdem sie in der ersten Runde nur indirekt behandelt wurde. Im Januar 1999 erschien ein Diskussionspapier über die „Chancen für die Industrie in der Anwendung von Nanotechnologie“, in dem u. a. auf Anwendungsmöglichkeiten in der chemischen Industrie, in der Automobilindustrie, im Energie- und im Gesundheitssektor hingewiesen wird. Im Dezember 2000 wurde der Abschlussbericht des „Materials Panel“ vorgelegt. Einer der enthaltenen Kurzberichte zu speziellen Teilthemen ist der Nanotechnologie gewidmet. Darin werden acht Teilgebiete der Nanotechnologie von allgemeinem Interesse aufgelistet:

- Nanofabrikation
- Nanometrologie
- Funktionale Nanotechnologie, d. h. Nanostrukturen mit verbesserten optischen, elektronischen oder magnetischen Eigenschaften
- Nanomechanische Baugruppen und Maschinen
- Molekulare Nanotechnologie
- Teilchen, Cluster und Katalyse
- Nanostrukturierte Materialien
- „Extreme“ Nanotechnologie

Die Arbeitsgruppe unterstützt die weitere Förderung dieser Nanotechnologie teilgebiete. Die folgenden drei Teilgebiete werden besonders hervorgehoben:

1. Nanofabrikation wird beschrieben als die Herstellung von Objekten mit Abmessungen unterhalb von 100 nm. Es wird die Gründung einer zentralen Einrichtung vorgeschlagen, um die Elektronenstrahl- und die Röntgenlithographie zu verbessern und Forschern die Erzeugung von Nanostrukturen zu ermöglichen.
2. Molekulare Nanotechnologie an der Schnittstelle zwischen der Physik und den Lebenswissenschaften wird als besonders aussichtsreich angesehen. Als Anwendungsbeispiele werden genannt: intelligente Sensoren für die medizinische Diagnose, nanostrukturierte Oberflächen für die Gewebewiederherstellung, Verbesserungen bei der gezielten Verabreichung von Medikamenten und die Möglichkeit, molekulare Aktivitäten in einzelnen lebenden Zellen zu verfolgen.
3. Unter „extremer“ Nanotechnologie wird der gezielte Aufbau künstlicher Strukturen beginnend vom atomaren oder molekularen Niveau verstanden. Extreme Nanotechnologie weist nach Ansicht der Arbeitsgruppe

Nanofabrikation

Molekulare Nanotechnologie

„Extreme“ Nanotechnologie

hohe Gewinnchancen, aber auch ein hohes Risiko auf und verdient größere öffentliche Förderung.

Auch im Abschlussbericht des Gremiums zu Chemikalien vom Dezember 2000 wird Nanotechnologie kurz angesprochen und darauf hingewiesen, dass die industrielle Umsetzung der Nanotechnologie erst am Anfang stehe, aber nahezu unbegrenzte Möglichkeiten eröffne.

Im Bericht des „Defence and Aerospace National Advisory Committee“ von März 2002 mit dem Titel „Elektronische Materialien und Geräte“ wird Nanotechnologie mit ihrem Bezug zur Elektronik kurz adressiert und es wird auf die enorme Breite von Anwendungen verwiesen. Zur Mikrosystemtechnik heißt es dort, dass diese sich mittlerweile zweifelsohne als disruptive Technologie erwiesen habe und die Regierung nun von einer beobachtenden Haltung zu einer eindeutigen Unterstützung übergehen müsse.

Studie Japan: The Seventh Technology Foresight

Das Thema Nanotechnologie wird in dem Kapitel „Materialien und Prozesse“ unter der Überschrift „Präzisionssynthese, strukturelle Kontrolle und Entstehung neuer Funktionen durch die Manipulation von Atomen und Molekülen“ aufgegriffen. Diesem Thema wird innerhalb von „Materialien und Prozesse“ die höchste Priorität eingeräumt. Folgende Teilaraspkte werden angesprochen:

(1) Beachtung der Nanotechnologie

Zunächst wird auf das weltweit gestiegene Interesse an der Nanotechnologie und insbesondere auf die US-amerikanische nationale Nanotechnologie Initiative hingewiesen. Konkret wird die mögliche Bedeutung der Nanotechnologie durch folgende Beispiele belegt:

- Die Präzisionskontrolle von Metallen auf der Nanoskala könnte die Festigkeit von Eisen um einen Faktor zehn verbessern, was einen entsprechend großen ökonomischen Effekt erwarten lassen würde.
- Nanokristalline, weiche magnetische Materialien, Nanokomposit-Magneten, nano-kontrollierte superfeste Aluminium-Legierungen werden untersucht.
- Die Partikelgröße in Keramiken auf der Nanoskala kontrollieren zu können, könnte die Herstellung von Keramiken mit hoher Plastizität ermöglichen, die einer Präzisionsbearbeitung unterzogen werden könnten.
- Sol-Gel-Prozesse sind soweit fortgeschritten, dass sie die Produktion von Hybridmaterialien auf dem Niveau von Atomen und Molekülen erlauben.

(2) Mesoskalige Quanteneffekte und Nanokatalysatoren

Auf dem Feld der Katalyse werden signifikante Fortschritte festgestellt, wie sie sich bspw. bei der katalytischen Aktivität von porösen Zeolithen zeigen. Eine Kontrolle der Porengröße zwischen 2 und 50 nm ist möglich. Poren in dieser Größe zeigen eigene Quanteneffekte, die zu einer herausragenden Leistungsfähigkeit des Katalysators führen und auf anderem Wege nicht vorstellbar wären.

(3) Molekulares Design zur Selbstorganisation und Umsetzung von Funktionen

Da auf dem Nanoniveau übliche Assemblierungstechniken nicht zum Einsatz kommen können, erhalten Verfahren der Selbstorganisation ein deutlich höheres Gewicht. Ebenso sind bei der Selbstorganisation von Biomolekülen, Block-Co-Polymeren und Dendrimeren wesentliche Fortschritte erzielt worden. Auf den Zusammenhang von Selbstorganisation und Selbstheilung in Materialien wird explizit hingewiesen.

(4) Nanoelektronik

Aufgrund grundlegender physikalischer Schranken, die in der nahen Zukunft erreicht werden, wird davon ausgegangen, dass sich die Silizium-Halbleiter-Elektronik nicht weiterentwickeln wird. Als Alternative wird insbesondere auf Einzelelektronen-Bauteile hingewiesen, die nach Ansicht der Autoren wesentliche Fortschritte zu einer praktischen Realisierung vorzuweisen haben.

(5) Nanoprozessierung und -überwachung

Für den Erfolg der Fertigung von Materialien auf der Nanoskala ist die Fähigkeit, mit der gleichen Genauigkeit messen und überprüfen zu können wesentlich. Als zentrale Methoden werden das STM, AFM aber auch Femtosekundentechnologien genannt.

Übersicht und Vergleich: Nano- und Mikrosystemtechnologie

Tabelle 5.3

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-Copolymeren und Dendrimeren

Diskussion

- ◆ Im Bereich der Mikrosystemtechnik werden am häufigsten Mikrosensoren genannt, die als Voraussetzung für intelligente Produkte gesehen werden. Mikrosensoren erlauben es, unterschiedlichste 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 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.

5.4 Materialtechnik

Studie Niederlande: Technology Radar

Der Technologiepool der Studie „Technology Radar“ führt in dem Technologiecluster Materialtechnik die folgenden Technologiefelder auf:

- Entwicklung und Produktion von Metallen
- Entwicklung und Produktion von Keramiken

- Entwicklung und Produktion von klassischen Materialien
- **Entwicklung und Produktion von Polymeren**
- **Entwicklung und Produktion von Kompositen**
- Entwicklung und Produktion von funktionalen Materialien (opto., elektr., mech.)
- Verbindungstechnologie
- **Oberflächenbehandlung**
- Oberflächenphysik und -chemie

Die in der Liste hervorgehobenen Technologiefelder werden als strategisch wichtig eingeschätzt.

Entwicklung und Produktion von Polymeren

Dieses Technologiefeld umfaßt die gesamte Produktionskette von Polymeren, d.h. ausgehend von der Polymerisation von Monomeren in Polymere über die Prozessierung bis zur Nutzung von Polymeren in (Halb-) Fertigprodukten. Polymere zeichnen sich dabei durch ihre mechanischen, funktionalen und ästhetischen Eigenschaften sowie durch ihre besonders gute Bearbeitbarkeit aus.

Aus wissenschaftlich-technologischer Sicht werden die folgenden Aspekte angesprochen: Grundlagenforschung wird benötigt, um den Zusammenhang zwischen der Molekülstruktur und den resultierenden Eigenschaften des zugehörigen Polymers besser zu verstehen. Gezielte Manipulation der Molekülstrukturen könnte dann zu neuen Anwendungen führen. Gefordert wird außerdem eine verstärkte öffentliche Förderung im Bereich der Metallocen-Katalyse von Polymeren, die eine Beeinflussung der Polymereigenschaften während des Produktionsprozesses erlaubt. In Bezug auf die gegenwärtigen Entwicklungen im Bereich von Polymergemischen wird auf möglicherweise resultierende Umweltprobleme hingewiesen.

Entwicklung und Produktion von Kompositen

Komposite sind Materialien (Matrixmaterialien), die durch Beigabe von bestimmten Füllstoffen verstärkt werden, um verbesserte mechanische Eigenschaften des Matrixmaterials zu erzielen.

Bei kleinen Produktionsvolumina erfolgt die Verarbeitung derzeit noch von Hand. Für die Massenproduktion erscheint das Spritzgussverfahren als eine vielversprechende aufkommende Technologie. Der Trend zum Leichtbau im Transportsektor zur Energieeinsparung wird als wesentli-

cher Treiber für die Entwicklung neuer Komposite und neuer Verfahren für die Massenproduktion angesehen.

Oberflächenbehandlung

Die Behandlung von Oberflächen dient der Verbesserung des Verhaltens und der Eigenschaften des zugrundeliegenden Substratmaterials. Typische Techniken sind die Oberflächenmodifikation (etwa durch mechanische oder thermische Härtung), das Abscheiden von Legierungen oder das Auftragen von Schichten. Bei Schichtdicken unterhalb von $1\mu\text{m}$ spricht man von Dünnschichttechnologie. Die dezidierten Dünnschichtverfahren CVD (chemical vapor deposition) und PVD (physical vapor deposition) werden gegenwärtig (im Jahr 1998 in den Niederlanden) erforscht, es wird allerdings erwartet, dass eine weitverbreitete industrielle Nutzung dieser Verfahren in der fernen Zukunft liegt. Als aktueller Forschungsbedarf wird die Behandlung von Leichtgewichtsmaterialien für Anwendungen im Transportsektor formuliert.

Studie USA (1): New Forces At Work

In der Studie „New Forces At Work“ wird Materialtechnik als eines von fünf Technologiefeldern mit sektorenübergreifender Bedeutung identifiziert. Diese Einschätzung wird unmittelbar deutlich, wenn man die zentrale Aufgabe der meisten Industriezweige in der Transformation von (Ausgangs-) Material in ein Produkt sieht. Kurzfristig werden aufgrund von Fortschritten entlang der Erfahrungskurve Kostenvorteile durch den Einsatz neuer Materialien erwartet. Eine kritische Bedeutung kommt den Materialtechnologien nach Ansicht der Studienautoren deshalb zu, weil bestehende Produktionslinien und -prozesse aufgrund völlig neuer Materialklassen komplett umgewandelt werden könnten.

Fortschritte entlang der Erfahrungskurve

Als Kategorien neuer Materialien werden Strukturmaterialien und Funktionsmaterialien unterschieden. Die größte gegenwärtige Bedeutung wird Keramiken und Kompositen (einschl. Polymerkompositen) sowie neuen Legierungen beigemessen.

Ein möglicher Durchbruch könnte in der Fabrikation von Strukturbau Teilen durch Verfahren des „rapid prototyping“ bestehen.

Allerdings werden auch zahlreiche Hemmnisse beim Einsatz neuer Materialien gesehen. Im Allgemeinen entstehen noch hohe Kosten für die Produktion und bei der Nachbearbeitung. Dies macht Fortschritte bei der Maschinenentwicklung für die Automation und die Materialbearbeitung dringlich. Hohe Kosten können auch für hochreine Rohmaterialien entstehen. Darüber hinaus wird die Anwendung hochinnovativer Materialien oft dadurch erschwert, dass diese in nur geringen Mengen benötigt werden, was ebenfalls zu Schwierigkeiten bezüglich der Kosten führen kann: Durch die Produktion großer Mengen werden verbesserte Erfahrungs-

Zahlreiche Hemmnisse

werte gewonnen, die sich in sinkenden Stück- oder Volumenpreisen niederschlagen. Kommt dieser Mechanismus nicht in Gang, bleiben die Kosten für neue Materialien hoch und deren Anwendung auf Nischen beschränkt. Außerdem können rechtliche Unklarheiten hinsichtlich der Regulierung von neuen und unbekannten Stoffen, wie etwa zur Handhabung und möglichen Gesundheitsrisiken, dem Einsatz neuer Materialien entgegenstehen.

Auch in der Materialtechnik besteht ein Querbezug zu dem allgemeinen Trend zur Digitalisierung und den Fortschritten bei den IuK-Technologien. Materialentwicklung erfolgt immer häufiger mit dem Computer durch Simulation und Modellierung, so dass Fortschritte in der Materialtechnik von Verbesserungen der Rechnerleistung und Software abhängen.

In mehr spekulativen Äußerungen über möglicherweise bedeutsame neue Materialien wurden einerseits Biomaterialien und biologisch hergestellte Materialien aufgeführt, wie etwa Biopolymere, denen im Zeitraum bis 2008 beträchtliche Marktchancen eingeräumt werden. Andererseits werden Hochtemperatursupraleiter genannt. Es wird zwar keine Erwartung für den Zeitraum der Realisierung genannt, aber darauf verwiesen, dass Supraleitung bei Raumtemperatur für alle Industriezweige, in denen es auf elektrische Übertragung in hoher Qualität ankommt, revolutionär sein könnte. Drittens wird schließlich auf die Möglichkeit schaltbarer Klebstoffe hingewiesen, deren Haftung durch einen elektrischen Strom umgekehrt werden könnte.

Als weiterer Trend in der Materialentwicklung wird die Berücksichtigung der Wiederverwendbarkeit der Materialien und die Umweltfreundlichkeit in der Herstellung genannt. Biologisch abbaubares Hartplastik wird bis zum Jahr 2015 erwartet.

Studie USA(2): The Global Technology Revolution

Neue und intelligente Materialien nehmen Einfluss auf sämtliche Lebensbereiche

Materialtechnik ist eines von vier Schwerpunktthemen der Studie „The Global Technology Revolution“. Bis zum Jahr 2015 wird die Materialtechnik Komponenten, Produkte und Systeme ermöglichen, die kleiner, intelligenter, multifunktional, umweltverträglich, überlebensfähiger und anpassbarer sind. Diese neuen Produkte und Systeme werden weitere Auswirkungen auf die Produktion, die Logistik und den persönlichen Lebensstil haben.

Bezüglich des Materialentwurfs werden die Biomimetik (d.h. die Nachahmung natürlicher Systeme) und kombinatorische Verfahren an Bedeutung gewinnen. Composite und nanoskalige Materialien werden als Materialklassen mit wachsender Relevanz genannt.

Als konkrete Beispiele werden u. a. Hochtemperaturmaterialien (wie keramische Matrixkomposite) sowie Kohlenstoffnanoröhren und Halbleiter-Quantenpunkte als Nanomaterialien angegeben.

Intelligente Materialien

Mit Sensoren und Aktuatoren ausgestattete Materialien werden zunehmend dazu eingesetzt werden, selbsttätig auf Umwelteinflüsse zu reagieren. Absehbare Anwendungen sind:

- Kleidung, die auf Wettereinflüsse reagiert, eine Schnittstelle zu Informationssystemen darstellt, die Lebensfunktionen überwacht, Medikamente verabreicht und Wunden abdeckt
- persönliche Identifikations- und Sicherheitssysteme
- Gebäude und Fahrzeuge, die sich automatisch dem Wetter anpassen.

Weitere Fortschritte bezüglich der Energiequellen, der Sensoren und Aktuatoren könnten auch neue, verfeinerte Klassen von Robotern und ferngesteuerten Fahrzeugen ermöglichen.

Als ein mögliches Risiko werden Gefährdungen der Privatsphäre aufgrund der ubiquitären sensorischen Information angeführt.

Die Rolle von Sensoren und Aktuatoren

Studie USA (3): Converging Technologies for Improving Human Performance

Aspekte der Materialtechnik spielen im Hintergrund der gesamten Studie eine wichtige Rolle. Die Materialtechnik wird aber nicht als eigenständiges Feld thematisiert, sondern wird eher zusammen mit der Nanotechnologie als eine Einheit aufgefaßt. Es werden völlig neue Kategorien von Materialien erwartet, die durch Nanotechnologie realisiert werden können. IT spielen eine Rolle bei der Erforschung und im Entwurf. Mit Biotechnologien sollen einerseits durch Implementation von Bioprozessen bestimmte Materialien hergestellt werden, andererseits sollen Bioprozesse als Vorlage für die Synthese neuer anorganischer Materialien dienen.

Materialtechnik mit der Nanotechnologie als Einheit

Studie UK: Foresight Programme

Das Thema Materialtechnik wurde in der zweiten Runde des UK Foresight Prozesses von einem eigenen Gremium, dem „Materials Panel“, bearbeitet, das seine in der ersten Runde begonnene Arbeit in gleicher Zusammensetzung fortgeführt hat. Im Dezember 2000 wurde der Abschlussbericht des Gremiums vorgelegt. Er enthält eine Sammlung von zentralen Aussagen und Empfehlungen sowie eine Reihe von Kurzberichten zu speziellen Teilthemen, die von jeweils eigenen Arbeitsgruppen erstellt wurden. Als zentrale Aussagen werden u. a. die folgenden Aspekte hervorgehoben:

Zentrale Aussagen und Empfehlungen

- Qualifiziertes Fachpersonal und adäquate Ausbildungsformen sind wesentlich für eine gesunde Entwicklung der Materialtechnik.
- Prognostische Modellierung nimmt an Bedeutung zu. Sie erlaubt eine qualifizierte Auswahl und reduziert so Kosten für Experimente und die Zeitspanne bis zum Markteintritt. Der begrenzende Faktor für den Erfolg der Modellierung wird weder in der Hard- noch in der Software gesehen, sondern in der Fähigkeit des Forscher das Problem richtig zu formulieren und die Beschränkungen des Modells zu verstehen.
- Nanotechnologie wird als ein förderungswürdiges Gebiet bezeichnet. (Für weitere Ausführungen zum Thema Nanotechnologie, vgl. Abschnitt 5.3)
- Themen für die weitere Arbeit:
 - Materialien für nachhaltiges Bauen
 - Materialien für Energiespeicher
 - Sensoren
 - Technische Textilien
 - Funktionale Materialien

Kurzberichte mit spezifischen Empfehlungen werden u. a. zu folgenden Themen vorgelegt:

Kurzberichte mit spezifischen Empfehlungen

1. Keramik
2. Hochentwickelte Keramik
3. Biomaterialien
4. Komposite
5. Nachhaltigkeit
6. Halbleiter und optoelektronische Materialien
7. Leichtmetalle
8. Pulvermetallurgie
9. Holz
10. Verpackungsmaterial
11. Oberflächentechnik
12. Stahl

Studie Japan: The Seventh Technology Foresight

In der aktuellen japanischen Delphi-Studie wird das Thema „Materialien und Prozesse“ in einem eigenen Kapitel diskutiert. Als wesentliche Trends für dieses Feld werden aufgelistet:

- Präzisionssynthese, strukturelle Kontrolle und Entstehung neuer Funktionen durch die Manipulation von Atomen und Molekülen
- Von der Analyse von Biofunktionen zum molekularen Engineering
- Materialien und Prozesse für Energie und Umwelt, Beiträge zu einer nachhaltigen ökonomischen und industriellen Entwicklung
- Einbeziehung höherer Computerwissenschaften in das Design von Materialien und Prozessen

Unter dem Punkt „Materialien und Prozesse für Energie und Umwelt, Beiträge zu einer nachhaltigen ökonomischen und industriellen Entwicklung“ werden zwei Aspekte mit Bezug zu Materialtechniken ange- sprochen:

- Die wachsende Bedeutung der kombinatorischen Chemie für die Entwicklung von Keramiken, Katalysatoren und Flüssigkristallen. Hierfür sind Computersteuerung und Automatisierung wichtige Vor- aussetzungen
- „Supermaterialien“, d.h. Materialien mit extrem gesteigerten Eigen- schaften, werden insbesondere vor dem Hintergrund ihres Potentials zur Ressourcenschonung diskutiert. Als spezifische Vorhersage wird die Erwartung der Entdeckung eines leichtverarbeitbaren plastischen Supraleiters bis zum Jahr 2017 angeführt.

Der Punkt „Einbeziehung höherer Computerwissenschaften in das Design von Materialien und Prozessen“ weist darauf hin, dass mit der ge- stiegenen und weiter steigenden Rechnerleistung ein erweiterter Einsatz von Computersimulationen für die Erforschung des Verhaltens von Ma- terialien und für das Materialdesign möglich und wahrscheinlich wird.

Nachhaltige Entwicklung

Computersimulationen

Übersicht und Vergleich: Materialtechnik

Tabelle 5.4

Studie	Technologien von hoher Priorität + genannter Realisierungszeitraum	
Technology Radar (NL)	Polymere und Komposite sowie Oberflächenbehandlung sind von strategischer Bedeutung im Zeitraum bis 2008 für die Niederlande	
New Forces at Work (US1)	Biopolymere haben beträchtliche Marktchancen bis 2008	Schaltbare Klebstoffe 2008
Global Technology Revolution (US2)	Biomimetische Materialien 2015	Intelligente Materialien, die mit Sensoren und Aktuatoren ausgestattet sind und auf Umwelteinflüsse reagieren 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

Diskussion

- ◆ 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, Komposite und Polymere genannt. Biomaterialien - verstanden als biologisch verträgliche Materialien - werden in fünf von sechs Studien angesprochen - aber 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.
- ◆ Die Materialtechnik wird schließlich als ein Bereich beschrieben, der eng mit der Nanotechnologie zusammenhängt und von nanotechnologischen Erkenntnissen stark profitieren wird.

5.5 Produktions- und Prozesstechnik

Studie Niederlande: Technology Radar

Insgesamt drei Technologiecluster in der Studie „Technology Radar“ sprechen Themen an, die dem Bereich Produktions- und Prozesstechnik zugeordnet werden können:

- Prozesstechnologie
- Diskrete Produktion
- Guss- und Abformtechniken

Eine strategische Bedeutung wird in dem Cluster Prozesstechnologie dem Thema Katalyse und den Trenntechnologien sowie den Technologien zur Produktionsautomation aus dem Cluster Diskrete Produktion beigemessen. Keines der Technologiefelder aus dem Cluster Guss- und Abformtechniken wird als strategisch angesehen.

Katalyse

Mit Katalyse wird eine Sammlung von Technologien bezeichnet, die physikalische Phänomene ausnutzen, die die chemische Reaktion zwischen zwei Stoffen durch die Anwesenheit eines dritten Stoffes (Katalysator) beschleunigen.

Der Trend zur Rückführung chemischer Prozesses auf das Verhalten einzelner Moleküle erlaubt bei der Katalyse genauere Einblicke in die Wirkungsweise von Katalysatoren. Dies trägt umgekehrt zur Entwicklung verbesserter Katalysatoren und neuer Katalyseprozesse bei.

Wesentliche Treiber für das industrielle Interesse an der Katalyse sind die gestiegenen Anforderungen an die Energieeffizienz einerseits und der Wunsch nach Abfallvermeidung andererseits.

Trenntechnologien

Der Oberbegriff Trenntechnologien umfasst die Technologien, mit denen sich die Produkte einer chemischen Reaktion in einzelne Komponenten trennen lassen. Dazu gehören: Destillation, Filtration, Zentrifugieren, Dehydratisierung, Extraktion, Absorption, Kristallisation und Ionenaustausch.

Wie bei der Katalyse spielen auch für die Trenntechnologien gestiegene Umweltanforderungen eine wichtige Rolle, daneben sind aber auch die gestiegenen Reinheitsanforderungen von Bedeutung. Neue Technologien - wie Membrantechnologien und neue Kristallisationsverfahren - lassen das Potential für eine Nutzung im Industriemaßstab erkennen.

Produktionsautomation

Unter der Produktionsautomation werden solche Technologien zusammengefasst, die die menschliche Arbeit in der Produktion verbessern oder ersetzen. Die Autoren legen dabei den Schwerpunkt auf den Bereich der flexiblen Automation durch den Einsatz von Informationstechnologie in der Verarbeitung und unterstützenden Prozessen. In diesem Bereich werden drei bestimmende Trends ausgemacht:

- Zentrale Kontrolle des Produktionsprozesses
- Datenaustausch zwischen Geschäftsprozessen
- Ablaufverfolgung

Für dieses Technologiefeld wird darauf hingewiesen, dass aufgrund der Dominanz des kurzfristigen Denken und Handelns in der IT-Industrie die Rolle öffentlicher Forschung zunimmt, wobei gleichzeitig wenig Aktivität in der öffentlichen Forschung auf diesem Feld festzustellen ist (in den Niederlanden).

Studie USA (1): New Forces At Work

In der Studie „New Forces At Work“ werden Produktionstechniken als wesentlich eingestuft, um Arbeitsplätze in Segmenten mit hoher Produktivität und hoher Bezahlung zu sichern. Es werden insgesamt zehn Technologien benannt, die von nationaler Bedeutung sind für eine gesunde wirtschaftliche Entwicklung. Allein vier davon, nämlich:

- Produktionstechniken und effizienzsteigernde Technologien,
- computer-basierte und andere Technologien zur Beschleunigung des Produktentwicklungs-Zyklus,
- Technologien, die die Schwellen zum Produktionsbeginn und -ende reduzieren bzw. die Hochskalierung von Produktionsprozessen unterstützen,
- Techniken zur Bearbeitung neuer Materialien,

sind den Produktions- und Prozesstechnologien zuzuordnen, wodurch die hohe Bedeutung dieses Technologiebereiches unterstrichen wird.

Gleichzeitig wird der status quo der Kompetenzen in den USA im Jahr 1998 bzgl. der Herstellung von Produktionsausrüstung und allgemeiner im Maschinenbau von den Befragten mit gewisser Besorgnis gesehen. Insbesondere im Maschinenbau wird ein Engpass diagnostiziert. Da die Fähigkeit zur Produktion eine wesentliche Rolle für die Produktinnovation spielt, wirkt sich dieser Engpass nachteilig auf die Fähigkeit aus, neue Produkte auf den Markt zu bringen. In den Interviews in dieser Studie wird zudem zum Ausdruck gebracht, dass diesem wichtigen Problem in den USA nicht genügend Aufmerksamkeit geschenkt wird. Öffentliche Forschungsprogramme werden als unzureichend angesehen. Die An-

Arbeitsplätze sichern

Fähigkeit zur Produktion
wesentlich für
Produktinnovation

Strengungen des privaten Sektors kommen nicht recht in Gang wegen der geschwächten US-amerikanischen Werkzeugmaschinenindustrie. Hier ist ein ähnlicher Mechanismus zu beobachten wie in Kap. 5.4 zwischen den Entwicklern hochinnovativer Materialien und deren Rohstofflieferanten. Hochinnovative Firmen, die auf sehr spezielle Maschinen und Prozesse angewiesen sind, stellen für die Maschinenbauanbieter einen so kleinen Markt dar, dass sie deren Interesse kaum wecken können.

Geschwächte Werkzeugmaschinenindustrie

Zwei weitere Bereiche, die in der Studie weniger präsentiert dargestellt werden, sind Trenntechnologien sowie Technologien und Organisationsformen, die die Entwicklung und Produktion komplexer, wissensintensiver Produkte unterstützen.

In dem in dieser Studie gebotenen Ausblick erscheinen Produktions- und Prozesstechnologien nicht mehr in prominenter Form.

Studie USA (2): The Global Technology Revolution

Die Studie „The Global Technology Revolution“ erwartet bis zum Jahr 2015 einen Übergang zu einer Art von Produktion, die als agile Fertigung bezeichnet wird. Dabei spielen das schnelle Fertigen von Prototypen („rapid prototyping“) zusammen mit dem Einsatz eingebetteter Sensoren eine wesentliche Rolle, um komplexe Komponenten und Systeme beschleunigt vom Entwurf in die Produktion zu bringen.

Agile Fertigung

In diesem Fertigungssystem wird ein Kundenauftrag durch CAD-Systeme in einen Entwurf übersetzt, das Fertigungsgesetz kann in Echtzeit konfiguriert werden, Rohmaterialien und Baukomponenten werden „just-in-time“ geliefert, das Produkt wird dann ausgeliefert und im Folgenden mit Hilfe der eingebetteten Sensoren während seiner Lebensdauer überwacht, gewartet und schließlich dem Recycling zugeführt.

Durch den starken Einfluss von IT-Komponenten in diesem Fertigungssystem wäre der gesamte Prozess sehr flexibel und auch räumlich aufgrund der Vernetzung sehr beweglich, was zu einer neuen Stufe von globalisierter Wirtschaft führen könnte.

Starker Einfluss von IT-Komponenten

Als „wild card“-Technologien werden in dieser Studie die molekulare Fertigung und die Selbstorganisation aufgelistet, die sich prinzipiell auch der Produktionstechnik zuordnen lassen würden, hier aber im Abschnitt 5.3 vorgestellt werden.

Studie USA (3): Converging Technologies for Improving Human Performance

Weder im Inhaltsverzeichnis noch im Schlagwortverzeichnis der Studie „Converging Technologies“ tauchen Themen aus dem Bereich Fertigung, Produktion und Prozesse in prominenter Weise auf.

Studie UK: Foresight Programme

Das Thema Produktion wurde in der zweiten Runde des UK Foresight Prozesses als ein branchen-übergreifender Aspekt von einem eigenen thematischen Panel, dem „Manufacturing 2020 Panel“, bearbeitet. Unter dem Titel „UK Manufacturing: We can make it better“ erschien im Januar 2001 der Abschlußbericht mit Empfehlungen dieses Gremiums.

In dem Bericht werden zwei grundlegende Veränderungen des Produktionsprozesses vorhergesehen:

1. Produktion wird nicht mehr als ein isolierter Schritt betrachtet, sondern weitet sich zu einer Dienstleistung aus, die den gesamten Lebenszyklus eines Produkts umfasst. Dieser Wandel zwingt die Hersteller dazu, wesentlich enger mit den Kunden zusammenzuarbeiten und stärker auf dessen Bedürfnisse einzugehen.
2. Dieser stärkere Kundenbezug wird sich auch in einem Wandel von der Massenproduktion zur Massenproduktanpassung manifestieren. Es wird erwartet, dass die Kosten für individualisierte Produkte in dem Umfang fallen werden, dass selbst geringe Stückzahlen wirtschaftlich gefertigt werden können bis hin zu massenhaften Einzelanfertigungen. Hersteller werden demnach in großer Stückzahl und mit hoher Geschwindigkeit differenzierte Produkte herstellen, die exakt auf die Bedürfnisse des einzelnen Kunden angepasst sind. Im Bereich der Konsumgüter mit extrem hoher Stückzahl wird ebenfalls eine gesteigerte Flexibilität und eine schnellere Anpassung an geänderte Märkte erwartet.

Zur Realisierung dieser Visionen werden die folgenden Voraussetzungen genannt:

- Informationssysteme, die eingehende Kundenaufträge rasch in Arbeitsaufträge für die Fabrik umsetzen können und den Produktionsprozess in einer Weise begleiten, die sowohl den Anforderungen des Kunden als auch der Fabrik gerecht wird.
- Agile Fertigungsstätten, die ohne große Standzeiten zwischen der Herstellung verschiedener Produkte umschalten können bzw. die Reihenfolge von Produktionsschritten vertauschen können, um die endgültige Produktdifferenzierung hinauszuschieben.

- Eine schlanke, fertigungssynchrone Lieferkette, die es den Herstellern erlaubt, Lagerbestände von Rohmaterialien und Komponenten zu reduzieren, speziell von solchen, die nur selten gebraucht werden.
- Eine effiziente und kostengünstige logistische Infrastruktur.

Es werden dementsprechend die folgenden F&E-Aufgaben formuliert:

- Erforschung der Struktur der Lieferketten (in UK) und Entwicklung von Software, die die Modellierung des Produktionsprozesses und eine Entscheidungsunterstützung innerhalb einer Firma gemeinsam mit Kunden und Lieferanten in Echtzeit ermöglicht.
- Technologien für verteilte Fertigung, Mikrofertigung und intensive Prozessierung, die weniger Wasser und Energie verbrauchen.
- Technologien, die eine effizientere und intelligenter Nutzung der physikalischen Infrastruktur von Straße und Schiene erlauben.
- Agile und schlanke Fertigungstechnologien sowie Technologien zur Fernfertigung, die die Wertschöpfung massiv steigern, weniger Abfall produzieren und gleichzeitig massenhafte Einzelanfertigungen ermöglichen.

Studie Japan: The Seventh Technology Foresight

In der japanischen Delphi-Studie wird das Thema „Fertigung“ in einem eigenen Kapitel diskutiert. Als wesentliche Treiber und Einflussfaktoren für die Entwicklungen auf diesem Gebiet werden die folgende Aspekte aufgeführt:

- Resonanz auf IT
- Bildung einer recycelnden Gesellschaft im Einklang mit der Umwelt
- Technologien als Antwort auf die geringe Geburtenrate und die größere Anzahl älterer Bürger
- Ausbildung kompetenter Arbeiter
- Unterstützung von technologischen Innovationen

Den folgenden Technologien wird die größte Bedeutung beigemessen:

(1) Im Zeitraum bis etwa zum Jahr 2016 wird erwartet:

- die weite Verbreitung von Systemen nach dem Prinzip Design-Fertigung-Sammlung-Recycling, wobei wenigstens 90% des eingesetzten Materials wiederverwendet wird,
- die weite Verbreitung von Öko-Fabriken, die nur wenig Entropie erzeugen und den Fragen nach dem Einfluss der Fertigung auf das lo-

kale Öko-System während des gesamten Produktlebenszyklus ausreichend Beachtung schenken,

- die weite Verbreitung von Fertigungssystemen nach dem Prinzip „Produktions-Destruktion“, wobei das Produktionssystem das Prinzip „Design-Produktion-Nutzung-Nichtnutzung“ verfolgt, während beim Recycling das Prinzip „Sammlung-Zerlegen und Sortieren-Wiederverwenden-Produktion“ zur Anwendung kommt.

(2) IT-beeinflusste Produktionstechnologien in Beispielen:

- die weite Verbreitung von lokalen Fertigungssystemen (in abgelegenen Regionen), wobei die Produktion ohne eine Testproduktionsphase direkt nach einem digitalen 3-D-Modell erfolgt und die Daten digital zur Fertigungsstätte übertragen werden (Zeithorizont 2009),
- Fortschritte in der Digitalisierung und Verbesserung von Industrierobotern werden die Arbeitsmöglichkeiten und die Arbeitswelt in der Fertigungsindustrie radikal ändern (Zeithorizont 2012).

(3) Nanotechnologie-basierte Fertigungstechniken:

- praktische Nutzung von Prozessen zur Materialanpassung durch Kontrolle der Materialfertigung auf atomarem und molekularem Niveau (Zeithorizont 2017)
- praktische Nutzung von Montagetechnologien mit Präzision im μm -Bereich zur Realisierung von ultra-kleinen tragbaren Geräten, die opto- und mikroelektronische Elemente sowie Mikromaschinen integrieren (Zeithorizont 2014).

In einem anderen Kapitel werden die Zusammenhänge zwischen Produktion und Logistik behandelt. Hier wird auf den wachsenden Einfluss von IT in Produktion und Logistik bis hin zu den Geschäftsmodellen hingewiesen („supply chain management“ etc.).

Übersicht und Vergleich Produktions- und Prozesstechnik

Tabelle 5.5

Studie	Technologien von hoher Priorität + genannter Realisierungszeitraum	
Technology Radar (NL)	Katalyse, Trenntechnologien und Produktionsautomation sind von strategischer Bedeutung im Zeitraum bis 2008 für die Niederlande	
New Forces at Work (US1)	computerbasierte und andere Technologien zur Beschleunigung des Produktentwicklungs-Zyklus	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)	Systeme, die nach dem Prinzip Design-Fertigung-Sammlung-Recycling funktionieren und mindestens 90 % des Materials wiederverwenden sind bis 2016 weit verbreitet.	Lokale Fertigungssysteme, die ohne Testphase direkt nach einem digitalen 3-D-Modell produzieren, das digital zur Fertigungsstätte übertragen wird, sind bis 2009 weit verbreitet.

Diskussion

- ◆ Aus den fünf Studien, die sich zu 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 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 anzeigen. Aspekte der Energieeffizienz und Umweltverträglichkeit werden voll berücksichtigt. Die Produktion ist komplett digital abgebildet vom Design über die eigentliche Fabrikation einschließlich der Lieferkette. Dadurch wird ein fließender Übergang vom Entwurf zur Produktion ermöglicht, was eine vollständige Individualisierung der Produkte bei gleichzeitiger Massenproduktion er-

laubt. Die gesamte Logistik erfolgt fertigungssynchron, 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.

5.6 Informations- und Kommunikationstechnologien

Studie Niederlande: Technology Radar

Die Studie „Technology Radar“ diskutiert einen Technologiecluster Informations- und Kommunikationstechnologien, in dem die folgenden Technologiefelder enthalten sind:

- Computer- und Netzwerksysteme,
- **Daten- und Wissenssysteme (CAD, comp. Modellierung und Simulation),**
- **Softwareentwicklung,**
- **Technologien für interaktive und multimediale Anwendungen,**
- Algorithmen und Grundlagenforschung.

Die Technologiefelder von strategischer Bedeutung sind hervorgehoben.

Daten- und Wissenssysteme

Das Technologiefeld Daten- und Wissenssysteme umfasst den Teilbereich der Informationstechnologien (IT), der Wissen explizit macht und es ausnutzt; mit anderen Worten es handelt sich um die IT, die das Wissensmanagement unterstützen. Wichtige Beispiele sind

- Datenbanksysteme (strukturierte Datenspeicherung)
- „data warehouse“ Systeme (Verknüpfung von Datenbanken)
- „data mining“ (Suche nach korrelierten Daten)
- „information retrieval“ (Unterstützung des Zugriffs auf Daten)
- „workflow“ und „groupware“ (Zugriff auf Informationen in Organisationen, Verteilung und Zugriff auf Dateien)
- Tele-Anwendungen (Unterstützung für dezentralisierte Arbeits- und Geschäftsaktivitäten (inkl. „e-commerce“))
- schlussfolgernde Systeme (künstliche Intelligenz und Systeme zur Unterstützung der Entscheidungsfindung)
- natürliche Sprachverarbeitung (automatisierte Erkennung und Übersetzung der gesprochenen Sprache)

Der Trend zur Digitalisierung erfordert innerhalb und zwischen Organisationen einen strukturierten Umgang mit Daten. Im Fokus der aktuellen Anforderungen steht die Erhöhung der Nutzerfreundlichkeit. Darüber hinaus gilt es, die Kosten zu reduzieren und die Geschwindigkeit der Systeme zu erhöhen. Bei der natürlichen Sprachverarbeitung gibt es noch Forschungsbedarf bei den Grundprinzipien.

Softwareentwicklung

Die Softwareentwicklung beschreibt den gesamten Prozess von der Spezifikation eines Programms bis zu seiner Inbetriebnahme und Anwendung. Dies umfasst Entwurf, Erstellung, Erprobung, Verwaltung und Wartung von Software.

Herausforderungen werden gesehen hinsichtlich der Geschwindigkeit der Softwareentwicklung und damit einhergehend ein Trend zu einer modularen, komponentenbasierten und stärker standardisierten Software. Es wird die Gefahr eines Fachkräftemangels angesprochen.

Interaktive und multimediale Anwendungen

Multimediasysteme umfassen solche Softwaretechnologien, die die Digitalisierung und die integrierte Handhabung von Texten, Graphiken, Bildern, Tönen und Filmen ermöglichen. Die meisten dieser Systeme sind interaktiv in dem Sinne, dass sie dem Nutzer einen Einfluss auf die Präsentationsform gewähren.

Es wird erwartet, dass multimediale Technologien große soziale Auswirkungen haben werden, so wie dies in der Vergangenheit etwa bei Radio und Fernsehen der Fall war. Insgesamt wird die Bedeutung von Multimediaanwendung sehr hoch eingestuft, wobei als wichtige Anwendungsfelder der elektronische Handel sowie Ausbildung und Erziehung genannt werden.

Studie USA (1): New Forces At Work

Die Studie konstatiert einen Trend zur Digitalisierung, der auf dem Zusammenspiel von Mikroelektronik, Software und Telekommunikationstechnologien basiert und weitreichende Konsequenzen für die generelle Geschäftsentwicklung hat. Der gesamte Arbeitsprozess wird digital abgebildet, wodurch sich völlig neue Formen der Gestaltung und Einflussnahme ergeben. Die mit dieser digitalen Revolution assoziierten Technologien werden als die Technologien angesehen, die in den letzten Jahren den größten Einfluss hatten und den stärksten Wandel ausgelöst haben.

Mikroelektronik - s. Abschnitt 5.7

Software

Software führt die im Rahmen der Studie „New Forces At Work“ erarbeitete Liste von Technologien mit sektorübergreifender Bedeutung an. Dabei hat Software simultan das Potential industrielle Entwicklungen erst zu ermöglichen, aber auch zu verhindern. Sie stellt das meistgenannte zentrale Verbindungselement in firmeninternen Prozessen und bei den Produktionsmitteln dar. Eine Verknappung von qualifiziertem Personal in der Softwareentwicklung wird befürchtet.

Folgende Technologien werden beim technologischen Ausblick aufgeführt:

- Objektorientierte Programmierung: Um den Flaschenhals der Softwareverfügbarkeit zu beseitigen sind effizientere Verfahren zur Softwareentwicklung erforderlich. Eine solche Möglichkeit bieten die Methoden der objektorientierten Programmierung, die die effiziente Einbindung wiederverwendbarer Softwaremodule in neue Programme erlaubt. Staatliches Handeln wird in diesem Zusammenhang gefordert für die Etablierung geeigneter Standards.
- Spracherkennung und natürliche Sprachverarbeitung: Die Fähigkeit von Software natürliche Sprache ihrem Gehalt nach zu erfassen und in digital nutzbare Information zu wandeln wird als eine dringend benötigte Technologie angesehen, die bislang nur in ersten Ansätzen existiert.
- Abfragen von und Suchen in großen Datenbeständen: Der Bedarf für die effiziente Datenabfrage in extrem großen Datenbeständen wird nach Aussagen der Studie in den Jahren bis 2008 stark ansteigen. Bislang kann die Fähigkeit zu effizienten Suchen nicht mit dem Anwachsen der Speicherkapazitäten Schritt halten.
- Bildgebung und 3-D-Darstellung: Die Möglichkeit mit Hilfe neuer Software verschiedenste Objekte in drei Dimensionen darstellen zu können und sie so dem Nutzer greifbar zu machen, könnte nach Ansicht der in dieser Studie Befragten einige Industriezweige revolutionieren. Dies gilt insbesondere für die Produktplanung und Produktion aber auch im Bereich der medizinischen Bildgebung.
- Genetische Algorithmen werden als Möglichkeit aufgeführt, Probleme anzugehen, für die keine optimale Lösungstrategie bekannt ist. Unter Einbeziehung von Fortschritten bei der natürlichen Spracherkennung wird das Potential gesehen, innerhalb der nächsten 10 bis 15 Jahre rechnergestützte Arbeitsweisen zu etablieren, die dem mensch-

lichen Problemlösungsverhalten näher kommen. Echte künstliche Intelligenz wird allerdings - falls prinzipiell überhaupt möglich - in weiter Ferne gesehen (nicht vor 2028).

Telekommunikationstechnologien

Die Darstellung der Telekommunikationstechnologien (sowie der Mikroelektronik) wird in der Studie „New Forces At Work“ bewusst kurz gehalten, weil deren große Bedeutung nach Ansicht der Autoren allgemein anerkannt wird.

Diese Bedeutung resultiert neben dem Trend zur Digitalisierung aus folgenden Entwicklungen:

- Verbreitung von Partnerschaften und Allianzen zwischen Firmen
- mehr und mehr weit verstreute Arbeitsgruppen innerhalb von Firmen
- Globalisierung der Marktpräsenz
- zunehmend engerer Austausch mit den Kunden

Schlüsselfragen für die zukünftige Entwicklung werden gesehen in der Datenspeicherung, Datenkompression und am meisten in der verfügbaren Bandbreite für die Datenübertragung.

Beim technologischen Ausblick werden die folgenden Trends vorhergesehen:

- Im Zeitraum bis 2008 wird eine Konvergenz von Computer- und Kommunikationsgeräten bzw. -einrichtungen erwartet.
- Ein Ausbau der Kommunikations-Infrastruktur und eine Erhöhung der Bandbreite wird als dringend angesehen. Dies umfasst Fortschritte bei der Datenkompression, Erhöhung der Kapazität der optischen Datenübertragung, Einsatz optischer Schalter und rein optischer Datenprozessierung und der Satellitenkommunikation. Das Problem einer schnellen Anbindung der Privathaushalte an die Kommunikationsnetze wird angesprochen.
- Im Zusammenhang mit dem Zugang der Privathaushalte könnte sich Verschlüsselung als Engstelle für computer- bzw. internetbasierte Dienste herausstellen.

Sensoren und Technologien zur Bildgebung⁴

Etwa ein Drittel aller befragten Firmen aus den verschiedensten Sektoren haben Sensoren und Technologien zur Bildgebung als Technologien von kritischer Bedeutung eingestuft. (Mikro-) Sensoren stellen in vielen Bereichen den Schlüssel zur Digitalisierung dar. Technologien zur Bildgebung umfassen die gesamte Kette von der Optik und den Sensoren zur Bilderfassung über die Signalverarbeitung, die Datenspeicherung, Software zur Bildverarbeitung bis zur Darstellung auf einem Bildschirm. Die digitale Revolution hat die Verfügbarkeit und Nutzbarkeit von Bildern stark erweitert und im Endeffekt dazu geführt, dass der Nutzer über mehr (Bild-) Information schnell verfügen kann und sie zur Unterstützung seiner Arbeit nutzen kann.

Als Schlüsselkomponente der künftigen Bildgebung werden Displaytechnologien genannt. Es wird erwartet, dass durch Fortschritte in der Lithographie auch die Schaltkreise für Prozessoren und Speicher von Computern direkt auf der Rückseite des Bildschirms untergebracht werden können. Die Herstellung von (Flach-) Bildschirmen und anderen Computerkomponenten wird als Schwäche der USA bewertet.

Studie USA (2): The Global Technology Revolution

IT Szenario

Das Leitmotiv der Studie „The Global Technology Revolution“ lautet, dass das gesamte Leben im Jahr 2015 durch die Auswirkungen wachsender Erkenntnisse in den vier Feldern Biotechnologie, Nanotechnologie, Materialtechnologie und IT wesentlich beeinflusst sein wird. Von besonderem Interesse in der Studie ist der Überlapp und die gegenseitige Befruchtung der ersten drei genannten Felder mit den IT.

Gleichwohl werden IT nicht separat diskutiert, sondern die wesentlichen Treiber und Effekte der IT tauchen stichwortartig in einem Schaubild auf. Dort wird die Erwartung einer sich fortsetzenden Explosion in folgenden Teilbereichen zum Ausdruck gebracht, falls ein Szenario mit starkem Wachstum zugrundegelegt wird:

- Photonik: Bandbreite, Computer
 - universale Verbindungsfähigkeit
 - überall vorhandene Sensoren
 - globale Informationsversorgungseinrichtungen
 - nanoskalige Halbleiter: kleiner, schneller, billiger
-

⁴ Sensoren und Technologien zur Bildgebung (im weitesten Sinne einschließlich Bildverarbeitung etc.) werden im Rahmen der vorliegenden Vergleichsstudie dem Bereich IuK zugeordnet, da sie als Basistechnologien eine zentrale Rolle für die Visualisierung von Information spielen.

-
- Schnittstellen für natürliche Sprachverarbeitung und -übersetzung

Als wesentliche Effekte dieser Leistungsexplosion werden aufgelistet:

- Dominanz des elektronischen Handels
- kreative Destruktion in der Industrie
- fortgesetzte Globalisierung
- reduzierte Privatsphäre
- globale Ausbreitung der westlichen Kultur
- neue digitale Aufspaltungen

In einem Szenario mit niedrigerem Wachstum würden die gegenwärtigen wissenschaftlichen Durchbrüche nur langsamer in technologische Entwicklungen umgesetzt. Als Effekt in diesem Szenario wäre eine stärkere Aufspaltung der Welt in Regionen, die an dem IT-Schub teilhaben, und Regionen, die von dem IT-Schub zurücktreten, festzustellen. Der Trend zum elektronischen Handel wäre ungebrochen, allerdings würde die Akzeptanz und Diffusion von IT langsamer vorstatten gehen.

Studie USA (3): Converging Technologies for Improving Human Performance

Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK) sind einer von vier Grundpfeilern für die in der Studie „Converging Technologies“ entworfenen Zukunftsvisionen. Das traditionelle Verständnis der IuK wird aber grundlegend erweitert. Zum einen wird davon ausgegangen, dass fortgeschrittene sensorische Systeme, Computer- und Kommunikationssysteme in ein ubiquitäres und globales Netzwerk integriert werden. Durchbrüche in der Nanotechnologie werden erforderlich sein, um die schnelle Verbesserung der Computer-Hardware auch über die nächsten 20 Jahre aufrechtzuerhalten. Aus der Biologie werden wichtige Erkenntnisse über das Verhalten komplexer Systeme einfließen ebenso wie spezifische Verfahren zum Nachweis bestimmter chemischer Stoffe in der Umwelt. Kognitionswissenschaften werden Einsichten zur Verfügung stellen, wie Informationen dem Menschen zu präsentieren sind, damit sie am effizientesten genutzt werden können. Als eine besonders herausfordernde Aufgabe in den IT wird es angesehen, wie sich Zuverlässigkeit und Sicherheit garantieren lassen, in einem allgegenwärtigen Netz, das verschiedene Informationen sammelt und anbietet, in verschiedenen Modalitäten, überall und instantan zu jedem Zeitpunkt.

Eine zweite Erweiterungsrichtung der Studie geht in Richtung der Schnittstellen. Während bislang generell von Mensch-Maschine-Schnittstellen ausgegangen wurde, wird in dieser Studie erwartet, dass die Fortschritte in der Kognitionsforschung zusammen mit Erkenntnissen

Massive Erweiterung des traditionellen Verständnisses von IuK-Technologien

Hirn-Maschine-Schnittstellen
Hirn-Hirn-Schnittstellen

aus der Nanobiotechnologie es ermöglichen werden, neuartige direkte Hirn-Maschine-Schnittstellen zu etablieren. Im nächsten Schritt werden auch Hirn-Hirn-Schnittstellen diskutiert.

Dies führt zu einem erweiterten Verständnis des Themenfeldes Kommunikation, das in dieser Studie nicht nur in Richtung erweiterter Kommunikation zwischen zwei Personen gesehen wird, sondern es werden auch neue Kommunikationsformen in Gruppen und der Gesellschaft als Ganzes angedacht.

„Der Kommunikator“

Es wird ein Forschungsprogramm vorgeschlagen, das „Der Kommunikator“ genannt wird und das Ziel hat, die Schranken zu überwinden, die durch physische Behinderung, Sprachunterschiede, geographische Entfernung und Wissensunterschiede entstehen. Auf diesem Wege soll die Effektivität der Kooperation in Schulen, Firmen und Regierungseinrichtungen weltweit wesentlich gesteigert werden.

Neben diesen fundamentalen Erweiterungen des Bereiches IuK wird die Rolle der IT aber auch nach wie vor als wesentlich in der Unterstützung von FuE gesehen. IT wird beispielsweise als wesentlich in der Prozessierung von Daten über das Hirn angesehen, insbesondere bei der schwierigen Herausforderung das vollentwickelte Hirn als Produkt von Genetik und Entwicklungsbiologie zu verstehen. Es wird auch als wesentlich angesehen, mit Systemen künstlicher Intelligenz zu experimentieren, wie etwa mit neuronalen Netzen, genetischen Algorithmen, autonomen Agenten, logik-basierten Lernprogrammen und ausgeklügelten Systemen zur Informationsspeicherung und -aufruf.

Studie UK: Foresight Programme

Abschlussbericht mit wesentlichen Empfehlungen

In der zweiten Runde des britischen Foresight-Prozesses wurden Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK) von einem eigenen Gremium, dem „Information, Communications and Media (ICM) Panel“, untersucht. Im Dezember 2000 erschien der Abschlussbericht dieses Gremiums mit den wesentlichen Empfehlungen zur Maximierung der ökonomischen und sozialen Chancen, die aus neuen digitalen Technologien resultieren. In einem eigenen Dokument wurden im Juni 2000 diese neuen digitalen Technologien beschrieben („ITEC Technologies“). Daneben sind eine Reihe von Einzelaspekten in eigenen Dokumenten behandelt worden, wie z. B. E-Commerce, zukünftige Ausbildung an Universitäten, Visionen von Auswirkungen neuer IuK im Alltag.

In dem Dokument „ITEC Technologies“ wird eine Liste von (neuen) Technologien vorgestellt, die als möglicherweise disruptiv, technologie-treibend oder anwendungsermöglichend angesehen werden. Darin werden u. a. folgende Technologien aufgeführt:

Datenübertragung

- DSL-Datenübertragung (ADSL, VDSL)
- Einsatz von solarbetriebenen Luftschiffen als Plattformen in großer Höhe
- Konvergenz von Telekommunikation/WAP (drahtlose Kommunikation)/Datennetze/Internet
- UMTS
- Wellenlängen-Multiplex-Verfahren (DWDM „dense wavelength division multiplexing“)

Visualisierung

- GaAs-Pixel-Detektoren
- Bistabile Displays (nichtflüchtig, niedriger Energieverbrauch)
- „In-Plane Switching“ (IPS) für Displays mit großem Betrachtungswinkel
- Flexible Polymerdisplays
- Ferroelektrische und nematische Flüssigkristall-Displays

Mobile Energieversorgung

- verbesserte Energiequellen (Batterien, Solarzellen, Brennstoffzellen)
- geringerer Energieverbrauch für neue Bildschirme und Speichereinheiten

Anwendungstechnologien

- Drahtlose, d.h. mobile Technologien
- Softwareentwicklung
- Sicherheit/Authentifizierung
- Virtuelle Umgebungen
- Intelligente Information (inkl. Multimediadatenbanken, Datamining)
- Lernende/adaptive Systeme (z. B. intelligente Agenten)
- verteilte Berechnung in Computernetzen

Der Abschlussbericht des ICM-Gremiums nennt drei Trends, die für die künftige Entwicklung von IuK als wesentlich betrachtet werden:

1. Die Ausbreitung der vernetzten Gesellschaft wird zusammen mit dem Wandel in der Demographie und der Lebensführung zu einem Verschwinden traditioneller Schranken für Individuen, Geschäftsformen und Ausbildung führen. Die gegenwärtigen Konzepte von geografischer und zeitlicher Lage werden nicht mehr die gleiche Bedeutung haben, wie bisher. Auch die Abgrenzung der Rollen zwischen dem öffentlichen und dem privaten Sektor wird weiter schwinden.
2. Die Arbeitswelt wird flexibler und dynamischer werden und von dem Einzelnen größere Anpassungsleistungen verlangen. Das Entstehen einer unternehmerisch denkenden Gesellschaft stellt neue Herausforderungen an die staatliche Ausbildung und wird die Vermittlung von eher übergeordneten als spezifischen Fertigkeiten erfordern, um in einer facettenreichen und sich schnell wandelnden Wissensökonomie agieren zu können.
3. Die Entwicklung digitaler Netze hat dazu geführt, dass im Kommunikations- und Mediensektor nicht mehr die Bandbreite eine Mangelware ist sondern die Aufmerksamkeit der Nutzer. Dies wird zu einer größeren Anpassung von Dienstleistungen an die jeweiligen Nutzer führen, in dem Maße in dem personenbezogene Informationen verfügbar sind. Dadurch werden personenbezogene Informationen und persönliche Aufmerksamkeit zu einer neuen Währung in der Informationswelt.

Um eine Maximierung der ökonomischen und sozialen Chancen zu erzielen, werden die folgenden vier Voraussetzungen für erforderlich gehalten:

- Erreichen einer kritischen Masse in der Nutzung neuer Technologien, um funktionsfähige Märkte zu erzeugen.
- Identifikation und Übernahme derjenigen Geschäftsmodelle, die den Markterfordernissen (insbesondere durch die Verbreitung des Internet) am besten angepasst sind.
- Bürger und Konsumenten, die durch neue Technologien (beispielsweise für die Datensicherheit und den Schutz der Privatsphäre) dazu befähigt werden an den neuen Märkten zu partizipieren.
- Hoch qualifizierte, technisch versierte und flexible Arbeitskräfte zur Entwicklung und Unterstützung dieser neuen Märkte.

Studie Japan: The Seventh Technology Foresight

In der siebten japanischen Delphi-Befragung werden (im Unterschied zur sechsten Befragung) die Bereiche Information und Kommunikation ge-

meinsam in einem Kapitel behandelt. In technologischer Hinsicht wird der Bereich in die folgenden Subthemen untergliedert:

- Computer
- Kommunikation
- Rundfunk
- Software

(1) Computer

Vorhersagen mit hoher Bewertung hinsichtlich ihrer Wichtigkeit beziehen sich auf umweltfreundliche und Nieder-Energie-PCs:

- Für das Jahr 2012 wird erwartet, dass mehr als 90% der Teile in neuen PCs einschließlich Display recycled werden können.
- Eine weite Verbreitung von PCs, die mit einer einzigen Knopfzellenbatterie ein Jahr lang betrieben werden können, wird für das Jahr 2016 erwartet.

(2) Kommunikation

Sieben Vorhersagen mit Bezug zur Kommunikation werden zu den zwanzig wichtigsten des Bereichs insgesamt gezählt:

- Verbreitete Nutzung von hochgradig zuverlässigen Netzwerksystemen, die die Privatsphäre der Nutzer vor böswilligen Eindringlingen schützt (Zeithorizont 2011).
- Realisierung einer Umgebung, in der die unbegrenzte Nutzung von Netzwerken hoher Kapazität (150 Mb pro Sekunde) 2000 Yen/Monat (entspricht ca. 15 € pro Monat) oder weniger kostet.

Weitere Vorhersagen beziehen sich auf: die Verfügbarkeit von Multimediaanwendungen auf tragbaren Geräten, die optische Datenübertragung (Kapazität von 1 Petabyte pro sec. je optischer Faser bis 2013, Nutzung rein optischer Schalter in der optischen Datenübertragung bis 2011), Hochgeschwindigkeits-Kommunikationsprotokolle, Spracherkennung und die automatische Erkennung von Computerviren und deren automatisierte Bekämpfung.

(3) Rundfunk

Wesentliche Aspekte sind die Digitalisierung des Rundfunks, wodurch Rundfunk und Kommunikation näher zusammenrücken, Technologien für hochauflösendes Fernsehen sowie bidirektionale Funktionen in den Rundfunkmedien, die beispielsweise neue Formen des Fernseh-

gestützten Handels („t-commerce“) als Alternative zum elektronischen Handel („e-commerce“) ermöglichen können.

(4) Software

Software wird als einer der wichtigsten Industriezweige dieses Jahrhunderts angesehen. Die folgende Vorhersage erreicht den höchsten Wichtigkeitsindex:

- Fortschritte in der Qualitätsprüfung von Software ermöglichen die schnelle und fehlerfreie Entwicklung großer Softwarepakete (Zeithorizont 2019).

Weitere Aspekte sind die Erweiterung der Möglichkeiten der Sprachverarbeitung und der Behandlung verschiedener Sprachen (Zeithorizont 2011), Fortschritte bei Bild-, Stimmen-, und Media-Daten (Zeithorizont 2014) sowie Technologien für künstliche Intelligenz, insbesondere hinsichtlich der Wissensakquise und -prozessierung (Zeithorizont 2019).

Übersicht und Vergleich: Informations- und Kommunikationstechnologien

Tabelle 5.6

Studie	Technologien von hoher Priorität + genannter Realisierungszeitraum	
Technology Radar (NL)	Softwaretechnologien (Softwareentwicklung, Datenbanken, interaktive und multimediale Software) von strategischer Bedeutung im Zeitraum bis 2008 für die Niederlande	
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)	Es wird keine Priorisierung der diskutierten Technologien vorgenommen.	
Seventh Technology Foresight (JP)	Fortschritte in der Qualitätsprüfung von Software ermöglichen die schnelle und fehlerfreie Entwicklung großer Softwarepakete (Zeithorizont 2019)	

Diskussion

- ◆ 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 in dem 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 verschiedenster Gerätetypen in ein globales Netzwerk. Dabei wird auch auf die wachsende Bedeutung von (miniaturisierten) Sensoren zur Erzeugung digitaler Information hingewiesen.

5.7 Elektronik

Studie Niederlande: Technology Radar

In einem Ausgangs-Technologieportfolio werden die folgenden sechs Technologiefelder dem Technologiecluster Opto- und Mikroelektronik zugeordnet:

- allgemeine mikroelektronische Komponenten
- **mikroelektronische Komponenten: Sensoren und Aktuatoren**
- Technologien für eingebettete Software
- mikroelektronische Systementwicklung
- **Mechatronik**
- **Messtechnik und Prozesskontrolle**

Den in der Auflistung hervorgehobenen Technologiefeldern wird strategische Bedeutung für die Niederlande im Zeitraum bis 2008 beigemesen.

Unter der Bezeichnung Sensoren werden Geräte verstanden, die Messungen ausführen und Stoff- bzw. Prozesseigenschaften in digitale Signale konvertieren; Aktuatoren sind Geräte, die digitale Signale in physikalische Aktionen umsetzen. Messtechnik und Prozesskontrolle umfasst die Kontrolle des dynamischen Verhaltens komplexer technischer Systeme (z. B. elektro-mechanische Systeme) mit Methoden, Techniken und Werkzeugen aus einer Vielzahl von wissenschaftlichen Disziplinen, ins-

Sensoren

besondere aus der Systemtheorie. Weitere separate Diskussionen dieser beiden Technologiefelder fehlen in der Studie „Technology Radar“, vielmehr wurden sie in die Diskussion der Mechatronik mit eingeschlossen.

Mechatronik

Mechatronik wird definiert als die synergistische Kombination von Präzisions-Maschinenbau, elektronischer Kontrolle und Systemdenken im Entwurf von Produkten und Prozessen. Es ist ein interdisziplinäres Gebiet, das auf den konstituierenden Disziplinen aufbaut und Themen mit einbezieht, die üblicherweise nicht mit diesen Disziplinen assoziiert werden.

Der Weltmarkt für mechatronische Anwendungen und Produkte wird für das Jahr 1997 mit über 15 Milliarden ECU angegeben und es wird mit einem Anstieg auf 40 Milliarden ECU bis zum Jahr 2002 gerechnet.

Als bestimmender Technologietrend wird die Integration von Sensoren, Aktuatoren und Steuereinheit in ein einziges System benannt, die die Abstimmung des Systems verbessern und seine Fehlerhäufigkeit reduzieren soll.

Digitale Revolution

Studie USA (1): New Forces At Work

Die Studie konstatiert einen Trend zur Digitalisierung, der auf dem Zusammenspiel von Mikroelektronik, Software und Telekommunikationstechnologien basiert und weitreichende Konsequenzen für die generelle Geschäftsentwicklung hat. Der gesamte Arbeitsprozess wird digital abgebildet, wodurch sich völlig neue Formen der Gestaltung und Einflussnahme ergeben. Die mit dieser digitalen Revolution assoziierten Technologien werden als die Technologien angesehen, die in den letzten Jahren den größten Einfluss hatten und den stärksten Wandel ausgelöst haben.

Software und Telekommunikationstechnologien - s. Abschnitt 5.6

Mikroelektronik

Die Darstellung der Mikroelektronik (sowie der Telekommunikationstechnologien) wird in der Studie „New Forces At Work“ bewusst kurz gehalten, weil deren große Bedeutung nach Ansicht der Autoren allgemein anerkannt wird.

Der Zustand der US-amerikanischen Halbleiterindustrie (im Jahr 1998) wird als stabil angesehen und hat sich - so die Befragten - in der zurückliegenden Dekade deutlich verbessert. Darin wird übereinstimmend eine Frage von nationaler Bedeutung gesehen.

Aus technologischer Sicht werden lithographische Verfahren für die Produktion von Silizium-Chips, Software für das Chip-Design sowie die Lösung der technischen Probleme bei den elektrischen Verbindungen auf dem Chip (Interconnects) als maßgeblich eingestuft.

Für die zukünftige technologische Entwicklung wird die Suche nach einem Nachfolger für die Photolithographie als wesentlich angesehen. Als Kandidaten werden optische, Elektronenstrahl-, Röntgen- und tief-ultraviolette Lithographie aufgeführt. Es wird erwartet, dass sich letztlich nur ein einziger Kandidat durchsetzen kann. Für dessen Einführung werden Investitionen in Höhe von 3-4 Milliarden US-\$ für FuE sowie Ausrüstung vorhergesehen, was die Fähigkeit einer einzelnen Firma bei weitem übersteigt. Daher wird das Erfordernis der Bildung einer Koalition zwischen Regierung und einem Industriekonsortium für wahrscheinlich gehalten. Insgesamt wird eine Schwäche in den USA bei der Lithographiegeräteherstellung gesehen.

Nachfolger für die Photolithographie

Darüber hinaus wird auf die näherkommenden physikalischen Begrenzungen der gegenwärtigen Silizium-basierten Computertechnologie hingewiesen, die einen grundsätzlichen Technologiewandel erfordern, falls die Rechnerkapazität auch weiterhin dem Mooreschen Gesetz folgen soll. Als mögliche Technologieoptionen werden Quanteneffekt-Halbleiterbauelemente (nicht vor 2017) oder Quanteninformationstechnologien (nicht vor 2023) angesprochen.

Als ein weiterer möglicher Flaschenhals für die Entwicklung werden Datenspeicher angesehen. Hier werden evolutionäre Weiterentwicklungen in der magnetischen und optischen Datenspeicherung als wünschenswert angesehen. Ein Markteintritt von holographischen und 3-D-Speichern wird bis zum Jahr 2005 für möglich erachtet.

Datenspeicher

Studie USA (2): The Global Technology Revolution

Halbleiterbasierte Nanoelektronik

Nach der „International Technology Roadmap for Semiconductors“ (ITRS) werden für das Jahr 2015 Gate-Längen von 35 nm erwartet. Dies würde ein fortgesetztes exponentielles Wachstum an Rechenleistung und Speicherkapazität bis zu diesem Zeitpunkt bedeuten. Obwohl es eine Reihe von technischen Hürden auf dem Weg dahin gibt, so erscheinen diese doch nicht unüberwindlich. Weitergehende Ansätze für defekt-tolerantere Computerarchitekturen lassen die Planungen der ITRS relativ robust erscheinen. In den Jahren nach 2015 jedoch summieren sich die vorhersehbaren technologischen Herausforderungen in einer Weise, die ein Fortschreiten der traditionellen Halbleiterfertigung in Frage stellen. Dies gilt insbesondere deshalb, weil sich die technologischen Schwierigkeiten in entsprechend höheren Fertigungskosten niederschlagen könnten, die die Wirtschaftlichkeit noch leistungsstärkerer Chips bedrohen.

Quantencomputer:

Als eine langfristige Alternative werden Quantencomputer angeführt, die beispielsweise die Spinpolarisation von Elektronen ausnutzen könnten. Derartige Rechner könnten große Vorteile für ganz spezifische Anwendungen aufweisen, wie z. B. für die Faktorisierung großer Zahlen (wesentlich für Kryptographieanwendungen), Suchen in großen Datenbanken, Mustererkennung sowie die Simulation von molekularen und quantenmechanischen Phänomenen.

Allerdings bestehen auch in diesem Ansatz massive technologische Schwierigkeiten wie die Fehlerkorrektur, die Frage der Dekohärenz sowie der Signal-Ein- und Ausgabe. Vor diesem Hintergrund erscheinen Quantencomputer auf der Zeitskala bis 2015 nicht als konkurrenzfähige Alternative zu den traditionellen Digitalrechnern.

Biomolekulare Geräte und Molekularelektronik:

In Ansätzen einer molekularen Elektronik werden die grundlegenden logischen Operationen auf chemischem Wege mit Hilfe von synthetisierten organischen Verbindungen realisiert. Die Grundbausteine eines molekularen Rechners können chemisch in großer Anzahl hergestellt werden und so organisiert werden, dass sie einen Rechner bilden. Der Hauptvorteil liegt in dem geringeren Stromverbrauch der einzelnen Bausteine. Ein nützliches Schaltverhalten konnte für verschiedene Molekültypen nachgewiesen werden. Zur Verbindung der molekularen Bausteine sind Kohlenstoffnanoröhren diskutiert worden.

Massive Schwierigkeiten bestehen beispielsweise hinsichtlich der Stabilität molekularer Speicher, geeigneter defekt-toleranter Architekturen und etwa der Fabrikation von Verknüpfungen. Aus diesen Gründen wird auch die Molekularelektronik bis zum Jahr 2015 nicht als attraktive Alternative zu der konventionellen Elektronik angesehen.

Studie USA (3): Converging Technologies for Improving Human Performance

Fragen der Elektronik werden in der Studie „Converging Technologies“ nicht im technischen Detail diskutiert. Da IT und deren Anwendungen einen Schwerpunkt der Studie bilden, taucht das Schlagwort Elektronik an vielen Stellen im Text auf, allerdings ohne dass darauf eingegangen würde, von welcher Art diese Elektronik genau sei. Die Verfügbarkeit einer leistungsfähigen Elektronik (inkl. Sensorik etc.) bildet die Grundlage für die weiteren Anwendungen und wird eher als Selbstverständlichkeit angenommen.

Studie UK: Foresight Programme

Im Rahmen der zweiten Runde des UK Foresight Programms liegt ein Bericht des „Defence and Aerospace National Advisory Committee“ von März 2002 vor mit dem Titel „Elektronische Materialien und Geräte“. Da Anwendungen in der Verteidigung sowie der Luft- und Raumfahrt keinen wesentlichen Treiber für Entwicklungen in der Elektronik darstellen, hat das Beratungsgremium den Elektronikmarkt in seiner Breite betrachtet.

Mit Blick auf die technologische Entwicklung werden folgende Trends ausgemacht:

- Beziiglich Siliziums wird auf die bekannte ITRS verwiesen, wonach weitere Leistungssteigerungen im Verlauf der nächsten Dekade erwartet werden, bevor sich grundlegende physikalische Schranken begrenzend bemerkbar machen. Das Halbleitermaterial SiGe bietet gegenüber reinem Silizium einen Leistungsvorteil von 20 %. Es wird erwartet, dass der Markt für SiGe bis zum Jahr 2005 auf 9 % des Silizium-Markts ansteigen wird.
- Bei den Verbindungshalbleitern wird als eine wesentliche Entwicklung der Übergang zur Verarbeitung von 6 Inch Wafern genannt. Der Trend zu immer geringeren Gate-Längen wird ergänzt und sogar zum Teil ersetzt durch die Entwicklung von metamorphen Materialien. Die Entwicklung von Halbleitermaterialien für elektronische Anwendungen mit noch geringeren Bandlücken als etwa InGaAs wird für die vorhersehbare Zukunft nicht erwartet.
- Die Bedeutung der Nanotechnologie für die gesamte Elektronik wird besonders hervorgehoben. Dies betrifft auch die Herstellung von Maschinen für die Elektronikfertigung, wie z. B. Maschinen zum Polieren von Silizium-Wafern oder Lithographie-Stepper. Die Bedeutung von Selbstorganisationsverfahren erscheint dagegen derzeit noch weniger klar.

In struktureller Hinsicht werden Schwächen in der Fertigung gesehen, die durch den Verkauf bzw. die Schließung von Fertigungsstätten entstanden sind. Dies hat zu einem Verlust der klaren Ausrichtung von F&E Bemühungen geführt. Damit einhergehend werden sinkende Absolventenzahlen in den Natur- und Ingenieurwissenschaften beobachtet. Als Gegenmaßnahme wird die Etablierung eines nationalen Zentrums vorgeschlagen, das über die neuesten Technologien in der Halbleiterverarbeitung (sowohl für Silizium als auch III-V Halbleiter) verfügen soll. Dieses Zentrum soll neben der akademischen Forschung auch der industriellen Entwicklung, der Fertigung von Prototypen sowie der Produktion von Serien mit geringer Stückzahl dienen. Daneben wird eine intensive Zusammenarbeit mit dem IMEC unterstützt.

Schwächen in der Fertigung

Studie Japan: The Seventh Technology Foresight

Dem Thema „Elektronik“ wird ein eigenes Kapitel gewidmet, wobei der Schwerpunkt auf der Mikroelektronik liegt. Daneben wird eine ganze Reihe von weiteren Subthemen und Vorhersagen diskutiert, die zum Teil auch einen starken Bezug zu IuK aufweisen:

(1) Mikroelektronik

Neun von zehn der am wichtigsten eingeschätzten Vorhersagen gehören zur Mikroelektronik. Die folgenden fünf Vorhersagen haben den höchsten Wichtigkeitsindex:

- Praktischer Einsatz einer Technologie, die die Massenproduktion von hochintegrierten Schaltkreisen mit minimaler Strukturgröße von 10 nm erlaubt (Zeithorizont 2015).
- Weite Verbreitung von drahtlosen, tragbaren Multimediaterminals, die mit einer Übertragungsrate von 100 Mb/s arbeiten und weltweit verwendet werden können (Zeithorizont 2015).
- Praktischer Gebrauch von nichtflüchtigen, wiederbeschreibbaren und halbleiterbasierten RAMs mit einer Kapazität von mehr als 100 Gb (Zeithorizont 2016).
- Entwicklung von hochintegrierten Logikchips mit einer Rechenleistung von 10 G-Flops und einer Leistungsaufnahme von 10 mW oder weniger (Zeithorizont 2018).
- Praktischer Gebrauch von Mikroprozessoren mit einer Rechenleistung in der Größenordnung von T-Flops (Zeithorizont 2019).

Auch die weiteren Vorhersagen beziehen sich wie die vorgestellten Beispiele auf Steigerungen hinsichtlich von Integrationsdichte, Rechengeschwindigkeit und Energieeffizienz. Die Art der Befragung führt dazu, dass nur eine Einschätzung der Realisierbarkeit ausgesprochen wird, es aber unklar bleibt, mit welcher Technologie die Befragten die Erreichung der jeweiligen Leistungsparameter für realistisch halten.

(2) Optoelektronik

Aus dem Bereich Optoelektronik stammt die einzige Vorhersage unter den zehn wichtigsten, die nicht der Mikroelektronik zugeordnet wird:

- Weite Verbreitung von optischen Abonnentensystemen in privaten Haushalten mit einer Übertragungsrate von 10 Gb/s (Zeithorizont 2014).

(3) Molekular-, Bio und Sensor-Elektronik

Keine der Vorhersagen aus diesen Teilgebieten der Elektronik fällt unter die zwanzig wichtigsten Vorhersagen. Nichtsdestotrotz werden die folgenden beiden Entwicklungen als besonders bemerkenswert hervorgehoben:

- Selbstorganisationsverfahren, z. B. bei Quantenpunkten und verschiedenen Arten von Nanokristallen, Nanodrähten und Nanoröhren;
- Anwendung von Rastersonden-Verfahren in der Datenspeicherung mit ultrahoher Dichte.

(4) Speicher- und Display-Elektronik

Die praktische Nutzung einer Speicherdichte von 1Tb/inch² wird mit magnetischen Festplatten für das Jahr 2015 erwartet und mit optischen Datenspeichern für das Jahr 2018.

Bei den Displays werden Flachbildschirme mit mindestens A3-Format und einer Auflösung, die einem hochwertigen Ausdruck (600 dpi oder besser) entspricht, bereits für das Jahr 2013 vorhergeschen.

Übersicht und Vergleich: Elektronik

Tabelle 5.7

Studie	Technologien von hoher Priorität + genannter Realisierungszeitraum	
Technology Radar (NL)	Mechatronik von strategischer Bedeutung im Zeitraum bis 2008 für die Niederlande	
New Forces at Work (US1)	Nachfolger für die Photolithographie	
Global Technology Revolution (US2)	Halbleiterbasierte Nanoelektronik mit Gate-Längen von 35 nm 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 nm bis 2015	nichtflüchtige Speicher mit einer Kapazität von mehr als 100Gb bis 2016

Diskussion

- ◆ 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 Information sind leistungsfähige Softwaresysteme und Telekommunikationstechnologien.
- ◆ Die Planungen gemäß der ITRS werden in den verschiedenen Studien im wesentlichen als die maßgeblichen Meilensteine für die Entwicklungen in der Elektronik angesehen. Eine Reihe von Alternativen, u. a. Quantencomputer und Molekularelektronik, werden in verschiedenen Studien angesprochen. Auf einer Zeitskala bis etwa zum Jahr 2015 werden diese aber nicht als konkurrenzfähig angesehen.

5.8 Biotechnologie und Life Sciences

Studie Niederlande: Technology Radar

Die niederländische Studie untergliedert den Bereich Biotechnologie zunächst in fünf Technologiefelder:

- Züchten von Pflanzen und Tieren
- **Gentechnologie**
- Steuerung metabolischer Pfade
- Bioprozesstechnologie
- Arzneimittelentwicklung

Von diesen vier Feldern wurde **Gentechnologie** als Technologiefeld mit strategischer Bedeutung für die Niederlande identifiziert.

Die Studie nennt folgende Trends:

- Zunehmend dominante Rolle der USA im Bereich der gentechnologischen Forschung, auch in Gebieten, auf denen traditionell europäische Unternehmen führend waren (Markt für industriell genutzte Enzyme und hochentwickelte Enzymtechnologien),
- signifikante Unterschiede hinsichtlich der technologischen Entwicklung und den technologischen Anforderungen innerhalb der Hauptanwendungsgebiete:
 - Landwirtschaft: Die traditionell starke Position der niederländischen Landwirtschaft im Bereich der klassischen Züchtung von Pflanzen und Tieren wird durch die breite Anwendung der Gentechnologie untergraben.
 - Ernährungsindustrie: Strategische Bedeutung der gentechnologischen Forschung für den zusehends wichtiger werdenden Markt des „functional food“.
 - Bioprozess-Industrie und Spezialchemie: Die Produktion pharmazeutischer Produkte en gros mittels genetisch modifizierter Pflanzen ist eine potentielle Bedrohung der niederländischen Spezialchemie, die traditionell eine starke Position im Bereich mikrobiologischer und enzymatischer Herstellung solcher Produkte innehat.
 - Pharmaindustrie: Erkenntnisse und Anwendungsmöglichkeiten der Biotechnologie fließen in nahezu alle neu entwickelten Produkte mit ein.

Eine marktführende Position bekleiden die Niederlande nach wie vor auf dem Gebiet der Milchsäuren, das von strategischer Bedeutung für sämtliche gentechnologischen Anwendungsmöglichkeiten im Bereich Milchprodukte ist.

Folgende Problempunkte werden angeführt:

- Die nach wie vor geringe Akzeptanz der Konsumenten im agro-food Bereich ist das größte Hindernis für den Einsatz gentechnologischer Anwendungsmöglichkeiten.
- Die patentrechtliche Situation in den Niederlanden ist unzureichend. Ein Patent-Monopol der USA könnte die angewandte Forschung in anderen Ländern gefährden.
- Ein generelles Problem für kleinere niederländische High-Tech Unternehmen ist der kleine Absatzmarkt im eigenen Land und das Fehlen von Wagniskapital.
- Forscher an Universitäten haben meist wenig wirtschaftliches Know-how und zu geringe Marketingkompetenzen.

Studie USA (1): New Forces at Work (1998)

Im Bereich der Biotechnologie werden revolutionäre Entwicklungen und Anwendungsmöglichkeiten erwartet. Die Auswirkungen möglicher Durchbrüche in den folgenden drei Bereichen werden von der Industrie als besonders wichtig angesehen:

- (1) Biotechnologie und Landwirtschaft - es wird erwartet, dass die Fähigkeit zur genetischen Manipulation von Pflanzen und Tieren die gesamte Landschaft der Nahrungsmittelerzeugung, -prozessierung, -verteilung und -lagerung verändern wird. In Abhängigkeit von der Akzeptanz der Konsumenten wird davon ausgegangen, dass zu Beginn des 21. Jahrhunderts möglicherweise ein großer Teil der Produkte auf die eine oder andere Weise genetisch modifiziert sein könnte.
- (2) Biotechnologie und Umwelt - in diesem Bereich werden vor allem eine ganze Reihe von umweltfreundlicheren Produktionsverfahren erwartet, z. B. der Ablauf biotechnologischer Prozesse wie der Fermentation unter (Nutzung von) geringeren Temperaturen.
- (3) Biotechnologie und Kommunikation - im Bereich der Bioinformatik wird Potential zu revolutionären Veränderungen hinsichtlich neuartiger Systeme zur Archivierung und Übermittlung von Daten gesehen. Außerdem wird ein breites Anwendungspotential für Biochips und Biosensoren prognostiziert.

Studie USA (2): The Global Technology Revolution

Die Studie gibt zu Beginn des Kapitels „Genomics“ einen Ausblick auf die mögliche zukünftige Entwicklung des Bereichs Biotechnologie bis zum Jahr 2015. Darin wird prognostiziert, dass die Biotechnologie wahrscheinlich in der Lage sein wird, die genetische Basis von pflanzlichen

„Genomics“

Genetic Profiling

und tierischen Organismen zu identifizieren, zu verstehen, zu reproduzieren und zu manipulieren.

Genetic Profiling (das Erstellen genetischer Profile) könnte u. a. dazu beitragen, Prädispositionen für bestimmte Krankheiten zu erkennen und individuell maßgeschneiderte Medikamente zu entwickeln. Außerdem wird von signifikanten Auswirkungen auf die Gebiete Sicherheit und Kriminalitätsbekämpfung (z. B. durch DNA Analyse) ausgegangen. Im Bereich der Gentherapie werden zwar ebenfalls Fortschritte prognostiziert, allerdings gehen die Autoren davon aus, dass Gentherapien bis zum Jahr 2015 noch nicht vollentwickelt sein werden. Der nächste größere technologische Schub wird im Bereich Proteomik erwartet. Fortschritte werden hier vor allem im Zusammenhang mit weiteren Entwicklungen im Bereich Bioinformatik und Informationstechnologien gesehen.

Mögliche Hemmnisse

Mögliche technische Probleme bzw. Hemmnisse für den Fortschritt im Bereich der Genomforschung werden u. a. im unvollständigen Verständnis von Gensequenzen, der Isomer Modulation oder der Genaktivierung gesehen. Darüber hinaus können auch die äußerst komplexen und komplizierten rechtlichen Rahmenbedingungen eine Barriere darstellen.

Studie USA (3): Converging Technologies for Improving Human Performance

„Human Cognome Project“

Im Kapitel zur Erweiterung der menschlichen Erkenntnisfähigkeit bzw. Wahrnehmung und Kommunikation (Expanding Human Cognition and Communication) wird ein „Human Cognome Project“ - entsprechend dem „Human Genome Project“ - befürwortet. Die möglichen Ergebnisse eines solchen Projekts zur vollständigen Erforschung und Kartierung der Strukturen und Funktionen des menschlichen Gehirns werden als revolutionär bezeichnet. Es würde dazu führen, die mentalen und interaktiven kommunikativen Fähigkeiten des Menschen beispiellos zu erhöhen und zu erweitern. Das umfangreichere und verbesserte Verständnis des menschlichen Gehirns würde nicht nur dazu beitragen, dass die Menschen sich selbst besser verstehen und kennen lernen als je zuvor, sondern vor allem auch ermöglichen, dass Technologien entwickelt und gestaltet werden, die dem Menschen ganz genau angepasst sind.

Möglichkeiten der Kommunikation erweitern

Die Studie geht außerdem davon aus, dass es neuartige Schnittstellengeräte geben wird, welche die menschlichen Möglichkeiten der Wahrnehmung und der Kommunikation maßgeblich erweitern werden, z. B auch durch eine Manipulation des Sensorik-Systems. Auch im Bereich der Raumkognition werden Fortschritte durch die konvergierenden Technologien erwartet, z. B. die Entwicklung von persönlichen Wegfindungssystemen, beispielsweise für Menschen mit Sehbehinderung, die durch einen tragbaren Computer alle nötigen lokalen Informationen über ihre Umwelt vermittelt bekommen (etwa auf Basis von Infrarotsignalen).

Studie UK: The Foresight Programme

In der Gliederung des britischen Foresight Programms findet sich die Bezeichnung „Biotechnologie“ nicht wieder, was zunächst zu der Annahme führen kann, dass dieser technologische Bereich im Rahmen des britischen Foresight-Prozesses nicht berücksichtigt wird. Ein beträchtlicher Anteil der Technologien, die von den anderen untersuchten Studien im Rahmen von „Biotechnologie“ angesprochenen werden, ist hier aber den Bereichen „Healthcare“ und z. T auch „Ageing Population“ zugeordnet. In der vorliegenden Studie werden diese Technologien dementsprechend in Kapitel 5.9 unter Gesundheit und Ernährung behandelt.

Studie Japan: The Seventh Technology Foresight

Die Studie stellt Trends in neun besonders nennenswerten Bereichen vor:

(1) Krebserkrankungen zählen in Japan seit Anfang der 80er Jahre zu den Haupttodesursachen. In Anbetracht der demographischen Entwicklung wird sich diese Tendenz noch verstärken. Im Bereich „Life Sciences“ finden sich zwar nur 6 Themen mit einem direkten Bezug zu Krebserkrankungen, aber 4 davon finden sich unter den 20 wichtigsten Themen in dieser Sparte. Die entscheidensten Fortschritte werden hier im Bereich der Gentherapie prognostiziert.

Erforschung molekularbiologischer Mechanismen von Krebszellen; angestrebt wird eine Methode zur Entfernung von Krebszellen aus dem Körper und zur Modifizierung von bösartig veränderten Zellen zu gesunden Zellen im Körper. Die Realisierung wird für das Jahr 2020 prognostiziert.

(2) Auf dem Gebiet der Hirnforschung werden maßgebliche Ergebnisse in 3 Bereichen erwartet: Eine veränderte Sichtweise der menschlichen Natur durch die Bereitstellung naturwissenschaftlicher Erklärungen für die menschlichen Mentalfunktionen (bisher hauptsächlich Gegenstand der Geisteswissenschaften), im Bereich der Erforschung neurologischer und psychiatrischer Erkrankungen sowie im Bereich der künstlichen Intelligenz.

Fortschritte in absehbarer Zukunft werden erwartet

- bei der Entwicklung von Technologien zur Wiederherstellung der Funktionen geschädigter Hirnnerven sowie in der Erforschung, Prävention und Behandlung der Alzheimerkrankheit, im Jahr 2017,
- in der Forschung auf molekularer und synaptischer Ebene, die u. a. zu einem verbesserten Verständnis höherer Gehirnfunktionen führen kann, wie z. B. des Lernens und des Gedächtnisses. In diesem Zusammenhang wird auch die Entwicklung von Medika-

menten zur Erweiterung und Verbesserung von Lern- und Gedächtnisfähigkeiten gesehen,

- bei der Erforschung von Sinneswahrnehmungen, insbesondere des Sehens, gekoppelt mit der Kategorisierung und Sinngebung des Gesehenen sowie
- bei der Erstellung von Hirnmodellen mit Hilfe von PET (Positron Emission Tomography) - einem leistungstarken Bildgebungs- und Diagnoseverfahren. Neben PET unterstützt auch das MRI (Magnetic Resonance Imaging) die Diagnose von onkologischen, kardiologischen und neurologischen Erkrankungen.

(3) Genetisch modifizierte Pflanzen

Mit steigenden Bevölkerungszahlen wird auch eine wachsende Notwendigkeit neuer Nahrungsmitteltechnologien verbunden. Bereits für die erste Hälfte des 21. Jahrhunderts wird ein kritischer Punkt hinsichtlich einer ausreichenden Produktion von Nahrungsmitteln prognostiziert. Durch Entwicklung und Anbau von genetisch veränderten Nutzpflanzen - tolerant gegen Herbizide, Insekten und andere Einflüsse - lässt sich die Nahrungsmittelproduktion steigern. Dafür ist nach Ansicht der Autoren eine umfangreiche Aufklärung der Verbraucher notwendig, um Akzeptanz zu schaffen. Folgende Fortschritte werden erwartet:

- Entschlüsselung des Genoms von Nutzpflanzen,
- Zufügen neuer Merkmale bei Nutzpflanzen, z. B. Integration von ursprünglich nicht, oder nur gering vorhandenen Vitaminkomplexen,
- Verbesserung der Anbaubedingungen von Nutzpflanzen,
- Entwicklung von Pflanzen, die sich restrukturierend auf ihre Umwelt auswirken und schädliche Stoffe aufnehmen können,
- Entwicklung von Pflanzen zur Herstellung von Medikamenten (z. B. Impfstoffen).

(4) Frühembryonale Entwicklung und Differenzierung

Die Forschung im Bereich der frühembryonalen Entwicklung (embryonale Stammzellenforschung) ist gesellschaftlich äußerst umstritten. Gleichzeitig werden mit ihr große Hoffnungen auf dem Gebiet der Gentherapie verbunden. Folgende Entwicklungen werden erwartet:

- Analyse der molekularen Mechanismen frühembryonaler Entwicklungen,
- Identifizierung der Gene, mit Bedeutung für die Kontrolle embryonaler Entwicklung,

- Erkenntnisse über die Prinzipien der Morphogenese,
- Identifizierung der Gene, die verantwortlich für die Weitergabe von Erbkrankheiten sind
- sowie die Züchtung von künstlichen Organen, *in vitro*, auf der Grundlage von menschlichem Gewebe.

(5) Immunsystem

Die Entschlüsselung des menschlichen Genoms ermöglicht, mit Hilfe von Molekularbiologie und Genetik, Fortschritte im Bereich der Immunologie. Z. B. sollen Gen-Segmente, die im Verdacht stehen Krankheiten „vorzuprogrammieren“, identifiziert werden können (Pathogenetik). Fortschritte auf folgenden Gebieten werden erwartet:

- Analyse so genannter NKT-Zellen,
- Erforschung von dendritischen Zellen,
- Analyse des CMIS („Common Mucosal Immune System“),
- Analyse von genetischen Faktoren und Umweltfaktoren bei Allergien.

(6) Im Bereich Sensoren und Computer werden Fortschritte in folgenden Bereichen prognostiziert:

- Untersuchung von DNA Strukturen mit Hilfe von Biosensoren,
- Entwicklung von Methoden der Selbst-Diagnose und
- Entwicklung eines DNA Computers.

(7) Postgenomische Wissenschaft, genbasierte Medikamentenentwicklung und Gentherapie:

- Ergebnisse aus dem Bereich „Moleküle - Genom und molekulare Wechselwirkungen“ - werden als sehr wichtig eingeschätzt ebenso wie die Entwicklung von post-genomischen und proteomischen Technologien.
- Fortschritte werden für die Entwicklung von gezielteren diagnostischen und therapeutischen Methoden auf Basis der Entschlüsselung des Genoms erwartet.
- Ein Trend wird darin gesehen, dass in den Lebenswissenschaften in Zukunft eine ganze Reihe wissenschaftlicher Bereiche zusammenlaufen werden.

(8) Gewebe-Rekonstruktion:

- Das „Tissue Engineering“ als interdisziplinäres Gebiet, das Ingenieurwissenschaften mit Materialwissenschaft und Medizin verbindet hat zum Ziel, geschädigtes Gewebe wiederherzustellen und seine Funktionen zu verbessern. Im Hinblick darauf, dass Gewe-

bedefekte zu einem großen Teil durch Verschleiß, übermäßige Beanspruchung oder mangelnde Durchblutung entstehen, ist davon auszugehen, dass - in Anbetracht der demographischen Entwicklung Japans - ein zunehmender Bedarf in diesem Bereich der Medizin zu verzeichnen sein wird.

(9) Bioethik

- Japan braucht angemessene politische Rahmenbedingungen, die den Umgang mit den modernen Biowissenschaften (wie u. A. Gentechnik, Stammzellenforschung, Forpflanzungs- und Transplantationsmedizin) und ihren zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten klar regeln, unter Berücksichtigung sowohl der gesundheitswissenschaftlichen Belange als auch der Gesellschaft als Ganzes.

Übersicht und Vergleich: Biotechnologie und Life Sciences

Tabelle 5.8

Studie	Technologien von hoher Priorität + genannter Realisierungszeitraum	
Technology Radar (NL)	Gentechnologie (eine Reihe kombinierbarer DNA-basierter Techniken, die den Transfer genetischen Materials von einem in einen anderen Organismus ermöglichen)	
New Forces at Work (US1)	Technologien zur Entwicklung von genetisch modifizierten Organismen (Anfang des 21. Jhd.)	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)
Improving Human Performance NBIC (US3)	„Human Cognome Project“ (2012-2022)	
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)

Diskussion

- ◆ 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.

- ◆ Auf den erwarteten Fortschritten in der Genomik und Proteomik wird die Vision der Entstehung einer individualisierten Diagnostik und Therapie gründet (US1, US2, JP).
- ◆ Eine wichtige Voraussetzung hierfür stellt die prognostizierte starke Weiterentwicklung im Bereich Bioinformatik dar. Dies betrifft neue Systeme zur Speicherung, Übermittlung, Organisation und Auswertung von biologischen Daten - speziell aus Genomik und Proteomik.

5.9 Gesundheit und Ernährung

Studie USA (1): New Forces at Work

Im Bereich Medizin steht nicht mehr die Bekämpfung von Symptomen im Mittelpunkt, sondern die Ermittlung der individuellen Ursachen von Krankheiten und deren Behandlung. In den kommenden 20 Jahren (1998 + 20) werden Fortschritte auf dem Gebiet der molekularen Medizin erwartet, die sich sowohl in der Diagnostik als auch in neuen, individuell zugeschnittenen Therapien zeigen, einschließlich einer medizinischen Bildgebung mit einer Auflösung auf zellulärer Ebene. Die Entschlüsselung des menschlichen Genoms lässt neue Erfolge im Bereich der präventiven Medizin wahrscheinlich werden. Die Möglichkeit neues menschliches Gewebe oder Organe zu entwickeln wird dagegen als relativ spekulativ eingeschätzt.

Individuell zugeschnittene Therapien

Studie USA (2): The Global Technology Revolution

Als wichtig sieht die Studie den Bereich des Klonens an, hauptsächlich im Hinblick auf Nutzpflanzen sowie Nutz- und Versuchstiere. Dagegen wird das Klonen von Menschen bis zum Jahr 2015 - trotz möglicher vereinelter Unternehmungen - aufgrund weltweiter ethischer, moralischer, medizinischer und rechtlicher Kontroversen als unwahrscheinlich eingeschätzt.

Im Bereich genetisch modifizierter Organismen ist es u. a. denkbar, dass Organismen so modifiziert werden, dass sie bspw. in der Lage sind, Pharmazeutika und therapeutische organische Präparate zu liefern oder zu produzieren. Pflanzen könnten z. B. modifiziert werden, um Biopolymere für Anwendungen mit weniger umweltschädlichen Auswirkungen zu produzieren.

Klonen

Arzneimittelentwicklung**„Tissue and Organ Engineering“****Prothetik****Biomimetik**

Auch auf dem Gebiet der Therapie und Arzneimittelentwicklung werden signifikante Fortschritte erwartet. Z. B. neuartige Entwicklungen zur Behandlung und Prävention von Krankheiten und Infektionen oder die Entwicklung von Arzneimitteln, die ganz gezielt nur bestimmte Organe ansprechen.

Fortschritte im Bereich „Tissue and Organ Engineering“ werden erwartet z. B. bei der Geweberegeneration und -reparatur, wodurch die Möglichkeiten erweitert werden, gesundheitliche Probleme innerhalb des Körpers zu lösen. Z. B. wird die Behandlung von Herzerkrankungen durch den Einsatz von funktionalem Gewebe bis zum Jahr 2015 als realistisch eingeschätzt. Außerdem wird davon ausgegangen, dass die Forschung und Anwendung im Bereich der Stammzelltherapien fortgesetzt und erweitert wird, indem diese Zellen z. B. dazu eingesetzt werden bestimmte Hirn- oder Körperfunktionen zu übernehmen.

Um das Jahr 2015 könnte der gesamte Bereich Prothetik an Bedeutung gewinnen und von massiven Fortschritten profitieren. So könnten Netzhaut- und Innenohrtransplantate sowie andere Formen artifizieller Kommunikation und Stimulation verbessert, üblicher und erschwinglicher werden.

Neue Techniken in Biomimetik und angewandter Biologie, wie z. B. funktionelle Hirnbildgebung und gezielte Genmanipulation können die bisherigen Bemühungen um das Verständnis von menschlicher und tierischer Intelligenz und Fähigkeiten revolutionieren. Bis zum Jahr 2015 wird das Verständnis von Phänomenen wie Erinnerung, Beobachtung, Erkennen/Wiedererkennen beim Menschen in einem Maße verbessert sein, dass es möglich wird, künstliche Systeme (wie bspw. autonome Roboter und Informationssysteme) zu entwerfen.

Auch in der Chirurgie werden biotechnologische Entwicklungen die Prozesse optimieren. Techniken wie die Angioplastie (Gefäßdarstellung) werden wahrscheinlich bestimmte chirurgische Eingriffe komplett überflüssig machen. Fortschritte auf dem Gebiet der Laserchirurgie werden bisherige Techniken verfeinern. Hybride Bildgebungsverfahren werden voraussichtlich diagnostische Verfahren verbessern und bestimmte operative Eingriffe erleichtern.

Studie USA (3): Converging Technologies for Improving Human Performance

Im Bereich „Improving Human Health and Physical Capabilities“ identifiziert die Studie sechs Technologien, die in den nächsten 10 bis 20 Jahren entscheidende Fortschritte für die Gesundheit, die biologischen und physischen Fähigkeiten des Menschen ermöglichen werden:

- (1) Nano-Bio-Prozessoren: Die Programmierung von komplexen biologischen Informationen auf einem Chip;
- (2) Selbstüberwachung des physiologischen Wohlbefindens und von Fehlfunktionen durch Nano-Implantate: Toolset zum Erproben und Überwachen von biologischen Körperfunktionen. Ein mögliches Resultat aus der Kombination von Bio- und Nanotechnologie könnte z. B. eine Art „molekulare Prothetik“ sein, also Nanokomponenten, die defekte zelluläre Bestandteile, wie Ionenkanäle oder Proteinrezeptoren reparieren oder ersetzen können;
- (3) Nano-medizinische Forschung, Eingriffsüberwachung und Robotiks: Multifunktionale Nanoroboter könnten als Werkzeuge für die medizinische Forschung und medizinische Eingriffe dienen. Als Beispiel wird die Entwicklung einer Nano-Gehirn-Überwachungskamera genannt oder die Möglichkeit, chirurgische Eingriffe weitaus weniger invasiv durchführen zu können als bisher;
- (4) Multimodale Geräte für Seh- und Hörgeschädigte: Die Entwicklung multimodaler Kommunikationsgeräte (speziell für Seh- und Hörgeschädigte), z. B. „sprechende Umgebung“ und 3-D-Touchscreens, um Internetzugang zu ermöglichen;
- (5) Hirn-Maschine Schnittstellen: Die Entwicklung von Schnittstellen, die direkt mit dem neuronalen System kommunizieren können; die Entwicklung von direkten Verbindungen von neuronalem Gewebe und Maschinen;
- (6) Virtuelle Umwelten: Mit Hilfe der Nanotechnologie wird es den Informationstechnologien möglich sein, realistische virtuelle Umwelten zu kreieren. Hier werden spezielle Anwendungen im medizinischen Bereich erwartet z. B. für die Ausbildung von Ärzten und medizinischem Personal, die Vorgänge und Reaktionen an virtuellen Körpern studieren könnten;

Neben diesen sechs identifizierten Bereichen werden auch Fortschritte auf anderen Gebieten angesprochen, z. B. der Gentherapie (besonders der Entwicklung von neuen Medikamenten), der Bioinformatik oder der Nano-Biotechnologie und ihren lebensverlängernden Auswirkungen. Ernährung wird am Rande erwähnt.

Alterung der Gesellschaft**Studie UK: Foresight Programme. Runde 2**

- (1) Eines der drei bereichsübergreifenden thematischen Gremien des britischen Foresight Programms beschäftigt sich mit der Alterung der Bevölkerung und in diesem Zusammenhang u. a. auch mit den speziellen Entwicklungen und Trends im Bereich des Gesundheitswesens:
- Rasche Fortschritte im Bereich biomedizinischer Wissenschaft könnten die Lebens- und Gesundheitserwartungen über die bisher erwartete Zunahme hinaus steigern.
 - Es werden neue Technologien zur Aufrechterhaltung eines selbstständigen und unabhängigen Lebens verfügbar sein. Dazu werden Sensoren, Informations- und Technologien zur Fernbetreuung beitragen.
 - Durch das Informationsangebot des Internets wird es im Gesundheitswesen immer besser informierte Kunden, Verbraucher und Patienten geben.
 - Soziale, politische sowie wirtschaftliche Trends werden direkte und indirekte Auswirkungen auf die Gesundheit nehmen können, z. B. in Anbetracht der Frage nach der Finanzierbarkeit medizinischer Versorgung.
 - Die Erwartungen an die Leistungsfähigkeit des Gesundheitssystems werden steigen. In Zukunft werden ältere Menschen höhere Ansprüche bezüglich ihrer Gesundheit haben und die Anwendungsmöglichkeiten technischen Fortschritts für selbstverständlich halten.
 - Durch die Entschlüsselung des menschlichen Genoms werden neue Eingriffe und Präventivstrategien entstehen. Eine gezieltere Behandlung wird durch neuartige Medikamente möglich werden, u. A. im Bereich Kardiovaskulärer- und Krebserkrankungen.
 - Die zunehmende Bedeutung des demographischen Wandels sollte in der Aus- und Weiterbildung im Bereich des Gesundheits- und Sozialwesens entsprechend berücksichtigt werden.
 - Ältere Menschen werden in zunehmendem Maße gefordert sein, sich im Rahmen eines verantwortungsvollen und angemessenen Lebensstils an der Erhaltung ihrer Gesundheit zu beteiligen. Das genetische Wissen wird die Basis für entsprechende Präventivmaßnahmen schaffen.
 - Durch die weiteren Entwicklungen der Informationstechnologien werden neue Möglichkeiten für ältere Menschen erwartet, einer eingeschränkten Mobilität entgegen zu wirken, z. B. durch die Möglichkeit mit der Familie per Videoübertragung in Verbindung

zu stehen, und allgemein durch intelligente Überwachungs- und Fernbetreuungssysteme. Hier wäre denkbar, dass Haushalte grundsätzlich mit einem entsprechend industriell standardisierten IT-Zugang ausgestattet sein werden (ähnlich wie mit Elektrizität, Wasser usw.).

- (2) Im Rahmen des Sektorgremiums zum Thema Gesundheitswesen werden in erster Linie mögliche Entwicklungen und Trends beschrieben und Empfehlungen zu den daraus resultierenden möglichen Konsequenzen für Politik, Forschung, Industrie und Ausbildung etc. bereitgestellt.

Wichtige technologische Entwicklungen und Fortschritte werden im Bereich Information, Elektronisches Gesundheitswesen und Internet gesehen. Hier wird der virtuelle Arzt oder die elektronische Patientenakte genannt (diese enthält sämtliche klinischen, genetischen und andere persönliche Daten in verschlüsselter Form). Die Daten können dabei auf einer Karte gespeichert sein oder im Internet mit entsprechendem Zugang verfügbar gemacht werden.

Elektronisches Gesundheitswesen

Ein weiteres, ausführlich behandeltes Gebiet ist die Genetik. Hier wird zunächst darauf hingewiesen, dass - trotz hoher Erwartungen und Aktivität in dem Bereich - der Realisierungszeitraum für die voraussichtlichen Entwicklungen nur sehr schwer zu prognostizieren ist. Konkrete genetische Behandlungen, wie Gentherapie oder die Anwendung von neuen, auf genetischen Informationen basierenden, Medikamenten sind laut des Berichts erst in zehn Jahren zu erwarten. Zu den wichtigsten Entwicklungen, die zukünftig erwartet werden, gehören neue Behandlungsmöglichkeiten aufgrund genauer Kenntnis der Genfunktionen, Gentransfer, Präventivmaßnahmen und das gezielte Wachstum von Stammzellen zur Herstellung bzw. Züchtung von Gewebe und Organen. Außerdem wird die verbreitete Anwendung von Gentests und die Erstellung genetischer Profile (zur Feststellung von Prädispositionen für bestimmte Erkrankungen wie z. B. Krebs, Diabetis und kardiovaskuläre Erkrankungen) erwartet.

Genetik

Als in diesem Zusammenhang besonders wichtig wird die Phänotyp-Forschung genannt sowie die verstärkte Notwendigkeit von umfangreichen klinischen Versuchsstudien. Es wird auch auf Entwicklungen im Bereich der Informationstechnologien hingewiesen, die notwendig sein werden, wenn genetische Informationen nutzbar gemacht werden sollen, (z. B. elektronische und andere digitale Speicher, spezielle Software, „Grid Computing“ oder „Optical Computing“).

Phänotyp-Forschung

Neben der Präventivmedizin wird auch der Bereich Regenerative Medizin zu einem Hauptbestandteil des Gesundheitswesens werden. Die Schwerpunkte werden hier in der Nutzung von Stammzellen, dem Tissue Engineering (Herstellung Züchtung von Gewebe), dem

Regenerative Medizin

Rolle der Physik für die Medizin

Bereich der Xenotransplantation und dem Einsatz künstlicher Organe gesehen.

Neuropsychiatrische Erkrankungen

Angesprochen wird auch die zentrale Rolle der Physik und der Ingenieurwissenschaften für Medizin und Gesundheitswesen. Hier werden Entwicklungen in folgenden Bereichen erwartet: Nachahmung natürlicher Sensor- bzw. Effektorpfade, Bildanalyse, Bildgebung, Modellierung zur Vorhersage von biologischem Verhalten, besseres Verständnis molekularer Prozesse und ihrer Umsetzung in Körperfunktionen, Biosensoren und Miniaturisierung.

Im Bereich neuropsychiatrischer Erkrankungen und ihrer Therapiemöglichkeiten werden bis zum Jahr 2020 entscheidende Fortschritte erwartet. Z. B. wird davon ausgegangen, dass verbesserte Bildgebungsverfahren es innerhalb der nächsten 5-10 Jahre ermöglichen, biologische Mechanismen zu erkennen, die Psychosen zugrunde liegen. Auf dem Gebiet der Prothetik werden Entwicklungen prognostiziert, die eine direkte Interaktion von elektronischen Prothesen mit neuralem Gewebe zulassen.

Im Bereich Ernährung werden, im Rahmen des Gremiums zum Thema Nahrungskette und Kulturpflanzen für die Industrie keine speziellen Technologien genannt. Es wird explizit nur auf die allgemeinen Entwicklungen durch Informations- und die Biotechnologie (Züchtung von herbizid- und schädlingsresistenten Nutzpflanzen) verwiesen.

Studie Japan: The Seventh Technology Survey

In der Sparte Gesundheit nennt der japanische Delphi-Bericht Trends in vier nennenswerten Bereichen.

(1) Regenerative Medizin

Die Entwicklung von Technologien zur Kultivierung von Zellen für regenerative Behandlungen wird mit Hilfe der Molekularbiologie und der Forschung an embryonalen Stammzellen fortschreiten:

- Die breite Anwendung von Zelltransplantationen mit veränderten embryonalen Stammzellen zur regenerativen Behandlung defekter Organe wird laut Prognose im Jahr 2020 möglich sein.

(2) Krankheiten

Aufgrund der demographischen Entwicklung Japans mit einem stetig steigenden Anteil an älteren Menschen, weist die Erforschung geriatrischer Erkrankungen höchste Priorität auf. Neue Entwicklungen werden hier für die folgenden vier, als wichtig erachteten Bereiche erwartet:

- Krebsvorsorge, Therapie und Rehabilitationsmethoden,
 - Vorsorge, Therapie und Rehabilitationsmethoden bei Arteriosklerose, im Jahr 2013,
 - Vorsorge, Therapie und Rehabilitationsmethoden u. a. bei Alzheimer und der Kreutzfeld-Jakob-Krankheit und
 - Vorsorge, Therapie und Rehabilitationsmethoden bei Infektionskrankheiten.
- (3) Medizinische Versorgungssysteme für eine alternde Gesellschaft - hier werden Ergebnisse in den nachstehenden Bereichen erwartet:
- Die Berücksichtigung und Erforschung des Zusammenhangs zwischen Ernährung, physischer Aktivität und geriatrischen Erkrankungen,
 - der Ausbau der palliativen Pflege und Sterbebegleitung und
 - die breite Anwendung eines Systems zur Erfassung und Speicherung sämtlicher medizinischen Daten, wie Testergebnisse, Anamnese und verschriebene Medikation auf einer Karte. Dafür wird eine Realisierung im Jahr 2011 erwartet.
- (4) Künstliche Organe - hier werden hauptsächlich Fortschritte bei der Entwicklung neuer Materialien (Biomaterialien) und der Anwendung künstlicher Organe erhofft, z. B. der Ersatz der Dialyse durch künstliche Nieren, mit einem angegebenen Realisierungszeitpunkt allerdings nicht vor 2019.

In der Sparte Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Fischerei und Ernährung werden folgende Trends beschrieben:

- (1) Nachhaltige und umweltfreundliche Produktionsverfahren: Mit steigenden Bevölkerungszahlen wächst auch die Notwendigkeit, die Produktivität im Bereich der Land- und Forstwirtschaft sowie der Fischerei zu steigern. Gleichzeitig beinhaltet dies die Notwendigkeit zu einem bewussten Umgang mit den Ressourcen. Nachhaltigkeit, Umweltschutz sowie Maßnahmen des Recyclings wurden im Rahmen der Delphi-Befragung als sehr wichtig eingestuft. 10 damit in Verbindung stehende Themen befinden sich unter den 20 wichtigsten Themen der Sparte. Wichtige Aspekte sind:
- die Reduktion von Pestiziden durch Einsatz von natürlichen Feinden der Schädlinge oder den Einsatz von Pheromonen,
 - die Reduktion von Herbiziden durch neue mechanische Unkrautvernichtungs-Technologien,
 - die Reduktion von chemischen Düngemitteln durch Integration des Düngepräparates in die Saat,

- die Verwendung bzw. Entsorgung von Abfällen bei der Viehhaltung durch Einsatz von Mikroorganismen und
- im Bereich der Fischerei die Erforschung der Reproduktionsprozesse großer Fischbestände sowie die Entwicklung und Etablierung entsprechender Ressourcen-Management-Technologien, um langfristige Entwicklungen voraussehen zu können (Realisierung im Jahr 2024).

(2) Dauerhafte Versorgung mit gesunden und sicheren Nahrungsmitteln:

Mit der Erfüllung der quantitativen Ziele hinsichtlich der Nahrungsmittelproduktion fordern die Verbraucher verstärkt Qualitätssicherung, besonders angesichts von BSE und der Verbreitung genetisch veränderter Produkte. Die vollständige Entschlüsselung der genetischen Sequenz von Nutzpflanzen (wie z. B. Reis), zur Isolierung bestimmter einzelner Gene, wird als wichtigstes Thema eingestuft. Als ebenfalls von hoher Wichtigkeit wird die Qualitätssicherung gentechnisch veränderter Landwirtschaftsprodukte und die Bewertung und Akzeptanz durch die Verbraucher eingeschätzt:

- Zugänglichkeit von Informationen über Biotechnologie für Verbraucher zur Förderung des allgemeinen öffentlichen Verständnisses (angegebene Realisierung im Jahr 2011),
- die Etablierung von Foren zum Austausch über die Sicherheit bei genetisch veränderten Nahrungsmitteln (Realisierung 2009),
- die Entwicklung von Nahrungsmitteln, die geeignet sind eine alternde Gesellschaft aus ernährungswissenschaftlicher Sicht versorgend zu unterstützen (Realisierung 2017).

(3) Nutzbarmachung biologischer Funktionen und Mechanismen und neue industrielle Anwendungsmöglichkeiten, wie z. B.:

- die Entwicklung von Technologien zur effektiven Produktion heilsamer Substanzen und Medikamenten aus kultivierten tierischen Zellen (eine Realisierung wird im Jahr 2011 erwartet).

(4) Ein weiterer Trend ist die abnehmende Produktivität im Bereich der Land-, Forstwirtschaft und Fischerei, auch bedingt durch eine zunehmend alternde Gesellschaft. Auf diesem Gebiet werden Fortschritte erwartet hinsichtlich

- der Entwicklung ferngesteuerter Allzweck-Roboter in der Landwirtschaft, ausgestattet mit künstlicher Intelligenz und benutzerfreundlicher Bedienung auch für ältere Menschen und
- der Schaffung von attraktiveren Arbeitsbedingungen in der Landwirtschaft zur Anwerbung von Arbeitskräften aus anderen Industriezweigen.

Übersicht und Vergleich: Gesundheit und Ernährung

Tabelle 5.9

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 (2012-2022)	
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 regenerative Medizin, auf molekularbiologischer Ebene und Stammzellforschung (2020)	Technologien für eine nachhaltige und umweltfreundliche Agrarproduktion

Diskussion

- ◆ Sowohl im Rahmen des britischen Foresight Programms als auch 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 in vielen Technologiefeldern als Querschnittsthema angesprochen.

5.10 Übersicht der zentralen Aussagen zu den benannten Technologiefeldern und Fazit

Energie

Im Bereich der Energietechnik haben Technologien zu Brennstoffzellen, Solarzellen und Batterien einen zentralen Stellenwert. Trotz des Trends zu erneuerbaren Energien wird prognostiziert, dass Technologien zur sauberen, möglichst emmissionsarmen Energiegewinnung aus fossilen Brennstoffen auch auf lange Sicht eine wesentliche Rolle spielen werden.

	NL	US1
Energie	Energiespartechnologien: Technologien, die sich speziell auf bestimmte Prozesse u. Anwendungen beziehen und den Energieverbrauch reduzieren	Batterie- und Zelltechnologien (bis 2030); Bioinformatik
Nano- u. Mikrosystemtechnologie		evolutionäre Entwicklung von Mikrosensoren mit möglicherweise revolutionären Konsequenzen
Materialtechnik	Polymere und Komposite sowie Oberflächenbehandlung sind von strategischer Bedeutung im Zeitraum bis 2008 für die Niederlande	Biopolymere haben beträchtliche Marktchancen bis 2008
Produktions- u. Prozesstechnik	Katalyse, Trenntechnologien und Produktionsautomation sind von strategischer Bedeutung im Zeitraum bis 2008 für die Niederlande	computerbasierte u. andere Technologien zur Beschleunigung des Produktentwicklungszyklus; Technologien, die Produktionsschwelle reduzieren u. das Hochskalieren der Produktion unterstützen
Informations- und Kommunikationstechnologien	Softwaretechnologien (Softwareentwicklung, Datenbanken, interaktive und multimediale Software), strategische Bedeutung im Zeitraum bis 2008 für die Niederlande	fortschreitende Konvergenz von Computer- und Kommunikationsgeräten über den Zeitraum bis 2008
Elektronik	Mechatronik von strategischer Bedeutung im Zeitraum bis 2008 für die Niederlande	Nachfolger für die Photolithographie
Biotechnologie u. Lifesciences	Gentechnologie (kombinierbare DNA-basierte Techniken, die den Transfer genetischen Materials von einem in einen anderen Organismus ermöglichen)	genetisch modifizierten Organismen (Anfang des 21. Jhd.)
Gesundheit u. Ernährung		Technologien im Bereich molekularer Medizin zur Entwicklung individualisierter Diagnostik und Therapie (bis 2018)

US2	US3	UK	JP
		Emissionsarme bis emissionsfreie Technologien zur Energieversorgung	Batterie- und Zelltechnologien (je nach Technologie zwischen 2014 und 2018)
integrierte Mikrosysteme für die biotechnologische Forschung, die chemische Synthese und als Sensoren bis 2015	Nanofabrikation völlig neuer Kategorien von Materialien, Geräten und Systemen	Nanofabrikation	Nanokatalysatoren
Intelligente Materialien, die mit Sensoren und Aktuatoren ausgestattet sind und auf Umwelteinflüsse reagieren 2015	Nanomaterialien	Prognostische Modellierung (kontinuierliche Weiterentwicklung)	Materialien für eine nachhaltige Entwicklung
Agile Fertigung bis 2015		Produktion als Dienstleistung über Lebenszyklus eines Produkts (Vision 2020); Massenproduktion von Einzelanfertigungen bis 2020	Systeme, die 90 % des Materials wiederverw. bis 2016; Fertigungssysteme, die nach einem digitalen 3-D-Modell produzieren, das digital zur Fertigungsstätte übertragen wird, bis 2009
globale Informationsversorgungseinrichtungen bis 2015	Integration sensorischer Systeme, Computer- u. Kommunikationssysteme in ubiquitäres globales Netzwerk bis ca.2020; Hirn-Maschine-Schnittstellen (2020)		Fortschritte in der Qualitätsprüfung von Software ermöglichen die schnelle und fehlerfreie Entwicklung großer Softwarepakete (Zeithorizont 2019)
Halbleiterbasierte Nanoelektronik mit Gate-Längen von 35 nm bis 2015 (entsprechend der ITRS '99)		Siliziumbasierte Elektronik entsprechend der ITRS während der nächsten Dekade	hochintegrierte Schaltkreise (Strukturgröße 10 nm bis 2015); nichtflüchtige Speicher (Kapazität mehr als 100Gb bis 2016)
„Genetic Profiling“ (bis 2015); Proteomik: für individualisierte Diagnostik u. Therapie (nicht vor 2015)	„Human Cognome Project“ (2012-2022)		Erforschung molekulärbiologischer Mechanismen v. Krebszellen (2020); Proteomik (2013)
Technologien zur gezielten Therapie- u. Arzneimittelenwicklung; Tissue u. Organ Engineering (bis 2015)	Bio- und Nanotechnologie im med. Bereich, Nanoimplantate-, -roboter und -geräte (2012-2022)	präventive u. regenerative Medizin, Gentherapie, Stammzellforschung (frühestens 2010)	regenerative Medizin, auf molekulärbiologischer Ebene, Stammzellenforschung (2020)

Nano- und Mikrosystemtechnologie

In der Mikrosystemtechnik werden am häufigsten Mikrosensoren genannt, die als Voraussetzung für intelligente Produkte gesehen werden.

Bei der Nanotechnologie stehen Nanomaterialien und die Fabrikation von Nanostrukturen im Vordergrund. In den aktuelleren Publikationen wird die Erwartung formuliert, dass von der Nanotechnologie Umwälzungen der gesamten technologischen Entwicklung ausgehen werden.

Materialtechnik

Als übergreifendes Motiv in der Materialtechnik erscheint die Computer-Modellierung, die unabhängig von den speziellen Materialklassen als wesentlich für die Entwicklung angesehen wird.

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

Produktions- und Prozesstechnik

Es wird prognostiziert, dass die Produktion sich zu einer Dienstleistung wandelt, die den gesamten Lebenszyklus umfasst. Produkte der Zukunft enthalten eine Vielzahl von Sensoren, die deren Funktionsfähigkeit überwachen, auf erforderliche Wartungsarbeiten hinweisen und das Erreichen des Nutzungsendes anzeigen. Die Produktion ist komplett digital abgebildet, wodurch ein fliessender Übergang vom Entwurf zur Produktion ermöglicht wird, was in der Folge eine vollständige Individualisierung der Produkte bei gleichzeitiger Massenproduktion erlaubt. Die gesamte Logistik erfolgt fertigungssynchron. Die Realisierung dieses Szenarios wird zwischen 2015 und 2020 für realistisch angesehen.

Informations- und Kommunikationstechnologien

In den Informations- und Kommunikationstechnologien kommt der Softwareentwicklung große Aufmerksamkeit zu. Gerade die Entwicklung komplexer Softwaresysteme bereitet hier 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 verschiedenster Gerätetypen in ein globales Netzwerk. Dabei wird auch auf die wachsende Bedeutung von (miniaturisierten) Sensoren zur Erzeugung digitaler Information hingewiesen.

Elektronik

Die Planungen gemäß der ITRS werden in den verschiedenen Studien im wesentlichen als die maßgeblichen Meilensteine für die Entwicklungen in der Elektronik angesehen.

Biotechnologie + Life Science

Fortschritte in der Biotechnologie und ihren Anwendungen werden insbesondere auf dem Gebiet der Genomik und Proteomik prognostiziert, dies wird in nahezu allen Studien deutlich. Außerdem wird die Bedeutung der Bioinformatik betont.

Gesundheit + Ernährung

Eindeutige Priorität im Bereich Gesundheit haben Technologien zur Entwicklung von individualisierter Diagnostik und Therapie sowie der Arzneimittelentwicklung basierend auf Erkenntnissen aus Genomik und Proteomik. Auch der Bereich der Stammzellenforschung wird in nahezu allen Studien angesprochen. Hinsichtlich des prognostizierten Zeithorizonts sind die Aussagen allgemein eher etwas zurückhaltend und sehen erfolgreiche Anwendungen (wie z. B. Gentherapie) überwiegend nicht vor dem Jahr 2015.

Fazit

Während die einzelnen Technologieprognosen teilweise Priorisierungen innerhalb einzelner Technologiefelder anbieten, findet sich in keiner der Studien ein Versuch, übergreifende Prioritäten im Vergleich zwischen den verschiedenen Technologiefeldern aufzuzeigen, so dass sich auch die oben getroffenen, stark komprimierten Aussagen nicht in einer noch knapperen Synopsis zusammenfassen lassen. Eine Aussage im absoluten Sinne, welche als die 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 der Form eines Kriterienrasters anhand dessen der Studienausführende die erhobenen (Technologie-) Informationen einordnen und bewerten kann. Inwieweit 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 zu den Technologiefeldern summierten Aussagen unmittelbar deutlich. Danach entsteht zunehmend der Eindruck, dass es vier große Technologiesegmente gibt: Bio - Nano - Material - IuK, die trotz ihrer offensichtlichen Unterschiede in starker Wechselbeziehung untereinander 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 Interdisziplinarität nimmt eine zunehmend wichtige Rolle für die technische Entwicklung ein. Die in den betrachteten Studien angegangenen Perspektiven und Visionen spannen einen weiten Bogen an Möglichkeiten auf und auch hier bedarf es externer Vorgaben zur Priorisierung.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Ausgangspunkt für diese Vergleichsstudie internationaler Technologieprognosen war eine umfassende Recherche, deren Ergebnisse im Anhang dargestellt sind. Aus der Menge recherchierter Technologieprognosen wurden anhand von Kriterien, die in Kapitel 3 aufgeführt und begründet werden, sechs Studien zum detaillierten Vergleich ausgewählt. Die einzelnen Studien werden in Kapitel 4 näher vorgestellt. In Kapitel 5 erfolgt der inhaltliche Vergleich der Studien. Zunächst wurden mittels einer Themenmatrix die inhaltlichen Schwerpunkte der Studien bestimmt, vgl. Abschnitt 5.1. Acht Technologiefelder werden in wenigstens vier der sechs Studien näher angesprochen und können so als Felder von besonders hohem Interesse identifiziert werden. Die wichtigsten Aussagen der jeweiligen Studien zu diesen Technologiefeldern wurden aus den Studien extrahiert und in den Abschnitten 5.2 bis 5.9 gegenübergestellt und diskutiert. Abschnitt 5.10 präsentiert schließlich eine Übersicht der zentralen Aussagen und ein Fazit.

LITERATURÜBERSICHT

Im Rahmen der vorliegenden Vergleichsstudie diskutierte Technologieprognosen

Niederlande:

- ◆ Technology Radar (Ministry of Economic Affairs)
www.minez.nl

USA:

- ◆ New Forces At Work: Industry Views Critical Technologies. Steven W. Popper, Caroline S. Wagner, Eric V. Larson; RAND, 1998
- ◆ The Global Technology Revolution. Bio/Nano/Materials Trends and their Synergies with Information Technology by 2015. RAND, 2001
- ◆ Converging Technologies for Improving Human Performance. Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science. National Science Foundation, 2002

Großbritannien:

- ◆ The Foresight Programme
www.foresight.gov.uk

Japan:

- ◆ The Seventh Technology Foresight - Future Technology in Japan towards the Year 2030. NISTEP Report No. 71, Tokyo, 2001

Ausgewählte Technologieprognosen - Studien und Aktivitäten

Australien

- Australian Science Technology and Engineering Council (ASTEC), Developing Lang-Term Strategies for Science and Technology in Australia; Outcomes of the Study: Matching Science and Technology to Future Needs 2010-Parts I-III. Canberra, 1996.

<http://www.dist.gov.au/science/astec/astec/future/final/futurea.htm>

Belgien

- Belgian Federal Foresight Study. (Foresight studie ter ondersteuning van het federale wetenschapsbeleid)
<http://www.socioforesight.net>

Brasilien

- Secretaria de Tecnologia Industrial, Ministerio do Desenvolvimento, Industria e Comercio Exterior, Programa Brasileiro de Prospectiva Tecnologica Industrial, Brasilia, 2000.

<http://www.mdic.gov.br/progacoes/tecnologia/programabrasileiropti.html>

China

- National Research Centre for Science and Technology for Development (NRCSTD), A Brief Introduction of National Technology: Foresight in China, Beijing, (nd).
- National Research Centre for Science and Technology for Development (NRCSTD), Technology Foresight and Evaluation Division (TFED), Technology Foresight Priority Industries 2010, panel-based exercise, 1997-1999, Beijing.

http://www.nstda.or.th/apec/html/foresight_china.html

Dänemark

- Technology-Foresight. Machbarkeitsstudie, 1998
<http://www.tekno.dk/subpage.php3>

Deutschland

- Delphi 98-Umfrage, Studie zur globalen Entwicklung von Wissenschaft und Technik
<http://www.isi.fhg.de>
- Futur - der deutsche Forschungsdialog
<http://www.futur.de>

Estland

- Estonian eVikings
<http://www.esis.ee/eVikings/>
- Scenarios of Estonia until 2010
<http://www.eti.ee>

Finnland

- Independent Living of Elderly People: Futures Policy and Gerontechnology
<http://www.eduskunta.fi>
- Ministry of Trade and Industry, Technology Department, Division for Research and Foresight Studies, On the Way to Technology Vision, panel based Foresight exercise, 1996-1998, Helsinki.
- Finland Parliament, Finland and the Future of Europe. Helsinki, 1997.
- <http://www.eduskunta.fi/fakta/vk/tuv/fcrep1.htm#science>
- <http://www.vyh.fi/eng/environ/sustdev/english.htm>
- <http://www.tukk.fi/tutu/english.htm>

Frankreich

- Académie des Sciences, Physiologie Animale et Humane, Vers une physiologie intégrative, Rst No, 2, Paris, 2000.
- Académie des Sciences, Systèmes Moléculaire Organisés. Rst No. 7, Paris, 2000.
- Académie des Sciences, Systematique, Ordonner la Diversité du Vivant, Rst No.11, Paris, 2000.
- Académie des Sciences, Développement et Applications de la Génomique. L'après -gène, Paris, 1999.
- Académie des Sciences, Rapport Biennal sur la Science et la Technologie en France. Synthèse 1998-2000. Rapport No. 12, Paris, 2000.
- Académie des Sciences (R. Barre), Four Innovative Foresight Studies in France in S-T-Environment-Society Area (1977-2000), Paris, 2001.
- Académie des Sciences et Institut de France, Energie so/aire et santé dans les pays en développement, Actes de Colloque, Foundation Singer-Polignac, Paris, 4-7 Novembre 1996.
- Académie des Sciences et Institut de France, Accès de tous à la connaissance preservation du cadre de vie amélioration de la santé, Trois Enjeux. Rapport à Monsieur le Président de la, République, Paris, 2000.
- Académie des Sciences et Institut de France - CADAS: Pollution Atmosphérique due aux Transports et Santé Publique, Rapport Commun No.12, Paris, 1999.
- Académie des Sciences et Institut de France, Stratospheric Ozone, Report No. 41, Paris, 2000.

- Assemblée Nationale, Conclusions du Rapporteur, Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologies, De la Connaissance des Gènes à Leur Utilisation. Première Partie, L'utilisation dans l'agriculture et dans l'alimentation, par J.-Y. Le Deault, Tome I et II, No. 1054, No. 545 Senat, Paris.
- Assemblée Nationale Sénat, Génomique et Informatique: L'import sur les Thérapies et sur L'Industrie Pharmaceutique. Par F. Serusclat, No. 1871, No. 20, Paris, 1999.
- CNRS, Rapport de Conjoncture du Comité National de la Recherche Scientifique, Paris, 1996.
- CNRS, Rapport du Groupe de Réflexion Stratégique (GRS), Traitemment des Syèmes Complexes e Interdisciplinarité, Réflexion Stratégique du CNRS, Paris, 2001.
- Council of Academies of Engineering and Technological Sciences. Technology and Health. Proceedings of the 13th CAETS Convocation. Institut de France, Paris, 1999.
- Comité des Applications de l'Académie des Sciences, Evaluer les Effets des Transports sur l'Environnement, Les Cas des Nuisances Sonores, Institut de France - CADAS, Rapport No, 16, Paris, 1999.
- Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie. List of Key Technologies (Technologies Clés) until 2005, Paris.
- <http://www.minefi.gouv.fr/>

Großbritannien

<http://www.foresight.gov.uk>

- Department of Trade and Industry-Foresight Programme, The Retail Revolution, Retail and Consumer Services Panel, London, 2000.
- Department of Trade and Industry Foresight-Programme, The Age Shift-Priorities for Action, Built Environment and Transport Panel, London, 2000.
- Department of Trade and Industry-Foresight Programme, Turning the Corner, Crime Prevention Panel, London, 2000.
- Department of Trade and Industry-Foresight Programme, Action for Future Systems, Defence, Aerospace and Systems Panel, London, 2000.
- Department of Trade und Industry-Foresight Programme, Stepping Stone to Sustainability, Energy and National Environment Panel, London, 2000.

- Department of Trade and Industry-Foresight Programme, The Future of Financial Services, Financial Services Panel, London, 2000.
- Department of Trade and Industry-Foresight Programme, Preparing for the Future, Food Chain and Crops for Industry Panel Report, London, 2000.
- Department of Trade and Industry-Foresight Programme, Health Care, Healthcare Panel, London, 2000.
- Department of Trade and Industry-Foresight Programme, Let's get Digital, Information, Communications and Media (ICM) Panel, London, 2000.
- Department of Trade and Industry-Foresight Programme, UK Manufacturing: We Can Make It Better, Final Report, Manufacturing 2020 Panel, London, 2000.
- Department of Trade and Industry-Foresight Programme, Materials: Shaping our Society, Material Panel, London, 2000.

Indien

- Technology Information, Forecasting and Assessment Council (TIFAC) and the Confederation of Indian industries (CII), Technology Vision 2020. scenario- and panel-based Foresight exercise, 1996.

<http://www.tifac.org.in/do/vis/vis.htm>

Italien

- National priorities for industrial R and S (2nd Report)
<http://www.foresight.it>

Irland

- Irish Council for Science, Technology and Innovation (ICSTI), Technology Foresight Ireland, Dublin, 2000.
<http://www.forfas.ie/icsti/index.htm>

Japan

- Ministry of Education, Culture, Sport, Science and Technology, The Seventh Technology Foresight Survey, Future Technology in Japan Toward the Year 2030, NISTEP Report No. 71, Tokyo, 2001.
<http://www.nistep.go.jp/index-e.html>

Kanada

- National Research Council Canada, Industrial Technology Foresight, Needs and Science Horizon Priorities, Ottawa, 2000.
- Partnership Group for Science and Engineering, Setting Priorities For Research In Canada, Ottawa, 2000.

Malta

- eFORESEE
<http://www.eforesee.info/malta/index.shtml?>

Neuseeland

- Ministry of Research, Science and Technology (MORST), The Foresight Project. Wellington, 1999.
- Ministry of Research, Science and Technology (MORST), Building Tomorrow's Success and Guidelines for Thinking Beyond Today, Wellington, 1998.

<http://www.morst.govt.nz/foresight/front.html>

Niederlande

- Foresight-Studien im Agrarsektor, 1999
<http://www.agro.nl/nrlo/>
- Flows and floods - knowledge and innovation challenges for a watery Netherlands
<http://www.awt.nl/en/forsight/foresightawt.html>
- Longing for the endless sea
<http://www.awt.nl/en>

Norwegen

- Norway 2030, Szenarien-basierte Foresight-Studie, 1998
<http://odin.dep.no/aad/engelsk/publ/rapporter/002031-220003/index-dok000-b-n-a.html>

Österreich

- Delphi Report Austria: Technologie Delphi I-III, Gesellschafts-Kultur Delphi I-II, Österreich 2013

<http://www.bmbwk.gv.at/start.asp?OID=4227&isIlink=1&bereich=2&gwort>

Peru

Ministerio de Industria, Turismo, Negociaciones Comerciales Internacionales (Mitinci), Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, Inventario Nacional de Recursos en Prospectiva Tecnológica Industrial del Perú, Lima, 2001.

Philippinen

- Science and Technology Coordinating Council (STCC), Science and Technology Master Plan {STMP}, 1996.
- <http://www.dost.gov.ph>

Schweiz

- St. Galler Zentrum für Zukunftsforschung AG (SGZZ),
<http://www.sgzz.ch/>
- Prognos AG, Basel, Schweiz
<http://www.prognos.de>

Singapur

- National Science and Technology Board (NSTB), Second National Science and Technology Plan, 1996.
<http://www.nstb.gov.sg>

Saudi Arabien

- King Abdulaziz City for Science and Technology, Directorate of International Cooperation, Science and Technology Priorities, 2002.

Südafrika

- National Research and Technology Foresight Project (NRTF), Dawn in the African Century: Nation at work through Science and Technology for a better future, Department of Arts, Culture, Science and Technology, 1999.
http://www.dacst.gov.za/science_technology/foresight/pamphlet.htm

Slowenien

- Present state and development possibilities of Biotechnology in Slovenia
www.bf.uni-lj.si

Spanien

- Comision Interministerial de Ciencia y Tecnologia, National Plan for Scientific Reearc,. Technological Development and Innovation, 2000-2003, Volumes I, II and III, Madrid, 2000.
<http://www.opti.org>

Türkei

- Tukish National Information Infrastructure Master Plan (TUENA)
<http://www.tuena.tubitak.gov.tr/>

Tschechische Republik

- Analysen internationaler Schlüsseltechnologielisten
<http://www.foresight.cz/>
- Visions for the Development of the Czech Republic to 2015
<http://ceses.cuni.cz/>

Süd-Korea

- Zweite Technologieprognose, Delphi-gestützte Foresight-Studie, 1998
<http://www.stepi.re.kr/english/index.html>

Ungarn

- National Committee for Technological Development, Technology Foresight Programmes (TFP) Delphi and panel-based Foresight exercise, 1997-1999.
- Toth, S., Technolgy Foresight in Hungary, Hungarian Ministry of Education, Budapest, 1999.
- <http://www.om.hu/j264.html>

Uruguay

- Ministerio de la Industria y Organizacion de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, Programa de Prospectiva Tecnologica Uruguay 2015, Montivideo, 2000.

USA

- Critical Technologies Institute, Annual Report 1995-1996: 1996-1997; 1997-1998; 1999-2000, Washington D.C.
- Executive Office of the President, Office of Science and Technology Policy (OSTP), Meeting America's Needs for the Scientific and Technological Challenges of the Twenty-First Century. A White House
- NDRI Pentagon Briefing, Where Will the Technology Revolution Have Taken Us, by 2015?, RAND, Research & Analysis National Security Research at RAND.
- Office of Science and Technology Policy (OSTP), Changes in the U.S. Approach to Technology Foresight and Critical Technology Assessment, Washington D.C., 2000.
- Office of Science and Technology Policy (OSTP), E- Vision 2000 Transcripts, Day three, Open Forum, October 13,2000.
- Office of Science and Technology Policy (OSTP), New Forces at Work: Industry's Views of Critical Technologies, Washington D.C., 1998.
- Office of Science and Technology Policy (OSTP), Strategic Planning Document-Fundamental Science, Washington D.C, 1999.
- Office of Science and Technology Policy (OSTP), Wellspring of Prosperity: Science and Technology in the US Economy, Washington D.C., 1999.
- Roundtable Dialogue, Proceedings of Panel Discussions and Position Papers, Washington D.C., 1999.
- <http://www.ostp.gov/index.html>
- <http://www.foresight.org> Foresight site

Foresight-Aktivitäten von supranationalen Organisationen:

Europäische Union (EU)

- Szenarien-basierte Foresight-Studie, 1997-1999
http://europa.eu.int/comm/cdp/scenario/index_en.htm
http://europa.eu.int/comm/cdp/scenario/scenarios_en.pdf

- „Futures“ - Interaktives und auf Expertengruppen gestütztes Foresight-Projekt, 1998
<http://futures.jrc.es/menupage-b.htm>

IPTS Enlargement Futures Project

- <http://www.jrc.es/projects/enlargement/>

Vereinte Nationen (UN)

- Das Millenniumprojekt
<http://millennium-project.org>

APEC (Asia Pacific Economic Cooperation)

- The National Science & Technology Development Agency (NSTDA), Foresight Activities of the APEC Centre for Technology Foresight, multi-country Foresight exercises, 1998-1999.
APEC Centre for Technology Foresight, Activities Report 1997-1998-1999-2000.
<http://www.apectf.nstda.or.th>

World Bank

- Science and Technology Collaboration: Building Capacity in Developing Countries, MR-1357.0-WB, March 2001, prepared for the World Bank by RAND Science and Technology.

Technology Foresight for Latin America

- <http://wwwforesight.ics.trieste.it>

World Future Society

- <http://www.wfs.org>

The Academy for Future Science

- <http://www.affs.org>