

Technologieprognosen

Internationaler Vergleich 2013



Anette Braun, Dirk Holtmannspötter, Sabine Korte,
Sylvie Rijkers-Defrasne, Axel Zweck

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Technologieprognosen

Internationaler Vergleich 2013

Anette Braun

Dirk Holtmannspötter

Sabine Korte

Sylvie Rijkers-Defrasne

Axel Zweck

Herausgeber:
Zukünftige Technologien Consulting
der VDI Technologiezentrum GmbH
Airport City
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

im Auftrag und mit Unterstützung des

Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Diese Technologieanalyse entstand im Rahmen des Vorhabens „Fortschreibung und Aktualisierung internationaler Technologieprognosen“ (Förderkennzeichen 16FOR013) der Abteilung Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH im Auftrag und mit Unterstützung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), Referat 113.

Projektleitung: Prof. Dr. Dr. Axel Zweck
Durchführung: Dr. Anette Braun (braun_a@vdi.de)
Dr. Dirk Holtmannspötter (holtmannspoetter@vdi.de)
Dr. Sabine Korte (korte@vdi.de)
Dr. Sylvie Rijkers-Defrasne (rijkers@vdi.de)

Zukünftige Technologien Nr. 97
Düsseldorf, im August 2013
ISSN 1436-5928

Für den Inhalt zeichnen die Autoren verantwortlich. Die geäußerten Auffassungen stimmen nicht unbedingt mit der Meinung des Bundesministeriums 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: © iStockphoto.com/menabrea. Das Bild wurde mit einem Blaufilter verfremdet.

Zukünftige Technologien Consulting (ZTC)
der VDI Technologiezentrum GmbH

Airport City
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

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

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	7
TABELLENVERZEICHNIS	9
ZUSAMMENFASSUNG	11
1 HINTERGRUND UND ZIELSETZUNG	15
2 VORBEMERKUNGEN UND VORGEHEN	19
2.1 Sprachgebrauch	19
2.2 Nationale Innovationssysteme (NIS)	19
2.3 Methodisches Vorgehen	20
2.4 Darstellung und Inhaltsanalyse	21
3 AUSWAHL DER STUDIEN	23
3.1 Länderauswahl	23
3.2 Auftraggeber	25
3.3 Geografischer Bezugsrahmen	26
3.4 Inhaltliche und zeitliche Abgrenzung	26
3.5 Sozioökonomische Fragestellungen	27
3.6 Auswahl	27
4 DARSTELLUNG AUSGEWÄHLTER LÄNDER	31
4.1 China	31
4.2 Frankreich	73
4.3 Japan	111
4.4 UK	141
4.5 USA	180
4.6 EU	203
5 VERGLEICH DER TECHNOLOGIEFELDER	235
5.1 Themenprofile der Studien einzelner Länder	238
5.2 Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte	257
5.3 Fazit des Ländervergleichs	285
6 THEMENSCHWERPUNKTE 2004-2006-2010-2013	293
6.1 Veränderung der Themenfelder im Zeitverlauf	296
6.2 Dekadenvergleich	299
6.3 Fazit des Dekadenvergleichs	301
LITERATURVERZEICHNIS	303
ANHANG A: SCHLÜSSELTECHNOLOGIEN AUS DER FRANZÖSISCHEN STUDIE „TECHNOLOGIES-CLÉS 2015“	317
ANHANG B: WEITERE TECHNOLOGIEPROGNOSEN	323

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2.1:	<i>Schematische Darstellung eines nationalen Innovationssystems (NIS).</i>	20
Abbildung 4.1:	<i>Nationales Innovationssystem Chinas.</i>	33
Abbildung 4.2:	<i>Chinas Roadmap für Weltraumforschung, -anwendungen und -technologie bis 2050.</i>	38
Abbildung 4.3 :	<i>Roadmap 2050 zur Meereswissenschaft und -technologie in China.</i>	40
Abbildung 4.4:	<i>Innovative Energietechnik-Roadmap bis 2050.</i>	43
Abbildung 4.5:	<i>Roadmap 2050 zu den Öl- und Gasressourcen in China.</i>	45
Abbildung 4.6:	<i>Roadmap zur modernen Materialwissenschaft und -technik in China.</i>	49
Abbildung 4.7:	<i>Chinas Roadmap 2050 zu modernen Fertigungstechnologien.</i>	51
Abbildung 4.8:	<i>Roadmap 2050 zu Informationswissenschaften und -technologien.</i>	54
Abbildung 4.9:	<i>Roadmap 2050 zu Agrarwissenschaft und Agrartechnologie in China.</i>	59
Abbildung 4.10:	<i>Chinas Roadmap 2050 ökologische und umweltbezogene Wissenschaft und Technologie.</i>	65
Abbildung 4.11:	<i>Roadmap bis 2050 für Chinas Wasserwissenschafts- und Wassertechnologieentwicklung.</i>	68
Abbildung 4.12:	<i>Roadmap 2050 zur Erforschung der Bodenschätze in China.</i>	71
Abbildung 4.13:	<i>Nationales Forschungs- und Innovationssystem Frankreichs.</i>	78
Abbildung 4.14:	<i>Nationales Innovationssystem Japans.</i>	112
Abbildung 4.15:	<i>Übersicht des britischen Innovationssystems.</i>	143
Abbildung 4.16:	<i>Übersicht des US-amerikanischen Innovationssystems.</i>	182
Abbildung 4.17 :	<i>Innovationsfähigkeit der EU-Länder 2013 laut EU Innovationsanzeiger.</i>	204
Abbildung 4.18:	<i>Architektur des EU Leistungsanzeiger Innovationsunion (Innovation Union Scoreboard, IUS).</i>	205
Abbildung 4.19:	<i>Europäische Strategie für Schlüsseltechnologien.</i>	208
Abbildung 4.20:	<i>Europäische Technologieplattformen.</i>	211
Abbildung 6.1:	<i>Zeitliche Entwicklung der häufigsten Themenfelder in den Vergleichsstudien 2004, 2006, 2010, 2013.</i>	296
Abbildung 6.2:	<i>Zeitliche Entwicklung der Themenfelder, die in der Vergleichsstudie 2004 am intensivsten diskutiert wurden.</i>	297
Abbildung 6.3:	<i>Zeitliche Entwicklung der Themenfelder, die in der Vergleichsstudie 2013 am intensivsten diskutiert wurden.</i>	298

TABELLENVERZEICHNIS

<i>Tabelle 3.1:</i>	<i>Charakteristika der ausgewählten Technologieprognosen (Teil 1).</i>	27
<i>Tabelle 3.2:</i>	<i>Charakteristika der ausgewählten Technologieprognosen (Teil 2).</i>	29
<i>Tabelle 3.3:</i>	<i>Charakteristika der ausgewählten Technologieprognosen (Teil 2 Fortsetzung).</i>	30
<i>Tabelle 4.1:</i>	<i>Inhalte und Ziele des öffentlichen Gesundheitssystems in China bis 2050.</i>	61
<i>Tabelle 4.2:</i>	<i>Konzept der 9. Japanischen W&T Prognose.</i>	118
<i>Tabelle 4.3:</i>	<i>Zwölf Positionen für die interdisziplinären Panels.</i>	119
<i>Tabelle 4.4:</i>	<i>Die sechs Bereiche und vorrangige Themen, welche die meisten Stimmen der Experten erhielten.</i>	120
<i>Tabelle 4.5:</i>	<i>Nationale Herausforderungen und Handlungsfelder.</i>	122
<i>Tabelle 4.6:</i>	<i>Nationale Herausforderungen und Handlungsfelder (fortgesetzt).</i>	123
<i>Tabelle 4.7:</i>	<i>Nationale Herausforderungen und Handlungsfelder (fortgesetzt).</i>	124
<i>Tabelle 4.8:</i>	<i>Identifizierte Technologien mit besonderem Potenzial für die moderne Fertigung.</i>	185
<i>Tabelle 5.1:</i>	<i>Themenmatrix für die Beschäftigung einer Studie mit dem jeweiligen Themenfeld.</i>	235
<i>Tabelle 5.2:</i>	<i>Ranking der Themen: Themenmatrix der aktuell untersuchten Technologieprognosen 2013.</i>	236
<i>Tabelle 5.3:</i>	<i>Themenprofil der Studie „Wissenschaft & Technologie in China: Roadmap in das Jahr 2050“.</i>	238
<i>Tabelle 5.4:</i>	<i>Themenprofil der Studie „Technologies-Clés 2015“ aus Frankreich.</i>	242
<i>Tabelle 5.5:</i>	<i>Themenprofil der „9. Wissenschafts- und Technikprognose“ aus Japan.</i>	246
<i>Tabelle 5.6:</i>	<i>Themenprofil der UK- Studie “Technology and Innovation Futures: UK Growth Opportunities for the 2020s”.</i>	250
<i>Tabelle 5.7:</i>	<i>Themenprofil der Berichte des „President’s Council of Advisors on Science and Technology“ aus den USA.</i>	252
<i>Tabelle 5.8:</i>	<i>Themenprofil der Studien „Key Enabling Technologies (KET) – Schlüsseltechnologien“ der EU-Kommission.</i>	254
<i>Tabelle 5.9:</i>	<i>Thematischer Vergleich: Transport und Verkehr, Logistik.</i>	257
<i>Tabelle 5.10:</i>	<i>Thematischer Vergleich: Luft- und Raumfahrt.</i>	259
<i>Tabelle 5.11:</i>	<i>Thematischer Vergleich: Bauen und Wohnen.</i>	261
<i>Tabelle 5.12:</i>	<i>Thematischer Vergleich: Meerestechnik und Schifffahrt.</i>	262
<i>Tabelle 5.13:</i>	<i>Thematischer Vergleich: Energie.</i>	263
<i>Tabelle 5.14:</i>	<i>Thematischer Vergleich: Nano- und Mikrosystemtechnologie.</i>	265
<i>Tabelle 5.15:</i>	<i>Thematischer Vergleich: Materialtechnik.</i>	267
<i>Tabelle 5.16:</i>	<i>Thematischer Vergleich: Produktions- und Prozesstechnik.</i>	269
<i>Tabelle 5.17:</i>	<i>Thematischer Vergleich: Optische Technologien.</i>	271
<i>Tabelle 5.18:</i>	<i>Thematischer Vergleich: Informations- und Kommunikationstechnologien.</i>	272

<i>Tabelle 5.19:</i>	<i>Thematischer Vergleich: Elektronik.</i>	274
<i>Tabelle 5.20:</i>	<i>Thematischer Vergleich: Biotechnologie und Life Sciences.</i>	275
<i>Tabelle 5.21:</i>	<i>Thematischer Vergleich: Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung.</i>	277
<i>Tabelle 5.22:</i>	<i>Thematischer Vergleich: Nachhaltigkeit und Umwelt.</i>	279
<i>Tabelle 5.23:</i>	<i>Thematischer Vergleich: Verteidigung und Sicherheit.</i>	281
<i>Tabelle 5.24:</i>	<i>Thematischer Vergleich: Dienstleistungen.</i>	283
<i>Tabelle 6.1:</i>	<i>Themenmatrix aus dem in 2004 durchgeführten internationalen Vergleich von Technologieprognosen.</i>	293
<i>Tabelle 6.2:</i>	<i>Themenmatrix aus dem in 2006 durchgeführten internationalen Vergleich von Technologieprognosen.</i>	294
<i>Tabelle 6.3:</i>	<i>Themenmatrix der Technologieprognosen aus dem in 2010 durchgeführten internationalen Vergleich von Technologieprognosen.</i>	294
<i>Tabelle 6.4:</i>	<i>Themenmatrix der in der vorliegenden Meta-Analyse Technologieprognosen (2013).</i>	295
<i>Tabelle 6.5:</i>	<i>Zeitliche Veränderung der Themen in Technologieprognosen: Relative Veränderung der Bedeutung der verschiedenen Themen der aktuell untersuchten Technologieprognosen im Vergleich zu deren Bedeutung vor fast 10 Jahren.</i>	300
<i>Tabelle A.1:</i>	<i>Schlüsseltechnologien aus der Studie „Technologies-Clés 2015“ und deren Einschätzung.</i>	318

ZUSAMMENFASSUNG

Technologieprognosen spielen seit Beginn der 90er Jahre eine immer größere Rolle in der Innovations- und Technologiepolitik verschiedenster Akteure. Die Unterschiedlichkeit der Akteure wie auch der praktizierten Technologiepolitik, der Erfahrung bei der Durchführung von Technologieprognosen sowie der Zielsetzungen eines solchen Prozesses führen zu einer großen Bandbreite von Herangehensweisen und Methoden, die den Vergleich internationaler Technologieprognosen zusätzlich erschwert.

Trotz der daher nicht zu vermeidenden methodischen Schwierigkeiten eines solchen Vergleiches kann eine Meta-Analyse von Technologieprognosen dazu beitragen, ein Gesamtbild im Hinblick auf die zukünftige Technologieentwicklung zu entwerfen.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, einen Überblick über die wesentlichen Inhalte und Schwerpunkte bedeutender Technologieprognosen aus dem Ausland zu geben. Damit sollen zusätzliche Informationen für das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) zur Gestaltung der Forschungspolitik und Strategieentwicklung, aber auch für Entscheidungsträger an anderen Stellen in kompakter und übersichtlicher Form bereitgestellt werden.

Die recherchierten Studien unterscheiden sich im Hinblick auf Zielsetzung, Detaillierungsgrad, berücksichtigte Technologiefelder und abgedeckte sozioökonomische Aspekte ebenso wie hinsichtlich ihres Zeithorizontes. Um trotz dieser Differenzen zu einer übersichtlichen Gegenüberstellung ihrer technologischen Zukunftsaussagen zu kommen, wurde ein gemeinsames Analyseraster (in Form von 16 zu untersuchenden Themenfeldern) angelegt.

In der vorliegenden Untersuchung wurde bei der Recherche nach geeigneten Technologieprognosen der Schwerpunkt einerseits auf direkte Wettbewerber Deutschlands aus Nordamerika und Europa gelegt, andererseits auf aufstrebende Staaten und zukünftige Wirtschaftsmächte vor allem aus Asien, aber auch aus anderen Regionen der Welt. Im Vergleich zu den Vorläuferstudien wurde zudem die Recherche dadurch erweitert, dass auch supranationale Aktivitäten der Europäischen Kommission in Betracht gezogen wurden.

Auf Basis von drei Vorgängerstudien (2004, 2006, 2010)¹ und ausgehend von den bisherigen Arbeiten in diesem Feld wurde eine gezielte Recherche nach relevanten Technologieprognosen durchgeführt. Ziele waren einerseits das Eruiieren aktueller Technologieprognosen der unmittelbaren Wettbewerbernationen USA, Japan und aus Ländern der Europäischen Union. Andererseits wurden möglichst aktuelle Technologieprog-

¹ Seiler, P. et al. (2004), Holtmannspötter, D. et al. (2006), Holtmannspötter, D. et al. (2010).

nosen aus China wie auch aus weiteren aufstrebenden Ländern betrachtet. Darüber hinaus wurde mit Blick auf europäische Aktivitäten der Suchhorizont auf supranationale Aktivitäten der Europäischen Kommission erweitert.

Im Rahmen dieser Meta-Analyse lässt sich zunächst festhalten, dass sich die einzelnen untersuchten Technologiestudien hinsichtlich ihrer Themenbreite sowie ihrer Konkretisierungstiefe teils deutlich voneinander unterscheiden. Einerseits liegen sehr breite Studien vor, die allerdings die jeweiligen Technologien nur stichwortartig betrachten (z. B. aus Japan); andererseits liegen Studien vor, die spezielle Technologiebereiche sehr detailliert bearbeiten (z. B. aus China). Auch die Studien aus den USA sind Beispiele für eine sehr detaillierte Bearbeitung spezieller Technologiebereiche, die aber aufgrund ihrer großen Anzahl gleichwohl einen breiten Themenbereich abdecken.

Die vorliegende Untersuchung stellt somit dar, welche Technologiebereiche bzw. Themenfelder in den aktuell analysierten Studien (aus China, Japan, Frankreich, UK, den USA und der EU) hervorgehoben bzw. wie die 16 hier analysierten Themenfelder in diesen Studien besprochen werden. Die Untersuchung bietet damit eine qualitative Einordnung der 16 betrachteten Themenfelder – immer bezogen auf die dezidiert betrachtete Studie eines Landes zu einem bestimmten Zeitpunkt. Sie gibt jedoch keine quantitative Bewertung der Bedeutung von Technologiethemen, bzw. der forschungspolitischen Prioritäten eines Staates. Auch ist es nicht möglich, auf Basis der vorliegenden Studienergebnisse einen Vergleich der politisch-strategischen Wirkung von Technologieprognosen zu unternehmen.

Trotz der Unterschiedlichkeit der Technologiestudien lässt sich eine deutliche inhaltliche Schwerpunktsetzung in der vorliegenden Vergleichsstudie 2013 identifizieren: Alle aktuell analysierten Studien setzen sich ausführlich mit den Themen Energie, Gesundheit / Medizintechnik / Ernährung, Biotechnologien / Life Sciences und Nano-/ Mikrosystemtechnologie auseinander. Vergleicht man die Ergebnisse der aktuellen Vergleichsstudie 2013 mit denjenigen der Vorläuferstudien², lässt sich zudem festhalten, dass die Diskussion um die Themenbereiche Energie, Gesundheit, Nano-, Bio-, optische Technologien, Umwelt und Raumfahrt über fast eine Dekade an Intensität gewonnen hat. Im Gegensatz dazu verzeichnen die Themen Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK), Materialtechnik, Elektronik, Transport, Meerestechnik und Dienstleistungen einen Interessensverlust im Dekadenvergleich.

Während in der Vergleichsstudie 2004 die aufkommende Diskussion über die Konvergenz von Technologiefeldern (Biotechnologie, Nano-

² Seiler, P. et al. (2004); Holtmannspötter, D. et al. (2006); Holtmannspötter, D. et al. (2010).

technologie, Materialien und IuK) Ergebnis der Analyse war, kristallisierte sich in der Vergleichsstudie 2006 der Themenkomplex Nachhaltigkeit / Umwelt als bedarfsorientiertes Leitthema heraus. Hinzu kam in der Analyse von 2010 das Thema Energie als Leitthema von Technologieprognosen.

Die Besonderheit der vorliegenden Vergleichsstudie 2013 ist zum einen die Erkenntnis, dass mit den *sichtbaren Leitthemen* Energie & Gesundheit einerseits und Bio- & Nanotechnologien andererseits jeweils zwei Bedarfs- und zwei Technologiefelder als Topthemen gelten.

Darüber hinaus kann festgestellt werden, dass die Themenfelder Nachhaltigkeit und Umwelt sowie IuK *unsichtbare Leitthemen* der aktuellen Vergleichsstudie sind. Diese beiden Themenfelder werden in den analysierten Technologieprognosen oft nicht als eigenständige Bereiche betrachtet, sondern deren Anwendung quer zu anderen Bereichen beschrieben.

1 HINTERGRUND UND ZIELSETZUNG

Spätestens seit Beginn der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts ist weltweit ein deutlicher Zuwachs an prospektiven Studien zur technologischen Entwicklung zu beobachten. Der immense Zuwachs an Technologiewissen, die zunehmende Komplexität von Technologien und die Notwendigkeit, knappe Ressourcen zur Förderung von Innovationen effizient einzusetzen, sind nur einige Gründe hierfür. Immer kürzer werdende Innovationszyklen, begleitet von einem hohen Wettbewerbsdruck, tragen ein Übriges zum wachsenden Bedarf an frühzeitigem Orientierungswissen für Regierungen, internationale Organisationen und Unternehmen bei.

Wachsendes Interesse an prospektiven Studien

Nationale, themenübergreifende Technologieprognosen eröffnen einen Einblick in die Einschätzungen und Erwartungen von Regierungen hinsichtlich der sich abzeichnenden Technologieentwicklung und teilweise auch in die strategische Planung im jeweiligen nationalen Kontext. Internationale Organisationen als Auftraggeber solcher Zukunftsstudien ergänzen den Blickwinkel um global oder zumindest überregional ausgerichtete Einschätzungen. Technologiestudien im Auftrag multinationaler Konzerne tragen zu einer industriespezifischen Sichtweise bei.

Meta-Analyse von Technologieprognosen: Einblick in die Strategieplanung

sowie

Die Meta-Analyse derartiger Technologieprognosen kann dazu beitragen, ein Gesamtbild im Hinblick auf die zukünftige Technologieentwicklung zu geben und Hinweise auf nationale Stärken und Eigenheiten abzuleiten.

Hinweis auf zukünftige Technologieentwicklung

Gerade Deutschland als Exportnation mit seiner starken Ausrichtung auf Produkte der Hochtechnologie ist auf die rechtzeitige Identifizierung neuer Trends und Entwicklungspfade angewiesen. Dieser Notwendigkeit tragen nicht nur selbst erstellte Technologieprognosen Rechnung, sondern auch das Monitoring international verfügbarer Studien.

Identifizierung von technologischen Trends von großer Bedeutung für Deutschland

Das Ziel dieser Untersuchung ist es daher, Informationen aus ausgewählten Technologieprognosen verschiedener Länder für die Strategieentwicklung im BMBF, aber auch für Entscheidungsträger an anderen Stellen in kompakter und übersichtlicher Form aufzubereiten.

Informationen für die Strategieentwicklung

Die Analyse der Inhalte von Technologieprognosen hilft dabei, unmittelbar Aussagen über grundsätzliche Technologietrends zu erhalten. Durch den internationalen Vergleich lassen sich dabei besonders effizient übergreifende Trends identifizieren.

Dabei baut diese Meta-Analyse auf drei – vom VDI Technologiezentrum durchgeführten – Studien auf: Erstens auf der Übersichtsstudie „Internationale Technologieprognosen im Vergleich“ aus dem Jahr 2004³, zweitens auf deren Aktualisierung „Aktuelle Technologieprognosen im inter-

Drei Vorläuferstudien

³ Seiler, P. et al. (2004).

nationalen Vergleich“ aus dem Jahr 2006⁴ sowie auf der 2010 erschienenen Studie „Technologieprognosen – Internationaler Vergleich 2010“⁵, in der Gemeinsamkeiten und Differenzen ausgewählter europäischer, amerikanischer und asiatischer Studien herausgearbeitet wurden.

Schwerpunkt auf
Wettbewerber und
aufstrebende
Länder

In der vorliegenden Untersuchung wurde bei der Recherche nach geeigneten Technologieprognosen ein Schwerpunkt einerseits auf direkte Wettbewerber Deutschlands aus Nordamerika und Europa gelegt und andererseits auf aufstrebende Staaten und zukünftige Wirtschaftsmächte vor allem aus Asien, aber auch aus anderen Regionen der Welt. Im Vergleich zu den Vorläuferstudien wurde zudem die Recherche dadurch erweitert, dass auch supranationale Aktivitäten der Europäischen Kommission in Betracht gezogen wurden.

Berücksichtigung
von EU-Aktivitäten

Die recherchierten Studien unterscheiden sich im Hinblick auf Zielsetzung, Detaillierungsgrad, berücksichtigte Technologiefelder und abgedeckte sozioökonomische Aspekte und ebenso hinsichtlich des Zeithorizontes. Um trotz dieser Differenzen zu einer übersichtlichen Gegenüberstellung ihrer technologischen Zukunftsaussagen zu kommen, müssen die Studien einem gemeinsamen Analyseraster unterworfen werden, um Gemeinsamkeiten und auffällige Abweichungen herausarbeiten zu können.

Über diese Identifizierung übergreifender Technologietrends hinaus kann eine Analyse der Wirkungen nationaler Technologieprognosen die Strategieentwicklung unterstützen. Die Gegenüberstellung der Strukturen und Wirkungsmechanismen innerhalb der verschiedenen Nationalen Innovationssysteme (NIS) bzw. der institutionellen Struktur der Innovationsförderung auf EU-Ebene bietet einen ersten Zugang zu einer solchen Wirkungsanalyse und bildet eine Voraussetzung, um bei der Innovations- und Forschungsförderung von den betrachteten Ländern bzw. der EU zu lernen. In diesem Sinne verbindet die vorliegende Studie die Meta-Analyse von Technologiestudien mit einem Länder- bzw. EU-Vergleich.

Sprachgebrauch
s. Kap. 2

Einführend wird in Kapitel 2 zunächst der Sprachgebrauch der vorliegenden Studie festgelegt und das Konzept des Nationalen Innovationssystems kurz vorgestellt; schließlich wird das konkrete methodische Vorgehen bei der Recherche der Technologieprognosen und der Inhaltsanalyse dargestellt.

Auswahlkriterien
s. Kap. 3

In Kapitel 3 werden dann die verwendeten Auswahlkriterien dargestellt und begründet.

Ausgangspunkt der Analysen in Kapitel 4 ist eine Kurzdarstellung des jeweiligen Nationalen Innovationssystems (NIS) bzw. für das EU-Unterkapitel der institutionellen Strukturen der Innovationsförderung und

⁴ Holtmannspötter, D. et al. (2006).

⁵ Holtmannspötter, D. et al. (2010).

der Aktivitäten des betreffenden Landes bzw. der EU im Bereich der Technologieprognosen. Anschließend werden die ausgewählten Studien hinsichtlich ihres Inhaltes, ihrer Zielsetzung und ihrer Methodik vorgestellt. Insbesondere werden dann anhand eines einheitlichen Analyserasters die wesentlichen Zukunftsaussagen in strukturierter Form extrahiert (zur Methodik vgl. Kapitel 2).

Diese Zukunftsaussagen werden in Kapitel 5 in tabellarischer Form für jede Technologiestudie zusammenfassend dargestellt. Daran schließt sich eine tabellarische Gegenüberstellung der Zukunftsaussagen zu allen Technologiefeldern des Analyserasters an. 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. Das Kapitel schließt mit einem Fazit zu dieser Gegenüberstellung.

Abgerundet wird die Studie durch die tabellarische Darstellung im Anhang von weiteren internationalen Technologieprognosen, relevanten Organisationen sowie deren Internetadressen.

Nationales
Innovationssystem
bzw. Strukturen der
Innovationsförderung
s. Kap. 4

Gegenüberstellung
der Zukunfts-
aussagen s. Kap. 5

Anhang mit weiteren
Technologieprognosen

2 VORBEMERKUNGEN UND VORGEHEN

2.1 Sprachgebrauch

In der vorliegenden Meta-Analyse werden unter den Begriffen „Technologieprognose“ bzw. „Technologiestudie“:

- entweder breit angelegte Einzelstudien verstanden, die mehrere Technologiefelder untersuchen und neben den technologischen auch gesellschaftliche, politische, ökonomische sowie sozioökonomische Aspekte berücksichtigen,
- oder eine Sammlung von einzelnen Studien verstanden, die alle unter dem Dach eines gemeinsamen Vorausschau-Prozesses bzw. von einer bestimmten Institution durchgeführt wurden und sich jeweils einzelnen technologischen Themen widmen. Im Rahmen dieser Studien sollten nicht nur technologische, sondern auch gesellschaftliche, politische, ökonomische sowie sozioökonomische Aspekte berücksichtigt worden sein.

„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 Potenzial zu prüfen sowie die Voraussetzungen für ihre Realisierung abzuschätzen“⁶ 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-Analyse der Einfachheit halber allgemeiner von „Technologieprognosen“ oder „Technologiestudien“. Darunter werden stets Endberichte themenübergreifender Vorausschau-Prozesse in dem ausgeführten Sinne verstanden.

Definition: Technologieprognosen

2.2 Nationale Innovationssysteme (NIS)

In der aktuellen Innovationsforschung spielt der Begriff des Nationalen Innovationssystems (NIS) eine zentrale Rolle. Unter einem NIS versteht man das komplexe und adaptive System aller Akteure in den Innovationsprozessen eines Landes zusammen mit den Mechanismen ihrer Interaktion und sämtlichen Rahmenbedingungen. Im Allgemeinen werden folgende drei Systeme unterschieden: das Ausbildungs- und Forschungssystem, das politische System sowie das industrielle System.

⁶ Zweck, A. et al. (2001).

Die folgende Abbildung zeigt eine schematische Darstellung eines NIS mit wichtigen Untersystemen und deutet die zahlreichen Pfade gegenseitiger Wechselbeziehungen und Einflussnahme an.

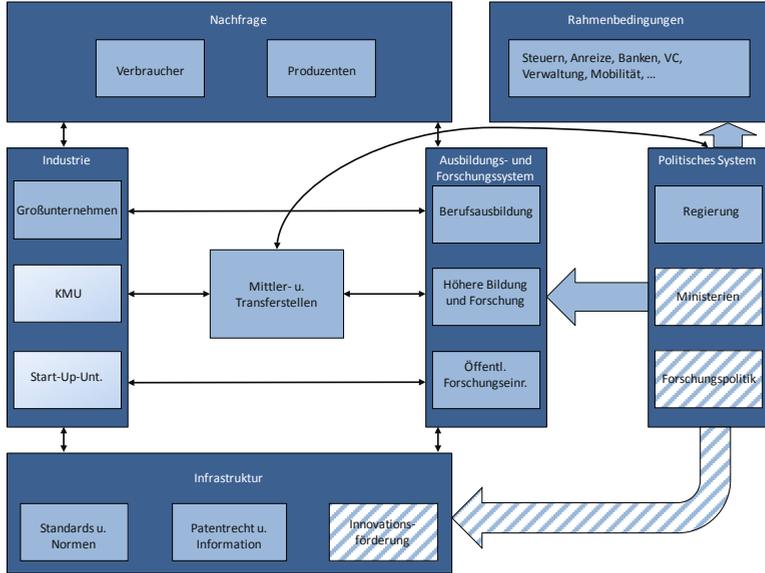


Abbildung 2.1: Schematische Darstellung eines nationalen Innovationensystems (NIS).
Quelle: Adaptiert nach Arnold und Thuriaux in EC (2002).

Aktivitäten im Bereich der Technologieprognosen sind in erster Linie an den in Abbildung 2.1 durch Schraffur hervorgehobenen Stellen anzusiedeln – daher beschränkt sich die Darstellung des Nationalen Innovationensystems der in Kapitel 4 betrachteten Länder im Wesentlichen auch auf diese Teilbereiche.

Nationale Technologieprognosen werden typischerweise von Ministerien zur Strategieentwicklung in der Forschungspolitik in Auftrag gegeben. Die Industrie und Forschungseinrichtungen als Adressaten resultierender Programme zur Innovationsförderung sind oft in die Ausarbeitung der Technologieprognosen eingebunden und vor allem aber für die Umsetzung ausschlaggebend. Gleichzeitig können Industrie und Forschungseinrichtungen ihrerseits als Autoren von Technologieprognosen in Erscheinung treten.

Drei Akteurskreise

2.3 Methodisches Vorgehen

Ausgehend von den bisherigen Arbeiten in diesem Feld und den im Anhang der Vorläuferstudie „Technologieprognosen – Internationaler Ver-

gleich 2010⁷ aufgeführten Quellen wurde eine gezielte Recherche nach relevanten Technologieprognosen durchgeführt. Ziele waren einerseits aktuellere Technologieprognosen der unmittelbaren Wettbewerberationen USA, Japan und den Ländern der Europäischen Union. Andererseits wurden möglichst aktuelle Technologieprognosen aus China wie auch aus weiteren aufstrebenden Ländern betrachtet. Darüber hinaus wurde mit Blick auf europäische Aktivitäten der Suchhorizont auf supranationale Aktivitäten der Europäischen Kommission erweitert.

Rechercheziele

Nach Abschluss der Recherche wurde anhand nachfolgender Kriterien eine Auswahl von Technologieprognosen für die inhaltliche Analyse getroffen: Herkunft der Technologieprognose, Auftraggeber, geografischer Bezugsrahmen, inhaltliche Ausrichtung und sozioökonomische Fragestellungen (siehe Kapitel 3).

Auswahlkriterien

2.4 Darstellung und Inhaltsanalyse

Die Darstellung der Technologieprognosen geht für jedes der betrachteten Länder von einer Kurzvorstellung des jeweiligen nationalen Innovationssystems (vgl. Kapitel 2.2) bzw. im Fall der Darstellung europäischer Technologieprognosen von einer Kurzvorstellung der institutionellen Struktur der Innovationsförderung auf EU-Ebene aus. Anhand dieser Kurzdarstellung lassen sich die Aktivitäten im Bereich der Technologieprognose in den nationalen, bzw. europäischen Wirkungszusammenhang einordnen. Dies betrifft insbesondere die Auftraggeber der Technologieprognosen.

Kurzvorstellung NIS bzw. der Strukturen der Innovationsförderung

Eine Kurzübersicht früherer Aktivitäten im Bereich der Technologieprognose leitet dann über in die vertiefende Analyse der ausgewählten Studie bzw. Studien für das jeweilige Land bzw. für die EU.

Dieser Analyse wird eine schematische Kurzbeschreibung vorangestellt, die sowohl einen Überblick über den Auftraggeber und die durchführende Institution als auch einen Einblick in die inhaltliche Dimension und Zielsetzung der Technologieprognosen gibt.

Kurzbeschreibung der Studien

Die Inhalte der Technologiestudien werden dann anhand einer einheitlichen Strukturierung vertieft analysiert. Dadurch wird der Vergleich und die Zusammenführung der Technologieprognosen in Kapitel 5 erleichtert.

Analyse der Inhalte

⁷ Holtmannspötter, D. et al. (2010).

Analyseraster

Diese einheitliche Strukturierung in übergreifende Themenfelder wird aus der inhaltlichen Gliederung der ausgewählten Technologieprognosen und aus etablierten Technologierastern erarbeitet und dient im weiteren Verlauf als Analyseraster. Die übergreifenden Themenfelder sind:

- Transport und Verkehr, Logistik
- Luft- und Raumfahrt
- Bauen und Wohnen
- Meerestechnik und Schifffahrt
- Energie
- Nano- und Mikrosystemtechnologie
- Materialtechnik
- Produktions- und Prozesstechnik
- Optische Technologien
- Informations- und Kommunikationstechnologien
- Elektronik
- Biotechnologien und Life Sciences
- Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung
- Nachhaltigkeit und Umwelt
- Verteidigung und Sicherheit
- Dienstleistungen

Keine Bewertung der
Stichhaltigkeit

Zu diesen übergreifenden Themenfeldern werden die wesentlichen Aussagen und Prognosen der jeweiligen Technologiestudien herausgearbeitet. Hierbei ist zu betonen, dass im Rahmen dieser Meta-Analyse die Stichhaltigkeit dieser Aussagen und Prognosen nicht bewertet wird. Es werden lediglich die wichtigsten Prognosen herausgefiltert, unabhängig davon, ob sie den Autoren dieser Meta-Analyse realistisch, wahrscheinlich, unwahrscheinlich, unrealistisch oder möglicherweise sogar abwegig erscheinen mögen.

Gegenüberstellung
und Vergleich der
Prognosen

In Kapitel 5 werden auf dieser Grundlage die ausgewählten Technologieprognosen gegenübergestellt. Übereinstimmungen und Differenzen werden auf diesem Wege sichtbar gemacht.

3 AUSWAHL DER STUDIEN

Um die große Anzahl der derzeit vorliegenden Zukunftsstudien (s. Anhang B) einer vergleichenden Analyse zuzuführen, muss im Vorfeld durch eine eingrenzende Fragestellung oder eine systematische Abgrenzung eine Auswahl getroffen werden. Hierfür werden folgende Kriterien angelegt:

1. Die Länderauswahl wird begrenzt auf drei Ländergruppen: erstens die globalen und zweitens die europäischen Wettbewerber Deutschlands im Technologiebereich sowie drittens technologisch aufstrebende Länder, die kurz- oder mittelfristig zu Wettbewerbern werden könnten.
2. Zusätzlich zu der Betrachtung einzelner Länder werden supranationale Aktivitäten der Europäischen Kommission betrachtet.
3. Auftraggeber der Studie ist eine Regierung, eine Regierungseinrichtung auf nationaler Ebene, eine internationale Organisation oder ein multinationaler Konzern.
4. Der geografische Bezugsrahmen der Studien bezieht sich mindestens auf die Entwicklungen in einem Staat oder auf übergeordnete Regionen, beispielsweise Wirtschaftsräume.
5. Der technologische Bezugsrahmen umfasst mindestens ein Technologiefeld mit mehreren Einzeltechnologien.
6. Die bearbeiteten Fragestellungen berücksichtigen neben technischen Aspekten auch sozioökonomische Auswirkungen der angesprochenen Technologien.

Im Folgenden werden diese Kriterien kurz erläutert; zudem wird anhand einzelner Beispiele dargestellt, inwiefern deren Anwendung hilft, den Pool der für die Analyse in Frage kommenden Zukunftsstudien einzuschränken.

3.1 Länderauswahl

Die Länderauswahl wird dabei auf drei Ländergruppen begrenzt: Erstens die globalen und zweitens die europäischen Wettbewerber Deutschlands im Technologiebereich sowie drittens künftige Exportmärkte bzw. Wettbewerber.

Globale Wettbewerber: Die Auswahl ergibt sich hier unmittelbar aufgrund der Fragestellung dieser Meta-Analyse. Ausgewählt wurden schließlich die USA und Japan. Die Entscheidung für eine Berücksichtigung der USA begründet sich darin, dass die USA in Forschung, Technologie und Innovation immer noch zu den weltweit führenden Ländern gehört, wenn auch die USA ihre führende Rolle bei der Innovationsfähigkeit in den letzten Jahren eingebüßt haben.⁸ Japan wurde als G8-Staat ausgewählt, der nach wie vor zu den technologisch weltweit führenden Ländern gehört.

USA

Japan

Europäische Wettbewerber: Europa wird für Deutschland immer wichtiger sowohl im Sinne des Wettbewerbs, aber auch in der wissenschaftlich-technischen Kooperation. Die Auswahl europäischer Länder ergibt sich insofern ebenfalls unmittelbar aufgrund der Fragestellung dieser Meta-Analyse. Ausgewählt wurden schließlich Frankreich und UK. Beide Länder gehören zu den technologisch führenden Nationen in Europa und sind in der Forschung wichtige Kooperationspartner Deutschlands:

Frankreich

- So hat die Zusammenarbeit zwischen Deutschland und Frankreich in den Bereichen Forschung, Innovation und Technologie einen hohen Stellenwert, der sich u. a. in dem ersten bilateralen Treffen zwischen den Forschungsministerinnen beider Länder anlässlich des 50jährigen Jubiläums der Unterzeichnung des Elysée-Vertrags im Januar 2013 widerspiegelte sowie in der Vereinbarung zahlreicher Projekte der Forschungszusammenarbeit. Zudem sind fast 50% aller FuE-Ausgaben in Europa auf deutsche und französische Steuerzahler und Unternehmen zurückzuführen.⁹

UK

- Die Zusammenarbeit zwischen Deutschland und UK auf dem Gebiet der Forschung ist besonders intensiv – wenn auch derzeit nicht formalisiert. Zahlreiche Kontakte und Kooperationen bestehen zwischen den Forschungsakteuren beider Länder.¹⁰ Neben diesem Aspekt ergibt sich darüber hinaus die Wahl Großbritanniens aus Gründen der Vergleichbarkeit und Kontinuität mit den Vorläuferstudien, in denen Technologieprognosen aus Großbritannien ebenfalls analysiert wurden.

China

Künftige Exportmärkte: Außerhalb Europas ziehen insbesondere die beiden bevölkerungsreichsten Länder der Erde, China und Indien, starkes Interesse als mögliche Exportmärkte auf sich. Für diese Meta-Analyse konnte China ausgewählt werden¹¹, das nach den USA den zweitwichtigsten Exportmarkt für Deutschland darstellt und für das Deutschland

⁸ Carey, D. et al. (2012).

⁹ BMBF (2013).

¹⁰ BMBF (2011).

¹¹ Es konnte keine aktuelle und den (Such-)Kriterien der vorliegenden Untersuchung entsprechenden Technologieprognose in Indien identifiziert werden.

der größte Handelspartner in Europa ist.¹² Zudem wird die wissenschaftlich-technologische Zusammenarbeit zwischen Deutschland und China seit Jahren kontinuierlich ausgebaut.¹³ Somit erscheint die Berücksichtigung in der vorliegenden Meta-Analyse von aktuellen chinesischen Technologieprognosen von besonderem Interesse.

EU bzw. Europäische Kommission: Vor dem Hintergrund, dass die Wettbewerbsfähigkeit europäischer Forschung insgesamt nur durch supranationale Zusammenarbeit und die Bündelung von Ressourcen über nationale Grenzen hinweg langfristig aufrechterhalten werden kann, wird der Idee eines gemeinsamen Europäischen Forschungsraums, an dessen Gestaltung Deutschland aktiv arbeitet sowie der Förderung von Forschung, Technologie und Innovation auf EU-Ebene zunehmend große Bedeutung beigemessen.¹⁴ Für Deutschland wiederum kann die Berücksichtigung europäischer Ansätze der Forschungs- und Innovationspolitik sowie europäischer Technologieprognosen ein wichtiges Instrument zur Unterstützung der politischen Entscheidungsfindung bei der Gestaltung nationaler forschungs- und innovationspolitischer Strategien und Maßnahmen darstellen. Insofern wurden für die vorliegende Meta-Analyse die von der Europäischen Kommission durchgeführten Studien zu Schlüsseltechnologien untersucht.

Europäische Union

Die ausgewählten Staaten bzw. die EU können insgesamt zur internationalen Orientierung sowohl im Hinblick auf die künftige technologische Ausrichtung und Wettbewerbsfähigkeit als auch im Hinblick auf die Durchführung von Technologieprognosen dienen.

3.2 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 geografischer Hinsicht.

Entsprechend der prinzipiellen Korrelation von Auftraggeberschaft und Studieninhalt werden Studien nicht berücksichtigt, die – wie beispielsweise der Energieplan 2030 des dänischen Ingenieurverbands (s. Anhang B) – von Institutionen oder Organisationen unterhalb der nationalstaatlichen Ebene in Auftrag gegeben worden sind.

¹² Auswärtiges Amt (2012).

¹³ BMBF (2012a).

¹⁴ BMBF (2012c).

3.3 Geografischer Bezugsrahmen

Wurden zuvor die Herkunftsländer der Studien bzw. die EU angesprochen, so bezieht sich dieses Abgrenzungskriterium auf den geografischen Bezugsrahmen der Studieninhalte. So beschäftigen sich die Technologieprognosen internationaler Organisationen in der Regel aus einer globalen Perspektive mit den zu erwartenden Entwicklungspfaden, während sich beispielsweise Regionalstudien von deutschen Bundesländern auf das jeweilige Bundesland beziehen.

Zentral für die vorliegende Analyse ist der Vergleich angestrebter bzw. prognostizierter Entwicklungen und Anstrengungen im Bereich zukünftiger Technologien auf nationaler Ebene bzw. supranationaler Ebene und ihre möglichen Auswirkungen auf die künftige Wettbewerbsfähigkeit. Damit fallen zunächst alle Zukunftsstudien aus dem Raster, die unterhalb dieses Levels angesiedelt sind, wie beispielsweise die schwedische Studie „Goteborg 2050“ oder die britische Studie „England’s regions 2030“ (s. Anhang B).

Nationale bzw.
supranationale Ebene

3.4 Inhaltliche und zeitliche Abgrenzung

Neben der bisher erfolgten räumlichen Abgrenzung ist es aufgrund der Vielzahl inhaltlicher Schwerpunktsetzungen hinsichtlich technologischer und sozioökonomischer Prognosen wichtig, auch eine inhaltlich-thematische Abgrenzung vorzunehmen. Zum einen werden rein sozioökonomische Studien ausgeklammert. Zum anderen konzentriert sich diese Meta-Analyse auf Technologieprognosen, die mehrere Technologiefelder abdecken (vgl. auch Abschnitt 2.1). Für diese Entscheidung ist ausschlaggebend, dass der Vergleich der möglichen technologischen und strategischen Zukunftsausrichtung von Staaten bzw. der EU einer möglichst großen technologischen Breite bedarf. Aus diesem Grund werden alle Studien nicht weiter berücksichtigt, die einen sehr eingeschränkten technologischen Fokus haben, wie beispielsweise die niederländische Studie „The flexible future of micro combined heat and power. An analysis of the social embedding of micro CHP in Dutch households in 2030“ (s. Anhang B).

Thematisch breit
angelegte Studien

Hohe Aktualität

Neben der inhaltlichen Eingrenzung in qualitativer Hinsicht ist auch eine zeitliche Beschränkung zu treffen. Diese betrifft zum einen den Zeitpunkt, an dem die Studie veröffentlicht wurde, zum anderen den Zeithorizont, den die Studie in ihrer Prognose berücksichtigt. In den vorliegenden Vergleich werden die jeweils aktuellsten verfügbaren Zukunftsstudien einbezogen. Im Hinblick auf den Prognosehorizont wurde versucht, eine möglichst einheitliche Linie in den Studien zu finden. Im Ergebnis wurden Prognosen einbezogen, die Aussagen bis etwa zum Jahr 2050 beinhalten.

Zeithorizont bis 2050

3.5 Sozioökonomische Fragestellungen

Technologischer Fortschritt bedeutet nicht nur die Entwicklung neuer Verfahren, Produktionsmethoden, Anwendungen und Produkte, sondern nimmt auch unmittelbaren Einfluss auf die Wirklichkeit aller gesellschaftlichen Teilbereiche bis hin zu tief greifenden Umwälzungen im Leben jedes Einzelnen. Aktuelle Trends weisen beispielsweise auf einschneidende Veränderungen im Gesundheitsbereich (u. a. neue Therapie- und Diagnosemethoden sowie neue Gesundheitsdienstleistungen) aufgrund der zunehmenden Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien sowie Bio- und Nanotechnologien hin. Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll, neben den rein technologischen Fragestellungen auch die künftige Entwicklung sozioökonomischer Aspekte zu berücksichtigen. Daher ist die Diskussion dieser Fragestellungen in den Technologieprognosen eine weitere Bedingung für die Berücksichtigung in der Meta-Analyse.

Berücksichtigung
sozio-ökonomischer
Aspekte

3.6 Auswahl

Aufgrund der Summe der oben diskutierten Kriterien wurden aus einem Pool aktueller internationaler Technologieprognosen (siehe Anhang B) Technologieprognosen aus folgenden fünf Ländern: China, Frankreich, Japan, USA und UK sowie die Studien zu Schlüsseltechnologien der Europäischen Kommission ausgewählt.

Tabelle 3.1: Charakteristika der ausgewählten Technologieprognosen (Teil 1).

Herkunftsland bzw. -region	Studie	Auftraggeber	Durchführende Institution(en)	Veröffentlichung	Zeithorizont
China	Wissenschaft & Technologie in China: Roadmap in das Jahr 2050	Chinesische Akademie der Wissenschaften	Verschiedene Institutionen	2010-2012	2050
Frankreich	Technologies Clés 2015	Ministerium für die Belebung der Produktion – Generaldirektion für Wettbewerb, Industrie und Dienstleistungen (DGCIS)	Experten-Konsortium	2011	2015-2020
Japan	9. Japanische Wissenschafts- und Technikprognose	Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT)	NISTEP	2010	2039
UK	Technology and Innovation Futures (refresh von 2010)	Government Office for Science – Department for Business, Innovation and Skills	Foresight Horizon Scanning Centre	2012	2020
USA	Berichte des „President's Council of Advisors on Science and Technology“	Präsident der Vereinigten Staaten von Amerika	PCAST	2010-2012	2015+
EU	Key Enabling Technologies (KET) – Schlüsseltechnologien	Europäische Kommission	HLEG	2011	2020 +

Nachfolgende Tabelle bietet einen Überblick zu den studienspezifischen Zielen, der Methodik bzw. den studienspezifischen Technologie-Selektionskriterien (falls bekannt gegeben), den Ressourcen, und den qualitativen Besonderheiten der jeweiligen Technologieprognose.

Tabelle 3.2: Charakteristika der ausgewählten Technologieprognosen (Teil 2).

	CHINA Wissenschaft & Technologie Roadmap in das Jahr 2050	FRANKREICH Technologies Clés 2015	JAPAN 9. Japanische Wissenschafts- und Technikprognose
Ziele	Wachstum der Wirtschaft und Steigerung der nationalen Wettbewerbsfähigkeit, Entwicklung von gesellschaftlicher Harmonie, Nachhaltigkeit zwischen Mensch und Natur	Identifizierung von Schlüsseltechnologien für die französische Industrie mit kurzem bzw. mittelfristigem Zeithorizont.	Vision der Zukunftsgesellschaft (durch wissenschaftlich-technischen Fortschritt gestützt). Wege zur Umsetzung der Zukunftsvision im Interesse der lokalen Bevölkerung und der jüngeren Generation.
Methodik / studienspezifische Technologie-Selektionskriterien	<ul style="list-style-type: none"> • 15 fachspezifische durch Expertengruppen erarbeitete Roadmaps, • 1 strategischer Gesamtbericht. • Die Themenauswahl der Roadmaps erfolgte durch Entscheidung des CAS, keine Angaben zu deren Auswahlkriterien / Selektionsprozess 	<ul style="list-style-type: none"> • 85 Schlüsseltechnologien in 7 Branchen identifiziert. • Für jede Branche: Identifizierung von allgemeinen Trends. • Für jede Schlüsseltechnologie: Technologiebeschreibung, Diffusions- und Reifegrad, SWOT-Analyse und Handlungsempfehlungen. • Selektionsmethode wichtiger Technologiebereiche siehe Kapitel 4.2.3.1. 	<ul style="list-style-type: none"> • 9. Delphi-Studie (Report 140), • Zukunftsszenarien (Report 141), • Regionale Diskussionsforen (Report 142). • Die Themenauswahl erfolgte durch 12 interdisziplinäre Panels: 135 Experten definierten in drei Schritten • 532 Themen in 94 Bereichen.
Ressourcen	Über 300 Experten aus Wissenschaft, Technologie und Wirtschaft	Einbindung von ca. 250 Experten – je nach Expertise und Kompetenz den jeweiligen thematischen Bereichen zugeordnet.	Insgesamt Einbindung von etwa 200 Experten.
Besonderheiten und Qualität	<ul style="list-style-type: none"> • Erste nationale Technologieprognose seit 2002. • (Vorherige nationale Technologieprognose: „China’s Report Technology Foresight“ des Ministeriums für Forschung und Technologie, Zeithorizont: 10 Jahres Fokus, Methodik: Delphi-Verfahren). • Qualitativ hochwertige Technologiefeldbetrachtungen mit aussagekräftigen Zukunftserwartungen und marktorientierten Umsetzungsstrategien. • Die Ergebnisse flossen in aktuellen 5 Jahresplan (2012-2015) ein. 	<ul style="list-style-type: none"> • 4. Aktualisierung der „Technologies Clés“ (5-Jahres-Abstände). • Differenzierung zw. <i>Querschnitts- und Zukunftstechnologien</i>. • Besonderes Augenmerk auf sozialer Dimension von Technologien sowie auf verbundene DL. • Studie nur in Originalsprache verfügbar. • Studie soll als Leitfaden und Entscheidungshilfe bei der Erarbeitung von Strategieplänen und Programmen zahlreicher Institutionen dienen, z. B. im Rahmen des Programms „Zukunftsinvestitionen“, der Programme der Förderagenturen ANR und OSÉO sowie der „Pôles de compétitivité“. 	<ul style="list-style-type: none"> • 40jährige Tradition (seit 1970 etwa 5 jährig) S&T Foresight Survey • 1-5: technologisch • 6-8: + sozio-ökonomisch • 9: + konkrete Problemlösungen, interdisziplinärer Ansatz

Tabelle 3.3: Charakteristika der ausgewählten Technologieprognosen (Teil 2 Fortsetzung).

	UK Technology and Innovation Futures	USA Berichte des PCAST	EU Berichte zu Key Enabling Technologies (KET)
Ziele	Identifikation technologischer Entwicklungen und Trends, die das Potenzial aufweisen, bis 2020 ein anhaltendes wirtschaftliches Wachstum in Großbritannien zu unterstützen.	Bewertung des Potenzials einzelner Technologien und Formulierung von Empfehlungen bzw. Technologie- bzw. Forschungsförderung	Erschließung des Potenzials von Schlüsseltechnologien als Querschnittstechnologien, die ihre Wirkung technologie- und branchenübergreifend in der gesamten Industrie entfalten
Methodik / studienspezifische Technologie-Selektionskriterien	<ul style="list-style-type: none"> • Umfrage und Experteninterviews. • Selektionsmethode wichtiger Technologiebereiche: Die im Rahmen von Experteninterviews und Workshops im Jahr 2010 identifizierten Technologien wurden im Rahmen von Umfragen bzw. Einzelinterviews neu bewertet, bzw. deren Wichtigkeit und Entwicklungspotenzial anhand aktueller (technologischer) Entwicklungen neu geschätzt. 	<ul style="list-style-type: none"> • 5 thematische Studien • Arbeitsgruppen bestehend aus Experten aus Forschung, Wirtschaft und Politik. • Selektionsmethode wichtiger Technologiebereiche: Expertenworkshops und -umfragen sowie Einzelinterviews mit Experten. 	<ul style="list-style-type: none"> • 6 Studien zu Nano- und Biotech, Mikro- und Nanoelektronik, Photonik, Materialwissenschaften, Produktionssystemen. • Selektionsmethode der Schlüsseltechnologien: EU Kommission-Vorschlag. Technologien, mit denen die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie in der EU am besten gesteigert werden kann.
Ressourcen	15 Forschungs-Experten, 26 Industrie-Vertreter. Zusätzlich: Expertise von 180 Experten, die im 2010 veröffentlichten Bericht involviert waren.	Einbindung von zahlreichen externen Experten aus Forschung, Industrie, Verbänden.	27 Mitglieder der High Level Expert Group von 2010-2011, 32 Mitglieder 2013-2014.
Besonderheiten und Qualität	<ul style="list-style-type: none"> • Schlüsseltechnologien von 2010 bleiben aktuell. • Verschiebung der Gewichtung – Folgende Aspekte werden wichtiger: Ausbalancieren von Energienachfrage und -angebot; Service-Robotik; Sensorik und Kommunikationsnetzwerke. • Identifikation 3 neuer wichtiger technologische Bereiche bzw. Konzepte: Intelligente Energienetze; Produkte und Dienstleistungen „on demand“; Nutzerorientiertes Design („Human-centred design“) in Produktionsprozessen. • Erwartet wird, dass die Studie eine wissenschaftliche Informationsgrundlage darstellt, auf Basis derer politische Maßnahmen zur Förderung von Forschung & Technologien erarbeitet werden – z. B. bzgl. Forschungsfinanzierung, der Gestaltung von Private-Public-Partnerships sowie der regulatorischen Rahmenbedingungen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vorherige TPs nutzten Studien des NRC • PCAST berät den Präsidenten und das Executive Office des Präsidenten: „Kurzer Draht zur Exekutive“ • Kontinuierliches Verfahren / regelmäßige Aktualisierung fachspezifischer Studien. • Gründliche Analyse von state-of-the-art, Entwicklungstendenzen und Zukunftspotenzial einzelner Technologien sowie der Rahmenbedingungen (state-of-the-art und Handlungsempfehlungen). 	<ul style="list-style-type: none"> • Erstmalige Analyse der EU als politisch-ökonomisches Gemeinschaftsgefüge. • Technologiestudien, auf denen die aktuelle politische EU Strategie für Schlüsseltechnologien basiert. • Sechs Technologiebereiche vorrangig für die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie. • Ein besonderer Schwerpunkt lag auf der Frage, wie Forschungsergebnisse in diesen Bereichen besser für industrielle Produktion und Dienstleistung nutzbar gemacht werden können: Förderung der Innovation, Ausbildung; günstige Handelsbedingungen; wirksamere Verwertung von Forschungsergebnissen, Technologietransfer, Zusammenarbeit.

4 DARSTELLUNG AUSGEWÄHLTER LÄNDER

4.1 China

4.1.1 Nationales Innovationssystem

China betrachtet Forschung und Entwicklung als Grundlage des wirtschaftlichen Wachstums und auch als Basis, auf der sich die Gesellschaft weiterentwickeln kann.¹⁵ Sowohl die chinesische Innovationsstrategie (2006 bis 2020) als auch der zwölfte Fünfjahresplan (2011-2015) lassen erkennen, dass Naturwissenschaft und Technologie als Ressourcen für Industrie und Dienstleistung genutzt werden sollen.¹⁶

Forschung und Entwicklung als Grundlage wirtschaftlichen Wachstums in China

Das Forschungs- und Innovationssystem Chinas ist stark zentralisiert und hierarchisch aufgebaut, wie Abbildung 4.1 verdeutlicht:¹⁷ Die für Forschung, Entwicklung und Bildung zuständigen Ministerien und Institutionen unterliegen direkt dem **Staatsrat** („State Council“), dem obersten politischen Organ des Staates. Innerhalb des Staatsrates entscheidet der **Nationale Lenkungsausschuss für Wissenschaft, Technologie und Bildung** („National Steering Group for Science, Technology and Education“) über nationale Strategien und Programme und ist darüber hinaus für die Koordination aller bildungs-, forschungs- und innovationsbezogenen Aktivitäten zuständig. In diesem Lenkungsausschuss vertreten sind Mitglieder aller neun Ministerien und Institutionen, die für die Umsetzung der Forschungs-, Technologie- und Innovationspolitik verantwortlich sind und die im Folgenden dargestellt werden.¹⁸

Stark zentralisiertes Forschungssystem

Das **Ministerium für Wissenschaft und Technologie (MOST)**¹⁹ formuliert auf Basis der Empfehlungen des Nationalen Lenkungsausschusses Richtlinien und Strategien zur Umsetzung der nationalen Politik und ist darüber hinaus mit der Implementierung der daraus erwachsenden Programme betraut.²⁰ Insbesondere koordiniert das MOST die Umsetzung der Strategie für die Entwicklung von Forschung und Technologie für den Zeitraum 2006 bis 2020 („Grundzüge der staatlichen Planung der mittel- und langfristigen Entwicklung von Wissenschaft und Technik (2006-2020)“²¹). Ziel dieser Strategie ist die Förderung und Steigerung

Formulierung der Forschungspolitik

¹⁵ BMBF (2012a).

¹⁶ Internationales Büro des BMBF (2012c).

¹⁷ Tang, L. (2011).

¹⁸ Tang, L. (2011); BMBF (2009a).

¹⁹ Ministry of Science and Technology: www.most.gov.cn/eng/index.htm.

²⁰ BMBF (2009a).

²¹ Chinesischer Originaltext unter http://www.gov.cn/jrzq/2006-02/09/content_183787.htm, zuletzt abgerufen am 24.07.2013. Eine Übersetzung ins Deutsche kann auf folgender Seite heruntergeladen werden: <http://www.kooperation-international.de/detail/info/grundzuege-der-chinesischen-staatlichen-planung-der-mittel-und-langfristigen-entwicklung-von-wissen.html>, zuletzt abgerufen am 24.07.2013.

der Innovationsfähigkeit Chinas zwecks Sicherstellung der wirtschaftlichen Entwicklung sowie Steigerung des Wohlstands für die Gesamtbevölkerung.²² Darüber hinaus führt MOST Technologievorausschauprojekte durch und ist für die Förderung der internationalen Kooperation im Bereich FuE und die Verwaltung der nationalen Technologieentwicklungszonen („National Science and Technology Industrial Parks of China“) zuständig.²³

Beratungs-
institutionen

Die **Chinesische Akademie der Wissenschaft (CAW)**²⁴ bildet das höchste wissenschaftliche und technologische Beratungsorgan der Regierung.²⁵ Darüber hinaus verwaltet und fördert die CAW über 100 Forschungsinstitute.²⁶

Die **Chinesische Akademie für Ingenieurwesen (CAE)**²⁷ ist die wichtigste Beratungsinstitution der Regierung in Fragen des Ingenieurwesens, beispielsweise hinsichtlich der Erstellung nationaler Programme sowie der Entwicklung von Konzepten für nationale Großvorhaben. Die CAE arbeitet zudem eng mit der Fraunhofer Gesellschaft zusammen.²⁸

Förderung des
wissenschaftlichen
Nachwuchses

Das **Bildungsministerium (MOE)**²⁹ ist im Bereich Forschung und Entwicklung insbesondere für die Qualifikation des wissenschaftlichen Nachwuchses sowie für die Verwaltung von Forschungsaktivitäten der 72 ihm unterstellten Universitäten verantwortlich.³⁰

Förderung der
Grundlagenforschung

Die „**National Natural Science Foundation of China**“ (NSFC)³¹ wurde nach dem Vorbild der amerikanischen „National Science Foundation“ (NSF) gegründet, um Wissenschaft und Technologie staatlich zu fördern. Die NSFC verwaltet den hauptsächlich staatlich finanzierten „National Natural Science Fund“, mit dem insbesondere die Grundlagenforschung aber auch einige Aspekte angewandter Forschung gefördert werden.^{32, 33}

²² BMBF (2009b).

²³ Holtmannspötter, D. et al. (2006); BMBF (2009c); BMBF (2009d).

²⁴ Chinese Academy of Sciences: www.cas.ac.cn. Siehe auch das zur Chinesischen Akademie der Wissenschaften gehörende Institute of Policy and Management: www.casipm.ac.cn.

²⁵ Die CAS ist in die 6 Abteilungen Mathematik & Physik, Chemie, Lebenswissenschaften und Medizin, Geowissenschaften, Informationstechnologien und Technologiewissenschaften aufgeteilt. Quelle: BMBF (2009c).

²⁶ BMBF (2009c).

²⁷ Chinese Academy of Engineering: www.cae.cn.

²⁸ BMBF (2009c).

²⁹ Ministry of Education of the People's Republic of China: www.moe.edu.cn.

³⁰ BMBF (2009a); Tang, L. (2011).

³¹ National Natural Science Foundation of China: www.nsf.cn.

³² Über den National Natural Science Fund werden Forschungsarbeiten in den 7 folgenden Bereichen gefördert: Mathematik und Physik; Chemie; Biowissenschaften; Geowissenschaften; Ingenieurwesen und Materialwissenschaften/Nanotechnologie; Informationstechnologie sowie Managementwissenschaften. Quelle: BMBF (2009c).

Die **Nationale Entwicklungs- und Reformkommission (NDRC)**³⁴ nimmt mit ihren Fünfjahresplänen zur nationalen Entwicklungsplanung Einfluss auf die Forschungspolitik. Sie entwickelt Strategien und Maßnahmen mit dem Fokus auf die wirtschaftlichen und sozialen Aspekte der S&T.³⁵

Das **Finanzministerium (MOF)**³⁶ fördert gemeinsam mit MOST innovationsorientierte Forschung bei kleinen und mittleren Unternehmen und entwickelt steuerpolitische Maßnahmen zur Förderung von FuE-Aktivitäten in Unternehmen.³⁷

Steuerpolitische
Fördermaßnahmen

Schließlich verwalten die „**Commission of Science, Technology and Industry for National Defense**“ (CSTIND) und das **Landwirtschaftsministerium (MOA)** FuE-Aktivitäten jeweils in den Bereichen Verteidigung und Landwirtschaft.³⁸

Durchgeführt werden FuE-Aktivitäten in Universitäten und Forschungsinstituten, die den oben genannten Ministerien und Institutionen unterstellt sind, sowie in Unternehmen.

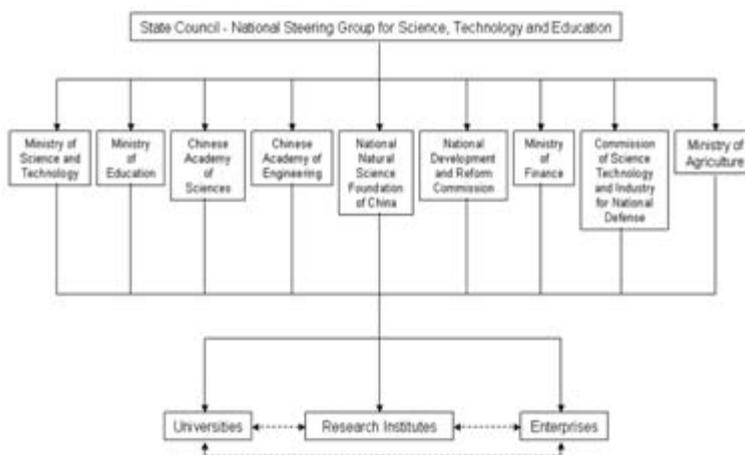


Abbildung 4.1: Nationales Innovationssystem Chinas.
Quelle: Tang, L. (2011).

³³ Holtmannspötter, D. et al. (2006); BMBF (2009a); BMBF (2009c); Tang, L. (2011).

³⁴ National Development and Reform Commission: <http://en.ndrc.gov.cn/>.

³⁵ BMBF (2009a); Tang, L. (2011).

³⁶ Ministry of Finance of the People's Republic of China: www.mof.gov.cn.

³⁷ BMBF (2009a); Tang, L. (2011).

³⁸ Tang, L. (2011).

4.1.2 Aktivitäten im Bereich Technologieprognosen

Methoden der Technologieprognose werden in China seit Anfang der 1990er Jahre eingesetzt. Die Ergebnisse dieser Aktivitäten flossen bzw. fließen in die jeweiligen Fünfjahrespläne ein.

Bislang wurden vier nationale Technologieprognosen durchgeführt:

- Mitte der 1990er Jahre wurden im Rahmen des Projekts „Selection of National Critical Technology“ strategische Technologien in den Bereichen IuK, Biologie, Produktions- und Prozesstechnik sowie Materialien identifiziert.
- 1999 wurde eine Technologieprognose in den Bereichen Landwirtschaft, IuK und Produktions- und Prozesstechnik durchgeführt mit dem Ziel, die für China strategischen Industriezweige zu identifizieren.
- 2002 wurde das Vorausschauprojekt „China’s Report Technology Foresight“ unter Federführung des chinesischen Ministeriums für Forschung und Technologie angestoßen, das auf Basis der Analyse der sozioökonomischer Bedarfe Chinas und unter Berücksichtigung der Entwicklungen in Forschung und Technologie Schlüsseltechnologien für das Land bis 2012 identifizieren sollte.³⁹
- Die Ergebnisse der aktuellen, nachfolgend dargestellten „W&T Roadmaps to 2050“ der Chinesischen Akademie der Wissenschaften (CAS) flossen in den zwölften Fünfjahresplan (2011-2015) ein und lassen deutlich erkennen, dass Naturwissenschaft und Technologie als Ressourcen für Industrie und Dienstleistung genutzt werden sollen.

Bislang vier nationale
Technologieprognosen

4.1.3 "Wissenschaft & Technologie in China: Roadmap in das Jahr 2050"

4.1.3.1 Kurzbeschreibung der Studie

Name der Studie Wissenschaft & Technologie in China: Roadmap in das Jahr 2050

³⁹ Sechs Technologiefelder wurden darin behandelt: Information und Kommunikation, Lebenswissenschaft und Biotechnologie, Neue Materialien, Energie, Ressourcen und Umwelt, Produktionstechnik, Landwirtschaft, Öffentliche Sicherheit, Gesundheit der Bevölkerung. Methodisch basierte jedes Teilprojekt auf einem zweistufigen Delphi-Verfahren. Die Ergebnisse dieser Foresight-Studien zeigten seinerzeit, dass China nur in etwa 4 % der genannten Technologiethemata auf höchstem Weltniveau bzw. auf dem Niveau der Industriestaaten lag. Bei etwa 87 % der Technologiethemata hatte China im Vergleich zu den technologieführenden Nationen einen Rückstand von etwa fünf Jahren und bei 9 % der Themen sogar einen Rückstand von sechs bis zehn Jahren. Siehe Holtmannspötter, D. et al (2006).

Auftraggeber: Chinesische Akademie der Wissenschaften
www.cas.ac.cn

Durchgeführt von: verschiedenen Institutionen

Erscheinungsjahr: 2010-2012

Zeithorizont: 2050

Nach Aussagen des Exekutivkomitees der Chinesischen Akademie der Wissenschaften (CAS) von Juli 2007 sollte sich die strategische Forschung der CAW über die W&T-Roadmap für die zukünftige Entwicklung an den Bedürfnissen der Nation ebenso wie der Gesellschaft orientieren und auf drei Ziele ausgerichtet sein:

- das Wachstum der Wirtschaft und die Steigerung der nationalen Wettbewerbsfähigkeit,
- die Entwicklung von gesellschaftlicher Harmonie,
- die Nachhaltigkeit zwischen Mensch und Natur.

Im August 2007 skizzierte der Präsident der Chinesischen Akademie der Wissenschaften Yongxiang Lu die zukünftige Ausrichtung Chinas sowie der chinesischen Forschungspolitik in einem Vorwort zur hier analysierten Studie „Wissenschaft & Technologie in China: Roadmap in das Jahr 2050“ – bestehend aus 15 getrennten Roadmaps und einem strategischen Gesamtbericht (s. unten). Darin unterstrich er die Notwendigkeit, strategische Entscheidungen in der chinesischen Forschungspolitik an zukünftigen globalen und nationalen Trends sowie an international zu erwartenden Entwicklungen in Wissenschaft und Technologie mit Zeithorizont 2050 zu orientieren.

Ziele der chinesischen Forschungsstrategie: Wirtschaftswachstum, Wohlstand und Nachhaltigkeit

Wichtig sei dabei zu erkennen, einerseits welche Herausforderungen China im Jahr 2050 erwarten würden – sei es in wirtschaftlicher, gesellschaftlicher, ökologischer Hinsicht und speziell in Bezug auf die nationale Sicherheit, die Innovationsfähigkeit des Landes, die Volksgesundheit und die Deckung des Energie- und Rohstoffbedarfs – und andererseits, welchen Beitrag Wissenschaft, Forschung und Technologie zur erfolgreichen Bewältigung dieser Herausforderungen liefern könnten. So sollten zukünftige Entwicklungen in Wissenschaft, Forschung und Technologie insbesondere dazu beitragen, die Wirtschaftsstruktur des Landes zu konsolidieren bzw. zu optimieren, regionale Disparitäten in Bezug auf Lebensbedingungen und Entwicklungsmöglichkeiten zu vermeiden sowie den nachhaltigen Umgang mit (Energie-)Ressourcen und die Entwicklung einer wissensbasierten Gesellschaft zu fördern – bei gleichzeitigem Erhalt des sozialen Zusammenhalts und gleichzeitiger Förderung der internationalen Kooperation sowie Wahrung der nationalen sicherheitspolitischen Interessen.⁴⁰

⁴⁰ CAW (2010a).

Fünfzehn getrennte
Roadmaps für
„prioritäre Bereiche
bis 2050“

Auf Basis der drei Ziele: Wachstum der Wirtschaft, gesellschaftliche Harmonie und Nachhaltigkeit, startete das Exekutivkomitee der Chinesischen Akademie der Wissenschaften (CAS) ihre strategische Forschung für „prioritäre Bereiche bis 2050“⁴¹, die in fünfzehn getrennten Roadmaps niedergelegt wurden.⁴² Flankiert werden diese fünfzehn Roadmaps durch einen strategischen Gesamtbericht, der den Auftakt für die detaillierten fachspezifischen Roadmaps der Technikausschüsse darstellt. Die für diese Untersuchung relevanten Roadmaps (der strategischen Gesamtbericht und 13 der fachspezifischen Roadmaps⁴³) werden nachfolgend detailliert analysiert.

Wissenschaft & Technologie in China: Eine Roadmap bis 2050 – Strategischer Gesamtbericht

Strategischer
Gesamtbericht:
Panorama-Szenario
für Chinas Moderni-
sierung bis 2050

Der strategische Gesamtbericht⁴⁴ (Strategic General Report) der chinesischen Akademie der Wissenschaften präsentiert ein Panorama-Szenario für Chinas Modernisierung bis 2050. Er beschreibt die Entwicklung von Wissenschaft und Technik sowie deren Auswirkungen auf den Prozess der Modernisierung und prognostiziert transformative Innovationen in Schlüsseltechnologien, auf die China vorbereitet sein sollte.

Basierend auf acht grundlegenden strategischen Prinzipien zur sozio-ökonomischen Entwicklung Chinas⁴⁵ wurden im strategische Gesamtbericht die grundlegende Wissenschafts- und Technologie-Roadmap für China dargelegt und 22 Wissenschafts- und Technologieinitiativen von strategischer Bedeutung für Chinas Modernisierung vorgestellt. Sechs solcher Initiativen haben strategische Bedeutung für Chinas internationale Wettbewerbsfähigkeit⁴⁶, sieben Forschungsinitiativen haben strategische Bedeutung für Chinas Nachhaltigkeit⁴⁷, zwei Wissenschaftsinitiati-

⁴¹ CAW (2010a).

⁴² Diese Roadmaps lagen bis November 2012 in englischer Sprache vor.

⁴³ Von der Analyse der Roadmaps zu „Regional Development Research“ und „Large Research Infrastructures“ in China wurde aufgrund der systematisch, technologischen Ausrichtung dieser Studie abgesehen.

⁴⁴ CAW (2010a).

⁴⁵ Nachhaltige Energie/Ressourcen; Grüne Werkstoffe/Materialien/Produktion; Ubiquitäre Vernetzung und Verbreitung Information; Ökologische & effiziente Landwirtschaft/Bioindustrie; Breite Gesundheitsversicherung; Umweltschutz; Weltraum- und Meeresforschung; Nationale und öffentlichen Sicherheit.

⁴⁶ Neue Grundsätze und Technologien des „Post-IP“-Netzwerks und seiner Testumgebung; umweltfreundliche Herstellung qualitativ hochwertiger Rohstoffe; Verfahrenstechnik für die Nutzung von Ressourcen; informatisierte Fertigungssysteme; Exa(10¹⁸)-Supercomputing-Technologie; molekulares Design von Tier- und Pflanzenprodukten in der Landwirtschaft.

⁴⁷ Das „4.000 Meter unterirdische Transparenz“-Programm; neue Stromsysteme auf Basis erneuerbarer Energien; tiefe geothermische Energieerzeugung; ein neues Atomenergiesystem; ein mariner Kapazitätserweiterungsplan; Stammzellen- und

ven haben strategische Bedeutung für Chinas nationale und öffentliche Sicherheit⁴⁸, vier Initiativen sollen zu transformativen Durchbrüchen führen⁴⁹ und drei neu entstehende Initiativen sollen zur interdisziplinären und innovativen Forschung Chinas beitragen.⁵⁰

Der strategische Gesamtbericht empfiehlt zudem die Entwicklung von nationalen Strategien zur besseren Mobilisierung und Ausschöpfung der (Innovations-)Ressourcen des Landes – beispielsweise Maßnahmen zur Förderung von Kompetenzen und zur Ausbildung von Fachkräften. Auch plädiert der Bericht für eine stärkere Öffnung des Landes nach außen und für eine Integration potenzieller externer bzw. globaler Innovationsressourcen.

4.1.3.2 Inhaltsanalyse

Transport und Verkehr, Logistik

Die Chinesischen Roadmaps 2050 enthalten keine Ausführungen zum Thema „Transport und Verkehr, Logistik“.

Luft- und Raumfahrt

Die Arbeit für die Roadmap 2050 zur Weltraumforschung und -technologie wurde durch Vorlage des Abschlussberichts im April 2009 fertiggestellt. Die englischsprachige Übersetzung lag 2011 vor.⁵¹ Die Autoren der Roadmap clustern die strategischen Ziele bis 2050 in Weltraumforschung, Weltraumanwendungen und Raumfahrttechnik (vgl. Abbildung 4.2).

Strategische Ziele Chinas bis 2050: Weltraumforschung, Weltraumanwendungen und Raumfahrttechnik

Strategisches Ziel: Weltraumforschung

Laut der Roadmap solle die Untersuchung und Erforschung innovativer und ungelöster wissenschaftlicher sowie grundlegender Fragen erfolgen: Bahnbrechende Durchbrüche sollten durch die direkte Entdeckung schwarzer Löcher, dunkler Materie, dunkler Energie und Gravitationswellen gelingen. Zudem sollen durch die Untersuchung des Ursprungs und der Evolution des Sonnensystems, des Einflusses der Sonnenaktivi-

regenerative Medizin; Früherkennung und systematische Intervention bei den wichtigsten chronischen Krankheiten.

⁴⁸ „Space Situation Awareness Network (SSAN)“ und „Social Computing & Parallel Management Systems (PMS)“.

⁴⁹ Erkundung der dunklen Materie und dunklen Energie; Steuerung der Struktur der Materie; künstliches Leben und synthetische Biologie sowie den Mechanismus der Photosynthese.

⁵⁰ Nanowissenschaft und -technologie; Weltraumforschung und Satellitenreihen sowie Mathematik und komplexe Systeme.

⁵¹ CAW (2011h).

täten auf die Umwelt der Erde sowie dessen Prognose und die Erforschung des Lebens selbst weitere Durchbrüche erfolgen. Die Autoren der Roadmap erwarten für die Weltraumforschung Chinas erhebliche Fortschritte, insbesondere bei der Beantwortung offener astrophysikalischer Fragestellungen, z. B. hinsichtlich der Entstehung des Universums.



Abbildung 4.2: Chinas Roadmap für Weltraumforschung, -anwendungen und -technologie bis 2050.
Quelle: Adaptiert nach CAW (2011h), S.94.

Strategisches Ziel: Weltraumanwendungen

Nach Auffassung der Autoren der Roadmap sollte der Wissens- und Technologietransfer gefördert werden, um Ergebnisse und Erkenntnisse aus der Weltraumforschung effizienter in konkrete, insbesondere wettbewerbsfähige Anwendungen zu überführen. Aufgrund von Fortschritten in der Weltraumforschung werden Durchbrüche auf den Gebieten des Umgangs mit der Verknappung von Energie und Ressourcen, ökologischen Fragen und Naturkatastrophen erwartet. Der Aufbau der Infrastruktur zur Erdbeobachtung sei dabei unabdingbar. Erwartet werden zudem Antworten auf offene wissenschaftliche Fragen, beispielsweise bezüglich der Auswirkungen globaler Umweltveränderungen auf China bzw. deren Modellierung und Vorhersagbarkeit.

Strategisches Ziel: Raumfahrttechnik

Laut Autoren der Roadmap sei das grundlegende Ziel der Raumfahrttechnik die Bereitstellung intensiver technischer Unterstützung für Weltraumforschung und -anwendungen. In dieser Hinsicht müsse China spürbare Fortschritte bei Leicht- und Miniaturraumfahrzeugen und Nutzlasten, erdnahen Raumfahrzeugen, beim Ultra-Hochgeschwindigkeitsflug im fernen Weltraum und der autonomen Navigation sowie beim Dauer-aufenthalt des Menschen im Weltraum etc. machen.

Bauen und Wohnen

Die Chinesischen Roadmaps 2050 enthalten keine Ausführungen zum Thema Bauen und Wohnen.

Meerestechnik und Schifffahrt

Die Roadmap 2050 zur Meereswissenschaft und -technologie⁵² in China wurde durch ein multidisziplinäres Expertenteam der CAW ausgearbeitet und lag im Jahre 2010 in englischsprachiger Übersetzung vor. Die Roadmap (vgl. Abbildung 4.3) skizziert Chinas Erfordernisse im Bereich Meereswissenschaft und -technologie in den nächsten vierzig Jahren und definiert die wichtigsten Aufgaben bis 2050. Dabei bezeichnen die Autoren der Roadmap den Zeitraum 2021-2030 als Phase der kontinuierlichen Verstärkung von Meereswissenschaft und -technologie und den Zeitraum 2031-2050 als Phase des umfassenden, großen Entwicklungssprungs der Meereswissenschaft und -technologie.

⁵² CAW (2010d).

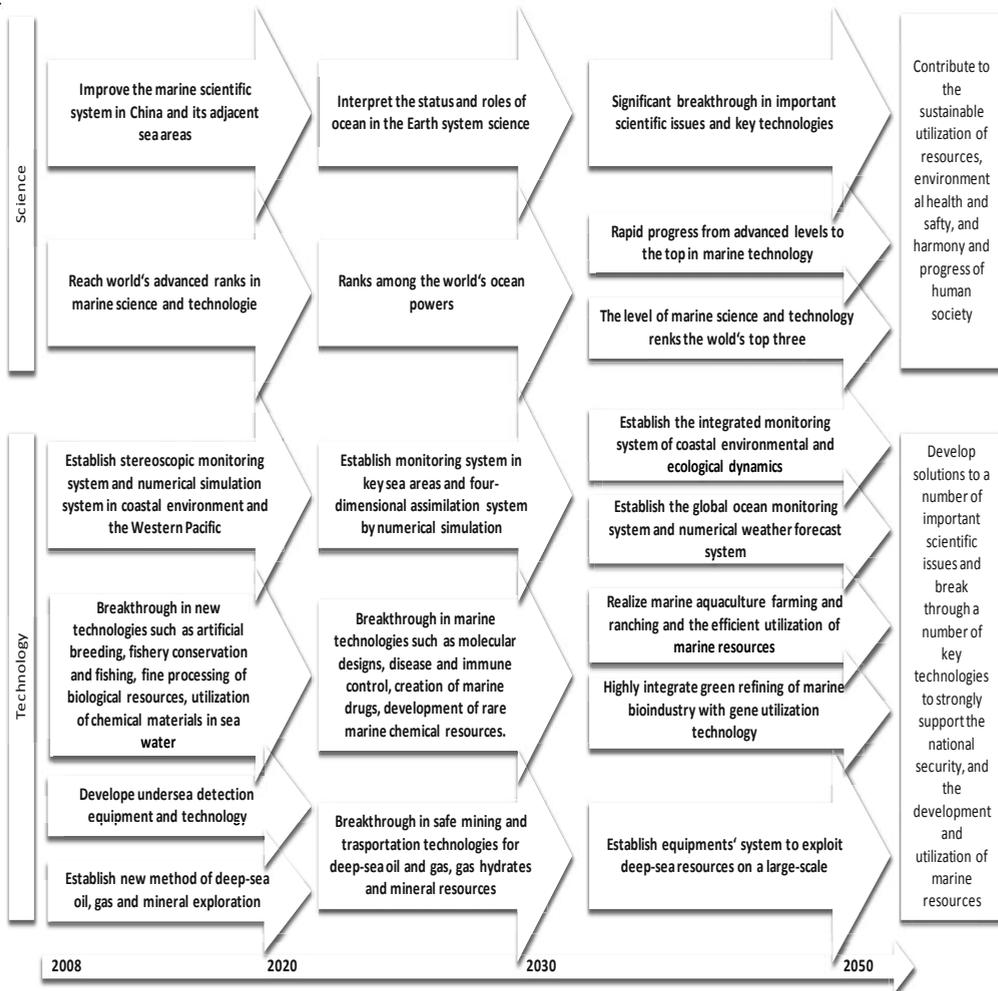


Abbildung 4.3 : Roadmap 2050 zur Meereswissenschaft und -technologie in China.
Quelle: Adaptiert nach CAW (2010d), S. 148.

Laut Autoren der Roadmap sei es hierfür erforderlich:

...bis 2020

Ziele für 2021-2030:
kontinuierliche
Verstärkung von
Meereswissenschaft
und -technologie

- das Meereswissenschaftssystem zu den Chinesischen Meeren und angrenzenden Gewässern zu vervollständigen;
- dreidimensionale Überwachungssysteme und numerische Simulationssysteme in den Küstengebieten und im Westpazifik aufzubauen, eine Reihe von Durchbrüchen bei neuen Meerestechnologien zu erzielen (z. B. Nutzung mariner biologischer Gene, künst-

licher Aquakultur, Erhaltung der Fischereiresourcen, Wasserentsalzung);

- Unterwassererkennungsgeräte und -technologien zu entwickeln und neue Methoden zur Exploration von Tiefsee-Öl, -Gas und -Mineralien einzuführen;

...bis 2030

- vierdimensionale Assimilationssysteme zur Überwachung und numerischen Simulation in wichtigen Meeresgebieten aufzubauen;
- einen Durchbruch im Bereich des molekularen Designs der Arten, bei der Immunkontrolle von Krankheiten, der Entwicklung mariner Arzneimittel, der Entwicklung knapper chemischer Ressourcen im Meerwasser und der sicheren Technologie für die Gewinnung und den Transport von Tiefsee-Öl und -Gas, Gashydraten und Bodenschätzen zu erzielen;

...bis 2050

- das Niveau der Top-Drei der Welt der Meereswissenschaft und -technik zu erreichen;
- ein integriertes System zur Überwachung der dynamischen Küstenumwelt und -ökologie, ein globales System zur Überwachung der Weltmeere und ein numerisches Prognosesystem aufzubauen;
- die grüne Weiterentwicklung der marinen Bioindustrie durch Gennutzungstechnologie vollständig zu integrieren;
- Gerätesysteme für die großtechnische Entwicklung der Tiefseeresourcen zu entwickeln;
- China als Seemacht dauerhaft und zu effizient unterstützen.

Ziele für 2031-2050:
Entwicklungssprung in
der Meereswissen-
schaft und
-technologie

Energie

Zwei Chinesische Roadmaps befassen sich mit dem Themenkomplex Energie: die Roadmap 2050 zu Chinas Energiewissenschaft und -technik und die Roadmap 2050 zu den Öl- und Gasressourcen in China.

Zwei relevante
Roadmaps zum Thema
Energie

Roadmap 2050 zu Chinas Energiewissenschaft und -technik⁵³

Die Roadmap 2050 zur Energiewissenschaft und -technik in China wurde zwischen 2007 und 2009 durch ein Team der CAW erarbeitet und lag 2010 in englischsprachiger Übersetzung vor. Die Forschungsgruppe Energiestrategie wurde in vier Untergruppen mit einer allgemeinen

⁵³ CAW (2010c).

Gruppe und in je eine Gruppe zum Thema Energiesparen und fossile Energie, erneuerbare Energie und Kernenergie aufgeteilt.

Die Roadmap (vgl. Abbildung 4.4) skizziert wichtige Bereiche zur Entwicklung der Energiewissenschaft und der „neuen staatlichen Energieindustrie“, darunter⁵⁴:

Hervorgehobene
Technologien

- die hocheffiziente Bodentransport-Technologie, die ohne fossile Brennstoffe auskommt;
- die saubere und mit hoher Wertschöpfung verbundene Kohlenutzungstechnologie;
- die Technologie für Stromversorgungssicherheit und –stabilität;
- die Biomasse-Flüssigbrennstoff- und Rohstoff-Technologie;
- großtechnische Stromerzeugungstechnologie aus erneuerbaren Energiequellen (Sonne, Wind, Wasser, Biomasse, Geothermie);
- die neue Kernkraft- und atomare Abfallaufbereitungstechnik.

⁵⁴ Die Autoren der Roadmap folgten fünf grundlegenden Prinzipien bei der Auswahl dieser Technologien:

1. unabhängige FuE-Technologien, die den aktuellen Anforderungen nicht mehr gerecht werden;
2. Technologien mit vielversprechenden Aussichten, die bisher nur in geringem Maß Anwendung fanden;
3. Technologien mit großem Zukunftsbedarf, die sich aber noch in der Forschungs- und Entdeckungsphase befinden;
4. Technologien mit ausgereiften und großtechnischen Anwendungen wie Wasserkraft werden nicht berücksichtigt;
5. aufgrund der unterschiedlichen Faktoren, die sich auf die Entwicklung der Energietechnik auswirken, wird diese Rangfolge eingehalten: Rohstoff – Beitrag – Umwelt – Innovation – Machbarkeit – Wirtschaftlichkeit.

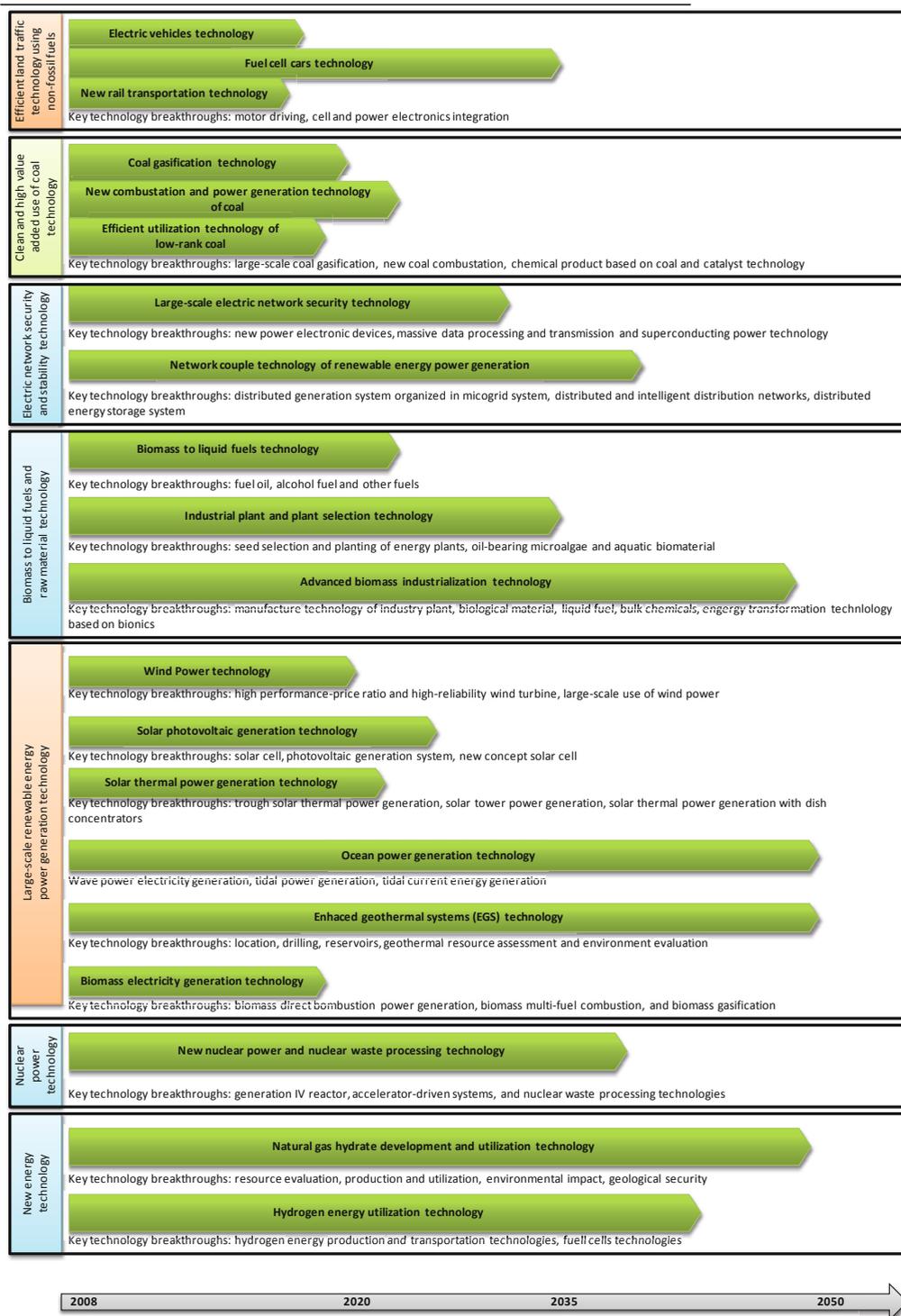


Abbildung 4.4: Innovative Energietechnik-Roadmap bis 2050.
 Quelle: Adaptiert nach CAW (2010c), S. 94.

Die Autoren der Roadmap beschreiben verschiedene energietechnologische Hindernisse, die in den unterschiedlichen Zeitabschnitten von 2009 bis 2050 überwunden werden sollten:

Kommerzielle Nutzung
der Elektromobilität

Bis 2020 sollten Durchbrüche in der Technik zur fossilen Stromerzeugung erzielt und Elektromobilität, Chemotechnik, Schienentransporttechnik und hochentwickelte Elektrofahrzeugtechnologie industriell genutzt werden. Unter voller Nutzung des vorhandenen, modernen Wasserkraft- und Extra High Voltage (EHV)-Stromnetzes sollten Durchbrüche bei der Erzeugung von solarthermischem Strom, photovoltaischem Solarstrom und der Windkraftherzeugung gelingen, um ein technologisches und industrielles System mit erneuerbarer Energie als Hauptquelle aufzubauen.

Biomass-To-Liquid-
Fuels-Technologie

Bis 2035 sollten Durchbrüche in der Biomass-To-Liquid-Fuels-Technologie, d. h. der Herstellung synthetischer Kraftstoffe aus Biomasse, erzielt und kommerziell genutzt werden. Durchbrüche bei der Atomstromerzeugung und (nuklearen) Wiederaufbereitung sollten erzielt werden, um ein modernes Kernkraft-Industriesystem chinesischer Prägung aufzubauen.

Kernkraft-Industrie-
System chinesischer
Prägung

Bis 2050 sollten Durchbrüche bei der Technologie für Erdgashydrat, Wasserstoff, Brennstoffautos, Strom aus Tiefengeothermie und Stromerzeugung aus Meeresenergie erzielt werden, um einen diversifizierten Energiemix unter Einbeziehung fossiler Energie, erneuerbarer Energie und Kernkraft zu formen und somit ein innovationsbasiertes Energiesystem chinesischer Prägung aufzubauen.

Stromerzeugung aus
Meeresenergie

Um die oben geschilderten Ziele zu erreichen, wird als Voraussetzung angesehen, dass China die Integration der Ressourcen der Energietechnologie in der gesamten Gesellschaft fördert und ein Energieinnovationsystem mit Unternehmen aufbaut.

Roadmap 2050 zu den Öl- und Gasressourcen in China⁵⁵

Die Arbeit für die Roadmap 2050 zu den Öl- und Gasressourcen in China wurde durch Vorlage des Abschlussberichts Ende 2010 fertiggestellt. Die englischsprachige Übersetzung lag 2011 vor.

⁵⁵ CAW (2011d).

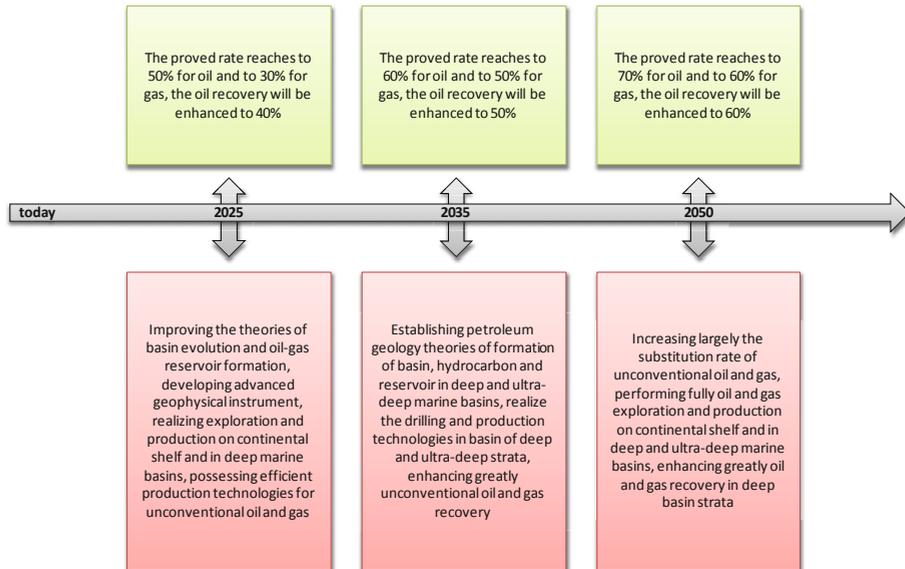


Abbildung 4.5: Roadmap 2050 zu den Öl- und Gasressourcen in China.
Quelle: Adaptiert nach CAW (2010a), S. 49⁵⁶.

Das wesentliche zu erreichende Ziel, so die Autoren der Roadmap, bestehe in der wissenschaftlichen und technologischen Annäherung Chinas an das Weltniveau, gemäß Abbildung 4.5:

Kurzfristig, bis ca. 2025 werde China in der Lage sein, die Theorien der Beckenformation und -entwicklung und der Formation von Öl-Gaslagerstätten zu verbessern und über effiziente Produktionstechnologien für nicht konventionelles Gas verfügen. Es wird angestrebt, dass dank technologischer Fortschritte bei den Prospektions- und Erschließungsmethoden kurzfristig die Erfolgsrate bei der Prospektion neuer Erdöl- und Erdgasvorkommen 50 %, respektive 30 % betrage sowie die Ausbeutequote bei nachgewiesenen Erdöllagerstätten auf 40 % erhöht werde. Dabei solle zunächst ein System zur Lagerstättenformation für Öl- und Gas in marinem Karbonatgestein aufgebaut und die Methoden und Technologien zur Exploration und Entwicklung von Öl und Gas in diesem Gestein verbessert werden. Auch dem Aufbau geophysischer Detektionstechnologien und -ausrüstungen für komplexe Geländeoberflächen und Lagerstätten sowie der Behandlung des Verteilungsmechanismus von überschüssigem Öl und der Entwicklung biologischer Rückgewinnungstechnologien kommen gemäß den Autoren der Roadmap eine große Bedeutung zu. Es werden große Fortschritte bei der effizienten

Effiziente Produktionstechnologien für nicht konventionelles Gas

Fortschritte bei den Prospektions- und Erschließungsmethoden

⁵⁶ Die original Roadmap 2050 zu den Öl- und Gasressourcen in China auf S. 71 des gleichnamigen Berichtes CAW (2011d) ist bedauerlicherweise unleserlich, so dass auf diese Zusammenfassung aus dem Strategischen Gesamtbericht zurückgegriffen werden musste.

Nutzung für Asphaltit, Ölsand, Ölschiefer und andere nicht konventionelle Öl- und Gasförderung sowie bei Offshore- Supertiefwasserbecken angestrebt.

Mittelfristig, bis etwa 2035 werde China in der Lage sein, die Bohr- und Produktionstechnologien in Becken der tiefen und ultratiefen Schichten zu beherrschen und die nicht konventionelle Öl- und Gasgewinnung deutlich zu verstärken. Angestrebt wird, dass die Erfolgsrate bei der Prospektion neuer Erdöl- bzw. Erdgasvorkommen mittelfristig 60 %, respektive 50 % sowie das Rohölgewinnungsverhältnis bei nachgewiesenen Erdöllagerstätten 50 % betragen. Die Autoren der Roadmap empfehlen die Erforschung tiefer Öl- und Gaslagerstätten und Technologieentwicklungen für Öl- und Gasbohrung in Tiefschichten bis Ultratiefschichten.

Langfristig, bis etwa 2050 werde China in der Lage sein, in vollem Umfang die Öl- und Gasexploration und -produktion auf dem Kontinental-schelf und in tiefen und ultratiefen Meeresbecken sowie die Öl- und Gasgewinnung in tiefen Beckenschichten durchzuführen und an allgemeinen Explorationsaktivitäten im arktischen Raum und in anderen öffentlichen Regionen der Welt teilnehmen. Ziel sei, dass die Erfolgsrate bei der Prospektion neuer Erdöl- bzw. Erdgasvorkommen langfristig 70 %, respektive 60 % sowie das Rohölgewinnungsverhältnis bei nachgewiesenen Erdöllagerstätten 60 % betragen. Dabei halten es die Autoren der Roadmap für wahrscheinlich, dass die Methanhydrat-Lagerstätte in die Phase der großtechnischen Entwicklung kommt und China an der Öl- und Gasexploration am nördlichen Polarkreis und anderen öffentlichen Gebieten der Welt teilnimmt.

Langfristige Ziele:
Erfolgsrate von 70 %
bzw. 60 % bei
Prospektion neuer
Erdöl- bzw.
Erdgasvorkommen

Nano- und Mikrosystemtechnologie

Eine der im strategischen Gesamtbericht (Strategic General Report) der chinesischen Akademie der Wissenschaften dargelegten zweiundzwanzig Wissenschafts- und Technologieinitiativen von strategischer Bedeutung für Chinas Modernisierung befasst sich mit Nanowissenschaft und -technologie, als Beitrag zur **interdisziplinären und innovativen Forschung** Chinas.⁵⁷ Konkrete Aussagen zur zukünftigen Ausgestaltung dieses Technologiefeldes werden allerdings nicht gemacht.

⁵⁷ CAW (2010a), Kapitel 4.5.1.

Materialtechnik

*Roadmap 2050 zur modernen Materialwissenschaft und -technik in China*⁵⁸

Die Roadmap zur modernen Materialwissenschaft und -technik in China wurde im Oktober 2008 fertiggestellt und lag 2010 in englischsprachiger Übersetzung vor. Sie beschreibt im Wesentlichen die Entwicklungsziele für moderne Werkstoffe in China bis zum Jahr 2050 (kurzfristig bis zum Jahr 2020, mittelfristig bis 2030 und langfristig bis 2050) sowie die möglichen oder erforderlichen Durchbrüche bei den wichtigen wissenschaftlichen und technologischen Fragen.

Nach Ansicht der Autoren sind die Entwicklungsziele für moderne Werkstoffe in China bis zum Jahr 2050:

Kurzfristig (bis zum Jahr 2020) solle China – nach Ansicht der Autoren der Roadmap – die innovative materialwissenschaftliche Grundlagenforschung vorantreiben⁵⁹, um die eigenen Bedarfe (z. B. in Bereichen wie nationale Sicherheit, Ausrüstungsherstellung, Transportwesen) im Wesentlichen zu decken. Das Niveau der Grundlagenforschung und FuE-Fähigkeiten in Bezug auf neue Werkstoffe solle das Niveau westlicher Länder erreichen. Der Energieverbrauch im Zusammenhang mit der Herstellung von Grundwerkstoffen solle um 50 % reduziert werden und die Lebensdauer jüngst entwickelter Werkstoffe solle um 50 % verlängert werden. Kohlenstoffemissionen sollen reduziert und die Recyclingrate von Kohlenstoff soll auf 20 % erhöht werden.

Mittelfristig (bis 2030) solle China das international führende Land bei der modernen Herstellung von Grundwerkstoffen sein und den Bedarf an Werkstoffen der nationalen Wirtschaft, nationalen Sicherheit und der nachhaltigen sozialen Entwicklung decken. In diesem Zeitraum solle China in der Lage sein, bei der Herstellung von Werkstoffen auf eigene Innovationskraft zu setzen. Die Lebensdauer der Werkstoffe solle sich verdoppeln und die Recyclingrate von Werkstoffen 20 % erreichen. Die Kohlendioxidemissionen sollen reduziert und die Recyclingrate von Kohlenstoff auf 50 % erhöht werden.

Langfristig (bis zum Jahr 2050) solle die Entwicklung moderner Materialien in China den Bedarf an Hochtechnologie, erneuerbaren Ressourcen, Lebensverlängerung und Gesundheitsförderung sowie Umweltschutz voll decken. Die Werkstoff-Recyclingrate solle 50 % erreichen, bionische Materialien mit Selbstreparatur- und Selbstheilungsfunktionen Anwendung finden und intelligente Werkstoffe an Bedeutung gewinnen. Neue Errungenschaften, Methoden, Tools und Einrichtungen der Natur-

Auf eigene
Innovationskraft
setzen

Angestrebtes
langfristiges Ziel:
Werkstoff-
Recyclingrate
von 50 %

⁵⁸ CAW (2010b).

⁵⁹ Hier sollen auch die innovativen Fähigkeiten der Unternehmen stark gefördert werden.

wissenschaft und Informationstechnologie würden, so die Autoren, in Werkstoffdesign und -simulation, Simulation und Steuerung von Fertigungstechniken sowie in Materialanalyse und -bewertung weitgehend eingeführt sein. Es werde möglich sein, die Struktur und Eigenschaften von Werkstoffen zu gestalten und zu prognostizieren und der damit verbundene technologische Prozess könne präzise gesteuert und umgesetzt werden.

Um die oben genannten Ziele zu erreichen, skizziert die Roadmap in Abbildung 4.6 die erforderlichen Durchbrüche in folgenden acht Aspekten der modernen Materialwissenschaft und -technik:

1. Entwicklung einer computergestützten Materialwissenschaft, mit der der Materialherstellungsprozess genau geplant werden kann (in Abbildung 4.6 farblich in hellblau unterlegt).
2. Durch die Verbesserung der herkömmlichen Materialeigenschaften wird die Untersuchung verschiedener neuer Werkstoffe allmählich reif und findet Anwendungen, wie z. B. neue Werkstoffe (Energie, Information, Biomaterial), Nanomaterialien, bionische Werkstoffe usw. (in Abbildung 4.6 farblich mit violett unterlegt).
3. Das Erreichen der Struktur-Funktions-Integration von Werkstoffen, woraus sich intelligente Materialtechnologie und hochintelligente, multistrukturierte Verbundwerkstoffe entwickeln (in Abbildung 4.6 farblich mit orange unterlegt).
4. Das Erreichen der hocheffizienten, kostengünstigen Herstellung von qualitativ hochwertigen Rohmaterialien, die verbreitete Anwendung umweltfreundlicher Materialfertigungstechnologien und kostengünstige und hocheffiziente Recyclingtechnologien (in Abbildung 4.6 in grün unterlegt).
5. Endformnahe, kontinuierliche Bearbeitungstechnologie, Integrationstechnik wichtiger Geräte, intelligente und steuerungsfähige Technologie werden in großem Umfang angewandt (in Abbildung 4.6 farblich in rosa unterlegt).
6. Mechanismen der Entwicklung von Materialeigenschaften während des Gebrauchs, auch unter extremen Bedingungen, sind klar erkannt, Fehlerprozesse von Materialien und Strukturkomponenten können genau eingeschätzt und prognostiziert werden, indem die Gesamtevaluierung des vollen Zyklus der Materialnutzungsdauer durchgeführt wird; Materialschaden kann erkannt und repariert werden (in Abbildung 4.6 farblich mit rot unterlegt).
7. Durch die Entwicklung von Wissenschaft und Technik, können Echtzeit- und In-situ-Analysen sowie Materialcharakterisierungen vorgenommen werden (in Abbildung 4.6 farblich mit gelb unterlegt).
8. Die Sammlung von Materialdaten wird umfangreich und systemisch, die Kosten der Gesamtlebensdauer werden bei der Designerstellung und Materialwahl berücksichtigt und ein nationales System zur Materialcharakterisierung wird aufgebaut (in Abbil-

Acht Aspekte der
modernen Material-
wissenschaft

dung 4.6 farblich in magenta unterlegt).

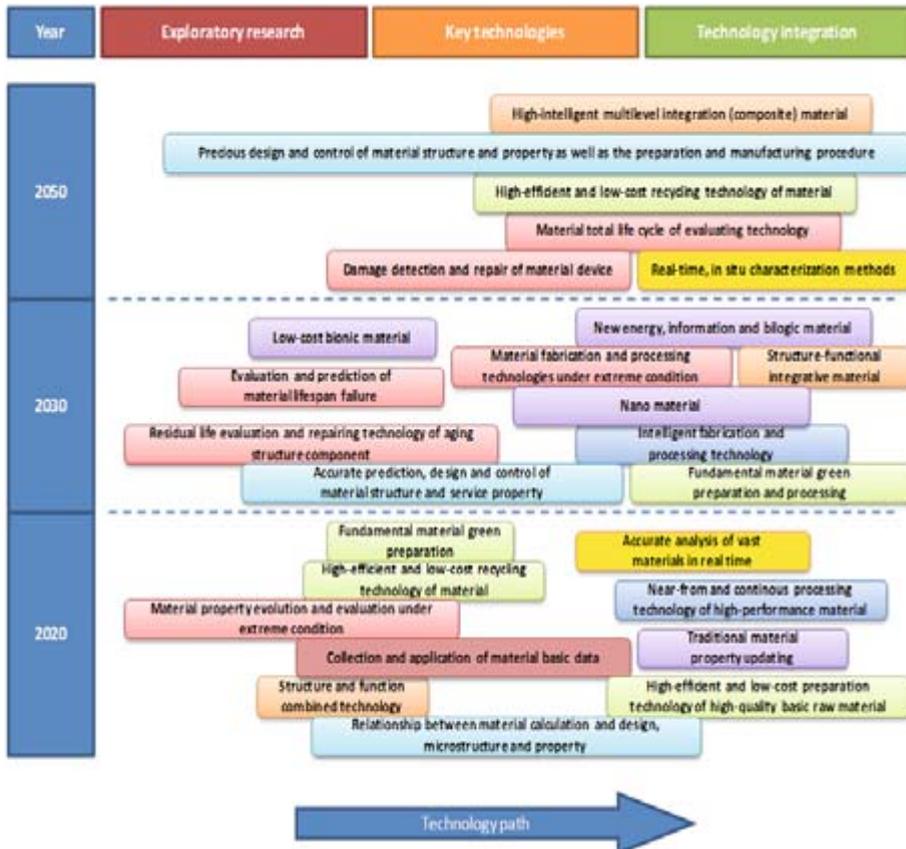


Abbildung 4.6: Roadmap zur modernen Materialwissenschaft und -technik in China.
Quelle: Adaptiert nach CAW (2010b), S. 115.

Produktions- und Prozesstechnik

*Roadmap 2050 zu Fertigungstechnologien in China*⁶⁰

Die Arbeit für die Roadmap 2050 zu modernen Fertigungstechnologien wurde im Mai 2010 durch Vorlage des Abschlussberichts fertig gestellt; die englischsprachige Übersetzung lag 2012 vor.

Der Bericht fokussiert zwei Hauptentwicklungsstränge der modernen Fertigungstechnologien: intelligente Fertigung und grüne Fertigung (vgl. Abbildung 4.7).

⁶⁰ CAW (2012a).

Zwei Hauptentwicklungsfränge der modernen Fertigungstechnologien: intelligente Fertigung und grüne Fertigung

Die Fertigungstechnik wird laut der Studie intelligenter: Die Informatik werde nach und nach sowohl die Steuerung und Bauweise von Maschinen als auch die Steuerung ganzer Fertigungsanlagen verändern. Biologische Kraftstoffe, kostengünstige Verfahren für die Abscheidung und Speicherung von CO₂, abfallfreie Bearbeitungstechnik und eine integrierte Versorgungs- und Abfalltechnik würden ebenso ihren Durchbruch erleben wie die moderne Recyclingtechnik und die kohlenstoffarme Wirtschaft. In der autonomen Steuerungstechnik seien wegweisende Fortschritte zu erwarten, und die Anfänge einer intelligenten Fertigung werden gemacht sein.

In der modernen Fertigungstechnik werden laut der Studie miteinander verwandte Technikfelder zusammengeführt: Fortschritte erwachsen durch eine kontinuierliche Integration von beispielsweise Maschinenbau und Informationstechnologie, Werkstoff- und Mikrosystemtechnik, Bio- und Nanotechnologie sowie der Weiterentwicklung von Informatik, Werkstofftechnik und Biotechnologie.

Die Fertigungsumgebung wird laut der Studie transparenter: Das bislang begrenzte Datenvolumen und das Aufkommen drahtloser Messtechniknetze werde deutlich wachsen und die Steuerung der Produktionsprozesse und die Messtechnik werde sich wandeln.

Die Fertigungsumgebung wird laut der Studie leistungsfähiger: Der Mensch wird mithilfe immer leistungsfähigerer Computer kenntnisreicher und kreativer. Die Abstimmung zwischen Mensch und Maschine werde die Fertigungsanlagen der Zukunft prägen, aber auch eine Herausforderung darstellen. Zur Deckung unterschiedlicher Bedürfnisse der Nutzer von Maschinen würden im Verlauf der fertigungstechnischen Weiterentwicklung neue Ansätze zum Tragen kommen, deren Schwerpunkt beispielsweise auf Zuverlässigkeit oder Service liegt. Es werde in der Produktion künftig entscheidend darauf ankommen, dass Mensch und Maschine ihre jeweilige Aufgabe koordiniert wahrnehmen.

Die Fertigungsumgebung wird laut der Studie sauberer (grüner): Durch den zunehmenden Einsatz moderner Werkstoffe werde die verarbeitende Industrie deutlich effizienter und sauberer arbeiten können. Hier käme der Nutzung neuer Ressourcen und Energiequellen, der Systemintegration, der Entwicklung grüner Produkte in der verarbeitenden Industrie sowie dem Recycling eine wachsende Bedeutung zu. Spätestens etwa im Jahr 2030 würden grüne Konstruktions- und Prüfungsmethoden für Produkte eingeführt sein. Die Technik zum Recycling von Wertstoffen, zur Minderung der Schadstoffemissionen von Massenabfällen, zur effizienten Nutzung von Biomasse sowie die Technik für die reguläre Wartung wichtiger Maschinen und Anlagen werde weiterentwickelt.

Bis zum Jahr 2050 könne die Rückgewinnung und optimale Nutzung von Wertstoffen auf mehreren Ebenen realisiert sein; umweltschonende Konstruktion und Lebenszyklusprüfung von Produkten sollen weithin zur Anwendung kommen.

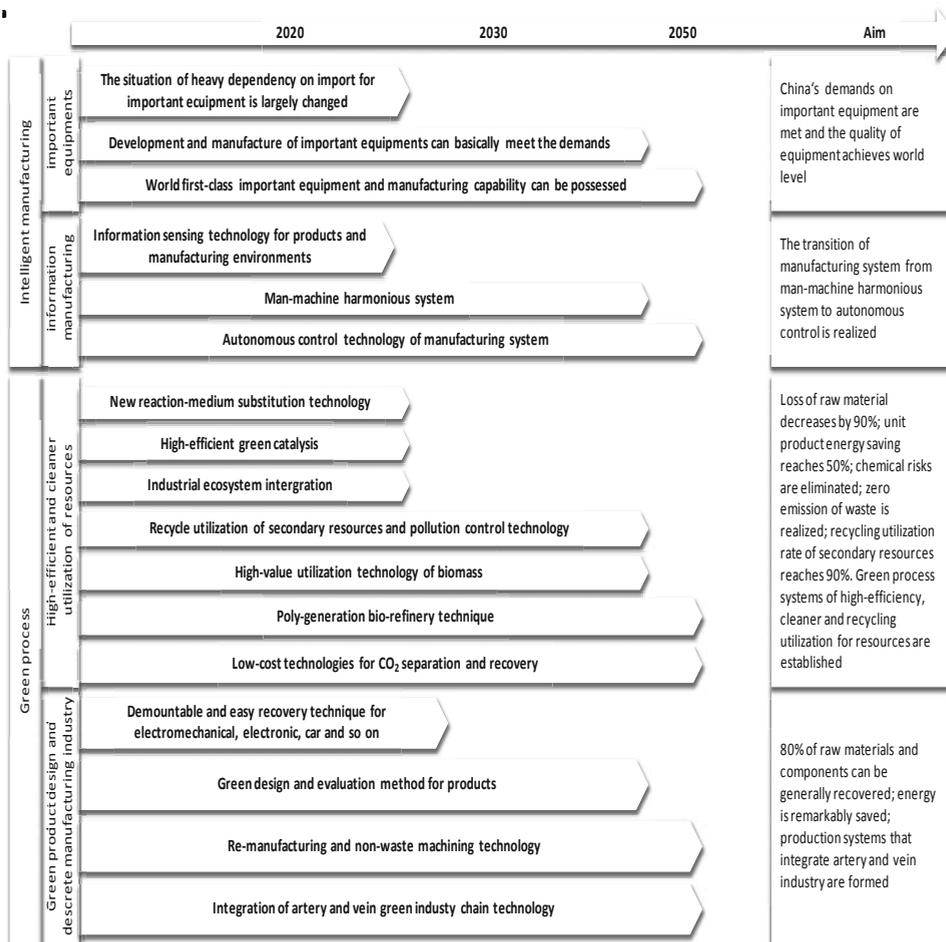


Abbildung 4.7: Chinas Roadmap 2050 zu modernen Fertigungstechnologien.
Quelle: Adaptiert nach CAW (2012a), S. 57.

Die Autoren der Roadmap weisen darauf hin, dass das produzierende Gewerbe ein wichtiges Fundament der chinesischen Wirtschaft darstelle und es deshalb für China wichtig sei, die Modernisierung der Produktionstechnik, den sparsamen Umgang mit Energie und Rohstoffen sowie den Umweltschutz voranzutreiben. In den nächsten 30 Jahren werde sich die Fertigungstechnik in China überwiegend im Gleichschritt mit der übrigen Welt entwickeln. Mikro- und Nanotechnologie, Ökotechnologie und andere neue Technologieformen würden bis dahin vollen Eingang in die Fertigungstechnik gefunden haben, so die Autoren der Roadmap. Die

umweltschonende Fertigung werde das Konzeptionsstadium verlassen haben und zum Symbol des technischen Fortschritts geworden sein. Auch die Fortschritte in Informatik, Werkstofftechnik, Biotechnologie und Nanotechnologie sowie eine koordinierte Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine würden starken Einfluss auf die Weiterentwicklung der Fertigungstechnik ausüben. Neuerungen wiederum, die einen Beitrag zur Weiterentwicklung dieser Bereiche leisten, würden zum Sinnbild einer modernen, fortschrittlichen Fertigungstechnik werden.

Spätestens im Jahr 2050 werde gemäß den Autoren der Roadmap, die hocheffiziente Nutzung und Wiederverwertung von Ressourcen und Energie bei minimaler Beeinträchtigung der Umwelt erreicht sein. Mit erstklassigen Anlagen sowie innovativer Planung und Herstellung werde China dann eine intelligente und grüne Fertigungsindustrie aufgebaut haben.

Optische Technologien

Der Bereich der optischen Technologien wird in den Chinesischen Roadmaps nicht dezidiert behandelt.

Informations- und Kommunikationstechnologien

Die Arbeit für die Roadmap 2050 zu Informationswissenschaften und -technologien⁶¹ startete im November 2007 mit einer 13-köpfigen Expertengruppe und wurde durch Vorlage des Abschlussberichts Ende 2009 fertiggestellt. Die englischsprachige Übersetzung lag 2011 vor.

Der Bericht setzt in folgenden Bereichen den Schwerpunkt der Untersuchung:

- Netzwerkwissenschaft und zukünftige Netzwerktechnik
- Mikroelektronik, Optoelektronik, Quanten-IT
- Supercomputing, Software und Informationsspeicherung
- wissensbasierte Technologie und künftige, auf der Wissensverarbeitung beruhende Informationsdienste
- kostengünstige Informationssysteme und Umstellung der herkömmlichen Industrie durch die Informationstechnologie
- interdisziplinäre Wissenschaften der Intelligenzforschung und der kognitiven Forschung, Bioinformatik und soziale Informatik
- grundlegende Theorie der Informationswissenschaft
- Informationssicherheit.

⁶¹ CAW (2011b).

Intelligente und grüne Fertigungsindustrie bis 2050 in China etabliert

Schwerpunkte: u.a. Informationsspeicherung und -sicherheit

Für den Zeitraum 2010 bis 2050 definiert die Roadmap folgende Ziele für China:

1. China soll eine aktive und maßgebliche Rolle im transformativen Wandel der Informationswissenschaft und Informationstechnologie einnehmen;
2. Chinas Fähigkeiten zur Innovation und nachhaltigen Entwicklung sollen so verbessert werden, dass China eine universelle Informationsgesellschaft (U-Society) wird, in der der größte Teil der Bevölkerung Informationssysteme nutzen kann;
3. Information sollte die wichtigste Ressource für Wirtschaft und Gesellschaft werden, womit der Entwicklungsgrad der Informationssysteme und deren Anwendung in China einen vergleichbaren Stand wie in den Industrieländern erreichen würden.

Bis zum Jahr 2050 sollten gemäß der Roadmap sechs grundlegende Aufgaben im Fokus stehen:

- Aufbau eines umfassenden Informationsnetzwerks mit sinnvollen Inhalten
- Wegweisende Aufrüstung der Informationsgeräte und -systeme
- Entwicklung einer Dienstleistungsindustrie für Daten und Wissen
- Aufrüstung der herkömmlichen Industrien durch Informationstechnologien
- Realisierung einer kostengünstigen Informatisierung
- Entwicklung neuer computergestützter, interdisziplinärer und computerbasierter Informationswissenschaften

Sechs grundlegende Aufgaben für den Fortschritt von Chinas Informationswissenschaften und -technologien

Abbildung 4.8 zeigt die allgemeine Roadmap zur Umsetzung dieser Ziele.

Ubiquitous application of IT	Informatization process	ESociety	Transform to a U-society	
	Network services	Network services methodology	Sustainable network services system	Network penetration reaches 80%
Upgrading of information infrastructure	Internet	IPv6	Towards post-IP future Internet	Post-IP Internet architecture Energy-efficient and trustworthy networks
	Sensor network	Cyber physical systems	Trillion of devices	Ubiquitous sensors
	Wireless & optic communication	LTE, 4G	Fully optic packet switching	Cognitive and autonomous wireless communication
	Super-computing	Exaflops (10 ¹⁸) Personal HPC	Zettaflops(10 ²¹) Massive optical computing	Yottaflops (10 ²⁴) Supercomputing for the masses
Breakthrough in devices and equipment	Micro-electronics	3D devices 22-11nm CMOS	SoC and SiP evolve Substitutes for CMOS	Optical devices Molecular devices
	Optoelectronics	Network on chip	Integrated optoelectronic analog computing	Opto-computing technology integrated on a chip
	Quantum	Quantum emulation	50-bit mini quantum computer	Universal quantum computer Practical quantum communication
	Storage	Front-end semiconductor storage	Atom and holographic storage	Atom-level storage Ubiquitous personalized storage
Developing new information science and frontier interdisciplinary sciences	Network science	Discovery of network mechanisms and rules	Formation of a field of interdisciplinary network science	Mature network science
	Algorithm and software	Concurrent algorithms Industrial software	Algorithm networks Trustworthy systems	Computational thinking spreads to the masses
	Intelligence and cognition	Natural interfaces	Semantic and emotional understanding	Encephaloid computer
	Bioinformatics	Data integration of the proteome, etc.	Biology evolution dynamics based on systemic biology	Entire simulation of living organism disease prediction
	Social computing	Parallel social systems	Computational social experiments	Normalization of social computing
				

Abbildung 4.8: Roadmap 2050 zu Informationswissenschaften und -technologien.
Quelle: Adaptiert nach CAW (2011b), S. 2.

Für die Zukunft gebe es keine definitive Roadmap: Quanten- und Nanotechnologien seien durch Unsicherheit ebenso wie durch Verschiedenartigkeit gekennzeichnet. Es werde wahrscheinlich noch 15 bis 20 Jahre dauern, um die Hauptrichtung der Gerätetechnologie mit Gewissheit beurteilen zu können.

Die Roadmap 2050 zu Informationswissenschaften und -technologien geht daher davon aus, dass der Zeitraum 2010 bis 2030 eine Zeit der Durchbrüche in der Informationswissenschaft sein wird:

- In den kommenden zehn Jahren werde sich die Netzwerktechnik in verschiedenen Bereichen weiterentwickeln: Breitbandnetze, mobile Netzwerke und Integration ternärer Netzwerke (Internet, Telekommunikationsnetzwerk und TV-Rundfunknetzwerk) in Richtung eines IPv6-basierten Internets⁶². Nach 2020 würden die Länder weltweit einen Konsens über den Aufbau einer Post-IP-Netzwerkssystemarchitektur erzielt haben.
- Die Kombination aus elektronischen, optoelektronischen und optischen Computertechniken werde höchstwahrscheinlich zu neuen Chiptechnologien mit integrierten Speicher-, Kommunikations- und Informationsverarbeitungsfunktionen führen. Auf diesen neuen Chips könnten wiederum neue optische Verbindungen realisiert werden und eine optische Verarbeitung im großen Maßstab erfolgen.
- Quanteninformationen könnten laut Roadmap neue Grundsätze und Verfahren zur Entwicklung in der Informationswissenschaft und -technologie bereitstellen. Die Roadmap geht davon aus, dass 2020 die Verteilung von Quanten-Chiffrierschlüsseln in Metro-Glasfasernetzwerken von 70 km Ausdehnung und 2050 in weltweiten Kommunikationsnetzwerken verwirklicht werden wird.
- Eine große Herausforderung für die kommenden Jahrzehnte wird die Einführung rigoroser mathematischer Modelle und einer theoretischen Grundlage für das Concurrent Computing sein. Die Algorithmenforschung wird sich vom Entwurf einzelner Algorithmen hin zur Interaktion und Kollaboration mit bzw. von mehreren Algorithmen entwickeln.
- In den kommenden Jahrzehnten würden multimodale Mensch-Computer-Interaktionen auf Desktops, Notebooks und Handheld-Systemen gängig sein. Das Gleiche werde für 3D-Interaktionen, Berührungsinteraktionen, personalisierte, emotionale Interaktionen und Gehirn-Computer-Interaktionen gelten.
- Die Wireless-Breitbandkommunikation sei ein Eckstein künftiger Netzwerksysteme: Allgegenwärtige Sensornetzwerke würden mit Raum-, Boden- und Zugangsnetzwerken kombiniert werden, um die Kommunikation zwischen Menschen, zwischen Maschinen und zwischen Menschen und Maschinen jederzeit und überall zu ermöglichen.
- Computersoftware werde immer größer und komplexer und bewirke damit einen Verlust an Zuverlässigkeit und Sicherheit. Die Errichtung einer Softwaregrundlage für ein verlässliches Compu-

Angestrebt:
Durchbrüche in der
Informations-
wissenschaft in der
Zeit 2010-2030

⁶² Internet Protocol Version 6= standardisiertes Verfahren zur Übertragung von Daten.

ting sei zu einer wissenschaftlichen Aufgabenstellung geworden, die es in den nächsten Jahrzehnten zu lösen gilt.

- Die Forschung an Prozessen der Informationsumsetzung auf Molekül- und DNA-Ebene könne zum Aufkommen neuer Computing-Systeme führen, die sich von den siliziumbasierten unterscheiden.
- Auch Social Computing auf der Basis kognitiver Wissenschaften, Intelligenzwissenschaft und komplexer Systemwissenschaft gewinnt für die nationale Sicherheit und den Aufbau einer harmonischen Gesellschaft an Bedeutung.

Als eine der **größten wissenschaftlichen Herausforderungen** charakterisiert die Roadmap die Erforschung der Natur der menschlichen Intelligenz sowie das Verständnis des Gehirns und seine kognitiven Funktionen. Die Entwicklung einer neuen und intelligenten Wissenschaft und Technik sei demnach für die nächsten 50 Jahre ein wichtiges Ziel.⁶³ Aus historischer Sicht sei die Verbreitungsgeschwindigkeit des Computers mit der der Elektrizität vergleichbar. Computing für die Massen solle eine Wertsteigerung mit sich bringen. Hier gehe es nicht nur um einen kostengünstigen Weg, sondern auch um einen Weg, der Wachstum der IT-Industrie ermögliche.⁶⁴

Superserver mit wesentlich höherer Leistung und Kapazität würden bis 2050 erforderlich sein, um die Belastungen durch die verschiedenen personalisierten Anwendungen unterstützen zu können.⁶⁵ Hierzu müssten, so die Roadmap, mehrere technische Hürden genommen werden – beispielsweise Stromverbrauch, massive Parallelverarbeitung, Zuverlässigkeit und Kosten. Auch solle der Anteil an chinesischen Inhalten im World Wide Web auf mehr als 10 % steigen, um eine notwendige Grundlage zur Entwicklung einer Daten- und Wissensindustrie mit chinesischen Charakteristika zu schaffen.

Die **vordringliche Aufgabe für die nächsten 10 bis 40 Jahre** werde demnach darin liegen, ein Informationsnetzwerk aufzubauen, so dass Menschen der mühelose Zugriff auf Informationen und Wissen zur effektiveren Zusammenarbeit und höherer Lebensqualität ermöglicht wird. Im Zuge der Entwicklung der Informationswissenschaft und -technologie sollten gemäß der Roadmap Probleme in den folgenden sechs grundlegenden Aspekten gelöst werden:

⁶³ Insbesondere Reverse-Engineering des menschlichen Gehirns und Gehirn-Computer-Schnittstellen.

⁶⁴ Jeder der 1,2 Milliarden chinesischen Benutzer sollte, so die Autoren der Roadmap, über ein universelles Computerkonto verfügen, damit jeder Benutzer in der Lage sei, seine personalisierte Informationsumgebung effektiv mit verschiedenen Geräten jederzeit und überall zu nutzen.

⁶⁵ Die Geschwindigkeit von Supercomputern werde laut Roadmap in 40 Jahren um das 108 bis 109-fache auf 1024 FLOPS steigen.

1. Hardwareentwicklung
2. Ternäre Programmierung⁶⁶ im großen Maßstab
3. effiziente Nutzung großer Datenmengen
4. Aufbau kostengünstiger Informationsnetzwerke
5. Errichtung vertrauenswürdiger Informationssysteme und
6. Aufbau einer Cyber-Infrastruktur ohne Monopole

Elektronik

Der Technologiebereich Elektronik wird im Rahmen der IuK-Roadmap bearbeitet.

Biotechnologie und Life Sciences

*Roadmap 2050 zu Agrarwissenschaft und Agrartechnologie in China*⁶⁷

Die Roadmap 2050 zu Agrarwissenschaften und -technologien wurde durch 20 CAW-Experten im Dezember 2010 durch die Vorlage des Abschlussberichts fertiggestellt. Die englischsprachige Übersetzung lag 2011 vor. Gegenstand der Roadmap zu Agrarwissenschaften und -technologien sind die Ermittlung der Chancen und Risiken für die landwirtschaftliche Entwicklung bis zum Jahr 2050, sowohl global als auch China speziell betreffend.

Wie in Abbildung 4.9 dargestellt, formulieren die Autoren der Roadmap für fünf agrarwissenschaftliche und agrartechnische Bereiche jeweils ein eigenes Ziel für das Jahr 2050:

- Bereich pflanzliches Keimplasma und moderne Pflanzenzucht⁶⁸
- Bereich tierisches Keimplasma und moderne Tierzucht⁶⁹
- Bereich Ressourcenschonung⁷⁰

Ziele der grünen Biotechnologie bis 2050: u.a. moderne Pflanzen- und Tierzucht sowie Beitrag zur Ressourcenschonung und Ernährungssicherheit

⁶⁶ Bei der ternären Programmierung sind für jedes Element drei Werte möglich, beispielsweise 0, 1 und 2. Zum Vergleich: die breit genutzte binäre Programmierung basiert auf das Zahlensystem (0,1), d. h. für jedes Element sind nur 2 Werte, 0 oder 1, möglich.

⁶⁷ CAW (2011a).

⁶⁸ Anwendung systembiologischer und produktorientierter Methoden; Nutzung des außergewöhnlichen Genreichtums in China; wissenschaftliche Durchbrüche in der Erforschung der Photosynthese; Aufbau eines innovativen Systems zur Entwicklung funktioneller pflanzlicher Produkte; nachhaltige landwirtschaftlichen Entwicklung.

⁶⁹ Anwendung disziplinübergreifender Forschungsmethoden für Ernährungssicherheit (hoher Fleischanteil, hoher Proteingehalt, Krankheitsresistenz); Entwicklung einer gesunden und nachhaltigen Tierzucht einschließlich Aquakultur.

- Bereich landwirtschaftliche Erzeugung und Ernährungssicherheit⁷¹
- Bereich landwirtschaftliche Modernisierung und Technisierung⁷²

Zu den wesentlichen Zielen der agrarwissenschaftlichen und agrartechnischen Entwicklung in China bis 2050 zählen:

- die Beschleunigung der molekularbiologischen Pflanzenzucht;
- die Züchtung und Freigabe neuer Kulturpflanzen zur Nahrungsmittelerzeugung und zur Zeugung neuer energiereicher Pflanzensorten;
- die Einführung der molekularbiologisch gestützten Züchtung wichtiger Nutztiersorten, die schnell wachsen, einen hohen Fleischanteil oder einen hohen Proteingehalt aufweisen oder resistent gegen Krankheiten sind;
- der Aufbau eines intelligenten Systems zur Umweltschutzüberwachung;
- und die Errichtung eines landwirtschaftlichen Auskunftsnetzes für ganz China.

⁷⁰ Sparsamer Umgang mit Land, Wasser, Düngemitteln und Energie; intensive landwirtschaftliche Erzeugung (Mechanisierung, Großbetriebe, Industrialisierung); stärker auf Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung gestützte landwirtschaftliche Erzeugung.

⁷¹ Vorbeugung gegen und Bekämpfung der schlimmsten Schädlinge und Krankheiten; Aufbau eines elektronischen Nahrungsmittel-Kontrollsystems vom Landwirt bis zum Verbraucher; Einführung eines Kontroll- und Überwachungssystems für sichere und *grüne* Erzeugnisse aus Anbau, Züchtung, Lagerung und Verarbeitung; Nahrungsmittel für die personalisierte Ernährung zwecks Deckung des individuellen Ernährungsbedarfs und Bereitstellung entsprechender Nahrungsmittel zur Verbesserung von Gesundheit und Leistungsfähigkeit der gesamten Bevölkerung.

⁷² Förderung von Innovationen in der chinesischen Agrarforschung sowie zur Nutzung der Hochtechnologie: Landwirtschaftliches Informationsnetz; elektronische Steuerung landwirtschaftlicher Ressourcen; genaue Steuerung der landwirtschaftlichen Erzeugung; intelligenter Einsatz landwirtschaftlicher Geräte und Maschinen; Netzwerk für virtuelle landwirtschaftliche Forschung sowie rasche Steigerung der landwirtschaftlichen Produktivität, der Effizienz des Mitteleinsatzes und der Fähigkeit zur ständigen Verbesserung in der Landwirtschaft.

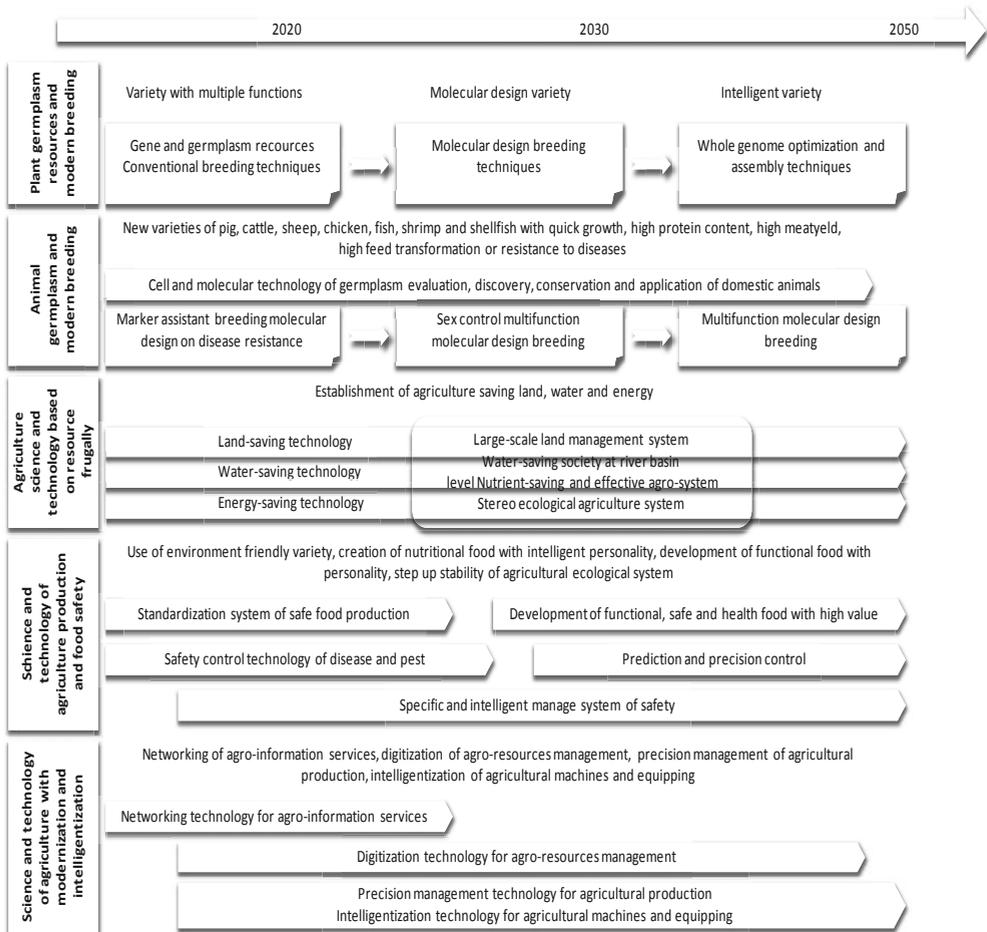


Abbildung 4.9: Roadmap 2050 zu Agrarwissenschaft und Agrartechnologie in China
Quelle: Adaptiert nach CAW (2011a), S. 41.

Dabei sollten mittelfristig (bis 2030) unter anderem folgende Aufgaben Priorität erlangen:

- die Weiterentwicklung der Molekularmarkertechnologie
- die Entwicklung von multi- und transgenetisch verbesserten Kulturpflanzen
- die gentechnische Veränderung einzelner Nutztierarten
- die Entwicklung einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Entwicklung
- die Errichtung einer Gendatenbank für Keimplasma

- die Einrichtung von Plattformen für den Austausch genetischer Ressourcen
- der Aufbau einer multifunktionalen Fachdatenbank und eines landwirtschaftlichen Auskunftsnetzes
- die Weiterentwicklung der virtuellen landwirtschaftlichen Forschung

Zur Einhaltung dieses Fahrplans für die agrarwissenschaftliche und agrartechnische Entwicklung bis zum Jahr 2050 bedürfe es weit reichender institutioneller und politischer Unterstützung. Besonders wichtig dabei seien laut den Autoren der Roadmap eine tief greifende Erneuerung der Agrarwissenschaft und der Agrartechnik in China und die Verbesserung der Voraussetzungen für agrarwissenschaftliche und agrartechnische Innovationen. Wichtig sind auch die Steigerung der Investitionen in Agrarwissenschaft und die Verbesserung der entsprechenden Gesetze und sonstigen Rechtsvorschriften (Schutz von Eigentumsrechten, Umweltschutz usw.). Auch die Bereitstellung nationaler Fördermittel zur Ausbildung und Rekrutierung erstklassiger agrarwissenschaftlicher und agrartechnischer Nachwuchskräfte sowie die Bildung innovationsfreudiger Arbeitsgruppen gehören zu den vordringlichsten Aufgaben.

Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung

Die Roadmap für das Gesundheitswesen⁷³ Chinas bis 2050 wurde durch 27 Experten vom biomedizinischen und gesundheitsbezogenen Institut der CAW ausgearbeitet und lag im Jahre 2010 als englischsprachige Übersetzung vor.

Die Roadmap skizziert Chinas Erfordernisse im Bereich der öffentlichen Gesundheit in den nächsten vierzig Jahren, definiert die wichtigsten Aufgaben und relevante Schlüsseltechnologien und legt den Wissenschafts- und Technologieleitplan Chinas für das Gesundheitswesen bis 2050 fest.

Die Autoren der Roadmap konstatieren, dass ein öffentliches Gesundheitssicherungssystem folgende Merkmale aufweisen sollte: Fokus auf Prävention und Kontrolle bedeutender chronischer Krankheiten, Wegbewegung von therapieorientierter Medizin hin zu einem medizinischen System auf der Basis prädiktiver Intervention sowie Abwendung von alleiniger Biomedizin zugunsten eines Ansatzes, der biologische, ökologische, psychologische und soziale Aspekte einbezieht. Ein erstklassiges wissenschaftliches Sicherungssystem dieser Art gewährleiste nicht nur biologische Sicherheit und Lebensmittelhygiene, sondern fördere auch eine gesunde Lebensweise.

⁷³ CAW (2010e).

Ein integriertes Vorsorgesystem sollte für den effektiven Umgang mit plötzlich auftretenden Gesundheitsrisiken und biologischen Sicherheitsfragen mit dem Ziel, die physische und mentale Gesundheit der gesamten Bevölkerung abzusichern.

Zu den weiteren Zielen gehöre die Einrichtung einer umfassenden pharmazeutischen Forschungs- und Entwicklungskette, um innovative Medikamente zu entwickeln und hochmoderne medizinische Geräte herzustellen. Auf diese Weise werde sich die Wettbewerbsfähigkeit der chinesischen Biomedizin deutlich steigern und China eine starke Position in der biomedizinischen Industrie gesichert.

Gemäß dieser allgemeinen Strategie verfolgt die Roadmap fünf Ansätze: Bevölkerungskontrolle und Fortpflanzungsmedizin; Prävention und Heilung schwerer chronischer Krankheiten; Infektionskrankheiten und Biosicherheit; Ernährung und Lebensmittelsicherheit und Biomedizinische Industrie. Für jeden dieser Ansätze erläutert die Roadmap (zusammengefasst in Tabelle 4.1) die Inhalte, Aufgaben und Ziele die bis 2050 erreicht werden sollen.

Fünf gesundheitsbezogene Ansätze

Tabelle 4.1: Inhalte und Ziele des öffentlichen Gesundheitssystems in China bis 2050.

Kategorie		bis ca. 2020	bis ca. 2030	bis ca. 2050
Bevölkerungskontrolle und Fortpflanzungsmedizin	Lebenserwartung	75	80	85
	Geburtsfehlerrate	unter 4 %	unter 2 %	unter 1 %
	Bevölkerung (in Mrd.)	ca. 1,43	ca. 1,54	ca. 1,5
Prävention und Heilung schwerer chronischer Krankheiten	Methode	Therapieorientierte Medizin	Aktive Prävention	Gesundheitsmanagement
	Effekt	Drastisch erhöhte Frühdiagnostikrate und reduzierte Sterbe- und Behindertenrate	Deutliche Reduzierung des Auftretens und Begrenzung des Fortschreitens von Krankheiten	Deutliche Altersverzögerung beim Ausbruch schwerer chronischer Krankheiten
Infektionskrankheiten und Biosicherheit	Wiederholt auftretende Infektionskrankheiten	Effektive Eingrenzung wiederholt auftretender Infektionskrankheiten in der chinesischen Bevölkerung	Deutliche Reduzierung des Auftretens, der Ausbreitung und des negativen Einflusses wiederholt auftretender Infektionskrankheiten	Eliminierung bekannter wiederholt auftretender Infektionskrankheiten
	Neu auftretende Krankheiten	Einrichtung eines Überwachungs-/Quick-Response-Systems für Vogelgrippe und andere Krankheiten	Einrichtung eines schnellen Erkennungs-/Kontrollsystems für neu auftretende Krankheiten	Einrichtung eines Abwehrsystems zur aktiven Kontrolle des Auftretens und der Verbreitung neuer Krankheiten

Ernährung und Lebensmittelsicherheit	Ernährung	Unterbindung von Mangelernährung und Verbesserung der Lebensmittelinfrastruktur	Einführung von Ernährungsstandards für die chinesische Bevölkerung und Bereitstellung neuer Arten funktioneller Lebensmittel	Popularisierung wissenschaftlicher Ernährungsmethoden
	Lebensmittelsicherheit	Einrichtung eines hochwirksamen und sorgfältigen Überwachungssystems der Lebensmittelsicherheit	Implementierung eines Sicherheitsmanagements während des gesamten Lebensmittelproduktionsprozesses	Implementierung eines Sicherheitsmanagements während des gesamten Lebensmittel-Konsumzyklus
Biomedizinische Industrie	Biomedizin	Befriedigung des öffentlichen Bedarfs an preisgünstigen Basisarzneimitteln und Entwicklung wichtiger innovativer Heilmittel	Praktische Anwendung von Gewebe- und Organregeneration und Modernisierung traditioneller chinesischer Heilmittel	Sehr hohe Wettbewerbsfähigkeit der biomedizinischen Industrie auf dem internationalen Markt
	Medizinische Ausrüstung	Abwendung von der Abhängigkeit von Importen hochwertiger medizinischer Ausrüstung	Einrichtung unabhängiger Forschungs- und Entwicklungskapazitäten im Bereich hochwertiger medizinischer Ausrüstung	Befriedigung des inländischen Bedarfs an hochwertiger medizinischer Ausrüstung

Quelle: CAW (2010a), S. 69.

Demnach solle bis circa 2020 ein transnationales Forschungssystem eingeführt werden, die Grundlagenforschungen mit klinischer Anwendungsforschung kombiniert. Bahnbrechende Erfolge erhoffe man sich im Hinblick auf neue Methoden und Techniken zur Früherkennung bedeutender chronischer Krankheiten, bei der Entwicklung einer neuen Technologie zur Bevölkerungskontrolle sowie in Bezug auf eine Prüftechnik im Bereich der Fortpflanzungsmedizin. Zugunsten einer schnellen, übertragbaren und sorgfältigen Prüftechnik im Bereich der Lebensmittelsicherheit könne eine technische und diagnostische Plattform für Schnelltests auf übliche sowie neu auftretende Infektionskrankheiten eingerichtet werden.⁷⁴

Bis circa 2030 gelte es, Durchbrüche im Bereich transgener und somatischer Klontechniken bei großen Tieren, bei der Reproduktionstechnologie für menschliche Organe, die von anderen Spezies produziert und für

⁷⁴ Auch sei die Öffnung zum Westen ein Schritt, um einen Durchbruch im Bereich umfangreicher Stammzellenzüchtung und gezielter Differenzierungstechnologie zu erreichen. Hier werde auch die Öffnung zum Westen einen nicht unwesentlichen Vorteil darstellen.

Organtransplantationen genutzt werden, und bei der Interventionstechnologie im Bereich der Fortpflanzungsmedizin zu erzielen.⁷⁵

Es sollen neue Technologien bei der personalisierten Arzneitherapie entwickelt und bahnbrechende Erfolge im Bereich moderner Biotechnologie auf der Basis synthetischer Biologie erzielt werden.

Bis circa 2050 müsse ein umfangreiches medizinisches System aufgebaut werden, das biologische, ökologische, psychologische und soziale Aspekte umfasse. Hierbei sollten in Bezug auf Molekularmarker bei neurologischen und geistigen Krankheiten sowie im Bereich funktionaler Bildtechnik deutliche Fortschritte erzielt werden. Zudem gelte es, ein biomedizinisches System der neuen Generation zu etablieren, das fortschrittliche Instrumentationstechnologie, nano-biomedizinische Technologie, minimalinvasive Technologien und Kombinationen medikamentöser Instrumentation umfasst.

Nachhaltigkeit und Umwelt

Zum Bereich Nachhaltigkeit und Umwelt und Ressourcenknappheit wurden vier selbstständige Roadmaps angefertigt:

1. Roadmap 2050 zu Chinas Umweltwissenschaften und -technologien
2. Roadmap 2050 zu Chinas nachwachsenden Rohstoffen (Biomasse)
3. Roadmap 2050 für Chinas Wasserwirtschaft
4. Roadmap 2050 zu den Bodenschätzen Chinas

Vier selbstständige Roadmaps im Bereich Nachhaltigkeit und Umwelt

*Roadmap 2050 zu Chinas Umweltwissenschaften und -technologien*⁷⁶

Die Roadmap zu Chinas Umweltwissenschaften und -technologien wurde in insgesamt fünf Symposien durch verschiedene Forschergruppen entwickelt und lag im Jahre 2010 als englischsprachige Übersetzung vor.

Sie prognostiziert die sozialen und wirtschaftlichen Entwicklungstrends in den kommenden 40 Jahren und definiert vier wesentliche Forschungsfelder für Chinas Umweltwissenschaften und -technologien (vgl. Abbildung 4.10):

1. der globale Klimawandel und der zugehörige ökologische Prozess

⁷⁵ Bereitstellung neuer Technologien für pharmazeutische und ernährungswissenschaftliche Interventionen im Hinblick auf das Auftreten bedeutender chronischer Krankheiten; hochmoderne Labore für biologische Sicherheit, ein Labornetzwerk für Normkontrollen und ein fortschrittliches Überwachungssystem für Lebensmittelsicherheit.

⁷⁶ CAW (2011f).

Vier wesentliche
Forschungsfelder für
Chinas Umweltwissen-
schaften und
-technologien

2. Fluss und Umweltqualität (der biologisch-geochemische Zusammenhang zwischen Land/ Fluss/ Küste)
3. Urbanisierung und Umweltqualität (Kontrolle und Beseitigung von Umweltverschmutzung)
4. Biodiversität und die Wiederherstellung des geschädigten Ökosystems durch biologische Vielfalt

Zu den Zielsetzungen bis 2020 zählt laut Roadmap die Problemlösung in Bereichen wie Energieeinsparung und Emissionsreduzierung sowie die Kontrolle von Umweltverschmutzung. Auch der Erhalt der biologischen Vielfalt; die Beurteilung anfälliger Ökosysteme, das Ökosystemmanagement und die Erforschung komplexer Verschmutzungsmechanismen sind von Bedeutung.

Ziel bis 2030 sei darüber hinaus die Teilhabe an globalen Forschungsinitiativen zum Wiederaufbau beeinträchtigter Ökosysteme sowie an internationalen Verhandlungen zum Wiederaufbau beeinträchtigter Ökosysteme.

Bis 2050 sollten gemäß Roadmap zusätzlich die Verursachungsmechanismen verschiedener Katastrophen, Umwelterkrankungen und Stoffzyklen von Ökosystemen erklärt werden können und technologische Durchbrüche zur Erschließung neuer Energien gelungen sein.

Die **vordringliche Aufgabe für die nächsten 10 bis 40 Jahre** werde demnach darin liegen, solide Plattformen mit internationalem Niveau aufzubauen, die das Management von Umweltüberwachung, Risiken, Katastrophen und Notfällen ermöglichen.

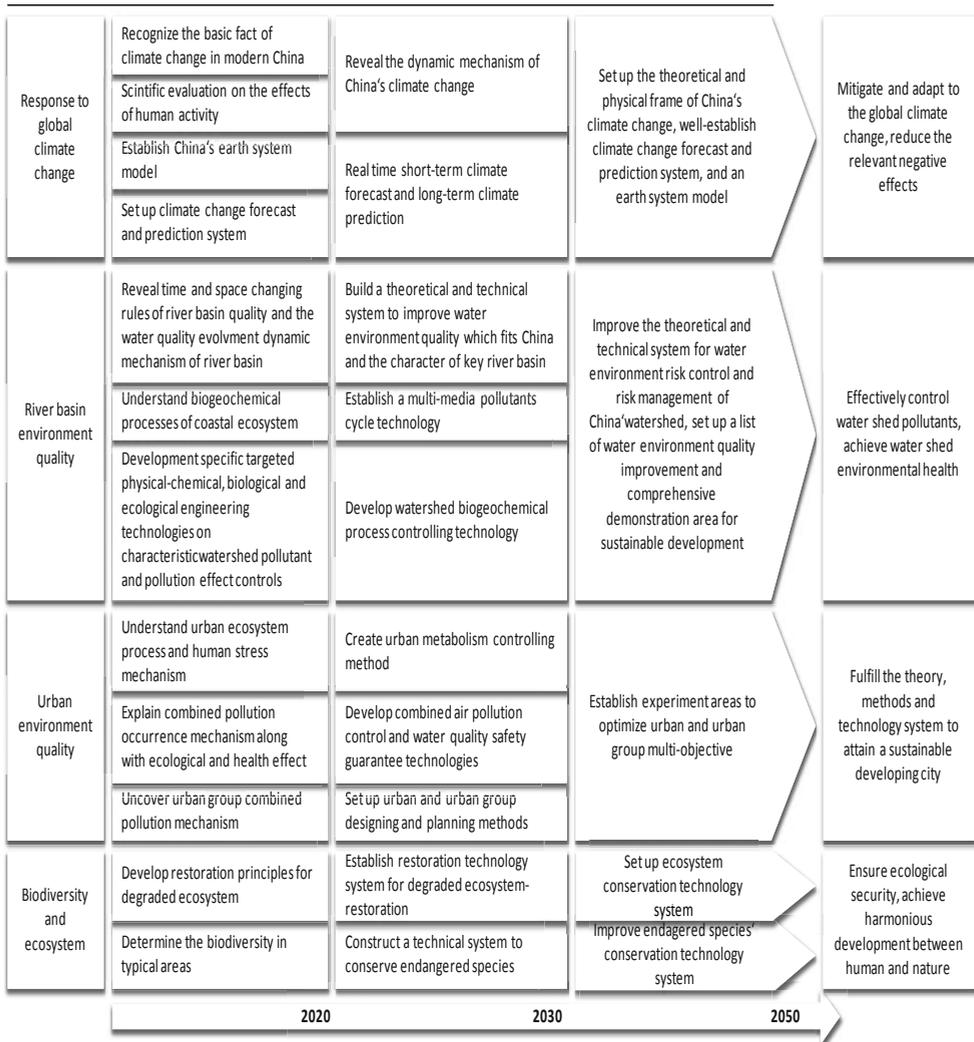


Abbildung 4.10: Chinas Roadmap 2050 ökologische und umweltbezogene Wissenschaft und Technologie.

Quelle: Adaptiert nach CAW (2011f), S. 146.

Roadmap 2050 zu Chinas nachwachsenden Rohstoffen (Biomasse)⁷⁷

Der Grundgedanke der 2009 fertiggestellten Roadmap für nachwachsende Rohstoffe war es, ein systematisches Verständnis zu schaffen für:

- Ressourcen für biologische Materialien, biologische Funktionen, Gene und biologische Intelligenz;

⁷⁷ CAW (2010f).

- die strategische Umsetzung einer umfassenden, bedarfsorientierten Forschung durch die Festlegung grundsätzlicher Forschungsziele;
- die zukunftsweisende Entwicklung systematischer biologischer Theorien und angewandter Technologien in den Biowissenschaften;
- die Entwicklung neuer Ansätze für die Erforschung und Nutzung von Bioressourcen;
- Schaffung einer soliden wissenschaftlichen Basis für nachhaltige zukünftige Entwicklungen im Bereich neue Energien und Materialien, Landwirtschaft, Ernährung, Gesundheitswesen und Umweltschutz.

Abgrenzung zu den Roadmaps „Gesundheitswesen“ und „Moderne Landwirtschaft“

In Abgrenzung zu den Roadmaps „Gesundheitswesen“ und „Moderne Landwirtschaft“ konzentrieren sich die Autoren dieser Roadmap auf folgende sechs Aspekte:

1. Mechanismen der Photosynthese
2. Energie aus Biomasse
3. Nutzung und Anwendung mikrobieller Ressourcen
4. Innovationssystem für die strategische Nutzung biologischer Ressourcen
5. Gene und Genomressourcen
6. Biomimetische und bioinspirierte Wissenschaft und Technologie

Sechs Hauptaspekte, u.a. Mechanismen der Photosynthese und Energie aus Biomasse

Chinas Energiesystem müsse durch breitere Verwendung erneuerbarer Energien und auf Grundlage einheimischer Ressourcen für nachwachsende Rohstoffe aufgebaut werden.

Die Autoren der Roadmap prognostizieren eine zunehmende Bedeutung des Verständnisses der Mechanismen der Photosynthese sowie der Erforschung und Nutzung hocheffizienter Bioressourcen.⁷⁸

Die Optimierung des Pflanzenanbaus im großen Maßstab und ein System zur Energiepflanzenproduktion und -verarbeitung seien wichtige zukünftige nationale Aufgaben, um die Qualität der Energie aus Biomasse zu verbessern und so eine breite kommerzielle Anwendung dieser Energie zu erreichen.

⁷⁸ Mechanismen der Photosynthese; Erforschung und Verbesserung von energieliefernden Baum-, Gras- und Algenarten mit hoher Effizienz der Photosynthese; Erhöhung der Photosynthese-Effizienz und des Fettsäuregehalts von Ölpflanzen; Wissenschaftliche Grundlage und industrielle Anwendung der Wasserstoffproduktion durch Photosynthese von Algen; Bionische Photosyntheseforschung, FuE von Solarzellen.

Mikrobielle Ressourcen seien von fundamentaler Bedeutung für die menschliche Existenz, von der Präventivmedizin bis hin zur Lebensmittelwissenschaft beruhten alle Erkenntnisse auf mikrobiellen Ressourcen. Daher sollte laut der Roadmap Chinas Schwerpunkt auf die Entwicklung in folgenden Bereichen gelegt werden:

Nutzung und Anwendung mikrobieller Ressourcen

- Ethanolproduktion aus Zellulose
- Biophotolytische Wasserstoffproduktion
- Umweltsanierung
- Kohlenstoffkreislauf und -bindung
- Hocheffiziente physikalisch-biochemische Umwandlung von landwirtschaftlichen Abfallprodukten
- Recycling- und Produktionskettensystem

Weil biologische Ressourcen weltweit die wichtigsten erneuerbaren Ressourcen sind, sei es wichtig, durch ein Innovationssystem die wissenschaftliche Forschung über deren Vorkommen in China zu verstärken, deren Nutzung zu fördern sowie die Nachhaltigkeit der Ressourcen Chinas für Bioenergie, Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Gesundheit zu gewährleisten.

Innovationssystem für die strategische Nutzung biologischer Ressourcen

Auf Basis der Entwicklungstrends in Genomik und Gentechnologie sollten sich die zukünftigen Bemühungen Chinas – so die Roadmap – auf die Erforschung der Genomressourcen, das molekulare Design von Biokraftstoffen sowie auf die theoretische und angewandte Systembiologie konzentrieren.

China sollte in Zukunft noch stärker von der Natur lernen, sich inspirieren lassen und **bioinspirierte Technologien** so gut wie möglich nutzen, um Methoden und Ansätze für das Design und die Konstruktion neuartiger technischer Geräte zu entwickeln. Auch die Integration von Nanotechnologie, Biowissenschaften, Informatik, Hirnforschung und Kognitionswissenschaft spiele hier eine vorrangige Rolle.

Biomimetische und bioinspirierte Wissenschaft und Technologie

Roadmap 2050 für Chinas Wasserwirtschaft⁷⁹

Die Arbeit für die Roadmap 2050 zu Chinas Wasserwirtschaft startete im November 2007 mit einem Team von 22 CAW Instituten und wurde durch Vorlage des Abschlussberichts Ende 2009 fertiggestellt. Die englischsprachige Übersetzung lag 2012 vor.

Wie in Abbildung 4.11 dargestellt setzt der Bericht in folgenden Bereichen den Schwerpunkt der Untersuchung:

- Wasserressourcen

⁷⁹ CAW (2012b).

Fünf Schwerpunkte

- Wasserumwelt
- Wasserökologie
- Flutkatastrophen
- Wassermanagement

Die Roadmap prognostiziert bis ca. 2020 eine höhere Nutzungseffizienz der Wasserressourcen und bessere Wasserqualität; bessere Problemlösungsstrategien bei der Verschmutzung von Flüssen und des Grundwassers; den technologischen Durchbruch auf Gebieten des Wasserrecyclings; die Frühwarnung vor Wasserkatastrophen und ein Wasserbedarfsmanagement- und Informationssystem. Die Autoren der Roadmap empfehlen den Aufbau von integrierten Plattformen für die Überwachung und Bewertung der Wasserqualität und -quantität:

Bis ca. 2030 sei es – laut Roadmap – möglich, den technologischen Durchbruch für die Kontrolle und Steuerung des Flussablaufwassers zur rationellen Bewirtschaftung zu erzielen. Ein System für das Wasserbedarfsmanagement sei hierfür unabdingbar.

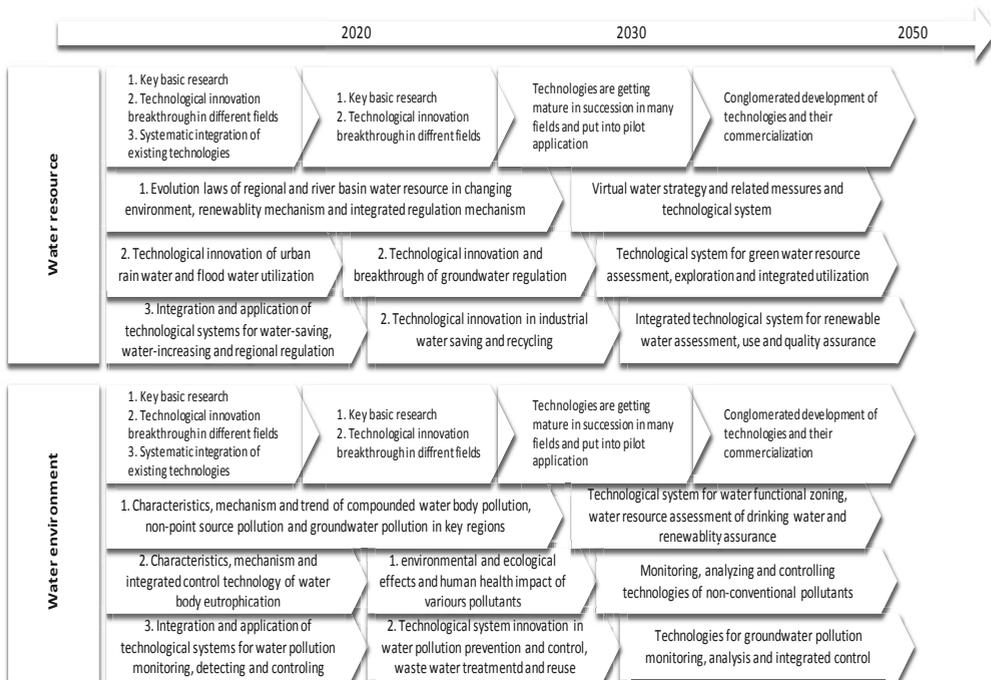


Abbildung 4.11: Roadmap bis 2050 für Chinas Wasserwissenschafts- und Wassertechnologientwicklung.

Quelle: Adaptiert nach CAW (2012b), S. 57.

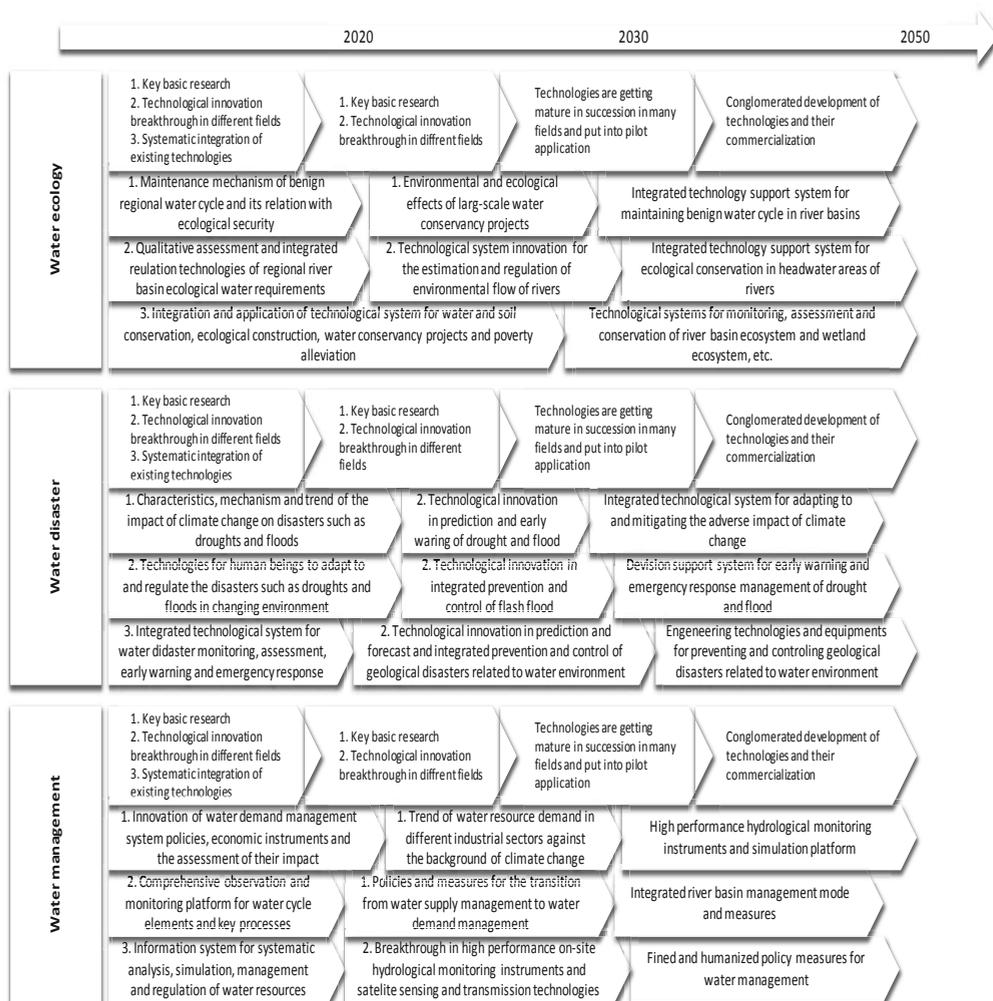


Abbildung 4.11 (Fortsetzung): Roadmap bis 2050 für Chinas Wasserwissenschafts- und Wassertechnologieentwicklung.
Quelle: Adaptiert nach CAW (2012b), S. 57.

Etwa bis zum Jahre 2050 könnten, so die Roadmap, wissenschaftliche Fragen des Wasserzyklus vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels zu lösen sein. Hinsichtlich der Recyclingrate der Industrierwassernutzung, der Nutzungsrate des landwirtschaftlich genutzten Wassers, der städtischen Abwasseraufbereitungsrate und der Gesamtwasserversorgung könnten laut der Autoren folgende Ziele bis 2050 schrittweise erreicht werden:

Bis...	Recyclingrate der Industrie-wassernutzung	Nutzungsrate des landwirtschaftlich genutzten Wassers	Städtische Abwasser-aufberei-tungsrate	Gesamt-wasserversorgung
...2020	50 %	65 %	80 %	600 Milliarden m ³
...2030	65 %	75 %	90 %	650 Milliarden m ³
...2050	85 %	85 %	100 %	550 Milliarden m ³

Roadmap 2050 zu den Bodenschätzen Chinas⁸⁰

Die Roadmap 2050 zur wissenschaftlichen und technologischen Entwicklung fester Bodenschätze in China wurde zwischen 2007 und 2009 durch ein Team der CAW erarbeitet und lag 2011 in englischsprachiger Übersetzung vor.

Die Autoren der Roadmap sehen die vordringlichste Aufgabe darin, ein klares Verständnis der metallogenetischen Gesetzmäßigkeiten zu erlangen und technische Durchbrüche in der Verwertung von Metallabfall zur Verbesserung des ökologischen Umfelds in China zu erlangen.

Wie in Abbildung 4.12 dargestellt, solle **bis Ende 2020** der Ausschöpfungsgrad der Bodenschätze 45 % erreichen und das Verhältnis von rückgewonnenen Ressourcen zum Gesamtverbrauch der Hauptbodenschätze zwischen 20 % und 40 % liegen. Das ökologische Umfeld von 45 % aller stillgelegten Minen solle wieder nutzbar sein und das Umfeld von 30 % der schadstoffbelasteten Minengebiete solle saniert werden. Die Landgewinnung in neu errichteten Bergwerken solle 100 % betragen.

Zwischen 2020 und 2030 sei notwendig, das ökologische Umfeld historischer, stillgelegter Bergwerke grundlegend zu sanieren und Umweltverschmutzungen grundsätzlich zu kontrollieren. Der Ausschöpfungsgrad der Bodenschätze solle 60 % erreichen und das Verhältnis von alternativen Ressourcen zum Gesamtverbrauch an Bodenschätzen sollte zwischen 30 % und 50 % liegen. Das ökologische Umfeld von 65 % aller stillgelegten Minen solle wieder nutzbar und 30 % der schadstoffbelastete Minengebiete saniert werden.

Zwischen 2030 und 2050 sei es wünschenswert, Durchbrüche bei Substitutionstechniken für wichtige metallische Werkstoffe durch Keramikfasern zu erzielen und ein nachhaltiges System zur Nutzung von Bodenschätzen aufzubauen, um die koordinierte Entwicklung zwischen der Erschließung und der Nutzung von Bodenschätzen und dem Aufbau des ökologischen Umfelds in China sicherzustellen. Der Ausschöpfungsgrad der Bodenschätze solle bis dahin 80 % erreichen und das Verhältnis von alternativen Ressourcen zum Gesamtverbrauch an Bodenschätzen sollte zwischen 40 % und 80 % liegen.

Aufbau des
ökologischen Umfelds
in China

⁸⁰ CAW (2011g).

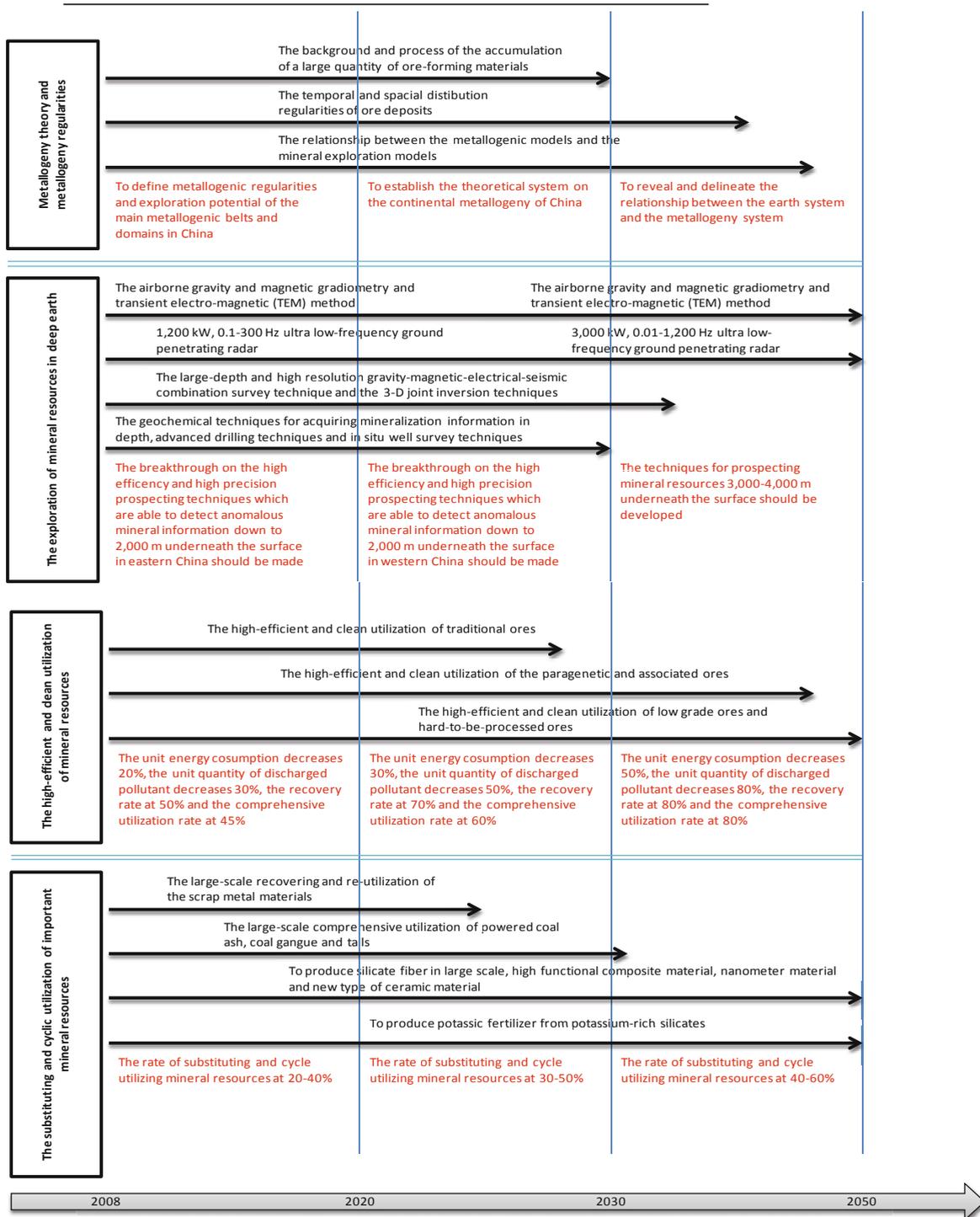


Abbildung 4.12: Roadmap 2050 zur Erforschung der Bodenschätze in China.

Quelle: Adaptiert nach CAW (2011g), S. 12.

Verteidigung und Sicherheit

Zwei der zweiundzwanzig Wissenschafts- und Technologieinitiativen des strategischen Gesamtberichtes (Strategic General Report) der chinesischen Akademie der Wissenschaften haben strategische Bedeutung für Chinas **nationale und öffentliche Sicherheit**⁸¹. Konkrete Aussagen zur zukünftigen Ausgestaltung dieses Technologiefeldes werden allerdings nicht gemacht.

Dienstleistungen

Dieser Bereich wird in den Chinesischen Roadmaps 2050 nicht behandelt.

⁸¹ „Space Situation Awareness Network (SSAN)“ und „Social Computing & Parallel Management Systems (PMS)“.

4.2 Frankreich

4.2.1 Nationales Innovationssystem

Das französische Forschungs- und Innovationssystem ist das zweitgrößte in Europa.⁸² Zwischen 2005 und 2010 wurden tiefgreifende strukturelle Reformen durchgeführt, mit dem Ziel, die Konkurrenzfähigkeit des französischen Forschungs- und Innovationssystems und somit die Effizienz und Sichtbarkeit der französischen Forschung zu steigern.⁸³ Wesentliche Elemente dieser Reformen sind:

Zweitgrößtes NIS in Europa

- das 2006 verabschiedete Forschungsprogrammgesetz⁸⁴, das auf die Stärkung der Strategieorientierung und effizientere Evaluierung der französischen Forschung abzielt. Im Zuge dieses Gesetzes wurden u. a. das Beratungsgremium Oberster Rat für Wissenschaft und Technologie (**Haut Conseil de la Science et de la Technologie, HCST**) und die Agentur zur Evaluierung von Forschung und Bildung (**Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur, AERES**)⁸⁵ gegründet. Ebenfalls im Rahmen dieses Gesetzes wurden neue Instrumente geschaffen, um die Kooperationen zwischen Forschungseinrichtungen des öffentlichen Sektors zu intensivieren: Ziel der neu geschaffenen **Pôles de recherche et d'enseignement supérieur (PRES)**, der **Réseaux thématiques de recherche avancée (RTRA)** und – im Bereich der medizinischen Forschung – der **Centres et réseaux thématiques de recherche et de soins (CRTS / RTRS)** ist es, Kompetenzen, Ressourcen und Aktivitäten der Netzwerkmitglieder zu bündeln, um sowohl eine kritische Masse in der Forschung zu spezifischen Themen aufzubauen als auch die internationale Sichtbarkeit der Forschung zu erhöhen.⁸⁶
- das 2007 verabschiedete „Hochschulfreiheitsgesetz“⁸⁷, das zur Aufwertung der Hochschulforschung beitragen sollte und im Rahmen dessen Umsetzung alle 83 Universitäten des Landes bis 2012 autonom werden sollten – bezüglich ihrer Personalpolitik aber auch der Definition von Forschungs- und Bildungsschwerpunkten. Laut aktuellen Angaben des Ministeriums für Hoch-

Zahlreiche strukturelle Reformen in den letzten Jahren

Zwei wesentliche Gesetze

⁸² OECD (2012).

⁸³ Holtmannspötter, D. et al. (2010).

⁸⁴ „Loi de programme pour la recherche“, Gesetz No. 2006-450, 18.04.06.

⁸⁵ www.aeres-evaluation.fr/.

⁸⁶ MESR (2013); Internationales Büro des BMBF (2012d); Internationales Büro des BMBF (2012e).

⁸⁷ „Loi relative aux libertés et aux responsabilités des universités“ (Gesetz No. 2007-1199, 10.08.07).

Nationale
Forschungs- und
Innovationsstrategie

Programm „Zukunfts-
investitionen“

schulbildung und Forschung (MESR) waren bis zum 01.01.2011 tatsächlich 90 % aller Universitäten autonom geworden.⁸⁸

- die 2009 veröffentlichte nationale Forschungs- und Innovationsstrategie (Stratégie nationale de recherche et d'innovation, SNRI)⁸⁹, die für den Zeitraum 2009-2013 Grundlage der französischen Forschungs- und Innovationspolitik ist. Die SNRI umfasst die 3 Forschungsprioritäten Gesundheit, Ernährung & Biotechnologie; Umwelt, Energie & Verkehr sowie Informations- und Kommunikationstechnologien & Nanotechnologien.⁹⁰
- die 2010 gestartete Programminitiative für Spitzenforschung im Rahmen des Programms „Zukunftsinvestitionen“ (Investissements d'avenir)⁹¹, das mit ca. 21 Milliarden EUR Bildung sowie Forschungs- und Innovationsaktivitäten – sowohl im öffentlichen als auch im privaten Bereich – insbesondere in den Bereichen Nachhaltigkeit, IuK-Technologien, Biotechnologien und Kernenergie fördern soll.⁹²
- der 2009-2010 einberufene Industriegipfel (États généraux de l'industrie), im Rahmen dessen Maßnahmen zur Bekämpfung der Schwächen der französischen Industrie hergeleitet und seitdem z. T. implementiert wurden.⁹³

Die Abbildung 4.13 gibt eine schematische Darstellung des nationalen Forschungs- und Innovationssystems wieder.⁹⁴ Zwei Ministerien teilen sich die Zuständigkeiten für die Forschungs- und Innovationspolitik⁹⁵

Gestaltung der
nationalen
Forschungspolitik

- Das **Ministerium für Hochschulbildung und Forschung** (Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche MESR)⁹⁶ und insbesondere seine Generaldirektion für Forschung und Innovation (Direction générale de la recherche et de l'innovation, DGRI)⁹⁷ sind für die Kohärenz und Qualität des französischen Forschungs- und Innovationssystems, die Gestaltung der nationalen Forschungspolitik sowie die Definition der For-

⁸⁸ MESR (2012a).

⁸⁹ MESR (2012b).

⁹⁰ Französische Botschaft in Deutschland (2012a).

⁹¹ Französische Botschaft in Deutschland (2012b).

⁹² MESR (2012c); Internationales Büro des BMBF (2012f).

⁹³ Zaparucha, E.; Muths, A.-G. (2011).

⁹⁴ Die folgende Darstellung und Beschreibung des französischen Forschungs- und Innovationssystems baut auf den entsprechenden Ausführungen in Holtmannspöter, D. et al. (2010) auf und aktualisiert sie.

⁹⁵ Eparvier, P. et al. (2012).

⁹⁶ www.enseignementsup-recherche.gouv.fr.

⁹⁷ <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid24148/direction-generale-pour-la-recherche-et-l-innovation-d.g.r.i.html>.

schungsschwerpunkte von Hochschuleinrichtungen zuständig. Darüber hinaus trägt die DGRI zur Gestaltung der industriellen Forschungs- und Innovationspolitik bei.⁹⁸

- Das **Ministerium für die Belebung der Produktion** (Ministère du redressement productif)⁹⁹ ist für die Definition und Gestaltung der Innovationspolitik für Industrie- und Dienstleistungsbereiche sowie die Förderung der digitalen Wirtschaft zuständig.¹⁰⁰ Die diesem Ministerium untergeordnete Generaldirektion für Wettbewerb, Industrie und Dienstleistungen (**Direction générale de la compétitivité, de l'industrie et des services, DGCIS**)^{101,102} widmet sich der Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit von Industrie- und Dienstleistungsunternehmen, was insbesondere die Förderung von (technologischer) Innovation einschließt.¹⁰³

Gestaltung der
Innovationspolitik

Das Ministerium für Hochschulbildung und Forschung und die DGRI werden von verschiedenen Beratungsgremien unterstützt, insbesondere dem Obersten Rat für Wissenschaft und Technologie (**Haut Conseil de la Science et de la Technologie, HCST**) sowie dem Höheren Rat für Forschung und Technologie (**Conseil supérieur de la recherche et de la technologie**)¹⁰⁴.

Beratungsgremien

Unter der Federführung des MSER werden im Herbst jedes Jahres alle einschlägigen staatlichen Forschungsprogramme im zivilen Bereich in einem Programmblock der „Mission interministérielle de recherche et de l'enseignement supérieur“ (**MIRES**)¹⁰⁵ – der sich aus 10 Programmen zusammensetzt und an dem insgesamt sechs Ressorts¹⁰⁶ beteiligt sind¹⁰⁷, vom Ministerrat verabschiedet und dem Parlament als Annex zum Haushaltsgesetz des folgenden Jahres zur Beratung und Beschlussfassung des

⁹⁸ MESR (2009).

⁹⁹ <http://www.redressement-productif.gouv.fr/>.

¹⁰⁰ MRP (2012).

¹⁰¹ <http://www.dgcis.redressement-productif.gouv.fr/>.

¹⁰² Die DGCIS war bis Mai 2012 und der Regierungsbildung unter dem neu gewählten Staatspräsidenten François Hollande dem bis dahin existierenden Ministerium für Wirtschaft, Finanzen und Industrie untergeordnet. Seit Mai 2012 liegt die Industriepolitik im Zuständigkeitsressort des neu gegründeten Ministeriums für die Belebung der Produktion.

¹⁰³ DGCIS (2013).

¹⁰⁴ <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid66176/le-conseil-superieur-de-la-recherche-et-de-la-technologie-c.s.r.t.html>.

¹⁰⁵ <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid61606/la-mission-interministerielle-recherche-et-enseignement-superieur-mires.html>.

¹⁰⁶ Neben dem MESR sind folgende Ressorts involviert: Ministerium für Ökologie, Nachhaltigkeit und Energie; Ministerium für Wirtschaft und Finanzen; Ministerium für Land-, Ernährungs- und Forstwirtschaft; Verteidigungsministerium; Ministerium für Kultur und Kommunikation.

¹⁰⁷ MESR (2012d).

Haushaltes zugeleitet.¹⁰⁸ In den letzten Jahren sind Steigerungen des für Hochschulbildung und Forschung vorgesehenen Budgets um ca. 2 % p. a. beschlossen worden.¹⁰⁹ Eine weitere nennenswerte Fördermaßnahmen für Forschung und Entwicklung stellen die steuerlichen Entlastungen in Form des „Crédit d’impôt recherche“¹¹⁰, der international wichtigsten steuerlichen Förderung von FuE-Aufwendungen in der Privatwirtschaft.¹¹¹

Umsetzung der
Forschungs- und
Innovationspolitik

Für die Umsetzung der Forschungs- und Innovationspolitik sind die Forschungsinstitutionen (Hochschulen, öffentliche Forschungsinstitutionen, etc.) sowie die zwei Haupt-Förderagenturen ANR und OSEO zuständig, bei denen jeweils das MESR und die DGCIS eine Aufsichtsfunktion haben¹¹²

- Aufgabe der 2005 gegründeten **Nationalen Agentur für Forschung (ANR)**¹¹³ ist die (Projekt-)Förderung der Grundlagen- und anwendungsorientierten Forschung sowie des Innovations- und Technologietransfers, unter anderem durch die Unterstützung von Public-Private-Partnerships.¹¹⁴ Die Projekte werden dabei im Rahmen von thematisch gebundenen Ausschreibungen in Absprache mit der Staatsregierung ausgewählt; ein signifikanter Anteil der Fördermittel ist aber auch für thematisch nicht gebundene Projekte reserviert. Die ANR nimmt die Funktion wahr, die in Deutschland die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) bzw. Fachressorts für ihren jeweiligen Zuständigkeitsbereich ausüben.¹¹⁵
- Die **Agentur OSEO**¹¹⁶ fördert Forschungs- und Innovationsaktivitäten in der Privatwirtschaft, insbesondere bei KMU sowie den (technologischen) Innovationstransfer.¹¹⁷ Das MESR und die DGCIS haben bei OSEO eine Aufsichtsfunktion.

Neben den Hauptagenturen ANR und OSEO für die Förderung von Forschung und Innovation werden Innovationsaktivitäten je nach Thema auch von weiteren Agenturen gefördert, etwa im Umwelt- und Energiebereich insbesondere von der **Agentur für Umwelt- und Energiewirt-**

¹⁰⁸ MIRES (2012).

¹⁰⁹ MESR (2012f); Internationales Büro des BMBF (2012f).

¹¹⁰ MESR (2007).

¹¹¹ Internationales Büro des BMBF (2012f).

¹¹² Zaparucha, E.; Muths, A.-G. (2011).

¹¹³ www.agence-nationale-recherche.fr.

¹¹⁴ Eparvier, P. et al. (2012).

¹¹⁵ Internationales Büro des BMBF (2012d).

¹¹⁶ www.oseo.fr.

¹¹⁷ Zaparucha, E., Muths, A.-G. (2011).

schaft **ADEME** (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie ADEME)^{118 119}.

Die **Agentur für Bewertung der Forschung und der Hochschullehre (AERES)**¹²⁰ trägt zur Transparenz und Unabhängigkeit der Forschungsevaluierung bei. Die Aufgabe der AERES, die als unabhängige Behörde konzipiert ist, ist die systematische und kontinuierliche Evaluierung aller Hochschul- und Forschungseinrichtungen (einschließlich der ANR). Die von der AERES angewandten Evaluierungsverfahren und die daraus resultierenden Ergebnisse werden systematisch auf ihren Internetseiten veröffentlicht. Die wichtigsten bei den Evaluierungen gewonnenen Erfahrungen sowie die daraus gezogenen Konsequenzen werden in einem jährlichen Bericht herausgearbeitet und dem MESR sowie dem **Parlamentarischen Amt für Bewertung der wissenschaftlichen und technologischen Entscheidungen (OPECST)**¹²¹ zurückgespielt.¹²²

Kontinuierliche
Evaluierung aller
Hochschul- und
Forschungs-
einrichtungen

Forschungskooperationen zwischen öffentlichen Forschungseinrichtungen und Unternehmen sowie privaten Forschungsinstituten werden u. a. im Rahmen der „Pôles de compétitivité“ und der „Carnot-Institute“ gefördert:

- Die „**Pôles de compétitivité**“¹²³ sind ein 2005 eingeführtes Instrument der Innovationsförderung, das den deutschen BMBF-Kompetenzzentren und -netzen sehr ähnelt. Sie stellen Exzellenzcluster dar, die Unternehmen, Forschungslaboratorien und Ausbildungseinrichtungen an einem bestimmten Standort zusammenbringen¹²⁴, um Synergien und Kooperationen bei Innovations- und Forschungsaktivitäten zu fördern. Mit verschiedenen Maßnahmen – sowohl auf nationaler als auch auf regionaler Ebene – werden die „Pôles“ öffentlich gefördert.¹²⁵ In der kürzlich angelaufenen dritten Phase der Förderung der „Pôles de compétitivité“ soll ein Schwerpunkt auf der Unterstützung innovativer KMU bei der Vermarktung innovativer Produkte, bei der Internationalisierungsstrategie sowie bei der Kompetenzentwicklung liegen.¹²⁶

Öffentlich-private
Forschungs-
kooperationen

¹¹⁸ www.ademe.fr.

¹¹⁹ Zaparucha, E., Muths, A.-G. (2011); Eparvier, P. et al. (2012).

¹²⁰ „Agence d'Évaluation de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur“ (AERES): www.aeres-evaluation.fr/.

¹²¹ „Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques“ (OPECST): www.senat.fr/opecest.

¹²² Holtmannspötter, D. et al. (2010). Internationales Büro des BMBF (2012f).

¹²³ <http://www.competitivite.gouv.fr/>.

¹²⁴ Andere Partner, wie z. B. Behörden, Gemeinden und Regierungsbehörden sowie Dienstleistungsunternehmen, die von den Mitgliedern der „Pôles“ in Anspruch genommen werden, sind ebenfalls angeschlossen.

¹²⁵ Holtmannspötter, D. et al. (2010) und darin enthaltenen Referenzen.

¹²⁶ Portail du gouvernement (2013).

- Das **Carnot-Netzwerk**¹²⁷ vereint – ähnlich der Fraunhofer-Gesellschaft – unter dem Namen „**Carnot-Institute**“ ausgewählte von der ANR geförderte öffentliche Forschungsinstitute, die Forschungsaktivitäten in Verbundprojekten mit Unternehmen durchführen und den Technologietransfer von der Forschung in die Praxis fördern. Die Carnot-Institute decken eine Vielzahl technischer Disziplinen ab, unter anderem Mikro- und Nanotechnologien, Informations- und Kommunikationstechnologie, Ökosysteme und Geowissenschaften, Energie, Materialien und Mechanik, Chemie und Life Sciences.¹²⁸

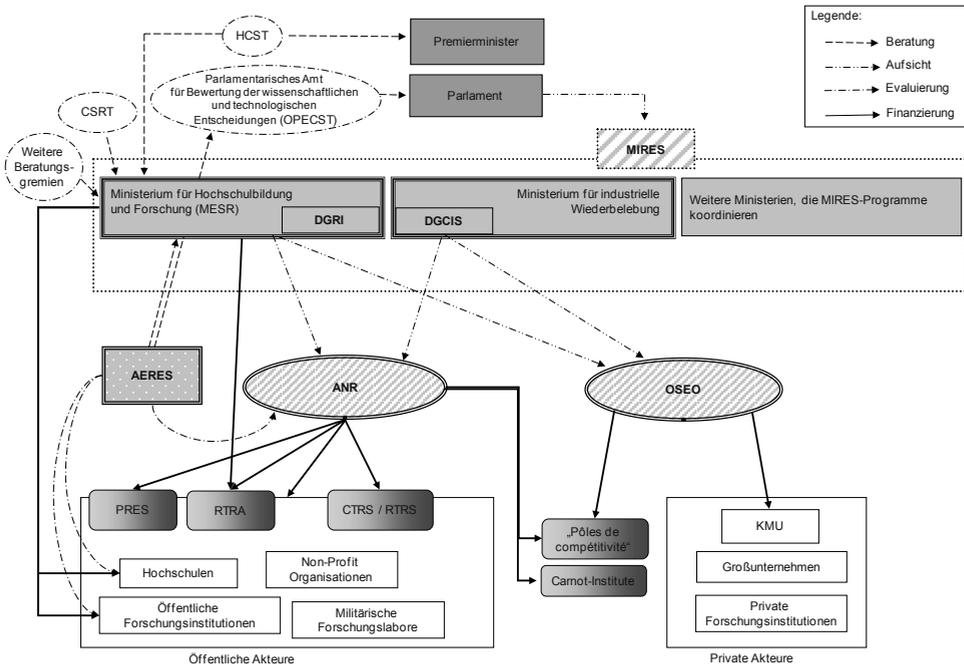


Abbildung 4.13: Nationales Forschungs- und Innovationssystem Frankreichs.
 Quelle: Adaptiert nach Holtmannspötter, D. et al. (2010).

¹²⁷ <http://instituts-carnot.eu/>.

¹²⁸ Holtmannspötter, D. et al. (2010) und darin enthaltene Referenzen.

4.2.2 Aktivitäten im Bereich Technologieprognosen

Vorausschau-Aktivitäten als Instrument der politischen Strategieplanung – sowohl auf nationaler als auch auf regionaler Ebene – weisen in Frankreich eine lange Tradition auf, die auf die Nachkriegszeit und insbesondere auf die zu dieser Zeit durchgeführten Zukunftsstudien des damaligen Plankommissariats („Commissariat général du Plan“)¹²⁹ zurückgeht. Seit den 60er Jahren bauen diverse französische Ministerien sowie weitere interministerielle Behörden wie die Raumordnungsbehörde DATAR¹³⁰ auf zukunftsgerichteten Studien als Instrument zur Unterstützung der Entscheidungsfindung auf.¹³¹ Allerdings weisen diese Studien nicht unbedingt einen technologischen Fokus auf.

Erst seit Mitte der 90er Jahre gewinnen Vorausschau-Aktivitäten mit ausdrücklich technologischem Fokus vor dem Hintergrund der steigenden Bedeutung technologischer Entwicklungen für die nationale Wirtschaft eine größere politische Bedeutung. So führt das für Industrie zuständige Ministerium seit 1995 in regelmäßigen Abständen Studien zur Identifizierung von Schlüsseltechnologien durch, die zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der französischen Industrie beitragen können. Die erste dieser Studien, „100 technologies clés pour l’industrie française à l’horizon 2000“, wurde 1995 veröffentlicht. Aktualisiert wurde diese Studie 2000 (Technologies-Clés 2005) und 2006 (Technologies-Clés 2010).¹³² Schließlich erschien im Frühjahr 2011 die Studie „Technologies-Clés 2015“, die im Folgenden analysiert wird.

Eine weitere wichtige national angelegte Vorausschau-Studie mit technologischem Bezug aus den letzten Jahren stellt die unter der Aufsicht des Zentrums für strategische Analyse¹³³ durchgeführte und 2009 veröffentlichte Studie „France 2025“¹³⁴ dar. Diese Studie wurde 2010 in einer früheren Meta-Studie über internationale Technologieprognosen durch die VDI Technologiezentrum GmbH analysiert.¹³⁵ Abgesehen von den eben beschriebenen Studien zu Schlüsseltechnologien und der Studie „France

Lange Tradition

Vorausschau-Aktivitäten seit den 60er Jahren

Zunehmendes Interesse an Technologievorausschau seit den 90er Jahren

„Technologies-Clés“-Studien alle 5 Jahre

„France 2025“

¹²⁹ Das „Commissariat général du Plan“ wurde im März 2006 in das Zentrum für strategische Analyse (Centre d’analyse stratégique) umgewandelt, www.strategie.gouv.fr.

¹³⁰ Die 2006 gegründete „Délégation interministérielle à l’aménagement du territoire et à l’attractivité régionale (DATAR)“ (www.datar.gouv.fr), die zwischen 2006 und 2009 durch die „Délégation Interministérielle à l’Aménagement et à la Compétitivité des Territoires“ (DIACT) ersetzt wurde, ist für Vorausschau-Aktivitäten mit Bezug zu Raumplanung und -ordnung zuständig.

¹³¹ Zu der Geschichte der Vorausschau-Aktivitäten und Zukunftsforschung in Frankreich, siehe z. B. Godet, M. et al. (2008) und Moll, P. H. (1991) sowie Holtmannspötter, D. et al. (2010).

¹³² Manach, J.-M. (2006).

¹³³ Centre d’analyse stratégique: www.strategie.gouv.fr.

¹³⁴ CAS (2009).

¹³⁵ Holtmannspötter, D. et al. (2010).

Regelmäßige
zukunftsgerichtete
Studien zu einzelnen
Themen

2025“ gab es in den letzten Jahren keine weiteren nationalen und thematisch breit angelegten Vorausschau-Studien. Allerdings werden regelmäßig zukunftsgerichtete Studien zu einzelnen spezifischen, nicht unbedingt technologischen Themen durch das Zentrum für strategische Analyse durchgeführt – beispielsweise zu den Auswirkungen der Kräfteverschiebung in der Weltwirtschaft hin zu einem größeren Gewicht Asiens (2012)¹³⁶, zu möglichen Fahrplänen für eine CO₂-arme Wirtschaft bis 2050 (2011)¹³⁷, zum Auto der Zukunft (2011)¹³⁸ oder zu Arbeitswelt und Arbeitsmarkt in den nächsten 20 Jahren (2011)^{139, 140}. Darüber hinaus ist die Gestaltung der Raumordnung mit Zeithorizont 2040 – inkl. der zur Entscheidungsfindung nötigen Prospektivstudien – eine der Hauptmissionen der Raumordnungsbehörde DATAR.¹⁴¹

4.2.3 Technologies Clés 2015

4.2.3.1 Kurzbeschreibung der Studie

Name der Studie	Technologies Clés 2015 http://www.dgcis.redressement-productif.gouv.fr/politique-et-enjeux/technologies-cles-2015
Auftraggeber:	„Direction générale de la compétitivité, de l'industrie et des services“ (DGCIS) ¹⁴² http://www.dgcis.redressement-productif.gouv.fr/ , „Ministère du redressement productif“ http://www.redressement-productif.gouv.fr/
Durchgeführt von:	Konsortium von über 250 Experten unter der Leitung eines Lenkungskomitees (Comité stratégique) bestehend aus 20 Persönlichkeiten aus Industrie, staatlichen Forschungseinrichtungen und Verwaltung sowie eines Leitungskomitees (Comité de pilotage) bestehend aus Vertretern der betroffenen Ministerien (Industrie, Forschung, Verteidigung, Umwelt), der Nationalen Agentur für Forschung ANR ¹¹³ sowie der Agentur OSEO für die Förde-

¹³⁶ CAS (2012).

¹³⁷ CAS (2011a).

¹³⁸ CAS (2011b).

¹³⁹ CAS (2011c).

¹⁴⁰ Weitere Publikationen des Zentrums für strategische Analyse sind zu finden unter: <http://www.strategie.gouv.fr/content/les-publications>. Abgerufen am: 08.01.2013.

¹⁴¹ <http://www.datar.gouv.fr/prospective-et-etudes>. Abgerufen am: 08.01.2013.

¹⁴² Die DGCIS war zum Zeitpunkt der Durchführung der Studie und bis Mai 2012 beim damaligen Ministerium für Wirtschaft, Finanzen und Industrie angesiedelt.

rung von Innovation¹¹⁶. Begleitet wurde die Studie zudem durch die DGCIS.

Erscheinungsjahr: 2011

Zeithorizont: 2015-2020

Die Studie „Technologies Clés 2015“ ist die vierte Aktualisierung der Studie, die das für die Industrie zuständige Ministerium in 5-Jahres-Abständen durchführt, um Schlüsseltechnologien für die französische Industrie mit kurzem bzw. mittelfristigem Zeithorizont zu identifizieren. Als Schlüsseltechnologien werden dabei solche Technologien betrachtet, die entweder das Potenzial haben, zu Produktivitäts- bzw. Wettbewerbsfähigkeitssteigerungen beizutragen oder der Industrie zu neuen Märkten verhelfen können.

Identifizierung von Schlüsseltechnologien für die französische Industrie

Mit der vorliegenden Studie sollten einerseits Entscheidungsträger aus Politik, Wirtschaft sowie Forschung und Bildung für technologische Entwicklungen und das Potenzial technologischer Innovation für die Industrie sensibilisiert und andererseits Stärken und Schwächen der französischen Industrie, hinsichtlich der Umsetzung technologischer Innovationen, identifiziert werden. Darüber hinaus sollten Empfehlungen zur Förderung der Verbreitung und Umsetzung neuer Technologien in der Industrie formuliert werden.

Identifizierung von Stärken / Schwächen

Formulierung von Empfehlungen

Die Studie baut auf vorangegangenen nationalen Studien und Strategieplänen auf – insbesondere wurden die Ende 2009 vom Ministerium für Hochschulbildung und Forschung (MESR) definierte nationale Forschungs- und Innovationsstrategie (Stratégie nationale de recherche et d'innovation SNRI)¹⁴³, die Schlussfolgerungen des 2009-2010 stattgefundenen Industriegipfels (États généraux de l'industrie), die damals laufenden Arbeiten zur Definition einer nationalen Umweltforschungsstrategie (Stratégie nationale de la recherche pour l'environnement SNRE)¹⁴⁴, die für zivile Bereiche relevanten Ergebnisse der Vorausschau-Studien des Verteidigungsministeriums¹⁴⁵ sowie die Roadmaps (feuilles de route stratégiques) der „Pôles de compétitivité“¹⁴⁶ berücksichtigt. Darüber hinaus fließen in die aktuelle Studie „Technologies Clés 2015“ die Ergebnisse der in der Meta-Analyse 2010 untersuchten Vorausschau-Studie „France 2025“ des Zentrums für strategische Analyse (Centre d'analyse stratégique CAS)¹³³ ein.

Berücksichtigung früherer Vorausschaustudien

¹⁴³ MESR (2012b).

¹⁴⁴ MESR (2011).

¹⁴⁵ Ministère de la Défense (2010).

¹⁴⁶ <http://competitivite.gouv.fr/>.

250 Experten
involviert

Unter der Leitung eines Lenkungsausschusses beteiligten sich im Zeitraum Januar bis Oktober 2010 mehr als 250 Experten an der Studie. In einem ersten Schritt ermöglichte ein State-of-the-art der gesamten französischen Industrie die Identifizierung aktueller Herausforderungen und thematischer Prioritäten sowie von möglicherweise wichtigen Technologien. In einem zweiten Schritt erfolgten eine Desk Research und eine Literaturanalyse sowie erste Experteninterviews zu den bis dahin identifizierten Technologien. Schließlich wurden in einem dritten Schritt 85 Schlüsseltechnologien in den folgenden 7 Bereichen identifiziert:

- Chemie, Materialien und Verfahren
- Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK)
- Umwelt
- Energie
- Transport
- Bauwesen
- Gesundheit, Landwirtschaft und Ernährungswirtschaft

85 Schlüssel-
technologien in
sieben Bereichen

Für jeden dieser Bereiche werden Rahmenbedingungen, allgemeine – z. B. globale, wirtschaftliche oder regulatorische – Entwicklungen, technologische Trends und identifizierte Schlüsseltechnologien sowie Frankreichs Position (Kompetenzen, Patente, Fördermechanismen, etc.) in kompakter Form beschrieben. Anschließend wird jede der für diesen Bereich identifizierten Schlüsseltechnologie detailliert dargestellt inklusive einer Übersicht der mit der jeweiligen Technologie verbundenen Herausforderungen, möglichen Anwendungsfelder, betroffenen Akteure sowie einer Analyse der Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken (SWOT-Analyse) Frankreichs bezogen auf die jeweilige Technologie. Schließlich werden Empfehlungen zur Förderung dieser Schlüsseltechnologie formuliert. Tabelle A.1 in Anhang A listet die identifizierten Schlüsseltechnologien auf und stellt die Einschätzung deren Diffusionsgrads allgemein und speziell in Frankreich, deren Reifegrads sowie von Frankreichs Position und Potenzial dar.

SWOT-Analyse

Querschnitts-
technologien

Zukunftstechnologien

Anders als in den früheren Technologies-Clés-Studien wird in der aktuellen Studie erstmals zwischen *Querschnittstechnologien* (technologies diffusantes), deren Verbreitung entscheidend für die Wettbewerbsfähigkeit eines gegebenen wirtschaftlichen Sektors sind und sogenannten – oft emergierenden – *Zukunftstechnologien* (technologies d'avenir), die hohes nationales bzw. internationales Entwicklungspotenzial aufweisen, unterschieden. So gehören unter den 85 identifizierten Schlüsseltechnologien 23 zu den Querschnittstechnologien, 21 zu den Zukunftstechnologien und 41 werden beiden Kategorien zugeordnet, da sie einerseits mehrere wirtschaftliche Sektoren bzw. potenzielle Anwendungssektoren betreffen aber andererseits noch verstärkte FuE-Arbeiten erfordern, um internationale Wettbewerbsfähigkeit bzw. Exzellenz zu erreichen. In der aktuellen

Studie wird zudem der sozialen Dimension von Technologien sowie den mit Technologien verbundenen Dienstleistungen besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

Berücksichtigung der sozialen Dimension bzw. der mit Technologien assoziierten Dienstleistungen

Die Studienautoren sowie die politischen Auftraggeber der Studie erwarten, dass die Studie „Technologies Clés 2015“ als Leitfaden und Entscheidungshilfe bei der Erarbeitung von Strategieplänen und Programmen zahlreicher Institutionen dient, beispielsweise im Rahmen des Programms „Zukunftsinvestitionen“¹⁴⁷, der Programme der Förderagenturen ANR und OSÉO sowie der „Pôles de compétitivité“.¹⁴⁸

Studie als Leitfaden für zukünftige Strategiepläne

4.2.3.2 Inhaltsanalyse¹⁴⁹

Transport und Verkehr, Logistik

Die Identifizierung von Schlüsseltechnologien im Bereich „Transport und Verkehr, Logistik“ wird laut der Studie vor dem Hintergrund wichtiger teils nationaler, teils globaler Herausforderungen durchgeführt, u. a.:

Nationale und globale Herausforderungen

- die hohe Belastung der Umwelt durch den Transportbereich in seiner Gesamtheit:
 - Der Transportbereich gehört zu den größten Verursachern von CO₂-Emissionen. Der Anteil der auf den Transportbereich zurückzuführenden Emissionen an den gesamten CO₂-Emissionen des Landes ist laut der Studie in den letzten Jahren stetig gewachsen und ist heute doppelt so hoch wie derjenige der Baubranche oder der Industrie. Dabei fällt der Straßenverkehr am meisten ins Gewicht, u.a. aufgrund der erhöhten Anforderung an Mobilität insbesondere in Städten sowie in stadtnahen Gebieten.
 - Die durch den Transportbereich induzierte Lärmbelastung und insbesondere ihre Auswirkungen auf Lebensqualität und Gesundheit sind in den Fokus sowohl der politischen und öffentlichen Wahrnehmung als auch der Forschung gerückt.

Umweltaspekte

¹⁴⁷ Französische Botschaft in Deutschland (2012b).

¹⁴⁸ <http://www.kooperation-international.de/detail/info/frankreich-vierte-studie-schlueseltechnologien-2015-an-industrieminister-eric-besson-ueber-geben.html>, abgerufen am: 08.01.2013.

¹⁴⁹ In diesem Unterkapitel werden am Ende jedes Abschnitts die in der französischen Studie „Technologies-Clés 2015“ identifizierten Schlüsseltechnologien aufgelistet, die jeweils für den untersuchten Technologiebereich relevant sind. (Auswahl und Zuordnung durch VDI TZ-ZTC). Zur Einschätzung deren Diffusionsgrads allgemein und speziell in Frankreich, deren Reifegrads sowie von Frankreichs Position und Potenzial, s. Tabelle A.1 in Anhang A.

- Der Frage der Wiederverwertung am Ende des Produktlebenszyklus von Transportmitteln, Materialien und Ausstattung der Transportmittel wird zunehmend Gewicht verliehen.

Zunehmende
Bedeutung der
BRIC-Staaten

- Die zunehmende Bedeutung von neuen globalen Mitbewerbern wie den BRIC-Staaten¹⁵⁰, die aufgrund von Technologietransfer zunehmend in der Lage sind, ihre lokalen Märkte selbst zu bedienen sowie die Tatsache, dass niedrigere Produktionskosten in diesen Ländern häufig zur Verlagerung von Produktionsstätten führt, zwingen französische Unternehmen aus der Transportbranche, zwecks Erhalt bzw. Konsolidierung ihrer Wettbewerbsposition auf bessere Technologien und Innovationen zu setzen.
- Die Ölpreissteigerung sowie die Finanzkrise der letzten Jahre führt zu einem Umdenken in der Politik und dem Wunsch, neue, alternative Transportkonzepte zu fördern.

Wunsch nach
Alternativen zum Öl

5 allgemeine Trends
für den
Transportbereich

Vor diesem Hintergrund – und insbesondere der von der Politik angestrebten Senkung der auf den Transportbereich zurückzuführenden CO₂-Emissionen¹⁵¹ – werden für den Transportbereich (1) die zunehmende Nutzung von Materialien und Montagetechnologien zur Gewichtsreduzierung, (2) die Optimierung von Verbrennungsmotoren und Treibstoffen, (3) die Elektrifizierung der Transportmittel, (4) die zunehmende Durchdringung des Transport- und Logistikbereichs durch IuK-Technologien sowie (5) die zunehmende Bedeutung von Systemengineering und komplexen Modellierungs- und Simulationsverfahren als die wesentlichen technologischen Trends identifiziert.

(1) Zunehmende Nutzung von Materialien und Montagetechnologien zur Gewichtsreduzierung, insbesondere für den Straßen- und Flugverkehr. Die Studienautoren rechnen mit dem zunehmenden Einsatz von:

Materialien und
Montagetechnologien
zur Gewichts-
reduzierung

- Verbundwerkstoffen – neuen thermoplastischen Verbundwerkstoffen, thermostrukturellen Verbundwerkstoffen (mit niedriger Dichte bei gleichzeitiger höherer Stabilität bei mittleren und hohen Temperaturen) sowie organischen Verbundwerkstoffen. Mittelfristig (Zeithorizont 10 Jahre) sei die Serienfertigung von vollständig aus Verbundwerkstoffen bestehenden Autos denkbar. Aktuelle Forschungsarbeiten würden zudem daraufhin deuten, dass auch die Entwicklung von vollständig aus Verbundwerkstoffen bestehenden Flugzeugen möglich ist – diese würden möglicherweise 175 Tonnen Kerosin pro Jahr und Flugzeug einsparen helfen. Die Nutzung von Verbundwerkstoffen zwecks Gewichtsre-

¹⁵⁰ Unter der Bezeichnung BRIC-Staaten werden Brasilien, Russland, Indien und China zusammengefasst.

¹⁵¹ <http://www.legrenelle-environnement.fr/>, zuletzt abgerufen am: 11.03.2012.

duzierung könnte laut der Studie, wenn auch im geringeren Maße, ebenfalls für den Schienenverkehr von Interesse werden.

- neuen Stählen mit hoher Elastizität, die bei niedrigerem Gewicht die gleichen mechanischen Eigenschaften aktuell eingesetzter Materialien aufweisen.
- weiteren Metallen insbesondere Aluminium-, Magnesium- oder Titan-basierte Legierungen.

Darüber hinaus würden die Montageverfahren optimiert mit dem Ziel der Reduzierung der benötigten Materialien. Besondere Bedeutung haben laut der Studie folgende Verfahren: Sinterung, Laserschweißverfahren, LaserHybrid-Schweißverfahren, neue Geißverfahren für Verbundwerkstoffe, neue Verfahren zur Herstellung von Multi-Materialien, 3D-Drucken.

Laut der Studie ist durch Nutzung neuer Materialien und Optimierung der eingesetzten Verfahren eine Reduzierung des Gewichts von Autos – und somit des Kraftstoffverbrauchs – um 21% bis 2017 und um 38% bis 2020 möglich. Allerdings seien beim Einsatz neuer Materialien noch technische Fragen zu lösen, bezüglich deren Widerstandsfähigkeit gegenüber Umweltbelastungen, deren möglichen Wiederverwertung am Ende des Produktlebenszyklus sowie der Möglichkeit dank neuer Materialien die Lärmbelastung des Straßenverkehrs zu senken.

(2) Optimierung von Verbrennungsmotoren und Treibstoffen: Trotz der starken Förderung der Elektrifizierung im Transportbereich im Allgemeinen (s. unten) und der Tatsache, dass langfristig der vollelektrische Transport als wahrscheinlich angesehen wird, werden Verbrennungsmotoren und Treibstoffe aus fossilen Rohstoffen laut der Studie weiterhin eine Schlüsselrolle im Transportbereich spielen, und zwar aus zwei Gründen: Einerseits könnten sie in einer Übergangsphase auf dem Weg zu einem vollelektrischen Transport noch lange genutzt werden. So wird geschätzt, dass Verbrennungsmotoren in den nächsten 20 Jahren bei allen Transportmitteln die meistverbreitete Antriebstechnik bleiben werden. Andererseits werde bei Verbrennungsmotoren noch Potenzial für technologische Optimierung zwecks Kraftstoffersparnisse und somit Reduzierung der CO₂-Emissionen gesehen. Folgende technologische Entwicklungen werden hervorgehoben:

- bei Dieselmotoren: Homogene Kompressionszündung und *Low Temperature Combustion*;
- bei Benzinmotoren: schichtweise Ladung, kontrollierte Selbstzündung.

Darüber hinaus könnte die Weiterentwicklung verschiedener Techniken helfen, den Hubraum – und somit auch den Kraftstoffverbrauch – zu reduzieren: z. B. Turbolader, VCR-Motoren, Zylinderabschaltung. Ferner denkbar seien eine Optimierung der mechanischen Systeme mit dem Ziel

Fortschritte bei
Verbrennungsmotoren
und Treibstoffen

der Reduzierung bzw. Vermeidung von unerwünschten Reibungen (Reduzierung der möglichen Reibungsflächen, bessere Schmierstoffe), die Nutzung von Materialien mit besseren thermischen Eigenschaften sowie die Einbindung von Sensoren für eine effizientere Steuerung des Motors. Schließlich könnten Fortschritte bei den eingesetzten Filtern und Katalysatoren (z. B. *Selective Catalytic Reduction*-Technik, *Exhaust gas recirculation*-Technik) sowie bei den Kraftstoffen selbst (synthetische Kraftstoffe) ebenfalls zu einer Senkung der CO₂-Emissionen beitragen.

(3) Elektrifizierung der Transportmittel: Die Studie verweist auf die Zielsetzung Frankreichs, die Anzahl von Hybrid- oder Vollelektroautos im französischen Fuhrpark auf 2 Millionen bis 2020 und 4,5 Millionen bis 2025 zu erhöhen. Als unverzichtbar wird die Optimierung von Batteriesystemen – insbesondere Li-Ion-Batterien – angesehen. Diesbezüglich könnten zukünftige Entwicklungen die Senkung der Produktionskosten, die Erhöhung der Sicherheit und Zuverlässigkeit der Systeme sowie die Optimierung der Möglichkeiten der Wiederverwertung von Akkus betreffen. Bei den Batteriesystemen zu überwindende Hürden seien in technischer Hinsicht die einzusetzenden Materialien und die Steuerungsmechanismen sowie darüber hinaus die Versorgung mit dem Rohstoff Lithium und die Standardisierungsbedarfe.

Weitere technologische Fortschritte im Zusammenhang mit der Elektrifizierung des Straßenverkehrs werden erwartet u. a. bei den genutzten Materialien, insbesondere aber bei der eingesetzten Leistungselektronik (s. auch Abschnitt „Elektronik“), um beispielsweise zu ermöglichen, dass die Batterie während des Bremsvorgangs wieder aufgeladen wird, bei den Schaltgetrieben, bei dem Monitoring von Temperatur, Vibrationen und Stromintensität sowie bei den Radnabenmotoren. Bei LKWs und Bussen erscheint den Studienautoren ein Vollelektroantrieb nach derzeitigem Stand unwahrscheinlich, allerdings seien Hybridfahrzeuge möglich sowie die Zunahme der elektrischen Steuerung von Heiz- und Kühlsystemen für Fahrerkabine und Ladeflächen. Bei Zügen und Straßbahnsystemen sei ebenfalls eine Fortführung der Elektrifizierung zu erwarten.

Auch wenn die Elektrifizierung der Transportmittel insbesondere für den Straßen- und Schienenverkehr als relevant angesehen werden, könnte sie in der Luft- und Schifffahrt ebenfalls eine zunehmende Rolle spielen. Auch hier könnten Fortschritte bei der Leistungselektronik die zunehmende Elektrifizierung von Steuerungsvorgängen unterstützen. Ebenfalls vorstellbar seien die Motorisierung des Fahrgestells von Flugzeugen (Radnabenmotoren), elektrische Antriebstechniken für leichte Flugzeuge sowie die zunehmende Elektrifizierung sowohl der Orientierungs- als auch der Antriebssysteme bei Schiffen.

(4) Eine zunehmende Durchdringung des Transport- und Logistikbereichs durch IuK-Technologien wird erwartet. Hervorgehoben werden einerseits Fahr- bzw. Flugassistenz-Systeme, die hohe Anforderungen an Ergonomie und Bedienbarkeit der Mensch-Maschine-Schnittstelle stel-

Zunehmende
Elektrifizierung der
Transportmittel

Weitere Durchdrin-
gung des Bereichs
Transport und Logis-
tik durch
IuK-Technologien

len: Display-Technologien, taktile und mündliche Steuerungen sowie Interaktion via Gesichts- und Gestenerkennung könnten in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle spielen. Andererseits gehe der Trend hin zu intelligenten Verkehrssystemen zur Optimierung von Verkehrsaufkommen und Fahrtwegen. Datenaustausch könnte in Zukunft auf allen Ebenen stattfinden: zwischen Fahrzeug und Verkehrsinfrastruktur (und dies sowohl über kurze als auch große Distanzen), zwischen unterschiedlichen Fahrzeugen sowie zwischen einzelnen Nutzern und Verkehrsinfrastruktur in ÖPNV-Netzen. In diesem Zusammenhang rechnen die Studienautoren mit einer Vielzahl an neuen Dienstleistungsangeboten, deren Erfolg allerdings von der technischen Zuverlässigkeit und Interoperabilität (Standardisierungsfragen u. a.) der Systeme sowie deren wirtschaftlichen Machbarkeit abhängen wird.

Auch die Logistikbranche wird laut der Studie von der zunehmenden Durchdringung durch IuK-Technologien profitieren: RFID-Tags, Echtzeit-Verwaltung von Warenbeständen und Fahrtouren und intelligente Verkehrs- und Transportsysteme versprechen hohe Effizienzverbesserungen. Ein wichtiger Aspekt stelle in diesem Zusammenhang die Optimierung multimodaler Transportrouten dar.

(5) Die Studienautoren rechnen mit der zunehmenden Bedeutung von Systemengineering und komplexen Modellierungs- und Simulationsverfahren in allen Phasen des Produktlebenszyklus und für alle Transportmittel. Als Vorreiter beim Systemengineering wird die Luftfahrt dargestellt, gefolgt vom Schienenverkehr und der Schifffahrt. Es wird aber davon ausgegangen, dass diese Schlüsseltechnologie auch für Fahrzeuge zunehmend an Bedeutung gewinnen wird.

Systemengineering /
Modellierungs- und
Simulationsverfahren

Luft- und Raumfahrt

Die im Abschnitt „Transport und Verkehr, Logistik“ dargestellten allgemeinen technologischen Trends gelten auch speziell für die Luftfahrt:

- zunehmende Nutzung von Materialien und Montagetechnologien zur Gewichtsreduzierung
- Optimierung von Verbrennungsmotoren und Treibstoffen
- zunehmende Elektrifizierung
- zunehmende Durchdringung durch IuK-Technologien
- zunehmende Bedeutung von Systemengineering und komplexen Modellierungs- und Simulationsverfahren

Allgemeine Trends

Für Details hierzu wird auf den Abschnitt „Transport und Verkehr, Logistik“ verwiesen.

Fortschritte bei
Strahltriebwerken

Darüber hinaus sind laut der Studie vor dem Hintergrund der angestrebten Reduzierung sowohl der CO₂-Emissionen als auch der Lärmbelastung durch den Flugverkehr Fortschritte bei den Strahltriebwerk-Technologien zu erwarten, insbesondere:

- Optimierung des Antriebs durch bessere numerische Simulation
- Nutzung neuer synthetischer Treibstoffe, zuerst in Verbindung mit Kerosin, langfristig als alleiniger Treibstoff
- Optimierung der Aerodynamik zwecks Reduzierung der Lärmbelastung

Das *Open-Rotor*-Triebwerk könnte laut der Studie ab 2020 serienreif sein.

Bauen und Wohnen

Wohn- und Büro-
gebäude für sehr
hohen Energie- und
Ressourcenverbrauch
verantwortlich

Ausgangspunkt für die Identifizierung von Schlüsseltechnologien im Bereich „Bauen und Wohnen“ ist die Feststellung, dass Wohn- und Bürogebäude für einen sehr hohen Energie- und Ressourcenverbrauch sowie für hohe CO₂-Emissionen verantwortlich sind. Folgende Fakten werden hervorgehoben:

- Fast die Hälfte des gesamten Energieverbrauchs geht auf Wohn- und Bürogebäude zurück, wobei Wohngebäude den größten Anteil (nämlich ca. 2/3 des gesamten Gebäudeenergieverbrauchs) darstellen.
- Wohn- und Bürogebäude sind für fast 25 % aller französischen CO₂-Emissionen verantwortlich.
- Der Bereich „Bauwesen“ – zusammen mit dem Transportbereich – stellt einen der zwei einzigen Wirtschaftsbereiche dar, für die seit 1990 eine Zunahme der CO₂-Emissionen zu verzeichnen ist: während CO₂-Emissionen in Industrie und Landwirtschaft seit 1990 um 21 % bzw. 6 % gesunken sind, nahmen sie im Bereich „Bauwesen“ um 21 % zu.
- Die Aufwertung von Bauabfällen ist noch unzureichend und Recycling-Techniken im Bauwesen werden noch nicht weitgehend genutzt bzw. sind z. T. noch nicht ausgereift,
- Das Potenzial der Nutzung von Recycling-Materialien im Bauwesen wird noch nicht ausgeschöpft.

Schlüsseltechnologien
zum schonenden
Umgang mit
Ressourcen

Vor diesem Hintergrund werden Technologien und Verfahren als sehr wichtig angesehen, die zur Optimierung der Energieeffizienz und zum schonenden Umgang mit Ressourcen im Bauwesen sowohl während des Bauprozesses selbst als auch bei der späteren Nutzung der Gebäude (Energieverbrauch) beitragen können. Zukunftsrelevante Technologien sollten zudem angesichts steigender Energiepreise und steigender Belas-

tungen für Unternehmen sowie private Haushalte gleichzeitig ökonomisch attraktiv sein. Schlüsseltechnologien im Bereich Bauen und Wohnen sollen insbesondere helfen, die Zielsetzungen für das Bauwesen des unter dem Namen „Grenelle de l'environnement“ bekannten Umweltgipfels von 2007¹⁵² zu erreichen (u. a. Reduzierung des Energieverbrauchs in Wohn- und Bürogebäuden um 38 % bis 2020 im Vergleich zu 2007 und um mindestens 70% bis 2050).

(1) Vom Einsatz energieeffizienter und smarter Gebäudehüllsysteme insbesondere bei der Renovierung bestehender Wohn- und Bürogebäude erhoffen sich die Experten eine Reduzierung des Energieverbrauchs um 38 % und der CO₂-Emissionen um 50 % bis 2020. Neue Funktionalitäten bei innovativen Gebäudehüllensystemen könnten in Zukunft dazu beitragen, Wohlbefinden und Lebensqualität in den Gebäuden zu steigern. Hervorgehoben werden Solarwände; smarte Fassaden, die sich unterschiedlichen Außentemperaturverhältnissen anpassen bzw. solche, bei denen bei Bedarf Schallschutzmechanismen zum Schutz gegen Außenlärm in Gang gesetzt werden; Vakuumisolier-Verglasungen; Dachsysteme mit kühlendem Effekt; sich selbstreinigende Fassaden sowie elektrochrome Verglasungen zu Sonnenschutz Zwecken.

Energieeffiziente
und smarte
Gebäudehüllsysteme

Laut der Studie hat Frankreich das Potenzial, eine international führende Rolle bei der Entwicklung von auf Dünnschicht-Systeme basierenden Isoliertechnologien einzunehmen. Dennoch – und obwohl diese Schlüsseltechnologie als sich bereits vielfach im Einsatz befindende Querschnittstechnologie angesehen wird – werden seitens der Studienautoren weitere Forschungsarbeiten im Bereich der Entwicklung neuer dünner Materiale als notwendig angesehen.

(2) Fertigbausysteme, bei denen unter Berücksichtigung aller Aspekte der Gebäudearchitektur und -ausstattung (Lage, Isolierungs- und Heizungskonzept, einzusetzende Materialien, etc.) einzelne Baumodule und -teile ausgehend von einem 3D-Modell des zu errichtenden Gebäudes im Werk vorgefertigt und an Ort und Stelle zusammengesetzt werden, werden als Schlüsseltechnologie dargestellt. Sie bieten laut der Studie das Potenzial, sowohl den Ressourcenverbrauch während des Bauprozesses selbst zu reduzieren (Trockenbaustellen, weniger Bauabfälle, geringerer Einsatz von Baustellengeräten, Weiterverarbeitung von im Werk entstehenden Co-Produkten, etc.) als auch den Energieverbrauch bei der späteren Nutzung des Gebäudes zu minimieren. Beton wird aufgrund seiner Flexibilität, seiner Dichtungseigenschaften und seines günstigen Preises laut der Studie weiterhin in Zukunft das bevorzugte Material für Fertigbausysteme bleiben. Allerdings könne der Einsatz von Holz neue Innovations- und Marktchancen eröffnen – in Form hochwertiger Holzprodukte mit

Fertigbausysteme
für nachhaltigen Bau

¹⁵² <http://www.legrenelle-environnement.fr/>.

Endbearbeitung ohne Lösungsmittel, widerstandfähigeren Strukturen oder besseren Isoliereigenschaften.

Verschiedene – nichttechnische – Hürden, die den breiteren Einsatz von Fertigbausystemen beschränken könnten, werden allerdings identifiziert, u. a.: geringe Akzeptanz bei den Verbrauchern; geringe Investitionsbereitschaft bei Unternehmen; erforderliche effiziente Zusammenarbeit aller im Bauprozess involvierten Experten; fehlende Regulierungen bzgl. des Einsatzes von Holz für Fertigbausysteme.

(3) Obwohl bisher Biomaterialien und Bioverbundwerkstoffe sowie Recycling-Materialien laut der Studie ein Nischendasein im Bauwesen führen (Bio-Isoliermaterialien stellen z. B. nur 2 % aller Isoliermaterialien dar), könnte deren Bedeutung in Zukunft steigen. Hervorgehoben werden: Hanfbeton und Holz, auf die im Rahmen von Fertigbausystemen zunehmend zurückgegriffen wird sowie neue – nicht näher genannte – Bio-Isoliermaterialien, die sich aktuell in der Zertifizierungsphase befinden. Speziell bei der Nutzung von Holz im Bauwesen sehen die Experten verschiedene, noch zu überwindende technische Hürden – hinsichtlich des Feuer- und Feuchtigkeitswiderstands sowie der Widerstandsfähigkeit gegen Insekten und Schimmelpilze.

(4) Die dreidimensionale Gebäudedatenmodellierung (engl. Building Information Modeling) wird in Zukunft laut der Studie eine wesentliche Rolle bei der Planung von Neubauten spielen, da sie zu Effizienz- und Produktivitätssteigerungen beitragen und darüber hinaus die Berücksichtigung energetischer Aspekte – insbesondere die Simulation und Optimierung des zukünftigen Energieverbrauchs eines Gebäudes – ermöglichen kann.

(5) Im Hinblick auf die Optimierung des Ressourcenverbrauchs (Strom, Wasser, Gas) in Büro- und Wohngebäuden werden intelligente Zähler-Systeme als Schlüsselement angesehen. Hervorgehoben werden insbesondere intelligente *Stromzähler*-Systeme, bei denen mithilfe von intelligenten Sensoren bzw. Sensorenetzwerken sowie einer zentralen Datenerfassungseinheit (eigentlicher Zähler) der tatsächliche Stromverbrauch eines Gebäudes ermittelt und abgerechnet werden kann. Als Hauptvorteil dieser Technologie werden die dadurch möglichen Ersparnisse für den Verbraucher angeführt, aber auch die Möglichkeit, durch die Einbindung solcher intelligenter Stromzähler-Systeme in ein intelligentes Stromnetz (s. Abschnitt „Energie“) Stromnachfrage und -angebot besser ausbalancieren zu können. Zukünftige intelligente Strominfrastrukturen für Neubauten könnten zudem Steckdosen für das Aufladen von Elektroautos umfassen. Ob sich intelligente Stromzähler-Systeme werden durchsetzen können, wird laut der Studie davon abhängen, ob technische Hürden überwunden werden können – hinsichtlich der Verfügbarkeit robuster, zuverlässiger und langlebiger Sensoren zur Erfassung des Stromverbrauchs; einer einfach zu bedienenden Mensch-Maschine-Schnittstelle, die dem Verbraucher jederzeit einen Einblick in seinen tatsächlichen

Zunehmende
Bedeutung von
Bio- und Recycling-
Materialien

Gebäudedaten-
modellierung zwecks
Effizienzsteigerung

Intelligente
Zählersysteme

Stromverbrauch ermöglicht sowie der Möglichkeit der Rückkopplung zwischen Stromversorgungsunternehmen und Kunde. Dass Technologien zur dezentralen Stromerzeugung noch nicht ausgereift seien, könnte laut der Studie ein Grund dafür sein, dass die Optimierungsversprechungen von intelligenten Stromzähler-Systemen in Verbindung mit einem intelligenten Stromnetz nicht eingelöst werden können. Ferner sieht die Studie aufgrund von Akzeptanzproblemen seitens der Bevölkerung insbesondere hinsichtlich ungeklärter Datenschutzfragen für intelligente Stromzähler kurzfristig eher bei Büro- statt Wohngebäuden Potenzial.

(6) Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien in Gebäuden und gebäudeübergreifende Energiemanagementsysteme. Besonders relevant ist laut der Studie die Photovoltaik, technologische Entwicklungen in diesem Bereich werden im Abschnitt „Optische Technologien“ dargestellt. Neben der Photovoltaik könnte – im geringeren Maße – auch die Nutzung von Holz als Energiequelle eine zunehmende Bedeutung haben. Allerdings bestünden noch technologische Hürden, insbesondere bezüglich der induzierten Emissionen. Die Nutzung der Erdwärme wird laut der Studie aufgrund der geringen Anzahl der in Frage kommenden Gebäude in Zukunft lediglich eine marginale Rolle spielen. Auch die Nutzung der Windenergie werde im Baubereich vermutlich weiterhin nur in abgeschiedenen Gegenden in Frage kommen.

Erneuerbare Energien
und gebäude-
übergreifende
Energiemanagement-
systeme

Weitere wichtige Technologien im Sinne von *enabling technologies*, auf die aber in der Studie nicht näher eingegangen wird, sind Klima- und Lüftungstechnologien, insbesondere solche, die dazu beitragen, den Energieverbrauch in Gebäuden zu senken oder schädliche Auswirkungen von Luftverschmutzung und -unreinheiten auf Wohlbefinden und Gesundheit zu reduzieren bzw. zu vermeiden.

Meerestechnik und Schifffahrt

Die im Abschnitt „Transport und Verkehr, Logistik“ dargestellten allgemeinen technologischen Trends gelten auch speziell für die Luftfahrt:

- zunehmende Nutzung von Materialien und Montagetechnologien zur Gewichtsreduzierung
- Optimierung von Verbrennungsmotoren und Treibstoffen
- zunehmende Elektrifizierung
- zunehmende Durchdringung durch IuK-Technologien
- zunehmende Bedeutung von Systemengineering und komplexen Modellierungs- und Simulationsverfahren

Allgemeine Trends

Für Details hierzu wird auf den Abschnitt „Transport und Verkehr, Logistik“ verwiesen.

Erzeugung von Strom
aus dem Meer

Darüber hinaus wird der Technologiebereich „Meerestechnik und Schifffahrt“ unter dem Aspekt der möglichen Gewinnung von Energie betrachtet. Bei der möglichen Erzeugung von Strom aus dem Meer – Wellen-, Gezeiten-, Salzgradienten- und Strömungsenergie – wird betont, dass der Reifegrad der unterschiedlichen Technologien noch sehr heterogen ist. Bei den am weitesten entwickelten Technologien – der Gewinnung von Strom aus Wellen-, Gezeiten- und Strömungsenergie – könnte eine breite industrielle Nutzung innerhalb der nächsten fünf Jahre möglich werden. Andere Verfahren würden noch erheblichen FuE-Aufwand erfordern. Technische Hürden bei diesen Verfahren sind der Studie zufolge vielfältig und betreffen das Design und die Herstellung der Anlagen, die einzusetzenden Materialien, die Steuerung der Anlagen, die Anbindung an das Stromnetz sowie Wartungs- und Sicherheitsfragen. Aufgrund der geografischen Gegebenheiten sei die Möglichkeit der Stromerzeugung aus dem Meer für Frankreich interessant und langfristige FuE-Aktivitäten in diesem Bereich werden empfohlen; allerdings seien mögliche Akzeptanzprobleme zu lösen sowie die Frage der Auswirkungen solcher Anlagen auf Meeresökosysteme zu klären.

Offshore-Windenergie

Neben der Stromerzeugung aus dem Meer wird die Offshore-Windenergie als Schlüsseltechnologie dargestellt, allerdings wird davon ausgegangen, dass ihr Anteil an der gesamten Windenergie in den nächsten Jahren weiterhin klein bleiben wird. Geschätzt wird, dass auch bei weiterhin starker Förderung dieser Technologie die Offshore-Windenergie im Jahre 2050 lediglich 1/3 der gesamten globalen Windenergie ausmachen wird. Es wird damit gerechnet, dass zu diesem Datum die größten Märkte für die Offshore-Windenergie China, die EU und die USA sein werden. Zukünftige FuE-Aktivitäten könnten darauf abzielen, Betriebs- und Wartungskosten der Anlagen zu reduzieren, deren Wirkungsgrad und möglichen Betriebsdauer zu erhöhen sowie die Anbindung an das Stromnetz zu optimieren. Die Studienautoren betonen das Potenzial der Offshore-Windenergie für Frankreich aufgrund der vorhandenen Kompetenzen und vor allem der Küstensituation Frankreichs – obwohl die Windenergie im Land bisher keine große Rolle in Frankreich spielt und deshalb auf wenig Erfahrungen und Kompetenzen aus diesem Bereich zurückgegriffen werden kann.

Offshore-
Windenergie:
besonderes Potenzial
für Frankreich

Energie

Die Energietechnologien haben, vergleicht man die vorliegende Studie mit der vorigen Studie zu Technologies-Clés, die 2006 erschienen ist¹⁵³, an Bedeutung gewonnen. Dies gilt sowohl für die traditionellen Energietechnologien (Kernenergie, Energie aus fossilen Rohstoffen) als auch für erneuerbare Energien (Photovoltaik, Windenergie, Wasserkraftzerzeugung).

Zunehmende
Bedeutung der
Energietechnologien

¹⁵³ MINEFI (2006).

gung, etc.).¹⁵⁴ Hintergrund der Identifizierung von Schlüsseltechnologien im Bereich Energie bilden globale und nationale Herausforderungen: Steigerung der Nachfrage nach Energie; langfristig beschränkte Reserven an fossilen Rohstoffen; potenzielle ökonomische und politische Konflikte im Zusammenhang mit der Abhängigkeit von Öl- und Gasexportländern; Klimawandel und notwendige Reduzierung der CO₂-Emissionen; zunehmende Konflikte um die Landnutzung im Zusammenhang mit Biokraftstoffen; potenzielle Akzeptanz- und Sicherheitsprobleme im Zusammenhang mit Energietechnologien. Die Studie beruft sich insbesondere auf die von IEA¹⁵⁵ hergeleiteten Szenarien mit Zeithorizont 2050.¹⁵⁶

Große globale und nationale Herausforderungen

Die Studienautoren gehen davon aus, dass kurz- bis mittelfristig eher Optimierung und Weiterentwicklungen bestehender Energietechnologien zu erwarten sind als neue technologische Durchbrüche.

Inkrementelle Entwicklungen statt technologischer Durchbrüche

(1) Erneuerbare Energien: Die Nutzung von *Biomasse* als Wärmequelle spielt laut der Studie bereits eine wichtige Rolle in Frankreich. Darüber hinaus erscheine die Förderung von Biogasanlagen für Frankreich als besonders interessant. Bei der Nutzung von Biomasse zur Kraftstoffherstellung gehen die Studienautoren davon aus, dass das Potenzial der Biokraftstoffe der 1. Generation für Frankreich bereits erschöpft ist. Biokraftstoffe der 2. Generation könnten in Zukunft an ihre Stelle treten, einen großen Einfluss auf den Transportbereich haben sowie einen großen Beitrag zu einer möglichen energetischen Unabhängigkeit Europas leisten. Allerdings seien noch technische Hürden bzgl. der Reinigung des Synthesegas und der zu nutzenden Enzyme zu überwinden. Langfristig könnte die Bedeutung von Biokraftstoffen der 3. Generation (insbesondere aus Mikroalgen) besonders interessant werden, vorausgesetzt technische Entwicklungen ermöglichen eine Senkung der Produktionskosten.

Biomasse als Wärmequelle

Große Bedeutung von Biokraftstoffen der 2. Generation

Vielversprechendes Potenzial bei Biokraftstoffen der 3. Generation

Bei der *Sonnenenergie* werden zwei Technologien als reif eingestuft, die hauptsächlich im Baubereich eine Rolle spielen: die Umwandlung der Sonnenenergie in nutzbare thermische Energie und die Photovoltaik (s. auch Abschnitt „Optische Technologien“).

Nutzung der Sonnenenergie

Obwohl die *Windenergie* an Land als reife Technologie eingestuft wird, stellt ihr diskontinuierlicher Charakter laut der Studie weiterhin eine Hürde bei der Anbindung an das Gesamtstromnetz dar. Auch bei der Offshore-Windenergie seien weiterhin große technische Hürden zu überwinden (s. Abschnitt „Meerestechnik und Schifffahrt“).

Hürde: Intermittenz der Windenergie

¹⁵⁴ <http://www.industrie-techno.com/rapport-sur-les-technologies-cles-pour-2015.11166>, zuletzt abgerufen am: 11.03.2013.

¹⁵⁵ Internationale Energieagentur: www.iea.org.

¹⁵⁶ IEA (2010).

Bezüglich der Nutzung von *Erdwärme* werden Fortschritte u. a. bei den Erdwärmepumpen sowie bei den Verfahren zur Gewinnung von Erdwärme aus Grundwasser erwartet. Zu Details zur *Stromerzeugung aus dem Meer*: s. Abschnitt „Meerestechnik und Schifffahrt“.

(2) Energie aus fossilen Rohstoffen: Technologische Entwicklungen bei der *Ölförderung* werden laut der Studie darauf abzielen, einerseits den Zeitpunkt des Fördermaximums (Peak Oil) hinauszuzögern: Erhöhung des Wirkungsgrads vorhandener Förderanlagen; Offshore-Ölförderung in immer größeren Meerestiefen; Förderung des schweren Öls; Nutzung nicht-konventioneller Ressourcen wie bituminöser Schiefer. Andererseits könnten technologische Fortschritte, insbesondere bei Raffinationstechniken, dabei helfen, aktuelle Herstellungsverfahren von Treibstoffen und petrochemischen Produkten effizienter werden zu lassen. Bei der *Gasförderung* ist eine Zunahme der Nutzung nicht-konventioneller Ressourcen möglich, insbesondere die Förderung von Erdgas aus Gestein.

CO₂-Abscheidungs-, Speicherungs- und Verwertungsverfahren könnten in Zukunft zunehmend eine Rolle spielen, da sie zur Verringerung der CO₂-Emissionen beitragen können. Auch könnten manche Verfahren die Einspeisung von CO₂ in bestehende Kraftwerke ermöglichen. Es wird geschätzt, dass Verfahren zur CO₂-Abscheidung kurzfristig beherrschbar werden, allerdings sei die Frage ihrer Wirtschaftlichkeit noch offen. Weitere Fortschritte werden zudem bei den *Synthesekraftstoffen* erwartet.

(3) Kernenergie: In den nächsten Jahren werden laut den Studienautoren Kraftwerke der 3. Generation (darunter Areva-EPR¹⁵⁷) in Betrieb gesetzt. Kraftwerke der 4. Generation könnten einen technologischen Umbruch darstellen und erscheinen langfristig (Zeithorizont 2040) vorstellbar. Entsprechend der Auswahl des „Generation IV International Forum“¹⁵⁸ erscheinen dabei sechs Verfahren als besonders vielversprechend. Diese unterscheiden sich insbesondere durch die genutzten Kühlflüssigkeit: Natrium, Helium, Blei, superkritisches Wasser oder geschmolzene Carbonate, wobei Frankreich besonders auf die Natrium und Helium nutzenden Verfahren setzt: SFR-Sodium cooled fast reactor, GFR-Gas-cooled Fast Reactor, VHTR-Very High Temperature Reactor. Allerdings seien noch zahlreiche technische Hürden zu überwinden, u. a. bezüglich der Sicherheit der Reaktoren und der einzusetzenden Konstruktionsmaterialien. Auch die Frage des Umgangs mit radioaktiven Abfällen wird weiterhin eine große Rolle spielen.

Zunehmende Nutzung
nicht-konventioneller
Öl- und Gas-
ressourcen

CO₂-Abscheidungs-
verfahren kurzfristig
beherrschbar

Möglicher
technologischer
Umbruch: AKW der
4. Generation

¹⁵⁷ EPR steht ursprünglich für „European Pressurized Water Reactor“ und wird inzwischen als Markenname für den größten Kernreaktor des französischen Konzerns Areva verwendet.

¹⁵⁸ <http://www.gen-4.org/Technology/systems/index.htm>, zuletzt abgerufen am: 11.03.2013.

(4) Wasserstoff als Energiequelle: Neue Verfahren könnten in Zukunft die Gewinnung, im industriellen Maßstab, von Wasserstoff aus der Elektrolyse von Wasser oder auf thermochemischem Wege ermöglichen, beispielsweise im Zusammenhang mit Kernkraftwerken der 4. Generation. Wasserstoff könnte in Zukunft sowohl zur Verbrennung in Motoren und Triebwerken als auch in Brennstoffzellen – z. B. Wärme- und Stromerzeugung für Gebäude und Stromerzeugung für mobile Anwendungen (Fahrzeuge, portable Geräte) – eingesetzt werden. Allerdings seien noch zahlreiche technische Hürden zu überwinden, u. a. hinsichtlich der Speicherung von Wasserstoff (insbesondere in Fahrzeugen), der Empfindlichkeit gegenüber Verunreinigung bei Brennstoffzellen, der einzusetzenden Materialien, der Lebensdauer von Brennstoffzellen, etc.

Wasserstoff als Energiequelle für mobile Anwendungen und im Transportbereich

(5) Strominfrastrukturen: Vor dem Hintergrund der zunehmenden Stromnachfrage, des zunehmenden Wettbewerbs auf den Strommärkten und der damit einhergehenden wachsenden Anzahl an unterschiedlichen Stromanbietern sowie der Zunahme der Gewinnung von Strom aus erneuerbaren, intermittierenden Energiequellen gewinnen alle Technologien an Bedeutung, die die Integration aller Akteure ermöglichen und dazu beitragen, Stromnachfrage und -angebot auszubalancieren. In diesem Zusammenhang gehe der Trend zu intelligenten Stromnetzen:

Trend zu intelligenten Stromnetzen

- Monitoring in Echtzeit von Stromnachfrage und -angebot
- Technologien zur Stromspeicherung zwecks Bildung von Stromreserven (z. B. für Spitzenzeiten): u. a. Pumpspeicherkraftwerke, Elektrochemische Akkus (auf Basis von Blei, Nickel-Cadmium, Lithium, Metall-Luft, Natrium-Schwefel, etc.), Brennstoffzellen, Supraleiter, etc.
- Technologien zur Optimierung des Verbrauchs: z. B. intelligente Stromzähler (s. Abschnitt „Bauen und Wohnen“)
- Dezentrale Stromproduktion und -speicherung (u. a. Einbindung von Ladestationen für Elektroautos in das Gesamtstromnetz und Nutzung der Batterien von Elektroautos als Stromspeicher)

Nano- und Mikrosystemtechnologie

(1) Nanotechnologien und Nanomaterialien: Nanotechnologien werden in der Studie als „transversale“ Schlüsseltechnologie mit nahezu revolutionärem Charakter angesehen, da deren Konvergenz mit zahlreichen anderen Disziplinen (Materialtechnik, Biotechnologien, IuK-Technologien, etc.) zu wichtigen technologischen Durchbrüchen führen und zum Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit zahlreicher französischer Unternehmen beitragen kann. Allerdings könnten neben zahlreichen technologischen Hürden Regulierungsfragen (Standardisierung) sowie Fragen der öffentlichen Akzeptanz und der möglichen Gefahren und Risiken von Nanotechnolo-

Nanotechnologien als „transversale“ Schlüsseltechnologie

gien in Zukunft weiterhin eine große Rolle spielen und möglicherweise deren Verbreitung einschränken.

Zahlreiche
Anwendungsbereiche

Anwendungen der Nanotechnologien, insbesondere der Nutzung von Nanomaterialien könnten in zahlreichen Bereichen möglich sein: Elektronik und IuK-Technologien (z. B. Miniaturisierung von IuK-Komponenten bei gesteigerter Leistung); Energie (z. B. Energiespeicherung, Photovoltaik); Transport (z. B. Nutzung von Nanomaterialien zwecks Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs); Umweltschutz (z. B. Nano-Verfahren zur Sanierung von Böden); Lebensmittelindustrie; Kosmetikindustrie; Pharmazie (z. B. Drug-Delivery-Systeme); Bauwesen, etc.

Zunehmende
Bedeutung von
Graphen und
Bottom-up-Verfahren

Bei den Nanomaterialien wird hervorgehoben, dass neben Kohlstoffnanoröhren auch Graphen in Zukunft aufgrund seiner Leitfähigkeit an Bedeutung gewinnen könnte. Bei der Herstellung von Nanomaterialien könnte das *bottom-up*-Verfahren, bei dem Materialien mit den gewünschten Eigenschaften aus Atomen zusammengesetzt werden, eine zunehmende Rolle spielen, insbesondere, weil dieses Verfahren Energie- und Rohstoffersparnisse verspricht.

(2) Mikroapparate und mikrostrukturierte Apparate sowie Mikroreaktoren, die eine Erhöhung der Produktivität ermöglichen, könnten eine wachsende Rolle in der chemischen Verfahrenstechnik spielen. Hier bestehe die Herausforderung insbesondere darin, einerseits diese Werkzeuge in bestehende Produktionsverfahren zu integrieren sowie andererseits deren Produktionskosten zu senken. Die Konvergenz solcher Verfahren mit Nanomaterialien und Membrantechniken erscheine zudem vielversprechend.

Steigende
Miniaturisierung von
Sensoren

(3) Sensoren und Sensornetzwerke: Die Studienautoren rechnen mit der weiteren Miniaturisierung von Sensoren sowie mit dem zunehmenden Einzug von IuK-Technologien in die Sensorik und folglich dem zunehmenden Einsatz von intelligenten Sensoren bzw. Sensornetzwerken. Folgende Entwicklungen bzw. zukünftige Anwendungen seien u. a. möglich:

Zunehmender Einzug
von IuK in die
Sensorik: zahlreiche
neue Anwendungen

- Steigerung der Empfindlichkeit von Sensoren beispielsweise durch die Nutzung von Nanomaterialien
- Entwicklung neuer und günstiger MEMS¹⁵⁹ bzw. NEMS¹⁶⁰ basierter Sensoren z. B. für die Unterhaltungselektronik
- Entwicklung neuer NEMS-Verfahren zwecks Entwicklung von Sensoren für biochemische Analysen

¹⁵⁹ MEMS steht für „Micro-electro-mechanical systems“.

¹⁶⁰ NEMS steht für „Nano-electro-mechanical systems“.

- zunehmende Nutzung von (Echtzeit-)Sensoren und Sensoren-Netzwerken zu Monitoringzwecken, beispielsweise im Rahmen des Umweltschutzes
- zunehmende Nutzung der Sensorik im Gesundheitsbereich und in der Lebensmittelindustrie

Die Senkung des Energiebedarfs von Sensoren bzw. die Entwicklung von energieautarken Sensoren sowie die Reduzierung deren Produktionskosten stellen laut der Studie weiterhin große Herausforderungen dar.

(4) Dünnschichttechniken, die darauf abzielen, Materialeigenschaften zu verbessern, werden als Schlüsseltechnologie angesehen, insbesondere aufgrund ihrer zahlreichen Anwendungen in den verschiedensten Bereichen (Energiebereich, Elektronik, Automobilindustrie, Bauwesen, Gesundheitsbereich, etc.). Insbesondere hervorgehoben werden: die chemische Gasphasenabscheidung, die physikalische Dampfphasenabscheidung („Physical Vapor Deposition“) sowie Abscheidungsverfahren aus der flüssigen Phase.

Dünnschichttechniken

Materialtechnik

Die Studienautoren gehen von einer zunehmenden Bedeutung der funktionalen und smarten Materialien und von weiteren Entwicklungen auf diesem Gebiet aus. Hervorgehoben werden z. B. Materialien mit Formgedächtnis, selbstreparierende Materialien, thermochromatische Materialien, deren Farbe je nach Temperatur variiert, sowie piezoelektrische Materialien, die bei Einwirkung einer mechanischen Kraft eine elektrische Spannung erzeugen. Neben den traditionellen Anwendungsmärkten für smarte Materialien (Luft- und Raumfahrt, Verteidigung, Automobilindustrie, Kernenergie) könnten in Zukunft neue Märkte an Bedeutung gewinnen: u. a. Gesundheitsbereich (Biomaterialien, Kleidung mit Monitoring-Funktion für die Überwachung physiologischer Werte), Sport und Freizeit (smarte Textilien).

Zunehmende Bedeutung funktionaler und smarter Materialien

Im Transportbereich sei mit der zunehmenden Nutzung neuer Materialien bzw. Verbundwerkstoffe zwecks Reduzierung des Gewichts von Transportmitteln und somit des Energieverbrauchs zu rechnen (s. Abschnitt „Transport und Verkehr, Logistik“).

Von Entwicklungen in den Nanotechnologien sei die Entwicklung neuer Nanomaterialien zu erwarten (s. Abschnitt „Nano- und Mikrosystemtechnologien“).

Simulationsverfahren, u. a. die molekulare Simulation, werden voraussichtlich zunehmend bei der Entwicklung neuer Materialien (z. B. gezielte Entwicklung von Polymeren mit spezifischen gewünschten Eigenschaften), der Untersuchung von Materialeigenschaften sowie bei der Lösung der Frage des Recycling / Wiederverwertung von Materialien am Ende des Produktlebenszyklus eingesetzt werden. Weitere Fortschritte

Simulationsverfahren zur Unterstützung der Materialentwicklung und -untersuchung

Zerstörungsfreie
Werkstoffprüfung

auf dem Gebiet der Methoden zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung werden zudem erwartet: u. a. *In Situ*- und Echtzeit-Verfahren, neue flexible Sensoren und neue Methoden (z. B. Thermoelektrizität).

Produktions- und Prozesstechnik

Ziel: Effizienz-
steigerung bzw.
Beitrag zu
Ressourcenschonung

Allgemeine Entwicklungen in dem Bereich „Produktions- und Prozesstechnik“ ergeben sich laut der Studie insbesondere aus der Notwendigkeit, die Herausforderung selten werdender Ressourcen (insbesondere Energieressourcen) meistern und negative Auswirkungen industrieller Produktionsverfahren auf die Umwelt begrenzen zu müssen. In diesem Zusammenhang kommen Technologien zur Effizienzsteigerung bzw. Reduzierung des Ressourcenverbrauchs eine große Bedeutung zu. Bei der Prozesstechnik werden folgende Technologien als besonders zukunftsrelevant identifiziert:

Katalyseverfahren

- Mikroapparate und mikrostrukturierte Apparate sowie Mikroreaktoren insbesondere für die chemische Industrie sowie für Raffinationsverfahren – s. Abschnitt „Nano- und Mikrosystemtechnologien“.
- Katalyseverfahren: neue Verfahren und Anwendungen seien denkbar insbesondere für die Gewinnung von Wasserstoff, die Erzeugung von Polymeren, bei der chemischen Wiederverwertung von Kunststoffen sowie bei Sanierungs- und Aufbereitungsverfahren. Technische Fortschritte könnten in Zukunft die Beherrschung von Katalysatoren auf nanoskaliger Ebene sowie den Ersatz aktueller teurer Katalysatoren (Edelmetalle) durch kostengünstigere Metalle ermöglichen.
- Membrantechniken und insbesondere hybride Verfahren, die Membrantechniken mit Trennverfahren (z. B. Destillation) kombinieren könnten weiterentwickelt werden und zu Fortschritten in den verschiedensten Bereichen führen: Umwelt, Lebensmittelindustrie, pharmazeutische und chemische Industrie, Papier- und Metallindustrie. Membrantechniken könnten ermöglichen, den Energieverbrauch von industriellen Prozessverfahren sowie deren Auswirkungen auf die Umwelt zu reduzieren bzw. das Recycling von Produkten und Materialien zu unterstützen, bei gleichzeitig moderaten Betriebskosten. Im Umweltbereich könnten Membrantechniken zudem laut der Studie eine zunehmende Rolle bei Wasseraufbereitungstechnologien spielen (s. auch Abschnitt „Nachhaltigkeit und Umwelt“). Zukünftige Entwicklungen bei den Membrantechniken könnten von Fortschritten bei der molekularen Simulation profitieren.
- Effizientere bzw. neue Verfahren der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung – s. Abschnitt „Materialtechnik“.

Membrantechniken
zwecks Reduzierung
des Energie-
verbrauchs

Neben der Ressourcenknappheit stellen folgende Entwicklungen weitere wesentliche allgemeine Trends dar – mit wichtigen Auswirkungen auf die industrielle Produktkonzeption und -herstellung: einerseits geänderte Erwartungen der Kunden, die statt an reinen Produkten zunehmend an ganzheitlichen Lösungen bestehend aus Produkten und Dienstleistungen interessiert sind (s. Abschnitt „Dienstleistungen“) sowie andererseits der zunehmende Einzug von IuK-Technologien in die Produktionsprozesse. In diesem Zusammenhang werden laut der Studie Technologien und Konzepte, die eine Optimierung der Gestaltung des Produktlebenszyklus (inkl. v. a. Design- und Entwicklungsphase), eine Minimierung des Ressourcenverbrauchs sowie die frühe Einbindung zukünftiger Kunden und Nutzer ermöglichen, in Zukunft eine zunehmende Rolle spielen:

- Systemengineering, Modellierungs- und Simulationsverfahren
- Rapid Prototyping: Rapid Prototyping wird von Fortschritten in den IuK-Technologien profitieren (insbesondere 3D-Technologien, 3D-Drucker, etc.) und könnte in Zukunft in immer mehr Bereichen angewandt werden. Beispielsweise könnte Rapid Prototyping jenseits der traditionellen Anwendungsbereiche wie der Automobilindustrie (aktuell 30 % aller Rapid-Prototyping-Anwendungen) auch für die Möbel- oder Medizintechnik-Industrie interessant werden. Rapid Prototyping könnte helfen, den Zeitraum zwischen Produktentwicklung und Serienreife zu verringern – bei gleichzeitiger kontinuierlicher Einbindung aller Akteure und Berücksichtigung aller Aspekte der zukünftigen Produktnutzung (z. B. Ergonomie, Produktgestaltung).
- Progressive Intelligent Manufacturing zwecks Effizienzoptimierung und Erhöhung der Flexibilität der Produktion: Product Lifecycle Management, Computer assisted Design, Product Data Management-Systeme, Simulationsverfahren, Manufacturing Execution System, Supply Chain Management, etc.
- Umweltfreundliches Produzieren dank Erfassung und Analyse des ganzen Produktlebenszyklus: frühzeitige Berücksichtigung, bereits im Entwicklungsprozess von Produkten, des zukünftigen Ressourcenverbrauchs bei der Produktnutzung und Optimierung der Entwicklung zwecks Reduzierung dieses Verbrauchs (z. B. frühzeitige Berücksichtigung des Energieverbrauchs von Neubauten); bevorzugte Nutzung von abbaubaren Kunststoffen; Anpassung der Produktion um Transportwege zu reduzieren, etc.
- Lean Manufacturing / Management zwecks Reduzierung des Time-to-Market-Intervalls sowie der Entwicklungskosten von Produkten, bei gleichzeitiger Minimierung des Ressourcenverbrauchs. Lean Manufacturing / Management könnte in Zukunft für alle Industriebereiche interessant werden, insbesondere aber

Kunden zunehmend an ganzheitlichen „Lösungen“ interessiert

Optimierung des Produktlebenszyklus

Effizientere Produktion und Ressourcenverbrauch

vor dem Hintergrund des Wettbewerbs aus Niedriglohnländern für den Transportbereich.

Optische Technologien

Optische Technologien im Allgemeinen und die Photonik im Besonderen werden als Schlüsseltechnologie angesehen, von denen neue Entwicklungen und Produkte in den verschiedensten Bereichen erwartet werden:

- *im IuK-Bereich*: u. a. optische Datenübertragungen für kurze Distanzen, optische Faser und Komponenten
- *im Bereich Gesundheit und Life Sciences*: photonische Analysesysteme; neue bildgebende Verfahren und photonische Sensoren; Laseranwendungen
- *im Energie- und Beleuchtungsbereich*: LEDs und OLEDs, Photovoltaik-Komponenten; Augmented-Reality-Anwendungen
- *im Produktionsbereich*: u. a. neue Laser und Verfahren für die Industrie; Verfahren zur Herstellung optischer Systeme
- *im Sicherheitsbereich sowie in der Luftfahrt*: photonische Sensoren-Netzwerke und komplexe Monitoring- und Überwachungssysteme
- *im Materialbereich*: Nanophotonik, optische Dünnschichten, neue Materialien

Zahlreiche
Anwendungsbereiche
für optische
Technologien

Der globale Photonik-Markt wird mit einer auf ca. 15 % p. a. geschätzten Wachstumsrate als einer der dynamischsten Technologiemarkte angesehen. Besonderes Marktpotenzial wird insbesondere bei der Anwendung der Photonik für bildgebende Verfahren in der Medizin, für Photovoltaik-Anwendungen und für smarte Beleuchtungssysteme sowie bei „green photonics“ gesehen – entsprechend werden FuE-Investitionen in diesen Bereichen empfohlen. Laut der Studie verfügt Frankreich zwar über ein starkes Akteurspotenzial auf dem Gebiet der Photonik (zusammen mit Deutschland und Großbritannien gehöre es zu den führenden europäischen Ländern in der Photonik-Forschung) allerdings wird bemängelt, dass Frankreich als einziges großes Industrieland bisher kein spezifisches nationales Forschungsprogramm zu Photonik aufweist. Auch könnte die Zusammenarbeit zwischen öffentlicher und industrieller Forschung auf diesem Gebiet gebessert werden.

Starkes Potenzial
der Photonik

Die Förderung der Photovoltaik könnte laut der Studie dazu beitragen, das für Frankreich gesetzte Ziel¹⁶¹ zu erreichen, den Anteil von Energie aus erneuerbaren Quellen am Bruttoendenergieverbrauch auf 23 % bis 2020 zu steigern. Angestrebt wird, dass für die Stromerzeugung aus Pho-

¹⁶¹ EC (2009a).

Photovoltaik eine Leistungskapazität von 5,4 GW bis 2020 erreicht wird. Bei den Solarzellen der 1. und der 2. Generation sei angesichts eines starken internationalen Wettbewerbs das Ziel, Frankreichs Position – die aktuell als bescheiden eingeschätzt wird – zu konsolidieren. Voraussetzung dafür sei, dass es der französischen Photovoltaik-Forschung bzw. Photovoltaik-Industrie gelingt, sowohl Herstellungskosten der Solarzellen der 1. Generation zu senken als auch die Effizienz von Solarzellen der 2. Generation erheblich zu steigern. Aufgrund eines noch unentschiedenen globalen Wettbewerbs bei den Solarzellen der 3. Generation könnten diese eine wichtige Wachstumschance für die französische Photovoltaik-Industrie darstellen. Vielversprechend seien hier aktuelle Anstrengungen, die auf die Herstellung und Produktionsreife von organischen Solarzellen bis 2015 abzielen. Auch könnten Erfolge bei der Herstellung von Solarzellen mit sehr hoher Effizienz (Multischicht-Solarzellen, Konzentratorzellen) den Durchbruch bedeuten. Solarzellen der 3. Generation werden aufgrund der Breite der möglichen Anwendungen (Beleuchtung, Sensorik, Elektronik) als umso bedeutender eingestuft.

Solarzellen der 3. Generation: wichtige Wachstumschance für die Industrie

Informations- und Kommunikationstechnologien

Informations- und Kommunikationstechnologien gehören laut der Studie zu den wichtigsten Technologiebereichen der Zukunft: sie werden zunehmend alle Lebensbereiche durchdringen und einen immer kritischeren Charakter im Berufsleben sowie bei der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen spielen.

IuK immer wichtiger - im Berufsleben des Einzelnen und für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen

Kurz- bis mittelfristig (Zeithorizont 2015-2020) könnte eine Steigerung der Leistung bei elektronischen Komponenten (s. Abschnitt „Elektronik“) zu neuen technologischen Anwendungen führen und z. B. Hochleistungsrechner für weitere Bereiche als die traditionellen Bereiche Forschung und militärische Sicherheit ermöglichen. Zudem wird die Digitalisierung von Informationen und Daten den Studienautoren zufolge weiterhin steigen und – in Verbindung dem Internet sowie mobilen und drahtlosen IuK-Technologien – zunehmend dazu führen, dass jederzeit und überall der Zugang zu Information, Daten, Anwendungen und Dienstleistungen möglich wird.

Hochleistungsrechner in neuen Anwendungsbereichen

IuK zunehmend ubiquitär: Datenzugang jederzeit und von überall

Um zukünftige IuK-Anwendungen nutzen zu können, könnten dem Nutzer in Zukunft zahlreiche intuitive Lösungen zur Verfügung stehen:

- 3D- und Virtuelle-Realität-Anwendungen,
- komplexe Mensch-Maschine-Schnittstellen: z. B. Touchscreens, Stimm- bzw. Gestenerkennung,
- intelligente Suchmaschinen, die eine effiziente persönliche und kontextbezogene Informationssuche ermöglichen – unabhängig von Sprache bzw. Medium.

Intuitive Lösungen für die Mensch-Maschine-Schnittstelle

Cloud Computing
als
Wettbewerbsfaktor

Cloud Computing werde aus Kosten- und Kapazitätsgründen sowie dank immer einfacherer Nutzung für immer mehr Unternehmen eine wichtige Rolle spielen und die Entwicklung von neuen Dienstleistungen und Innovationen ermöglichen (z. B. *Software as a Service*). Im Zusammenhang mit freier Software könnte Cloud Computing laut der Studie erhebliche Auswirkungen auf Markt- und Wettbewerbsposition von Unternehmen haben. Es wird geschätzt, dass Cloud Computing im Jahre 2020 zwischen 20 % und 25 % des gesamten IuK-Markts darstellen könnte – mit entsprechend hohen Anforderungen an Qualität und Kapazität von Kommunikationsnetzwerken. Die Verbreitung von Cloud Computing setze neue Verfahren zur Datenverarbeitung, Datenbanken und IuK-Sicherheitssysteme voraus (s. hierzu den Abschnitt „Verteidigung und Sicherheit“).

Ab 2020: Internet
der Dinge,
intelligente Robotik
und Verschmelzung
virtuelle / reale
Welt

Langfristig (ab 2020) sei die Entwicklung des *Internet der Dinge* wahrscheinlich und somit der möglichen Vernetzung etlicher Gegenstände mit dem Internet und dem Datenaustausch zwischen Gegenständen über das Internet – sowohl im professionellen Bereich (z. B. Unternehmensnetzwerke) als auch im privaten Bereich (z. B. intelligentes Haus). Die weitere Entwicklung von 3D-Darstellungsverfahren könnte zu einer Verschmelzung von virtueller und physischer Realität führen (z. B. 3D-Immersion ohne spezifische Brille). Eine weitere wesentliche mögliche langfristige Entwicklung stelle die Weiterentwicklung der intelligenten Robotik dar – mit zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten im Militär-, Sicherheits- oder Industriebereich.

Schließlich wird als weitere Etappe in der Entwicklung der IuK-Technologien die Konvergenz zwischen IuK-Technologien und Robotik mit lebenden Organismen dargestellt („Kybernetik-Ära“¹⁶²), die beispielsweise zur Entwicklung hocheffizienter Roboter-Prothesen für gelähmte Personen führen könnte.

Wichtige Hürden bzw. zu lösende Fragen bei der Verbreitung zukünftiger IuK-Anwendungen könnten die erforderlichen hohen Investitionskosten auf Unternehmensseite, die erforderliche Umstellung von Geschäftsmodellen z. B. bei Software-as-a-Service-Angeboten, die möglicherweise hohen Kompetenzerfordernisse an die Nutzer sowie mögliche Risiken im Zusammenhang mit Fehlbarkeit der Systeme und dem möglichen Missbrauch von privaten Daten. Darüber hinaus werfen ubiquitäre IuK-Technologien und -anwendungen die Frage ihrer Belastung für die Umwelt in Form eines hohen Energieverbrauchs auf.

¹⁶² S. DGCIS (2011), S. 68

Elektronik

Innovationen im Bereich der Mikro- und Nanoelektronik (s. auch Abschnitt „Nano- und Mikrosystemtechnologien“) werden laut der Studie die Entwicklung immer leistungsstarker Komponenten für IuK-Anwendungen ermöglichen: Zunahme der Integrationsdichte von Chips sowie Integration zusätzlicher Funktionalitäten in Form von Sensoren, MEMS/NEMS-Aktuatoren, etc., die neue Anwendungen ermöglichen.

Zunehmende
Integrationsdichte
dank Nanotechnologie

Bei der Leistungselektronik stehen laut der Studie aktuelle technologische Herausforderungen im Zusammenhang mit der Notwendigkeit, mit mittleren und hohen Stromleistungen in anspruchsvoller Umgebung umgehen zu können, insbesondere im Hinblick auf mechatronische Anwendungen (s. unten). Zukünftige Entwicklungen könnten u. a. darauf abzielen, Fortschritte bei den genutzten Materialien zu erzielen, so dass diese höheren Temperaturen ausgesetzt werden können und weniger Verluste verursachen. Ziel sei, höhere Frequenzen sowie eine bessere Integration in mechatronischen Systemen erreichen zu können. Als vielversprechende Materialien für neue Leistungshalbleiterkomponenten werden in diesem Zusammenhang solche mit großem Bandabstand genannt: GaN auf Silizium, SiC oder Diamant. Technologische Durchbrüche bei den Materialien könnten zudem neue Chancen für europäische und speziell französische Unternehmen auf dem Markt der leistungselektronischen Bauelementen, der bisher von asiatischen Produzenten beherrscht sei. Darüber hinaus gehört die Erhöhung der Zuverlässigkeit von leistungselektronischen Bauelementen zu den Zielen zukünftiger Forschungsaktivitäten. Die Leistungselektronik wird vor allem vor dem Hintergrund ihrer zunehmenden Anwendungen in den verschiedensten Bereichen als Schlüsseltechnologie für die französische Industrie angesehen – allen voran im Transportbereich (insbesondere Hybrid- und Elektroautos, elektrischer Zugbetrieb, elektronische Steuerungssysteme, elektrische statt hydraulische Steuerungssysteme in der Luftfahrt, etc.) und im Energiebereich (u. a. Leistungswandler für Solar- und Windanlagen).

Leistungselektronik
als Schlüssel-
technologie für den
Transportbereich

Die Mechatronik wird in der Studie im Rahmen der Analyse der Transport-Technologien als *enabling technology* für alle intelligenten Fahrzeugsteuerungssysteme im Straßen-, Schienen- und Flugverkehr angesehen sowie als Schlüsseltechnologie, um die Wettbewerbsfähigkeit des französischen Transportsektors zu steigern. Drei FuE-Aspekte werden als prioritär dargestellt: 1) Erhöhung der Sicherheit und Zuverlässigkeit mechatronischer Systeme; 2) Weiterentwicklung von Designmethoden und -instrumenten sowie 3) Mikro-Produktionsmaschinen. Wichtige Hürden bei dieser Schlüsseltechnologie betreffen die Komplexität der für mechatronische Systeme relevanten Technologien und Berufe einerseits sowie andererseits das Fehlen allgemeiner Verfahren und Methoden zur Konzeption mechatronischer Systeme.

Mechatronik als
enabling technology
für Fahrzeug-
steuerungssysteme

Biotechnologie und Life Sciences

Sehr große
Bedeutung der
Biotechnologien

Biotechnologien und Life Sciences kommt in der vorliegenden Studie – wie bereits in der 2006 veröffentlichten Studie „Technologies-Clés 2010“¹⁶³ – eine sehr große Bedeutung zu. Im Folgenden wird auf die wichtigsten Trends eingegangen.

Neue
Anwendungen und
Marktchancen dank
Omik-Technologien

(1) Zunehmende Bedeutung der Omik-Technologien: Fortschritte in der *Genomik*, *Proteomik*, *Transkriptomik*, *Metabolomik* sowie bei den Mikro-RNA-Technologien könnten zu einem besseren Verständnis der molekularen und Zellmechanismen führen und helfen, die Zusammenhänge zwischen spezifischen Molekülen und biologischen Funktionen aufzuklären. Angesichts des von US-amerikanischen Akteuren beherrschten Markts für *Omik-Technologien* sehen die Studienautoren für Frankreich insbesondere Wettbewerbspotenzial bei der *Nutzung* dieser Technologie – eher als bei deren Weiterentwicklung. So würden sich für Frankreich voraussichtlich interessante Marktchancen auf dem Gebiet der Dienstleistungen zur Gensequenzierung bieten. Die Nutzung der *Omik-Technologien* setze allerdings hohe Anforderungen an die verfügbaren Rechen- und Datenverarbeitungssysteme (Hochleistungsrechnen; Molekulare Simulation, etc.) voraus.

Neue Therapien und
Implantate dank
Stammzellforschung
und *Tissue
Engineering*

(2) Zell- und Gewebetechnik: Fortschritte auf dem Gebiet der Stammzellforschung (insbesondere beim Verständnis der Differenzierungsmechanismen) und des *Tissue engineering* – ggf. in Kombination mit nanotechnologischer Verfahren – könnten zur Entwicklung neuer Gewebeimplantate und Therapien für die verschiedensten Krankheiten (s. unten) führen sowie die Erzeugung von Zwischenprodukten für die Lebensmittel- oder Kosmetikindustrie ermöglichen. Frankreich habe das Potenzial, als erstes Land Standards und Normen bei der Produktion von Stammzellen einführen zu können, was einen großen Wettbewerbsvorteil für französische Unternehmen schaffen würde.

Verfahren zur
Optimierung des
Immunsystems

(3) Ein besseres Verständnis immunologischer Mechanismen (z. B. Entdeckung neuer Antikörper, Verständnis von Allergiemechanismen) könnte die Weiterentwicklung von Verfahren zur Optimierung des Immunsystems unterstützen: z. B. Erhöhung der Spezifität bekannter Antikörper, Entwicklung von Impfstoffen und Therapien (s. unten) oder angereicherten Lebensmitteln. Besondere Bedeutung könnte die Erforschung von dendritischen Zellen und T-Zell-Rezeptoren erlangen. Zukünftige Entwicklungen würden laut der Studie von einer systematischeren Herangehensweise auf Basis einer Genom- und Proteom-Analyse sowie der Analyse des Stoffwechsels ausgehen.

(4) Biotechnologie in der Landwirtschaft und in der Viehzucht: Vor dem Hintergrund des Klimawandels sowie den hohen Anforderungen an

¹⁶³ MINEFI (2006).

Nachhaltigkeit, die an die Landwirtschaft gestellt werden – insbesondere bezüglich des schonenden Umgangs mit Ressourcen – könnte die Anwendung biotechnologischer Verfahren in Zukunft zunehmend dazu beitragen, neue, dem Klimawandel angepasste Pflanzenarten, zu züchten (z. B. dürreresistente Pflanzen), die hohe Erträge und Nährstoffeigenschaften versprechen bei gleichzeitig niedrigem Ressourcenverbrauch (z. B. geringer Bedarf an Düngemittel bzw. Wasser). Es wird zudem mit der Weiterentwicklung von biologischen Düngemitteln gerechnet: mit Mikroorganismen angereicherte Düngemittel, die die Widerstandsfähigkeit von Pflanzen gegenüber Umwelteinflüssen erhöhen.

Dem Klimawandel angepasste Nutzpflanzen dank biotechnologischer Verfahren

In der Viehzucht könnten biotechnologische Verfahren helfen, neue Futtermittel als Ersatz zu tierischem Eiweiß zu entwickeln; die Omik-Technologien könnten zudem zunehmend für *In-vitro*-Befruchtungsverfahren eingesetzt werden.

(5) Synthetische Biologie: Kurzfristig wird mit neuen Methoden und Verfahren für die Bioproduktion gerechnet – langfristig könnte die synthetische Biologie Auswirkungen in den verschiedensten Life-Sciences-Bereichen in Form der Entwicklung von personalisierten Medikamenten, Früherkennungsverfahren für Krankheiten sowie von Methoden des medizinischen Eingriffs auf molekularer statt chirurgischer Ebene.

Die Bedeutung der synthetischen Biologie wird vor dem Hintergrund ihrer möglichen Anwendungen in der weißen Biotechnologie (s. unten), insbesondere bei der Herstellung von Biokraftstoffen, als sehr groß eingestuft. Standards und Normen werden als unverzichtbar angesehen, um die Potenziale der synthetischen Biologie im Industriemaßstab ausschöpfen zu können.

Synthetische Biologie sehr wichtig für die weiße Biotechnologie

(6) Der weißen Biotechnologie, d. h. dem Einsatz in industriellen Prozessen von biotechnologischen Verfahren auf Basis von Biokatalysatoren oder von Mikroorganismen, die z. B. in der Lage sind, Biomasse oder Erze umzuwandeln, wird eine wachsende Bedeutung zugesprochen. Weiße Biotechnologie profitiere insbesondere von Fortschritten in der Genomik, Proteomik, Bioinformatik sowie in der synthetischen Biologie. Verfahren der weißen Biotechnologie versprechen laut der Studie eine Erhöhung der Effizienz (Selektivität, Spezifität, Kinetik, Wirkungsgrad) industrieller chemischer Reaktionen, bei gleichzeitiger Ressourcenschonung (z. B. geringerer Energieverbrauch, Nutzung erneuerbarer Rohstoffe, Verwertung von Biomasse) und Reduzierung der Auswirkungen auf die Umwelt (weniger CO₂-Emissionen, geringerer Verbrauch an fossilen Energien, etc.). Neben den traditionellen Anwendungsbereichen (u. a. Kraftstofferzeugung, Lebensmittelindustrie, Pharmaindustrie, Chemie, Kosmetik, Verpackungsindustrie) könnte die weiße Biotechnologie in Zukunft auch in der Textil-, Papier- oder Parfümindustrie sowie bei der Erzverarbeitung immer wichtiger werden. Allerdings könnte deren Einsatz Kontroversen in der Öffentlichkeit bzgl. der möglichen Risiken genmodifizierter Organismen auslösen.

Vielfältige Einsatzbereiche für die weiße Biotechnologie

Besonderes Potenzial für Frankreich bietet insbesondere die kostengünstige Erzeugung von fermentierbaren Zuckern aus Lignocellulose.

(7) Technologien zur Steuerung mikrobieller Ökosysteme könnten die Entwicklung neuer biologischer Düngemittel für die Landwirtschaft unterstützen, insbesondere mit dem Ziel, verfügbare Bodennährstoffe für Pflanzen nutzbarer zu machen.

(8) Fortschritte bei Membrantechniken, in der Mikrofluidik, in der Molekularbiologie sowie in der Genomik könnten zur Entwicklung neuer Techniken zur Schnelldiagnostik führen – z. B. auf Basis neu entdeckter Biomarker. Anwendungsbereiche für zukünftige Schnelldiagnostik-Verfahren sind laut der Studie vielfältig: Gesundheitsbereich (z. B. Vor-Ort-Analysen, um die Anzahl von Krankenhauseinweisungen zu reduzieren), im Umweltbereich (z. B. Erkennung von Luft- oder Wasserverschmutzung)

(9) Schließlich wird die Biotechnologie laut der Studie zukünftig von einer zunehmenden Konvergenz mit IuK-Technologien sowie Nano- und Mikrosystemtechnologien gekennzeichnet sein, in Form der zunehmenden Bedeutung von bildgebenden Verfahren sowie der (Echtzeit-)Sensorik.

Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung

Gesundheitstechnologien wird in der Studie eine große Bedeutung verliehen. Die Studienautoren rechnen mit einer weiteren Durchdringung des Gesundheitsbereichs durch Biotechnologien, IuK-Technologien, Nano- und Mikrosystemtechnologien sowie Materialtechnologien. Die wesentlichen Trends und Entwicklungen werden im Folgenden dargestellt:

(1) e-Health und Telemedizin werden als wachsender Markt angesehen, der sowohl großes Wettbewerbspotenzial und Exportpotenzial für französische Anbieter von Gesundheitsdienstleistungen und -produkten bieten als auch dazu beitragen könnte, die steigenden Kosten im Gesundheitsbereich einzudämmen. Vor dem Hintergrund der Verbreitung von (Echtzeit-)Sensoren zu Monitoring-Zwecken, 3D-Technologien und (drahtlosen) Kommunikationstechnologien wird Anwendungen wie z. B. dem ambulanten Monitoring von Patienten und der Vernetzung von Patientendaten und -befunden großes Potenzial zugeschrieben.

(2) Effizientere Diagnose- und Therapiemöglichkeiten: Aufgrund von Fortschritten auf dem Gebiet der Omik-Technologien (s. Abschnitt „Biotechnologie und Life Sciences“) sowie bei den Analyseverfahren und den bildgebenden Verfahren ist, laut der Studie mit der Identifizierung neuer Biomarker für spezifische Krankheiten zu rechnen, die zu neuen Verfahren der Schnelldiagnostik von Krankheiten führen sowie zu einer effizienteren Medikamentenentwicklung und einer besseren Überprüfbarkeit von Therapien beitragen könnten.

Neue Schnell-
diagnostik-Verfahren

Gesundheits-
technologien von
großer Bedeutung

Großes Potenzial von
e-Health

Bessere Diagnose-
und Therapie-
möglichkeiten

(3) Personalisierte Medizin: Fortschritte bei den Omik-Technologien könnten in Zukunft zudem die Entwicklung personalisierter (Gen-)Therapien und Behandlungsverfahren für eine Vielzahl von Krankheiten ermöglichen. Denkbar seien auch personalisierte Gentherapien für seltene, bisher nicht heilbare Krankheiten.

Personalisierte
Medizin
wahrscheinlich

(4) Regenerative Medizin und Bioimplantate: Zell- und Gewebeforschung in Verbindung mit Fortschritten bei den Neurowissenschaften, den IuK-Technologien (insbesondere der Robotik), der Material-, der Mikrosystemtechnik und der Elektronik könnte zur Entwicklung neuer (intelligenter) Bioimplantate und Prothesen führen. Genannt werden: Neuroprothesen; künstliche Organe; neue Verfahren zur Verabreichung von Medikamenten.

Neuroprothesen

(5) Im Ernährungsbereich werden Entwicklungen bei den IuK-Technologien, der Sensorik sowie bei den Schnelldiagnostik-Verfahren neue Möglichkeiten der Überprüfung und Rückverfolgung von Lebensmitteln eröffnen. Technologien zur Steuerung mikrobieller Ökosysteme könnten zudem zu neuen Analyse- und Konservierungsmethoden für Lebensmittel führen.

Rückverfolgung und
Analyse von
Lebensmitteln
werden präziser

Die Studienautoren betonen, dass die Entwicklungen im Gesundheitsbereich von zahlreichen ethischen Fragestellungen begleitet werden, von der Frage der Zugangsgerechtigkeit sowie der Zuverlässigkeit und Sicherheit der IuK-Systeme bei Telemedizin-Anwendungen bis hin zu ethischen Fragen im Zusammenhang mit der Stammzellforschung sowie dem Einsatz von Neuroprothesen.

Zahlreiche offene
ethische Fragen

Nachhaltigkeit und Umwelt

Umwelttechnologien gehören, zusammen mit den Energietechnologien, zu den Technologien, deren Bedeutung in der vorliegenden Studie und im Vergleich zu den 2006 veröffentlichten „Technologies-Clés 2010“¹⁶⁴ stark gewachsen sind. In technologischer Hinsicht werden zukünftige Entwicklungen laut der Studie durch zwei wesentliche Trends gekennzeichnet:

Steigende Bedeutung
von Umwelt-
technologien

- Die Sensorik wird einen zunehmenden Platz im Umweltbereich einnehmen – sowohl zu diagnostischen Zwecken bei der Einschätzung der Qualität bzw. Verschmutzung von Luft, Wasser und Böden als auch bei der Prävention von Naturkatastrophen. Diese Entwicklung führt zu einem wachsenden Bedarf an (Echtzeit-)Sensoren und integrierten Sensornetzwerken. Dabei könnte insbesondere der Markt für Sensoren zur Messung der Qualität

Sensorik immer
wichtiger für
Umweltschutz-
Anwendungen

¹⁶⁴ MINEFI (2006).

Technologien für die
nachhaltige
Produktion:
wichtiger
Wettbewerbsfaktor

von Böden sowie von Süß- und Salzwasser Wachstum verzeichnen. Fragen der Energieversorgung von Sensoren sowie deren Zuverlässigkeit und Meßgenauigkeit werden zudem voraussichtlich weiterhin eine große Rolle spielen.

- Die hohen Anforderungen an Nachhaltigkeit, die an die Produktion und den Verbrauch von Produkten und Dienstleistungen gestellt werden, führen zum Aufschwung von Umwelttechnologien, die einen schonenden Umgang mit Ressourcen aller Art ermöglichen. Solche Technologien werden als ein wichtiger Wettbewerbsfaktor und mögliches Differenzierungsmerkmal für französische Unternehmen angesehen. Dabei stehe die ganzheitliche Betrachtung des Lebenszyklus von Produkten und Dienstleistungen im Vordergrund.

Folgende Technologien werden hervorgehoben, unterstützt von Fortschritten bei den Nano- und Biotechnologien:

(1) Bei der Wassernutzung:

- *energiearme Entsalzungstechnologien* (Senkung des Energieverbrauchs um ca. 30 %-50 %) bei gleichzeitiger Senkung der schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt des daraus entstehenden Salzes. Bis 2020 werde voraussichtlich das Verfahren der umgekehrten Osmose das meistgenutzte Verfahren bleiben (70 % des Markts).
- *smarte Systeme zur nachhaltigen Nutzung von Wasser:* Modellierung von Grundwasserreserven; Festlegung des optimalen Wasserbedarfs in Industrie und Landwirtschaft; Automatisierung der Systeme.
- *Wasseraufbereitungstechnologien:* Verbesserungen von Membrantechniken; Entwicklung von Nanoverfahren (z. B. von auf Kohlenstoffnanoröhren basierten Filtern) und biotechnologischer Verfahren.
- *Sensoren-Systeme* zur Messung der Wasserqualität, Berücksichtigung der Auswirkungen von Pharmazeutika-, Kosmetika- und Haushaltsmittelrückständen, etc.

Nachhaltiger Umgang
mit Wasserressourcen

Luftaufbereitung

(2) Bei der Luftaufbereitung: Verbesserung von Photokatalyse-Verfahren; Senkung der Kosten der Verfahren; Berücksichtigung möglicher schädlicher Emissionen und Versuch deren Vermeidung im Vorfeld, z. B. bei der Materialherstellung und -auswahl im Transportbereich, im Bauwesen und in der Industrie.

(3) Bei der Sanierung von Böden:

- *In-situ-Sanierungsverfahren:* Überwindung aktueller technischer Hindernisse z. B. bezüglich der Typologie der Verschmutzung, der Anwendbarkeit der Techniken, der Kosten der Verfahren.

Bodensanierung

- *Sedimenten-Abtragung und -Aufbereitung*: Wichtige Fragestellungen betreffen die Modellierung des Transports von Sedimenten, die Charakterisierung von Verschmutzungsquellen, die Entwicklung von Verfahren der Abtragung von Sedimenten bei gleichzeitiger Vermeidung ihrer Freisetzung, die Senkung der Kosten solcher Verfahren.

(4) Bei der Abfallentsorgung und -aufbereitung:

- *Technologien zur automatisierten Abfalltrennung*: Fortschritte bei biomechanischer Trennung von Hausabfällen; Trennung trockener Abfälle; industrielle Trennung von gemischten Abfällen z. B. im Baubereich. Technologien zur automatisierten Abfalltrennung werden als Schlüsseltechnologie für die erfolgreiche Wiederverwertung von Rohstoffen angesehen.
- *Technologien zum Recycling und zur Aufbereitung seltener Materialien*;
- *Technologien zur Aufbereitung organischer Abfälle*.

Abfallaufbereitung

Verteidigung und Sicherheit

Der Bereich Verteidigung wird in der Studie hauptsächlich unter dem Aspekt der Sicherheit von IuK-Systemen und -Anwendungen untersucht. Angesichts der zunehmenden Durchdringung aller Lebensbereiche durch IuK-Technologien und der damit verbundenen hohen Anforderungen an Datensicherheit und -schutz moderner IuK-Systeme (z. B. Cloud Computing, Serviceorientierte Architektur, Web 2.0) wird die Entwicklung von IT-Sicherheitssystemen als Schlüsseltechnologie angesehen. IT-Sicherheitssysteme werden sowohl als *enabling technology* für zahlreiche zukünftige IuK-Anwendungen dargestellt als auch mit Bezug auf die möglichen Auswirkungen von unsicheren IT-Systemen auf Unternehmen, Privatpersonen sowie die nationale Sicherheit (Infrastrukturgefährdung, Cyber-Kriminalität, Spionageaktivitäten, etc.) als kritische Technologie. In Zukunft könnten IuK-Systeme – jenseits des Einsatzes traditioneller Verfahren wie Firewall, Antiviren, etc. – auch die komplexe Verwaltung von User-Identitäten ermöglichen und semantische Techniken berücksichtigen. Der Markt für solche Sicherheitssysteme wird mit einer Wachstumsrate von ca. 11 % p. a. als sehr dynamisch eingestuft.

Fokus auf der Sicherheit von IuK-Systemen und -Anwendungen

Dienstleistungen

Der Bereich Dienstleistungen wird in der Studie nicht als eigenständiger Bereich untersucht, es finden sich allerdings zahlreiche Bezüge in allen Bereichen zu möglichen Entwicklungen bei Dienstleistungen, z. B. im Gesundheitsbereich, in dem das Aufkommen von Telemedizin-Anwendungen – in Kombination mit Entwicklungen auf dem Gebiet der

Neue Dienstleistungen in zahlreichen Bereichen

Sensorik und der Robotik – zu neuen Gesundheits- und Pflegedienstleistungen bzw. Angeboten der ambulanten Betreuung von kranken und pflegedürftigen Menschen führen könnte.

Drei wichtige Trends werden laut der Studie die Entwicklungen im Dienstleistungsbereich prägen:

- Durchdringung durch IuK

 - die zunehmende Durchdringung durch IuK-Technologien verändert die Mechanismen der Dienstleistungserbringung (z. B. Tele-Dienstleistungen im Gesundheitsbereich) und bringt neue Dienstleistungskonzepte hervor.
- Produkt-Dienstleistungs-Hybridisierung

 - die zunehmende Hybridisierung der Produktion: Industrielle Kunden und Endverbraucher sind immer weniger an reinen Produkten sondern zunehmend an Gesamtlösungen interessiert, die Produkt- und Dienstleistungen kombinieren. Dieser Trend führt dazu, dass Nutzer und insbesondere das geschätzte zukünftige Nutzerverhalten zunehmend bereits im Entwicklungs- und Herstellungsprozess von Produkten berücksichtigt werden (s. auch Abschnitt „Produktions- und Prozesstechnik“).
- Dienstleistungen zur ganzheitlichen Betrachtung des (Produkt-) Lebenszyklus

 - Die hohen Anforderungen an Nachhaltigkeit, die an alle Produktionsbereiche gestellt werden, führen dazu, dass Dienstleistungen, die die ganzheitliche Betrachtung des Lebenszyklus von Produkten und Dienstleistungen unterstützen, eine wachsende Bedeutung erlangen werden (s. auch Abschnitt „Nachhaltigkeit und Umwelt“).

4.3 Japan

4.3.1 Nationales Innovationssystem

Seit 1996 werden die Richtlinien der japanischen FuE-Politik in 5-jährigen „Science and Technology Basic Plans“ festgelegt. Der vierte Basisplan für Forschung und Technologie (2011-2015) ist gekennzeichnet durch drei Schwerpunktbereiche¹⁶⁵:

- Wiederaufbau nach der Dreifach-Katastrophe (Erdbeben, Tsunami, Nuklearunfall) und Forschung zur Verhinderung von Schäden durch Naturkatastrophen,
- grüne Innovation mit einem Schwerpunkt in der Energieversorgung aus alternativen Quellen (low carbon) und -nutzung.
- *Lebens-Innovation*.

Zu den Querschnittsmaßnahmen gehören eine stärkere Förderung der Grundlagenforschung, die Entwicklung von Humanressourcen in der Wissenschaft, vor allem die Erhöhung der Zahl von Frauen und die Entwicklung einer international konkurrenzfähigen Wissenschaftslandschaft.^{166,167} Dabei ist es Japans Regierung besonders wichtig, einen speziellen Fokus auf Wissenschaft und Technologie zu legen.

Fokus auf
Wissenschaft und
Technologie

In einer Vision für das Jahr 2050 erachtet es das Science Council of Japan¹⁶⁸ als wesentlich, den Herausforderungen der globalen Umweltverschmutzung, des Bevölkerungswachstums sowie der Ausweitung des Nord-Süd Gefälles adäquat zu begegnen und die Notwendigkeit der Schaffung einer nachhaltigen und humanen Gesellschaft zu erkennen. Die Hauptziele bis 2050 sind in Japan dabei:

- Implementierung einer Bildungsreform
- Realisierung einer demokratischen Gesellschaft
- Realisierung einer Gesellschaft die auf gleichberechtigten Partnerschaften aufbaut
- Schaffung solider Nationaler Sicherheit
- Entwicklung einer Infrastruktur für gesunde Lebensstile
- Schaffung einer soliden Industrie-, Wirtschafts- und Arbeitspolitik

¹⁶⁵ MEXT (2012).

¹⁶⁶ Internationales Büro des BMBF (2012f).

¹⁶⁷ JSPC (2011).

¹⁶⁸ SCJ (2005). Das Science Council of Japan wurde 1949 gegründet als eine *spezielle* Organisation unter der Jurisdiktion des Premierministers für die Unterstützung und Verbesserung des Feldes der Wissenschaft sowie der permanenten Einbindung und Reflektion dieser in der Administration, Industrie und dem gesellschaftlichen Leben.

- Ko-Existenz mit der Natur und Wiederherstellung der Natur
- Sanierung des Landes und der Regionen
- Entwicklung von Informations- und Kommunikationssystemen
- Sicherstellung der Energie und Schutz der Umwelt¹⁶⁹

Abbildung 4.14 stellt die institutionelle Struktur des japanischen Wissenschafts- und Innovationssystems dar.

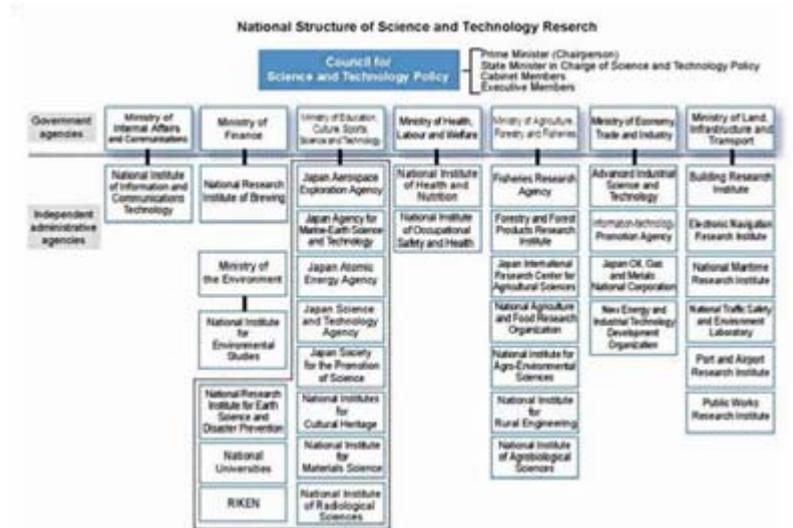


Abbildung 4.14: Nationales Innovationssystem Japans.

Quelle: EC (2011b).

Auf politischer Ebene wird die Koordinierung der Forschungs- und Technologiepolitik durch den „Council for Science and Technology Policy“ (CSTP)¹⁷⁰ unterstützt. Dem CSTP gehören neben dem Premierminister sechs Kabinettsmitglieder (darunter der Staatsminister für Forschung und Technologie, der Minister für Bildung, Kultur, Sport, Wissenschaft und Technologie sowie der Minister für Wirtschaft, Handel und Industrie), der Präsident des „Science Council of Japan“¹⁷¹ sowie sieben

¹⁶⁹ SCJ (2005).

¹⁷⁰ <http://www8.cao.go.jp/cstp/english/index.html>, zuletzt abgerufen am 17.02.12.

¹⁷¹ Aufgabe des dem Premierminister unterstellten „Science Council of Japan“ ist, die Regierung in Fragen der Wissenschafts- und Technologiepolitik zu beraten, Netzwerke und Kooperation in der Forschung und internationale Forschungsaktivitäten zu fördern sowie die Öffentlichkeit für Wissenschafts- und Technologiefragen zu sensibilisieren, www.scj.go.jp/en, zuletzt abgerufen am 15.02.12.

Exekutivmitglieder aus Forschung und Industrie an. Der CSTP ist für die Formulierung und Umsetzung des „Science and Technology Basic Plan“ sowie für die Forschungsevaluation zuständig.¹⁷² Ferner legt der CSTP Fördermaßnahmen in prioritären Bereichen fest¹⁷³, erarbeitet Handlungsempfehlungen zur Verwaltung des öffentlichen FuE-Budgets¹⁷⁴ und ist zusammen mit dem ebenfalls dem „Cabinet Office“ unterstellten „Council on Economic and Fiscal Policy“ (CEFP)¹⁷⁵ für die Gestaltung der Innovationspolitik zuständig.¹⁷⁶

Auf der operativen Ebene vollzieht sich Forschungs- und Technologiepolitik durch die wichtigsten Ministerien des Staates. Bezüglich Wissenschaft und Technologiepolitik sind das „Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology“ (MEXT)¹⁷⁷ und das „Ministry of Economy, Trade and Industry“ (METI)¹⁷⁸ die wichtigsten Akteure für FuE.¹⁷⁹ Das MEXT fördert insbesondere Forschungsaktivitäten in den Bereichen Life Sciences, IT, Umwelt, Energie, Nano- und Materialwissenschaften, Produktionstechnologien sowie Meeres- und Raumfahrtforschung. Weitere Aufgaben des MEXT sind der Aufbau der Grundlagenforschung, die Stärkung des Innovationssystems, die Förderung von internationalen Aktivitäten sowie die (Aus-)Bildung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Das METI spielt insbesondere bei der Industrie- und Technologiepolitik sowie bei der Förderung von FuE-Aktivitäten in den Bereichen natürliche Ressourcen und Energie sowie nukleare und industrielle Sicherheit eine wichtige Rolle. Die dem METI unterstellte Förderagentur „New Energy and Industrial Technology Development Organization“ (NEDO)¹⁸⁰ fördert F&E-Projekte insbesondere im Bereich Energie-, Umwelt- und industrielle Technologien, unterstützt den Wissens- und Technologietransfer zwischen Forschung und Industrie sowie fördert Public-Private-Partnerships in F&E.¹⁸¹

Dem METI unterstellt:
Förderagentur „New
Energy and Industrial
Technology Development
Organization“
(NEDO)

¹⁷² <http://www8.cao.go.jp/cstp/english/about/administration.html>, zuletzt abgerufen am 15.02.12.

¹⁷³ Die vom CSTP in erster Linie priorisierten Bereiche sind Life Sciences, Informationstechnologie, Umwelt, Nanotechnologie und Materialwissenschaften. Weitere Prioritäten des CSTP sind die Bereiche Energie, Produktionstechnologie, Infrastruktur, sowie die Raumfahrt und die Meeresforschung.

¹⁷⁴ Zwar hat der CSTP keinen unmittelbaren Zugriff auf die Forschungshaushalte der verschiedenen Ministerien, dennoch kann er durch seine hochrangige Besetzung erheblichen Einfluss nehmen und beispielsweise ressortübergreifende Kooperationen in der Forschungsförderung anregen.

¹⁷⁵ <http://www5.cao.go.jp/keizai/index-e.html>, zuletzt abgerufen am 15.02.12.

¹⁷⁶ Sagisaka K. (2010).

¹⁷⁷ www.mext.go.jp, zuletzt abgerufen am 17.02.12.

¹⁷⁸ www.meti.go.jp, zuletzt abgerufen am 15.02.12.

¹⁷⁹ EC (2011b).

¹⁸⁰ <http://www.nedo.go.jp/english/index.html>, zuletzt abgerufen am 11.07.2013.

¹⁸¹ http://www.nedo.go.jp/english/introducing_mis_poli.html, zuletzt abgerufen am 11.07.2013.

Ferner ist das METI für die Förderung von KMU sowie für die Patentpolitik zuständig.¹⁸²

Weitere Ministerien, die mit FuE-Aufgaben, bzw. mit der Förderung von Innovation betraut sind, sind das „Ministry of Internal Affairs and Communications“¹⁸³, das „Ministry of Defence“¹⁸⁴, das „Ministry of Foreign Affairs“¹⁸⁵, das „Ministry of Health, Labour and Welfare“¹⁸⁶, das „Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries“¹⁸⁷, sowie das „Ministry of Land, Infrastructure and Transport“¹⁸⁸.

Eine Beratungsfunktion bei der Gestaltung der Forschungs- und Technologiepolitik übernehmen das „National Institute of Science and Technology Policy“ (NISTEP)¹⁸⁹ und das „Council for Science and Technology“¹⁹⁰. Beide Einrichtungen sind dem MEXT unterstellte Forschungsinstitutionen. Sie führen Forschungsaktivitäten zu Wissenschafts- und Technologiefragen durch, deren Ergebnisse in den politischen Entscheidungsprozess auf dem Gebiet der FuE einfließen.¹⁹¹ Das NISTEP, insbesondere seine Abteilung „Science and Technology Foresight Centre“ widmet sich darüber hinaus zukunftsgerichteten und Technologievorschau-Aktivitäten.

4.3.2 Aktivitäten im Bereich Technologieprognosen

Japan weist eine ca. 40-jährige Tradition in der Durchführung von nationalen Technologieprognosen auf, die zudem durch hohe methodische Kontinuität gekennzeichnet ist. Ende der 60er Jahre wurde von der Regierung – in Antwort auf einen damaligen Mangel an politischer und strategischer Ausrichtung im Bereich Wissenschaft und Technologie – die erste Technologieprognose in Form einer Delphi-Studie angestoßen. Ziel dieser Studie, in die knapp 2.500 Experten involviert waren und die 1971 abgeschlossen wurde, war es, einen Konsens über Zukunftsprioritäten in

Lange Tradition in
der Durchführung von
nationalen
Technologieprognosen

¹⁸² EC (2011b).

¹⁸³ Ministry of Internal Affairs and Communications, www.soumu.go.jp, zuletzt abgerufen am 17.02.12.

¹⁸⁴ Ministry of Defence, Japan, www.mod.go.jp, zuletzt abgerufen am 15.02.12.

¹⁸⁵ Ministry of Foreign Affairs of Japan, www.mofa.go.jp, zuletzt abgerufen am 15.02.12.

¹⁸⁶ Ministry of Health, Labour and Welfare, www.mhlw.go.jp, zuletzt abgerufen am 17.02.12.

¹⁸⁷ Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, www.maff.go.jp, zuletzt abgerufen am 15.02.12.

¹⁸⁸ Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, www.mlit.go.jp, zuletzt abgerufen am 15.02.12.

¹⁸⁹ National Institute of Science and Technology Policy, www.nistep.go.jp, zuletzt abgerufen am 15.02.12.

¹⁹⁰ www.mext.go.jp/english/org/struct/049.htm, zuletzt abgerufen am 15.02.12.

¹⁹¹ EC (2011b).

Wissenschaft und Technik zu erreichen und Langzeitvisionen zu entwickeln, die die Industrie dabei unterstützen, Schwerpunkte bei ihren FuE-Aktivitäten zu setzen. Seit 1971 führt Japan ca. alle fünf Jahre eine Delphi-Studie zu Wissenschaft und Technologie (Science and Technology Foresight Survey) durch.¹⁹²

Die nachfolgend beschriebene Studie ist die 9. Delphi-Studie in diesem Vorausschau-Zyklus¹⁹³, der seit Ende der 80er Jahre von dem „National Institute of Science and Technology Policy“ (NISTEP)¹⁹⁴ organisiert und betreut wird.¹⁹⁵

Trotz der kontinuierlichen Anwendung der Delphi-Methode hat sich der japanische Vorausschau-Prozess über die Jahre methodisch und thematisch verändert: Die ersten fünf japanischen Delphi-Studien fokussieren vorrangig auf Wissenschafts- und Technologiethemen sowie sich aus technologischen Entwicklungen neu ergebende Potenziale für die Industrie.

Seit Mitte der 90er Jahren, in der 6. (1996), 7. (2000) und 8. (2004) Delphi-Studie, wurden auch zukünftige gesellschaftliche Bedarfe und sozio-ökonomische Herausforderungen berücksichtigt.^{196,197} In der hier beschriebenen 9. Wissenschafts- und Technologieprognose werden nicht nur alle Wissenschafts- und Technologiebereiche abgedeckt, sondern auch ein Gesellschaftssystem unter Gesichtspunkten wie Sicherheit, Schutz und internationale Zusammenarbeit unter Berücksichtigung regionaler Aspekte und der Denkweise der jüngeren Generation diskutiert. Die 9. Prognose unterscheidet sich insofern erheblich von den vorherigen, als es diesmal um konkrete Problemlösungen geht, wobei ein interdisziplinärer Ansatz verfolgt und die konventionellen fachlichen Grenzen so weit wie möglich aufgehoben werden.

9. Wissenschafts- und
Technologieprognose:
methodische
Neuerungen

¹⁹² Holtmannspötter, D. et al. (2010).

¹⁹³ NISTEP (2010a).

¹⁹⁴ National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP), www.nistep.go.jp, zuletzt abgerufen am 15.02.12.

¹⁹⁵ An der 5. japanischen Delphi-Studie – der ersten vom NISTEP organisierten Studie im japanischen Vorausschau-Zyklus – orientierte sich in methodischer Hinsicht die erste deutsche Delphi-Studie zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik, die 1992 und 1993 im Auftrag des damaligen Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMFT) durchgeführt wurde. Ein deutsch-japanischer Vergleich schloss sich an (parallele Durchführung in den Jahren 1994-1995 von Mini-Delphi-Studien in Deutschland und Japan). Quelle: www.bmbf.de/de/12687.php, zuletzt abgerufen am 15.02.12.

¹⁹⁶ Beispielsweise wurden im Rahmen der 7. Delphi-Studie, neben 14 Panels zu technologischen Themen, 3 Sub-Panels mit der Aufgabe betraut, zukünftige gesellschaftliche Bedarfe für die nächsten 30 Jahre zu identifizieren. Die sich aus den Technologietrends ergebenden Perspektiven wurden anschließend vor dem Hintergrund der identifizierten drei wichtigsten gesellschaftlichen Herausforderungen („Neue sozio-ökonomische Systeme“, „Alternde Bevölkerung“ und „Sicherheit“) bewertet.

¹⁹⁷ Cuhls, K. (2008).

4.3.3 9. Japanische Wissenschafts- und Technikprognose

4.3.3.1 Kurzbeschreibung der Studie

Name der Studie	9. Japanische Wissenschafts- und Technikprognose
Auftraggeber:	„Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology“ (MEXT)
Durchgeführt von:	„National Institute of Science and Technology Policy“ (NISTEP)
Erscheinungsjahr:	2010
Zeithorizont:	2039

Durch die **9. Japanische Wissenschafts- und Technikprognose** sollte herausgefunden werden, welche politischen Maßnahmen in den Bereichen Wissenschaft, Technik und Innovationen im Hinblick auf die Bewältigung der künftigen Herausforderungen zu ergreifen sind. Zu diesem Zweck wurden umfassende Out-of-the-Box-Diskussionen geführt und eine Richtungsbestimmung für die Zukunft vorgenommen, wobei der Fokus auf den Wissenschaften und Technologien lag, mit deren Hilfe die betreffenden globalen und nationalen Aufgaben gelöst werden sollen.

Ziel der Studie war es, eine Vision der Zukunftsgesellschaft (durch wissenschaftlich-technischen Fortschritt gestützt) zu ermitteln und Wege zur Umsetzung der Zukunftsvision zu entwickeln. Besonderes Augenmerk wurde auf Zukunftsvisionen im Interesse der lokalen Bevölkerung und der jüngeren Generation gelegt.

Über die Ermittlung der durchschnittlichen Meinungen der Expertengruppen aus den Ergebnissen der Delphi-Studie wurden wissenschaftliche und technische Bereiche mit zentraler Bedeutung für die Bewältigung der globalen und nationalen Herausforderungen zusammengefasst.

Die 9. Japanische W&T Prognose kam zu dem Ergebnis, dass Japans Anstrengungen an die angestrebte Zukunftsvisionen sich an den Themen „grüne Innovationen“ und „Lebensinnovationen“ orientieren sollten; die IuK werden hierfür Basistechniken liefern. Ein Schwerpunkt sollte auf Systematisierungstechnologien liegen, einschließlich institutioneller Ausgestaltung und Dienstleistungserbringung, mit direkter Anbindung an die tatsächlichen Bedarfe der Gesellschaft. Der internationale Ansatz sollte in Forschung und Entwicklung omnipräsent sein, wenngleich die regional und generationsbedingt unterschiedlichen gesellschaftlichen Werte besondere Aufmerksamkeit verdienen.

Ermittlung der durchschnittlichen Meinungen der Expertengruppen

Methodik: Drei Untersuchungen als Grundlage der 9. Japanischen W&T Prognose

Für die „9. Wissenschafts- und Technikprognose“ wurden zwischen 2008 und 2009 drei Untersuchungen unter Mitwirkung von insgesamt rund 3.200 Experten durchgeführt.¹⁹⁸ Darin werden nicht nur alle Wissenschafts- und Technologiebereiche abgedeckt, sondern auch ein Gesellschaftssystem unter Gesichtspunkten wie Sicherheit, Schutz und internationale Zusammenarbeit unter Berücksichtigung regionaler Aspekte und der Denkweise der jüngeren Generation diskutiert.

Drei Untersuchungen unter Mitwirkung von insgesamt rund 3200 Experten

In Anbetracht der derzeitigen globalen Trends und der aktuellen Situation in Japan grenzte die Studie die Maßnahmen, mit denen den wissenschaftlichen und technischen Herausforderungen begegnet werden soll, auf folgende vier zentrale Aufgaben ein:

1. zentraler Akteur auf wissenschaftlicher und technischer Bühne
2. nachhaltiges Wachstum durch grüne Innovationen
3. erfolgreiches Modell für eine gesund alternde Gesellschaft
4. sicheres Leben

Die Studie verwendete eine Kombination aus verschiedenen Methoden, darunter eine Delphi-Studie zu den Themen, die sich in der interdisziplinären Diskussion mit Blick auf die Ziele für die Zukunftsgesellschaft herauskristallisiert haben, sowie einen Entwurf von Szenarien mittels verschiedener Methoden im Hinblick auf verschiedene Wege, mit denen die Zukunftsziele erreichbar wären. Zudem fanden regionale Diskussionen über die Schaffung nachhaltiger regionaler Gesellschaften sowie eine übergreifende Diskussion statt (Tabelle 4.2).

Kombination aus verschiedenen Methoden

¹⁹⁸ NISTEP Reports 140, 141, 142 (März 2010).

Tabelle 4.2: Konzept der 9. Japanischen W&T Prognose.

Berichte	Kurzbeschreibung	Übergreifende Fragestellungen
9. Delphi-Studie (NISTEP-REPORT Nr. 140)	Die Delphi-Studie zeichnet sich durch ihren Problemlösungsansatz und ihre interdisziplinäre Natur aus. Herausfiltern von Elementen und Faktoren, die Innovationen in der Gesellschaft befördern	<ul style="list-style-type: none"> • Wo soll strategisch gesehen der Forschungsschwerpunkt liegen? • In welchen wissenschaftlichen und technischen Bereichen sind Integration und Zusammenarbeit am effektivsten? • Welches Gesellschaftssystem müsste eingeführt oder restrukturiert werden? • In welchem Rahmen und auf welchem Weg können wir unser Wissen zur Bewältigung der großen Herausforderungen integrieren? • Was sind globale und was nationale Aufgaben?
Zukunfts-szenarien durch Wissenschaft und Technik (NISTEP-REPORT Nr. 141)	Menschliches Leben 2025 im Licht der Ergebnisse der Delphi-Studie: Erkundung der Umsetzungsmaßnahmen mithilfe von drei Ansätzen: 1) Diskussion in Expertengruppen über die zu beschreibenden Wege; 2) Vision der jüngeren Generationen von künftigen Dienstleistungen; 3) Regionale Workshops.	
Grüne Innovationskraft lokaler Regionen (NISTEP-REPORT Nr. 142)	Visionen nachhaltiger lokaler Gesellschaften durch Diskussion der lokalen Bevölkerung. Wissenschaften und Technik zu deren Umsetzung. Aufbau neuer Industriezweige und Dienstleistungen; Abschließender Workshop; Individuelle Fragen.	

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Ergebnisse der Delphi-Studie

Zwölf interdisziplinäre Panels mit insgesamt 135 Experten definierten in drei Schritten 532 Themen in 94 Bereichen (Tabelle 4.3): Zunächst wurden Schlüsselwörter ausgewählt, die die relevanten Themen repräsentierten. Dann wurden eng miteinander zusammenhängende Schlüsselwörter in Bereiche zusammengefasst, und schließlich wurden für jeden Bereich Themen formuliert.¹⁹⁹

Zwölf interdisziplinäre Panels

¹⁹⁹ Parallel zur Themenfestlegung trafen sich vier weitere Panels – mit den Titeln „Schutz“, „Sicherheit“, „Internationale Zusammenarbeit“ und „Internationale Wettbewerbsfähigkeit“, um vorrangige Themen zur Definition künftiger Ziele für Wissenschaft und Technik zu identifizieren.

Tabelle 4.3: Zwölf Positionen für die interdisziplinären Panels.

Panel	Position (von jedem Panel festgelegt)	Bereiche	Themen
Nr. 1	Einsatz von Elektronik, Kommunikation und Nanotechnologie in einer allgegenwärtigen Gesellschaft	6	70
Nr. 2	Informationstechnologie einschließlich Medien und Inhalten	12	76
Nr. 3	Biotechnologie und Nanotechnologie im Dienste der Menschheit	8	58
Nr. 4	Medizintechnik für eine gesunde Lebensweise der nationalen Bevölkerung mithilfe von IT etc.	5	85
Nr. 5	Verständnis der Dynamik von Weltraum, Erde und Leben sowie Wissenschaft und Technik zur Erweiterung des menschlichen Aktionsradius	7	64
Nr. 6	Förderung innovativer Energietechnologien	13	72
Nr. 7	Notwendige Ressourcen einschließlich Wasser, Nahrungsmitteln, Mineralien	7	59
Nr. 8	Technologien für den Umweltschutz und Schaffung einer nachhaltigen Gesellschaft	10	68
Nr. 9	Grundlagentechnologien einschließlich Substanzen, Materialien, Nanosystemen, Verarbeitung, Messung etc.	5	84
Nr. 10	Herstellungstechniken zur umfassenden Unterstützung von	8	76
Nr. 11	Industrie, Gesellschaft sowie Wissenschaft und Technik	8	58
Nr. 12	Stärkung des Managements möglich/erforderlich durch den wissenschaftlich-technischen Fortschritt	5	62
	Infrastrukturtechnologien zur Unterstützung der täglichen Lebensgrundlagen und der industriellen Basis		
Insgesamt		94	532

Quelle: NISTEP (2010c).

Die sechs wichtigsten wissenschaftlich-technischen Bereiche mit Blick auf die Bewältigung der Herausforderungen

Eine Fragestellung der Delphi-Studie lautete: „Welcher wissenschaftliche oder technische Bereich ist von zentraler Bedeutung für die Bewältigung der globalen und nationalen Herausforderungen?“

In der Delphi-Studie wählen die Befragten der verschiedenen Panels jene sechs Bereiche²⁰⁰ und deren zentrale Themen aus, welche am besten geeignet scheinen, die Aufgaben für die Bewältigung der globalen und nationalen Herausforderungen in der Zukunft zu definieren (Tabelle 4.4).

²⁰⁰ (Gruppen zusammenhängender Themen).

Tabelle 4.4: Die sechs Bereiche und vorrangige Themen, welche die meisten Stimmen der Experten erhielten.

Bereich	Vorrangige Themen zur Entwicklung des Bereichs
Vergesellschaftung von Informationen (Panel 2)	<ul style="list-style-type: none"> Mit einem System zur Vorhersage von Bedingungen für das globale Wetter, für Meere, Umwelt, Ökosysteme, Epidemien, Wirtschaft und menschliche Aktivitäten durch eine umfassende Simulation aufgrund von Echtzeitdaten können unbekannte globale Krisen bewältigt werden. System für grüne IKT-Dienste, das die für die Übertragung und Speicherung von Informationen erforderliche Energie auf ein Millionstel des 2010 anfallenden Verbrauchs reduziert (auf den Umfang der verarbeiteten Informationen bezogen)
Kernenergie (Panel 6)	<ul style="list-style-type: none"> Kreislauftechnologie des Schnellen Brüters Geologische Lagertechnik für hochradioaktive Abfälle Standardtechnologien für Leichtwasserreaktoren der nächsten Generation, achtzigjähriger Haltbarkeit und keinerlei Ansiedlungsbeschränkungen dank Erdbebentechnik
Erneuerbare Energien (Panel 6)	<ul style="list-style-type: none"> Große Dünnschichtsolarzelle mit einem Wirkungsgrad von mindestens 20 % Neue Werkstofftechnologien für Solarzellen mit höherem Wirkungsgrad als Silicium oder Gas Konzentrierte Solarenergie (Sonnentürme, Parabolzylinder, chemische Solarwärmesysteme etc.)
Energie, Ressourcen und Umwelt (Panel 10)	<ul style="list-style-type: none"> Ein Recycling-Produktionssystem, das die Prozesse „Ressourcenzufuhr → Konstruktion und Produktion → Nutzung → Entsorgung und Sammlung → Trennung → Ressourcenrecycling“ vereinheitlicht Effiziente Anwendungstechniken für zeitweise erzeugte ungenutzte Wärmeenergie Umfassende, objektive Bewertungsindizes anstelle von CO₂ als Indikator für die Umweltbelastung durch Energie und Ressourcenverbrauch, Produktionsprozesse (Fabriken) und Produkte sowie Bewertungstechniken für diese Indizes
Energiebezogen (Panel 1)	<ul style="list-style-type: none"> Solarzellen mit einem elektrischen Wirkungsgrad von mindestens 60 % Intelligente Netztechnologien, mit denen sich der Stromwirkungsgrad verbessern und der gesamte japanische Energiebedarf um 20 % verringern lässt Langlebige und zuverlässige Batterietechnik mit hoher Energiedichte für Elektrofahrzeuge, mit der diese über die gleiche Gesamtreichweite pro Ladevorgang wie benzintriebene Fahrzeuge verfügen
Weltraum- und Meeresbewirtschaftungstechnologie (einschließlich Beobachtung) (Panel 5)	<ul style="list-style-type: none"> Technologien für die gewerbliche Nutzung von Meeresenergien wie Wind, Wellen und Gezeiten Technologien für die gewerbliche Gewinnung von Meeresbodenressourcen wie hydrothermale Ablagerungen Etablierung von Technologien zur Lösung von CO₂ in Wasser oder Fixierung von CO₂ unter dem Meeresboden.

Quelle: Eigene Zusammenstellung aus NISTEP (2010a).

Die Expertengruppen legten besonderen Wert auf Themen wie die Förderung nichtfossiler Energietechniken (z. B. erneuerbare Energien und

Kernenergie), höhere Effizienz bei der Produktion und Lieferung von Energie/Ressourcen, Bau eines leistungsstarken Energie- und Ressourcensystems (beispielsweise an Produktionsanlagen), effektive Nutzung von Meeresressourcen und Verbesserungen bei der Meeresbeobachtung sowie beim globalen Monitoring, die die Grundlage anderer Technologien bilden (siehe Liste der wichtigsten Zukunftsthemen und Umsetzungsstrategien).

Erneuerbare Energien
und Kernenergie

Dabei halten die Expertengruppen – insbesondere in den ressourcenbezogenen Bereichen – eine Unterscheidung zwischen nationaler und internationaler Bedeutung für wenig sinnvoll. Der internationale Ansatz ist in jeder Hinsicht unerlässlich, sei es bei der Energie, den Ressourcen oder der globalen Beobachtung, doch kann er internationalen Wettbewerb oder internationale Zusammenarbeit bedeuten.

Zwischen nationalem
und internationalem
Ansatz

Der Bereich „Vergesellschaftung von Informationen“ mit Bezug zu grünen Themen erhielt den höchsten Stimmenanteil. Folglich ist es ausschlaggebend, wie gut die IuK für die Implementierung grüner Innovationen genutzt wird.

Nationale Herausforderungen und Handlungsfelder

Die 9. Japanische Delphi-Studie ergab, dass Energie, Ressourcen, Nahrungsmittel, Umwelt sowie Gesundheit und medizinische Versorgung die wichtigsten Bereiche zur Bewältigung der globalen und nationalen Herausforderungen darstellen. Zudem wurde angeführt, dass andere Bereiche – IKT, Nano- und Biotechnologien, urbane Infrastruktur sowie Kultur und Lebensweise – gleichzeitig gefördert werden sollten.

Hieraus ergeben sich, laut Experten, folgende nationale Herausforderungen und Handlungsfelder (Tabelle 4.5 – 4.7).

Tabelle 4.5: Nationale Herausforderungen und Handlungsfelder.

Senkung der CO₂-Emissionen, Ressourcen und Wasserressourcen	Netzaufbau und effektive Nutzung (einschließlich der institutionellen Ausgestaltung)	<p>Fortgeschrittene Nutzung von Energienetzen (das intelligente Netz und andere).</p> <p>Senkung des Energieverbrauchs von Datenzentren, deren Strombedarf künftig schnell ansteigen dürfte. Senkung des Strombedarfs von Fabriken und Haushalten durch die effiziente Nutzung der Informationen, die das intelligente Netz liefert.</p> <p>Technische Entwicklungen für die effiziente Sammlung, Übertragung und Verringerung von Daten sowie die dafür notwendige institutionelle Ausgestaltung.</p> <p>Aufbau von Informationsnetzen, die Platz für neue Technologien bieten, beispielsweise die Ipv6²⁰¹-Kommunikation.</p>
	Aufbau regionaler gesellschaftlicher Infrastrukturen	<p>Implementierung eines benutzerfreundlichen Verkehrssystems.</p> <p>Verdichten von Siedlungsgebieten zur Förderung eines optimierten Zusammenspiels von öffentlichen Verkehrsnetzen und Carsharing mit Elektroautos.</p>
	Verbessertes Management	<p>Implementierung eines kommunalen Managements für den regionalen Energie- und Ressourceneinsatz. Für die Implementierung muss bei den Humanressourcen ein Verständnis für übergreifende Zusammenhänge entwickelt werden. Erforderlich sind zudem eine Systematisierung, die Verbesserung der Führungskompetenzen und die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Sektoren.</p>
	Umsetzung von Strategien und Maßnahmen auf Initiative der Regierung und durch institutionelle Unterstützung	<p>Fortführung der institutionellen Förderung (z. B. Subventionssystem) von Produktion, Nutzung und breiter Anwendung erneuerbarer Energien.</p> <p>Etablierung eines interregionalen Handelssystems mit festen Emissionsobergrenzen (Subventionen für CO₂-Absorption durch Wälder und unabhängige Nutzungssysteme für erneuerbare Energien).</p>
Unterstützung der Nahrungsmittelproduktion	Integration von Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischereiindustrie in einem einheitlichen System	<p>Förderung der so genannten sechsten Industrialisierung: Integration der Primär-, Sekundär- und Tertiärsektoren in einem einheitlichen System und Aufbau neuer Geschäfts- und Produktionsfelder, die neuen Mehrwert in der Nahrungsmittelindustrie schaffen.</p>
	Effizienzsteigerung in der Produktion des	<p>Entwicklung von Robotertechnik sowie verbesserte Genom- und Postgenomforschung an Nutzpflanzen und Nutzvieh.</p>
	Primärsektors	<p>Sensibilisierung im Management aufgrund von Agrarökonomie und Wirtschaftswissenschaften.</p> <p>Technische Entwicklungen zur Steigerung der Produktion je landwirtschaftlicher Nutzflächeneinheit: Mikrofarmen und Pflanzenfabriken.</p>

²⁰¹ Internet Protocol Version 6= standardisiertes Verfahren zur Übertragung von Daten.

Tabelle 4.6: Nationale Herausforderungen und Handlungsfelder (fortgesetzt).

Unterstützung der Nahrungsmittelproduktion (ff.)	Proaktive Anwendung von IuK in Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft	Forschungsförderung für Simulationstechnologien zur umfassenden Verbesserung der Bedingungen für Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft; die Forschungsgebiete reichen von der Umweltbeobachtung über die Wettervorhersage bis hin zu Logistik und Lieferung. Einführung von IKT-unterstützten Hightech-Lösungen für die Rückverfolgbarkeit zur Gewährleistung sicherer Nahrungsmittelprodukte.
	Satellitengestütztes Beobachtungssystem für die Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft Umgang mit gentechnisch veränderten Produkten	Zur Steigerung der Nahrungsmittelproduktion und eine stabile Versorgung werden gentechnisch veränderte Tiere und Pflanzen an Bedeutung gewinnen. Hier sind zwei Ansätze zu verfolgen: die Entwicklung innovativer Biomolekular-Technologien und Methoden zur Bewertung der Sicherheit. Neben den wissenschaftlich-technischen Aspekten, sollte ein gesellschaftlicher Konsens über gentechnisch veränderte Nahrungsmittel angestrebt werden.
	Entwicklung der Humanressourcen	Das Interesse kompetenter Vertreter der jüngeren Generation am industriellen Primärsektor sollte mithilfe von Projekten zur Förderung des Verständnisses für Landwirtschaft geweckt werden. Ein Bildungssystem muss aufgebaut werden, das ein korrektes Verständnis der heutigen Primärindustrien, beispielsweise der Produktion in automatisierten Anlagen und Nachernteverfahren, fördert und das veraltete Bild von Landwirtschaft korrigiert.
Medizinische Versorgung, Nano- und Biotechnologien	Einführung eines Krankenversicherungssystems für präventive Medizin	Ein Krankenversicherungssystem, nicht nur für die Behandlung von Krankheiten, sondern auch für die Vorsorge sollte eingeführt werden.
	Technische Entwicklungen für die Konsolidierung, Verwaltung und Bereitstellung von Gesundheits- und medizinischen Daten	Ausgewogene Förderung der beiden Ansätze: Entwicklung prognostischer und präventiver Medizintechnologien, mit denen Krankheiten unter Kontrolle gebracht werden sollen sowie fortschrittliche Diagnose- und Behandlungstechniken für deren Heilung. Aufbau eines personalisierten Gesundheitsmanagement- und Versorgungssystems.
	Verbesserung der Institutionen und des Systems sowie Schaffung eines geeigneten Umfelds für die Sensibilisierung der Öffentlichkeit	Neben der Verbesserung der medizinischen Institutionen und Systeme müssen folgende Aspekte des medizinischen Umfelds implementiert werden: Schaffung eines ethischen Bewusstseins bei den Wissenschaftlern und dem Personal aus dem medizinischen Bereich sowie in der breiten Öffentlichkeit. Erzielung eines nationalen Konsenses über moderne medizinische Verfahren (z. B. die regenerative Medizin). Verbesserung des Kenntnisstands der Bevölkerung bezüglich Gesundheitsinformationen.

Tabelle 4.7: Nationale Herausforderungen und Handlungsfelder (fortgesetzt).

Medizinische Versorgung, ... (ff)	Laufbahnplanung für Personen mit fachübergreifenden Kompetenzen	Entwicklung eines Laufbahnprogramms zur Bereitstellung fester Stellen für multidisziplinäres Personal wie Forscher mit fachübergreifenden Kenntnissen (beispielsweise Medizin und IT) und Menschen, die Forschung und Entwicklung strategisch leiten können und interessiert daran sind, die Früchte ihrer Arbeit auf den Markt zu bringen.
	Implementierung einer offenen Datenbank	Implementierung einer offenen Datenbank für die Förderung von Genom-Kohortenstudien, mit deren Hilfe Forscher verschiedener Gebiete ein forschungsfreundliches Umfeld vorfinden. Insbesondere Bereitstellung einer Datenbank mit klinischen Akten für die uneingeschränkte Verwendung für das Data-Mining in Texten, unter strengem Schutz personenbezogener Daten. Auch außerhalb der Medizin muss die interdisziplinäre Forschung durch Bedingungen gefördert werden, in denen der unbeschränkte Zugang zu land-, forst- und fischereiwirtschaftlichen Datenbanken für Forschungszwecke ermöglicht wird.
IKT	Effektive Nutzung von IuK mit dem Ziel einer CO ₂ -armen Gesellschaft, der Schaffung von Komfort und Wohlstand sowie der Etablierung einer neuen Lebensweise	Schaffung neuer IKT-Inhalte, wie elektronischer klinischer Akten, Rückverfolgbarkeit gewerblicher Güter, elektronischer Lehrbücher, E-Learning (für Schule, Hochschule und lebenslanges Lernen) und E-Museen (einschließlich E-Theater). Verstärkter Einsatz von IuK im täglichen Leben, beispielsweise Gesundheitsberatung via Internet oder ferngesteuerte Pflegeleistungen. Verstärkter Einsatz von Robotern zur Unterstützung älterer Personen und Verrichtung gefährlicher Arbeiten.
Urbane Infrastruktur	Effektivere Nutzung der vorhandenen Infrastruktur, die heute nicht aktiv genutzt wird	Gewährung des unbeschränkten Zugangs von Privatunternehmen und Privatpersonen zu institutionellen Anlagen (z. B. Glasfasernetzen und Großrechnern) für eine effektivere Nutzung.
	Verbesserte Dienstleistungen für eine leistungsstarke Logistik	Dienstleistungen aus einer Hand durch offizielle Stellen und Wirtschaftsverbände für mehr Effizienz in Produktion, Vertrieb und Verkauf
	Studie über die Anwendung von Wissenschaft und Technik in der Kriminalitätsverhütung	Studie über ungenutzte wissenschaftlich-technische Anwendungen zur Verhütung von Verbrechen, beispielsweise biometrische Verfahren und Messnetze, sowie die Anwendung von IKT-Infrastruktur. Neben den wissenschaftlichen und technischen Aspekten sind auch kriminalistische Positionen aus soziologischer und geisteswissenschaftlicher Sicht zu untersuchen.

Kultur und Lebensweise	Entwicklung neuer regional eingebundener Industrien	<p>Ausbildung von Koordinatoren – Menschen, die über Marketingkenntnisse verfügen und mit Verbrauchern kommunizieren können – auf Initiative von organisch geführten Unternehmen zur Ansiedlung neuer Dienstleistungsbetriebe in enger Anbindung an die regionalen Industrie.</p> <p>Aufbau eines Systems für die Bekanntmachung der regionalen Vorzüge mit Unterstützung der lokalen Behörden.</p> <p>Finanzielle Unterstützung zur Erleichterung der Gründung und Entwicklung neuer Unternehmen in der Region (Finanzierung, Steueranreize, öffentliche Aufträge)</p>
	Ausbildung und Entwicklung von Humanressourcen zur Durchführung der strukturellen Veränderungen	Die Globalisierung und Durchdringung von IuK fördern das Wachstum der einen Industriezweige und beschleunigen den Niedergang der anderen. Um mit diesen Veränderungen in der industriellen Struktur Schritt zu halten, muss das Ausbildungs- und Umschulungssystem in der Arbeitswelt verbessert werden. Auch im Hinblick auf die künftige Industriestruktur und den Arbeitsmarkt wird eine Korrektur der Bildungsmaßstäbe erforderlich sein.

Quelle: Eigene Zusammenstellung aus NISTEP (2010a).

Ergebnisse der 9. Japanischen W&T Prognose

Bereiche mit zentraler Bedeutung für die Bewältigung der globalen und nationalen Herausforderungen

Auf die Frage der Delphi-Studie nach den für die Bewältigung der Herausforderungen wichtigsten Bereichen gaben viele Experten Bereiche an, die einen Bezug zu Energie, medizinischer Versorgung, IuK und den Sozialwissenschaften, wie Humanressourcen und Management, haben. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf energiebezogenen Technologien und der Vergesellschaftung von Informationen (Aufbau eines neuen Gesellschaftssystems mithilfe von IuK).

Energiebezogene
Technologien und
Vergesellschaftung
von Informationen

Themen mit hohem Potenzial für einen Beitrag durch Wissenschaft und Technik

Expertenteams entwarfen Szenarien, um Wege in die Zukunft zu erforschen. Einige Themen (beispielsweise die Informationsinfrastruktur im Gesundheitsbereich, medizinische Umwelt, Ressourcensicherheit, stabile Nahrungsmittelversorgung oder ein intelligentes Netz zur Erreichung einer CO₂-armen Gesellschaft) haben einen klaren Bezug zu Elementen der Wissenschaft und Technik. Die anschließende Entwicklung dieser Elemente als Bestandteil des Gesellschaftssystems wird den Erwartungen zufolge erheblich zu den Visionen der künftigen Gesellschaft beitragen, insbesondere zu einer Gesellschaft, in der verschiedene Diagnosetechniken und -systeme in das tägliche Leben integriert werden und sich die individuelle Gesundheitsvorsorge durchsetzt und einer Gesellschaft, in der der Einzelne aufgrund einer fundierten Bewertung zwischen verschiedenen Energiearten wählen und bewusst proaktiv zur Vermeidung der globalen Klimaerwärmung und zum Umweltschutz beitragen kann.

Informations-
infrastruktur im
Gesundheitsbereich,
medizinische Umwelt,
Ressourcensicherheit,
stabile Nahrungs-
mittelversorgung

Ausrichtungen mit hohem Innovationspotenzial

Zwei Ausrichtungen bildeten sich bei einer Ähnlichkeitsanalyse aller Texte über Themen der Delphi-Studie und Gruppenszenarien und deren anschließenden Zuordnung heraus. Sie werden den Erwartungen zufolge den Rahmen für die bevorstehenden Innovationen bilden.

- Die Gruppe „Grüne Innovationen“ deckt große miteinander verbundene Energie-, Ressourcen- und Umweltbereiche ab.
- Die Gruppe „Lebensinnovationen“ deckt die Bereiche Gesundheit und medizinische Versorgung ab.

Offensichtlich werden die beiden Ausrichtungen auch von den Basistechnologien (IuK, Infrastruktur etc.) und den gesellschaftswissenschaftlichen Bereichen (Management, Lebensweise etc.) gestützt. Insbesondere der Informations- und Kommunikationstechnik (IuK) kommt eine entscheidende Rolle in allen Bereichen zu, da sie als Basistechnologie unverzichtbar für die Förderung von Innovationen ist.

Voraussetzungen für einen schnelleren Fortschritt hin zu den Visionen der Zukunftsgesellschaft

- Ein internationaler Ansatz ist die Grundvoraussetzung für die Förderung grüner Innovationen. Es herrscht ein dringender Bedarf an international ausgerichteten Humanressourcen, die Integration und Systematisierung mit einer breiteren Perspektive umsetzen können.
- Die Förderung von Gesundheitsvorsorgemaßnahmen ist der zentrale Bereich der Lebensinnovationen. Das Ziel kann durch die Förderung maßgeschneiderter Gesundheits- und medizinischer Versorgungsleistungen mithilfe von persönlichen Gesundheits- und medizinischen Akten über die gesamte Lebenszeit erreicht werden; dafür ist die proaktive Einbeziehung von Humanressourcen aus anderen Fachbereichen erforderlich.

4.3.3.2 Inhaltsanalyse

Die nachfolgenden Tabellen²⁰² gliedern die von den Japanischen Delphi-Experten gewählten wichtigsten Zukunftsthemen chronologisch entlang der in der vorliegenden Studie zu vergleichenden Technologiefelder. Die Themen sind in jeder Kategorie in der Reihenfolge der gesellschaftlichen Umsetzung angeordnet (von früher bis später) und berücksichtigen deren Bedeutung für Japan und den Rest der Welt und deren Bedeutung in „Führenden Sektoren (Leading sectors)“, wobei „++“ eine Auswahlquote

²⁰² Eigenübersetzung des Appendix der 9. Japanischen Delphi Studie, Rep. No. 140 (2010).

seitens der Experten von über 70 % und „+“ eine Auswahlquote seitens der Experten zwischen 40 % und 69 % bezeichnet.

Legende:

Jahr: „Tech“: prognostizierte Zeit der technischen Umsetzung (irgendwo in der Welt); „Social“: prognostizierte Zeit der gesellschaftlichen Umsetzung (in Japan)

Bedeutung: „W/J“: wichtig für Japan und den Rest der Welt; „J“: besonders wichtig für Japan; die Spalten „Wichtig für die Welt“ und „Geringe Bedeutung/niedrige Priorität“ wurden wegen niedriger Auswahlquote ausgelassen (< 40 % bei allen Themen).

Führende Sektoren (tech/social) (Sektoren, die den Weg zur technischen/gesellschaftlichen Umsetzung ebnen werden): „Uni“: Universität; „PRO“: öffentliches Forschungsinstitut; „Ent“: Privatunternehmen (einschließlich gemeinnütziger); „Govt“: öffentliche Hand; „Coll“: Zusammenarbeit zwischen mehreren Sektoren.

Transport und Verkehr, Logistik

	Jahr		Bedeutung W/J	Führende Sektoren (tech)			Führende Sektoren (social)						
	Tech	Social		Ent	Pro	Uni	Ent	Pro	Uni				
Delphi-Thema (Die Zahlen am Anfang = Nr. des Panel-Themas)													
2-23: System zur Umwandlung von 80 % der Büroarbeit in Japan in Telearbeit, d. h. eine Person kann mit ihren Kollegen und Kolleginnen in verschiedenen Büros zusammenarbeiten und so kommunizieren, als befänden sie sich die ganze Zeit über in einem Büro.	2017	2024	+			++			++				
4-59: Techniken für die Konzeption medizinischer Gemeinschaften und medizinischer Städte (wie Wohngebiete für ältere Menschen)	2018	2024				+	+		+				+
1-43: Langleibige, zuverlässige Batterietechnik für Elektrofahrzeuge mit hoher Energiedichte (etwa dreimal dichter als derzeit), mit der Elektrofahrzeuge über eine Gesamtreichweite pro Ladevorgang verfügen, die der von benzingetriebenen Fahrzeugen entspricht (ca. 500 km)	2018	2025	++			++			++				
2-24: System für das virtuelle Büro, mit dem die Anzahl der Arbeitskräfte in Japan gegenüber der momentanen realen Bürowelt halbiert werden kann.	2018	2025	+			++			++				
6-41: Kostengünstige Sekundärzellen für Fahrzeuge (wie Autos)	2019	2025	++			++			++				
11-16: Alternative Technologien für energieintensive Personenbeförderungsmittel, um der Erderwärmung und den eskalierenden Umweltproblemen entgegenzuwirken.	2018	2026	++			+			+				+
12-46: Entwicklung eines umweltfreundlichen Schiffs der nächsten Generation (grünes Schiff) mit 50 % weniger CO ₂ -Emissionen und ca. 80 % weniger Stickoxidemissionen als derzeitige Schiffe.	2019	2026	++			++			++				
12-42: Entwicklung eines Systems zur Reduzierung der Zeit, Kosten und Umweltbelastung eines jeden Verbindungsknotens zwischen einem Schienenweg und einer Straße, einer Straße und einem Hafen/Flughafen oder einem Schienenweg und einem Hafen/Flughafen um 50 % zur Steigerung der Effizienz des zwischenstädtischen Frachtverkehrs.	2020	2027	+			+	+		+				+
9-32: Brennstoffzellen mit hohem Wirkungsgrad für Fahrzeuge ohne die Verwendung seltener Erdmetalle.	2020	2030	+				+	+		+			
2-53: Automatische Fahrttechnologien für Autos mit einer Sonderspur zur Verdreifachung der derzeitigen Leistungsfähigkeit von Autobahnen.	2020	2031	+				+	+		+			+

Luft- und Raumfahrt

Delphi-Thema (Die Zahlen am Anfang = Nr. des Panel-Themas)	Jahr		Bedeutung W/J	Führende Sektoren (tech)			Führende Sektoren (social)						
	Tech	Social		Uni	Pro	Ent	Coll	Other	Uni	Pro	Ent	Govt	Coll
5-57: In Japan hergestellte hochzuverlässige (hohe Robustheit) und wettbewerbsfähige (Kostenminimierung, Mikrominiaturisierung und Gewichtsminimierung) Weltraumausrüstung (für den Raumtransport, Raumfahrzeuge etc.)	2017	2022	++		+					+			
5-64: Radikale technische Maßnahmen zur Lösung des Weltraummüllproblems (Entwicklung abfallfreier Raumsysteme, Sammlung oder Entsorgung durch Injektion bereits vorhandener Abfälle in die Atmosphäre etc.)	2023	2032	++		++					++			
5-60: Japanisches bemanntes Weltraumsystem (bemannte Tragerrakete, bemanntes Raumschiff)	2024	2033	+		++					++			

Bauen und Wohnen

Das Themenfeld „Bauen und Wohnen“ wird nicht untersucht.

Meerestechnik und Schifffahrt

Weltraum- und Meeresbewirtschaftungstechnologie (einschließlich Beobachtung):

- Technologien für die gewerbliche Nutzung von Meeresenergien wie Wind, Wellen und Gezeiten
- Technologien für die gewerbliche Gewinnung von Meeresbodentressourcen wie hydrothermale Ablagerungen
- Technologien zur Lösung von CO₂ in Wasser oder Fixierung von CO₂ unter dem Meeresboden.

Nano- und Mikrosystemtechnologie

Delphi-Thema (Die Zahlen am Anfang = Nr. des Panel-Themas)	Jahr		Bedeutung		Führende Sektoren (tech)			Führende Sektoren (social)		
	Tech	Social	W/J	J	Uni	Pro	Ent	Uni	Pro	Ent
	2017	2023	++		+	+				++
9-3: Neue Funktionswerkstoffe aus komplexen heterogenen Werkstoffen durch Nanokontrollen von Struktur und Schnittstelle.	2018	2025	+		+	+	+			++
9-4: Industrielle Verarbeitungstechnik für dreidimensionale Nanointegration.	2019	2026	++		+	+				++
9-2: Industrielle Technik zur Kontrolle von Nanostrukturen in Größen von 10 nm oder weniger mithilfe von Selbstassemblierung.	2019	2027	++		++	+				++
9-16: Herstellungstechniken unter Verwendung von Nano-Selbstassemblierungstechnik.										

Materialtechnik

Das Themenfeld „Materialtechnik“ wird nicht untersucht.

Produktions- und Prozesstechnik

Das Themenfeld „Produktions- und Prozesstechnik“ wird nicht untersucht.

Optische Technologien

Das Themenfeld „Optische Technologien“ wird nicht untersucht.

Informations- und Kommunikationstechnologien

Delphi-Thema (Die Zahlen am Anfang = Nr. des Panel-Themas)	Jahr		Bedeutung W/J	Führende Sektoren (tech)					Führende Sektoren (social)								
	Tech 2018	Social 2023		Uni	Pro	Ent	Coll	Other	Uni	Pro	Ent	Govt	Coll	Other			
2-01: In dem System, das verschiedenen Nutzern verschiedene Dienstleistungen über die flexible Verbindung von mehr als 100 Millionen Computern anbietet, werden effiziente und halbautomatische Technologien eingesetzt, die stabile Dienstleistungen ohne Systemausfälle sichern.		2023	++						++					++			
2-28: System zur Rückverfolgbarkeit von Informationen, in welchem inhalten zum Zeitpunkt des Informationsursprungs eine elektronische ID zugewiesen wird, die nicht gelöscht oder verändert wird, wodurch gestohlene oder gestreute Informationen leicht ausfindig gemacht werden können.	2017	2024	++	+											+		
12-52: Semipermanente Einbausensortechnologien zur Meldung von Alterungsgrad, Lebensdauer und Zeiten für strukturelle Erneuerungen sollen breit eingesetzt werden.	2019	2026	+	+											+		
2-02: In dem System, das verschiedenen Nutzern verschiedene Dienstleistungen über die flexible Verbindung von mehr als 100 Millionen Computern anbietet, wird ein fortschrittlicher unabhängiger Service neue Informationen mit Mehrwert oder neue funktionale Dienstleistungen aus bestehenden Funktionen und Dienstleistungen oder aus der Datengruppe schaffen, die diesen Diensten zugrunde liegt.	2020	2027	++												+		++

Elektronik

Das Themenfeld „Elektronik“ wird nicht untersucht.

Biotechnologie und Life Sciences

Delphi-Thema (Die Zahlen am Anfang = Nr. des Panel-Themas)	Jahr		Bedeutung		Führende Sektoren (tech)					Führende Sektoren (social)					
	Tech	Social	W/I	J	Uni	Pro	Ent	Coll	Other	Uni	Pro	Ent	Govt	Coll	Other
	2016	2020	+	+	+	+	+	+				+	+		
4-85: Industrialisierung eines konsistenten Verarbeitungssystems für medizinische Abfälle, einschließlich Recycling.	2016	2020	+	+		+	+	+				+	+		
10-62: Unter Berücksichtigung von Recycling- und Wiederverwendungsfähigkeit entwickeltes Solarteilensystem mit niedriger Umweltbelastung bei der Entsorgung.	2017	2024	+				+					++			
9-19: Technik für die Massenproduktion von Brennstoffen und Biokompoststoffen aus Nichterdmaterialien auf der Basis von Pflanzen oder Mikroorganismen	2018	2025	++			+	+					++			
10-88: Recycling Produktionssystem, das die Prozesse von der Ressourcenzufuhr; Konstruktion/Produktion bis Ressourcenrecycling, vereinhaltet.	2018	2025	++				+					++			
10-19: Umfassende Konstruktionsverfahren für die komplette Optimierung über den gesamten Lebenszyklus.	2017	2025	+			*	+					++			
3-52: Biokatalysator mit einer Produktivität, die mindestens der eines chemischen Katalysators entspricht, für den Einsatz in der industriellen Produktion.	2019	2026	++			++	+	+			+	+			
7-16: Technologien für die gewerbliche Herstellung von Brennstoffen und Biochemikalien unter Verwendung von Pflanzen und Mikroorganismen mittels Kaskadennutzung.	2019	2028	++				+	+				+		+	
3-51: Über die Hälfte der chemischen Polymere aus Erdöl werden zu erneuerbaren Produkten auf Biomassebasis.	2022	2080	++				+	+			+	+			
8-58: Förderung von Ökoproduktion und Technologien mit niedriger Entropie	2021	2030	++				+	+				++	+		
10-02: Technik zur Herstellung von Produkten und Werkstoffen für eine sichere, saubere und energieeffiziente Massenproduktion auf Basis ökologischer Kenntnisse	2021	0890	++				+					+			
12-50: Eine einheitliche Datenbank (bezüglich Wirtschaftseinheiten wie Schienen, Straßen, elektrischer Energie und kommunaler öffentlicher Einheiten) aufbauen	2018	2025				+	+				+	+			
12-52: Semipermanente Einbausensortechnologien zur Meldung von Alterungsgrad, Lebensdauer und Zeit für strukturelle Erneuerungen sollen breit eingesetzt werden.	2019	2036	+				+	+				+			
12-56: Ein System für die Bewertung von Konstruktionssystemen und der strukturellen Leistung der Vermögenswerte zur funktionalen Erweiterung.	2019	2027	+				+	+				+			
12-51: Eine hochpräzise Modellierung der Altersumgebungen aufgrund von Projektierungs- und Bautechnik für die Vorbeugung von Infrastrukturalterung wird machbar sein, und ein hinreichend präzises Lifecycle- und Anlagenmanagement wird praktisch umsetzbar sein.	2019	2025	+			+	+	+			+	+			
3-38: Technologien für die Pflanzenproduktion und grüne Technologien in Wüsten durch eine verbesserte Anpassung der Pflanzen (Salt-, Dürre- und Kälteoleranz) und deren Wachstumskontrolle.	2020	2028	+				+				+	+			
3-56: Kostengünstige Land- und Forstwirtschaft und ländliche Gemeinden, die sich durch die Verwendung lokaler land- und forstwirtschaftlicher Ressourcen und organischer Abfälle einer emissionsfreien Existenz nähern.	2019	2027	+				+	++			+	+			
3-57: Biologische Pflanzenschutzverfahren, mit denen der Einsatz synthetischer chemischer Pestizide und Dünger um 50 % gesenkt wird.	2018	2026	++				+	++			+	+			
3-49: Wachstumsregulierung von Pflanzen und Bäumen durch Erkundung der Mechanismen von Biosynthese	2020	2029	++					++			+	+			

Nachhaltigkeit und Umwelt

Dolphin-Thema (Die Zahlen am Anfang = Nr. des Panel-Themas)	Jahr		Bedeutung W/J	Führende Sektoren (tech)					Führende Sektoren (social)					
	Tech	Social		Uni	Pro	Ent	Coll	Other	Uni	Pro	Ent	Govt	Coll	Other
8-17: Einführung einer Umwelterziehung, zur Veränderung der Lebensweisen der Bürger.	-	2018	++	-	-	-	-	-	-	-	++	-	-	-
10-65: Umfassende, objektive Bewertungsindizes anstelle von CO ₂ als Indikator für die Umweltbelastung durch Energie und Ressourcenverbrauch, Produktionsprozesse (Fabriken) und Produkte, sowie Bewertungstechniken für diese Indizes	2017	2023	++	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-
5-32: Etablierung von Technologien zur Lösung von CO ₂ in Wasser oder Fixierung von CO ₂ unter dem Meeresboden.	2018	2026	++	++	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-
7-39: Technologien, die wirtschaftliche Anreize für die geologische CO ₂ -Sequestrierung und das Recycling von sequestriertem CO ₂ bieten.	2019	2027	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
7-95: Praktische und wirtschaftliche Stromerzeugung, Wasserstoffherstellung und Produktion synthetischer Kraftstoffe durch Vergasung unter Einbeziehung der CCS-Technik, anwendbar auf Kohlenwasserstoffressourcen wie Kohle, Schweröle und Biomasse.	2020	2028	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
7-96: Speicher- und Managertechnik für tiefe Soleschichten zur Erweiterung der Möglichkeiten für die geologische CO ₂ -Sequestrierung.	2020	2028	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5-46: Werkstoffe für die Kohlenstoffierung zur CO ₂ -Reduzierung.	2021	2030	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
9-33: Membranrennungstechniken zur Wasserstoffproduktion aus Kohle ohne CO ₂ -Emissionen.	2023	2031	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
7-28: Finanziell tragbare selektive Abtrennung und Wiedergewinnung seltener Erdmetalle aus Elektro- und Elektronikgeräten und Verbrennungsgasche.	2015	2020	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
7-23: Aufbau eines regionalen Wasserrückgewinnungssystems zum Ausgleich der ungleichen Wasserverteilung durch Meerwasserentsalzungstechnologie	2014	2020	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
7-04: Techniken, die geothermische Quellen mittlerer und niedriger Temperaturen durch Binärstromerzeugung und Wärmepumpen nutzen.	2015	2021	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
10-59: Sicheres, kostengünstiges Lagerungssystem für allgemeine Abfälle, für die noch keine Wiederverwendungs- und effizienten Entsorgungsverfahren entwickelt wurden	2017	2023	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
8-59: Technologien zur sinnvollen Wiedergewinnung und Nutzung seltener Erdmetalle aus Haushalts- und Industriemüll, Verbrennungsgasche und Flugasche.	2018	2024	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
10-61: Effiziente Anwendungstechniken für teilweise erzeugte ungenutzte Wärmeenergie	2018	2025	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
10-60: Technologien für die Steigerung des exergetischen Wirkungsgrads von Niedrigtemperatur-Wärmeenergie.	2019	2026	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5-12: Technologien für die gewerbliche Gewinnung von Meeresbodenressourcen wie hydrothermale Ablagerungen.	2020	2027	++	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
8-60: Förderung eines Systems für die Konzeption, Herstellung, Sammlung und Wiederverwendung von mindestens 90 % der (thermischen, chemischen und stofflichen) Produkte auf der Basis einer gesetzlich definierten Produkthaftung im Zusammenhang mit der Abfallsammlung und -verwertung.	2019	2027	+	+	+	+	+	+	++	+	+	+	+	+

Nachhaltigkeit und Umwelt ff.

Delphi-Thema (Die Zahlen am Anfang = Nr. des Panel-Themas)		Jahr		Bedeutung		Führende Sektoren (tech)			Führende Sektoren (social)						
Tech	Social	W/J	J	Uni	Pro	Ent	Coll	Other	Uni	Pro	Ent	Govt	Coll	Other	
Beobachtung, Monitoring, Simulation und Prognose															
8-42: Analysen des derzeitigen Status und des Mechanismus der natürlichen Emission, Absorption und Fixierung von Treibhausgas.	2018	-		++					+						*
4-61: Erforschung der biologischen Effekte von Spurenschadstoffen in der Umwelt.	2019	-		++	+				-						-
4-63: Prognose der Gefahr des Ausbruchs von Infektionskrankheiten, die durch Fortschritte in den Modellierungs- und Simulationstechniken für große Systeme wie das Ökosystem und die Umwelt möglich wird.	2018	2025		++	+	+	+		+					+	
5-02: Globales Überwachungssystem für Erdbeobachtung, mit dem sich Treibhausgase und die Dichte von Luftschadstoffen in einem Rahmen von 5 x 5 x 1 km über Land und von 20 x 20 x 4 km über Wasser identifizieren lassen.	2020	2027		++					++						
5-01: Zukunftsmodellierung über die nächsten 50 bis 100 Jahre mit dem Ziel, die CO ₂ -Bilanz in der Erdatmosphäre einschließlich des Ökosystems und der Lebensräume von Menschen sowie die Veränderungen im Wasserkreislauf zu erfassen.	2020	2027		++					+						
12-10: Quantitative Prognosen der Auswirkungen des Fortschritts auf die Natur (Topographie, Geologie, Grundwasser, Pflanzen, Tiere etc.) werden möglich, ebenso die Bewertung der Auswirkungen bestimmter Entwicklungsprojekte mithilfe einer Simulation unter Berücksichtigung des Projektalitäts, alternativer Optionen, Gegenmaßnahmen und der Geschwindigkeit der Natursanierung.	2019	2027		++					+					+	
5-03: Ein globales Überwachungssystem für Erdbeobachtung, mit dem der Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre, der Windvektor und die dadurch bewirkte Wolkendecke in einem Rahmen von 5 x 5 x 1 km über Land und von 20 x 20 x 4 km über Wasser identifiziert werden können.	2020	2027		++					+						
8-23: Prognosetechniken für die künftige weltweite Umwelt auf einer Zeitskala von mehreren Jahrzehnten aufgrund eines globalen Systemmodells, das gleichzeitig die Stoffkreisläufe in der Atmosphäre, in den Meeren und an Land berücksichtigt.	2020	2028		++					+						
5-22: Großräumige Beobachtungstechniken für die Meeresböden zur Erforschung der globalen Hitze- und CO ₂ -Bilanz.	2022	2029		++					+						
2-30: Mit einem System zur Vorhersage von Bedingungen für das globale Wetter, für Meere, Umwelt, Ökosysteme, Epidemien, Wirtschaft und menschliche Aktivitäten durch eine umfassende Simulation aufgrund von Echtzeitdaten können unbekannte globale Krisen bewältigt werden.	2022	2030		++					+					+	

4.4 UK

4.4.1 Nationales Innovationssystem

Forschungspolitik als integralem Bestandteil der Innovationspolitik kommt in Großbritannien seit Jahren eine große Bedeutung zu. Bereits der im Juli 2004 vorgelegte Rahmenplan „Science & Innovation Investment Framework 2004-2014“ der britischen Regierung gab Forschung und Technologie eine hohe Priorität, um Innovation zu stimulieren.²⁰³

Forschung und
Technologie:
Hohe politische
Priorität

Eine Übersicht des aktuellen britischen Innovationssystems wird in Abbildung 4.15 wiedergegeben.

Das „**Department for Business, Innovation and Skills**“ (**BIS**)²⁰⁴ nimmt die wichtigste Rolle unter den Akteuren der Exekutive im Bereich der Forschungspolitik ein und ist gleichzeitig der wichtigste Finanzierungsträger öffentlicher Forschung.²⁰⁵ Das BIS beherbergt das „**Government Office for Science**“ (**GO-Science**)²⁰⁶, das die entsprechend den Empfehlungen des „**Chief Scientific Adviser**“ (CSA)²⁰⁷ und des „**Council for Science and Technology**“ (CST) vom Kabinett festgelegte britische Forschungspolitik koordiniert.²⁰⁸

Festlegung der
Forschungspolitik

GO-Science ist insbesondere für die Forschungsförderung zuständig, hierfür bedient es sich der sieben „**Research Councils**“²⁰⁹, die Forschungsaktivitäten in unterschiedlichen Wissenschaftsbereichen finanzieren. Dabei werden entsprechend dem britischen dualen System zur Förderung der Forschung an britischen Hochschulen die Basisinfrastruktur für Forschung von den „Higher Education Funding Councils“²¹⁰ und Forschungsprojekte sowie einzelne Forscher über die „Research Councils“

Forschungsförderung

²⁰³ Internationales Büro des BMBF (2012b); Holtmannspötter, D. et al. (2010).

²⁰⁴ www.bis.gov.uk.

²⁰⁵ Cunningham, P. et al. (2013).

²⁰⁶ <http://www.bis.gov.uk/go-science>.

²⁰⁷ www.cst.gov.uk.

²⁰⁸ <http://www.bis.gov.uk/go-science/about>. Abgerufen am: 22.03.2013; Internationales Büro des BMBF (2012a).

²⁰⁹ Die sieben „Research Councils“ sind folgende: das „Arts and Humanities Research Council“ (www.ahrc.ac.uk), das „Biotechnology and Biological Sciences Research Council“ (www.bbsrc.ac.uk), das „Engineering and Physical Sciences Research Council“ (www.epsrc.ac.uk), das „Economic and Social Research Council“ (www.esrc.ac.uk), das „Medical Research Council“ (www.mrc.ac.uk), das „Natural Environment Research Council“ (www.nerc.ac.uk) und das „Science and Technology Facilities Council“ (www.stfc.ac.uk).

²¹⁰ Dabei werden die Mittel des „Higher Education Funding Council for England“ vom BIS bereitgestellt, während Schottland, Wales und Nordirland über eigene „Higher Education Funding Councils“ verfügen, deren Mittel von den „devolved administrations“ in Schottland, Wales und Nordirland bereitgestellt werden.

gefördert. Darüber hinaus ist GO-Science für die internationalen Forschungsaktivitäten und die nationale Innovationsstrategie zuständig.²¹¹

Koordinierung der
FuE-Aktivitäten
durch GO-Science

Des Weiteren koordiniert GO-Science die FuE-Aktivitäten aller weiteren Ministerien mit Verantwortung für Wissenschaft und Technologie. Insbesondere das „**Department of Environment, Food and Rural Affairs**“²¹², das „**Ministry of Defence**“²¹³ und das „**Department of Health**“²¹⁴ sind in teilweise erheblichem Umfang mit Forschungs- und Entwicklungsaufgaben betraut und fördern FuE-Aktivitäten entweder in eigenen Instituten und öffentlichen Instituten („Public Sector Research Establishments“ – PSRE) oder in ehemals eigenen, nun privatisierten Instituten und Agenturen (Research and Technology Organisations RTO).

Wissenschafts- und
Technologieberater

Geleitet wird GO-Science von dem „**Government Chief Scientific Adviser**“ (CSA), dem obersten Wissenschafts- und Technologieberater des Premierministers und der britischen Regierung. Er ist zuständig für die Evaluation der gesamten Forschungslandschaft sowie u. a. für Technologievorausschau-Aktivitäten wie das Foresight-Programm und das Horizon Scanning Centre (s. unten).²¹⁵ Zudem ist der CSA Co-Vorsitzender des dem Premierminister unterstellten „**Council for Science and Technology**“ (CST)²¹⁶, dem wichtigsten Beratungsgremium der Politik.

Weitere beratende Funktion übernehmen das „Parliamentary Office of Science and Technology“ (POST)²¹⁷ und die parlamentarischen Sonderausschüsse (**Select Committees**) des „House of Commons“ und des „House of Lords“²¹⁸ sowie eine Reihe weiterer Gremien, wie die „Royal Commission on Environmental Pollution“, das „Standing Medical Advisory Committee“, die „Human Genetics Commission“, das „Advisory Committee on the Microbiological Safety of Food“ und das „Radioactive Waste Management Advisory Committee“.²¹⁹

Die einzige wesentliche Änderung in den letzten Jahren²²⁰ bei Institutionen und Zuständigkeiten des britischen Innovationssystems betrifft das

²¹¹ Internationales Büro des BMBF (2012b).

²¹² www.defra.gov.uk.

²¹³ www.mod.uk.

²¹⁴ www.dh.gov.uk.

²¹⁵ Internationales Büro des BMBF (2012a).

²¹⁶ www.cst.gov.uk.

²¹⁷ <http://www.parliament.uk/post>.

²¹⁸ Anders als die parlamentarischen Ausschüsse vieler anderer Länder haben diese Ausschüsse keine direkte gesetzgebende und den Haushalt betreffende Vollmachten.

²¹⁹ Internationales Büro des BMBF (2012a).

²²⁰ s. zum Vergleich die Darstellung des britischen Innovationssystems im Jahre 2010 in Holtmannspötter et. al. (2010).

„**Technology Strategy Board**“²²¹ (TSB) und Innovationsförderung auf lokaler Ebene: Im April 2012 wurden die bis dahin bestehenden „Regional Development Agencies“ durch „**Local Economic Partnerships**“ (LEP), die auf lokaler Ebene alle für wirtschaftliche Entwicklung zuständigen Behörden zusammenschließen, ersetzt. Gleichzeitig wurde die Rolle des „Technology Strategy Board“ – einer unabhängigen Institution, deren Mittel vom BIS und weiteren Ministerien, den „devolved administrations“ sowie den „Research Councils“ bereitgestellt werden²²² – erweitert: Neben der Zuständigkeit für die Formulierung und Umsetzung der Technologie-Strategie der Regierung ist das TSB nun auch für die Innovationspolitik auf lokaler Ebene zuständig und wird dadurch *de facto* zur Innovationsagentur für das ganze Land.²²³

Änderung bei der Innovationsförderung auf lokaler Ebene

Innovationsagentur: Technology Strategy Board

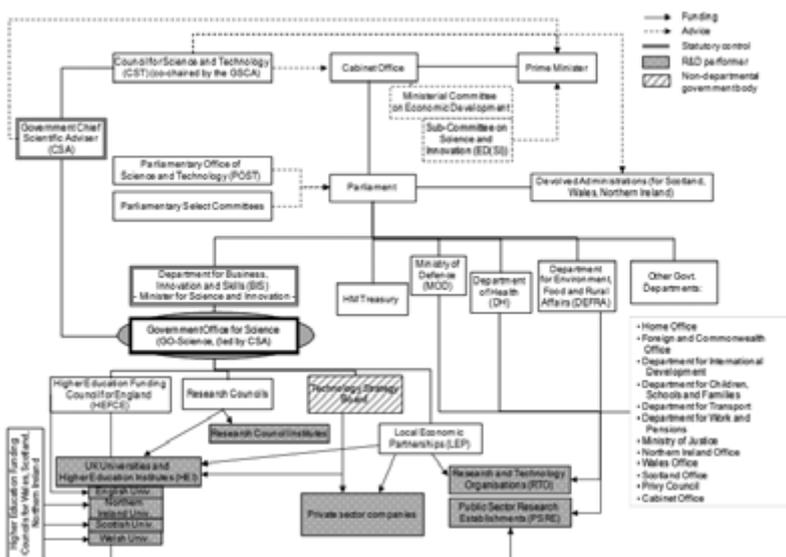


Abbildung 4.15: Übersicht des britischen Innovationssystems.

Quelle: Überarbeitung durch VDI TZ-ZTC von Holtmannspötter, D. et al. (2010) und Cunningham et al. (2013).

4.4.2 Aktivitäten im Bereich Technologieprognosen

Nationale, öffentlich finanzierte Technologieprognosen haben in Großbritannien eine lange Tradition.²²⁴ Seit Mitte der 90er Jahren unterstützt

²²¹ www.innovateuk.org.

²²² Cunningham et al. (2013); <http://www.innovateuk.org/aboutus.ashx>. Abgerufen am: 22.03.2013.

²²³ Cunningham, P. et al. (2013).

²²⁴ Für weitere Informationen zur Geschichte der nationalen Foresight-Projekte in Großbritannien, s. Holtmannspötter, D. et al. (2006) und Holtmannspötter, D. et al. (2010) sowie die darin enthaltenen Referenzen.

- das britische „Department for Business, Innovation and Skills“ (BIS)²²⁵ (ehemals „Department of Trade and Industry“ (DTI)) zukunftsgerichtete (Technologie-)Studien als Basis zur politischen Entscheidungsfindung, und zwar im Rahmen des Foresight-Programms²²⁶, das dem „Government Chief Scientific Adviser“ und dem „Cabinet Office“ unterstellt ist.^{227 228}
- Durchgeführt werden im Rahmen des Foresight-Programms:
- zukunftsgerichtete Studien mit mittel- bis langfristigem Zeithorizont (20-80 Jahre) und breitem thematischem Bezug: Foresight-Projekte
- Je nach Bedarf wird auf wissenschaftlichen und technologischen Themen fokussiert, die entweder neue Herausforderungen oder Chancen darstellen oder die einen wesentlichen Beitrag zur Lösung wichtiger gesellschaftlicher Fragestellungen bzw. zur Deckung gesellschaftlicher Bedarfe leisten können. Parallel werden drei oder vier Fragestellungen mit einem Zeithorizont von 20-80 Jahren untersucht. Jedes dieser Teilprojekte dauert ca. 1,5-2 Jahre und involviert hochkarätige nationale und internationale Experten aus Forschung, Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft.²²⁹
- Viele der in diesem Rahmen durchgeführten Foresight-Projekte wurden im Rahmen früherer Meta-Analysen von Technologieprognosen durch die VDI TZ-ZTC untersucht.²³⁰
- *Policy-Futures*-Projekte, die im Auftrag eines britischen Ministeriums auf eine speziell für politische Entscheidungsträger relevante Fragestellung fokussieren. Aktuell wird in diesem Rahmen beispielsweise an Projekten zu den Themen Identität sowie Begrenzung des Risikos für Naturkatastrophen gearbeitet.²³¹
 - zukunftsgerichtete Studien mit kurzfristigem Zeithorizont (10-15) und stärker eingegrenztem Fokus im Rahmen des „Foresight Horizon Scanning Centre“. Die im Folgenden analysierte Studie gehört zu diesen durch das „Foresight Horizon Scanning Centre“ durchgeführten Studien.

²²⁵ www.bis.gov.uk.

²²⁶ www.foresight.gov.uk.

²²⁷ <http://www.bis.gov.uk/foresight/our-work>, abgerufen am: 26.03.2013.

²²⁸ Holtmannspötter, D. et al. (2010).

²²⁹ <http://www.bis.gov.uk/foresight/our-work/projects>, abgerufen am: 26.03.2013.

²³⁰ s. Holtmannspötter, D. et al. (2006), Holtmannspötter, D. et al. (2010).

²³¹ <http://www.bis.gov.uk/foresight/our-work/policy-futures>, abgerufen am: 26.03.2013.

4.4.3 Technology and Innovation Futures: UK Growth Opportunities for the 2020s

4.4.3.1 Kurzbeschreibung der Studie

Name der Studie Technology and Innovation Futures: UK Growth Opportunities for the 2020s – 2012 Refresh
<http://www.bis.gov.uk/foresight/our-work/horizon-scanning-centre/technology-and-innovation-futures>

Auftraggeber: Government Office for Science (<http://bis.gov.uk/go-science>) des Department for Business, Innovation and Skills (BIS) (<https://www.gov.uk/government/organisations/department-for-business-innovation-skills>)

Durchgeführt von: Foresight Horizon Scanning Centre (<http://www.bis.gov.uk/foresight/our-work/horizon-scanning-centre>) in Zusammenarbeit mit zahlreichen Experten aus Forschung, Politik und Wirtschaft

Erscheinungsjahr: 2012

Zeithorizont: 2020

Das „Horizon Scanning Centre“ veröffentlichte im Jahre 2010 den Bericht „Technology and Innovation Futures: UK Growth Opportunities for the 2020s“²³² mit dem Ziel, technologische Entwicklungen und Trends zu identifizieren, die das Potenzial aufweisen, bis 2020 ein anhaltendes wirtschaftliches Wachstum in Großbritannien zu unterstützen. Hintergrund dieses Berichts war die Überzeugung der britischen Regierung, dass angesichts des wirtschaftlichen Abschwungs in den letzten Jahren wirtschaftlicher Wohlstand zukünftig maßgeblich davon abhängen wird, ob das durch (neue) Technologien geschaffene Potenzial in wirtschaftlicher Hinsicht ausgeschöpft werden kann.²³³

Identifizierung von Technologietrends im Jahr 2010

Die hohe Geschwindigkeit sowohl des technologischen Wandels als auch der politischen Veränderungen der letzten 2 Jahre machte laut dem „Horizon Scanning Centre“ eine Aktualisierung des 2010 veröffentlichten Berichts notwendig.²³⁴ Diese erfolgte im Jahre 2012 und führte zur Veröffentlichung des im Folgenden analysierten Berichts „Technology and

Aktualisierung 2012

²³² UK BIS (2010).

²³³ <http://www.bis.gov.uk/foresight/our-work/horizon-scanning-centre/technology-and-innovation-futures>, abgerufen am: 06.03.2013.

²³⁴ <http://www.bis.gov.uk/foresight/our-work/horizon-scanning-centre/technology-and-innovation-future>, abgerufen am: 06.03.2013.

Innovation Futures: UK Growth Opportunities for the 2020s– 2012 Refresh²³⁵.

Expertenpanels und
-interviews

In den Arbeiten zur Aktualisierung des Berichts wurden zahlreiche Vertreter der Forschung und der Industrie involviert und Interviews durchgeführt. Insbesondere wurden auch die Experten, die an der 2010 veröffentlichten Studie beteiligt gewesen waren, gebeten, die 2010 gemachten Aussagen und abgeleiteten Schlussfolgerungen im Licht der Entwicklungen der letzten zwei Jahre neu zu bewerten bzw. anzupassen.

Schlüssel-
technologien von 2010
weiterhin aktuell

Die Experten kamen zu dem Schluss, dass die Technologien, die bereits 2010 als für Großbritannien besonders relevante Technologien mit hohem (wirtschaftlichem) Potenzial identifiziert wurden, weiterhin als Schlüsseltechnologien eingestuft werden können.

Allerdings hat sich zwischen 2010 und 2012 bei der Bewertung der Wichtigkeit der einzelnen Technologien die Gewichtung leicht verändert. So steigt die Bedeutung folgender Technologien bzw. technologischer Aspekte:

Steigende Bedeutung
von Energie-
technologien,
Service-Robotik,
Sensorik und IuK

- Ausbalancieren von Energienachfrage und -angebot – vor dem Hintergrund einer (politisch) gewünschten nachhaltigeren Energienutzung sowie insbesondere der zunehmenden Bedeutung von (intermittenten) erneuerbaren Energien.
- Service-Robotik (service robotics) – mit Geräten bzw. Maschinen, die zunehmend in der Lage sind, sich an (sich verändernde) Umgebungen und Situationen anzupassen.
- Sensorik und Kommunikationsnetzwerke, bei denen wachsende Miniaturisierung und steigende Fähigkeit der Vernetzung von (intelligenten) Sensoren die Möglichkeit eines zunehmend ubiquitären Zugriffs (in Echtzeit) auf Informationen und Daten eröffnen.

Darüber hinaus sind im Vergleich zur 2010 veröffentlichten Studie drei neue technologische Aspekte bzw. Konzepte identifiziert worden, denen besondere Wichtigkeit verliehen wird:

Drei neue technologi-
sche Aspekte

- Trend im Energiebereich hin zu intelligenten Energienetzwerken
- Wachsende Bedeutung der Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen *on demand*
- Wachsende Bedeutung von nutzerorientiertem Design (Human-centred design) in Produktionsprozessen

²³⁵ UK BIS (2012).

4.4.3.2 Inhaltsanalyse

Transport und Verkehr, Logistik

Transport- und Verkehrstechnologien werden unter dem Aspekt ihres möglichen Beitrags zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele der britischen Regierung behandelt. Laut der Studie sind heute Privatfahrzeuge für 55 % der privaten CO₂-Emissionen in Großbritannien und der Transportsektor insgesamt für 21 % aller britischen CO₂-Emissionen verantwortlich. Angesichts dessen wird die Entwicklung nachhaltiger Verkehrskonzepte und emissionsarmer Verkehrstechnologien als notwendig angesehen, um das im „UK Low Carbon Transition Plan“²³⁶ gesetzte Ziel erreichen zu können, die auf den Transportbereich zurückzuführenden CO₂-Emissionen um 14 % bis 2020 (gegenüber 2008) zu reduzieren.

Technologie-
entwicklungen zwecks
Reduzierung der
CO₂-Emissionen

Als wesentliche Trends werden (1) die Entwicklung emissionsarmer Fahrzeuge, (2) die Durchdringung des Verkehrs- und Transportbereichs durch IuK-Technologien sowie (3) die Förderung eines ressourcenschonenden Fahrverhaltens dargestellt.

(1) Entwicklung emissionsarmer Fahrzeuge: Den Schwerpunkt britischer FuE-Anstrengungen in diesem Bereich stellt laut der Studie, die Entwicklung batteriebetriebener Elektrofahrzeuge sowie von Elektrofahrzeugen mit Brennstoffzellenantrieb dar.

Es wird darauf hingewiesen, dass bereits erste Pilotprojekte zur Einrichtung einer Lade-Infrastruktur für batteriebetriebene Elektroautos von der britischen Regierung initiiert wurden. Eine wichtige Rolle könnten batteriebetriebene Elektrofahrzeuge im Zusammenhang mit einem zukünftigen intelligenten Stromnetz (smart grid) spielen (s. Abschnitt „Energie“), in dem sie einerseits außerhalb der Spitzenzeiten (z. B. nachts) beladen werden und andererseits als feste Bestandteile des „smart grid“ als Stromspeicher fungieren könnten. Allerdings stellen aktuell laut der Studie die geringe Reichweite, die Ladezeiten sowie die hohen Kosten der Batterien weiterhin wesentliche Hürden dar: Geschätzt wird, dass der Preis für eine Batterie mit Kapazität 15 kWh, die für eine Reichweite von ca. 100 km ausreichen soll, im Jahr 2020 ca. 400 USD betragen könnte – größere Reichweiten wären mit deutlich höheren Kosten verbunden.²³⁷

Emissionsarme
Fahrzeuge:
Elektroautos und
Brennstoffzellen-
antrieb

Mit Wasserstoff betriebene Elektroautos werden in der Studie als vielversprechend angesehen. Allerdings würden die mit der industriellen Gewinnung von Wasserstoff verbundenen hohen Kosten und Herausforderungen (s. Abschnitt „Energie“) sowie die fehlende Infrastruktur den Durchbruch dieser Technologie verzögern. Es wird geschätzt, dass Wasserstoff-Autos erst 2025 wettbewerbsfähig werden.

²³⁶ UK Government (2009).

²³⁷ Zur Darstellung vielversprechender Forschungsansätze zur Batterieoptimierung, s. Abschnitt „Energie“.

IuK-Durchdringung
des Transport-
bereichs

(2) Durchdringung des Verkehrs- und Transportbereichs durch IuK-Technologien: Dank weiterer technologischer Fortschritte auf dem Gebiet der Robotik, der Elektronik / Sensorik sowie der mobilen Kommunikationstechnologien (u. a. Echtzeit-Ortungstechnologien, drahtlose bzw. satellitengestützte Kommunikation) sind laut der Studie neue Anwendungen bei Fahrassistenz-Systemen denkbar, die zu neuen Möglichkeiten der intelligenten Verkehrslenkung und -überwachung eröffnen könnten. Der Trend gehe hin zu *intelligenten Transportsystemen*, bei denen die Rückkopplung zwischen Verkehrsteilnehmern und Verkehrsinfrastruktur eine Optimierung und bessere Auslastung der Verkehrsrouten ermöglicht, mit positiven Auswirkungen auf den Kraftstoffverbrauch (Vermeidung von Umwegen und Staus).

Änderung des
Nutzerverhaltens

(3) Die Förderung neuer, nachhaltiger Gewohnheiten in Bezug auf das Fahrverhalten (u. a. Förderung der Nutzung von Car-Sharing-Angeboten und von ÖPNV-Netzen sowie Förderung von Telearbeit zur Reduzierung der Fahraufkommens) wird in der Studie als Schlüsselement für zukünftige, nachhaltige Verkehrs- und Transportkonzepte angesehen.

Abgesehen von diesen drei wichtigen Trends wird erwähnt, dass Kohlenstoff-Nanoröhren in Zukunft dazu genutzt werden könnten, massive Gewichtseinsparungen bei der Fahrzeugkarosserie bzw. -ausstattung zu erzielen – dies hätte positive Auswirkungen auf den Energieverbrauch.

Der Bereich Logistik wird lediglich unter dem Aspekt einer stärkeren Durchdringung durch IuK-Technologien und Sensorik erwähnt, und zwar in Form einer wahrscheinlich zunehmenden Nutzung von RFID-Tags zwecks Optimierung der Lieferketten sowie der Verwaltung der Warenbestände und somit Ressourcenschonung.

Luft- und Raumfahrt

Einzelne Bezüge im
Zusammenhang mit
Nano- und Material-
technologien

Das Technologiefeld der „Luft- und Raumfahrt“ wird in der Studie nicht detailliert untersucht. Vereinzelt Bezüge lassen sich dennoch finden. So wird erwartet, dass die Robotik weiterhin eine zentrale Rolle in der Raumfahrt spielen wird. Im Zusammenhang mit der Materialtechnik könnten Fortschritte in den Nanotechnologien zur Entwicklung neuer Kompositmaterialien bzw. leichter Nanomaterialien führen, die dazu beitragen könnten, das Gesamtgewicht – und somit auch den Kraftstoffverbrauch – von Flugzeugen um 20 % zu reduzieren. Auch könnten bioinspirierte selbstreparierende Materialien bzw. Beschichtungen bei Flugzeugen zum Einsatz kommen, allerdings werden bei diesem letzten Ansatz Gewicht und Herstellungskosten der Materialien noch als wesentliche Hindernisse angesehen. Ferner wären 3D-Drucktechniken insofern in Zukunft für die Luftfahrtindustrie interessant, als mit ihnen relevante Radar absorbierende Materialien hergestellt werden könnten.

Bauen und Wohnen

Der Bereich „Bauen und Wohnen“ wird in der Studie hauptsächlich unter dem Aspekt des möglichen Beitrags neuer Bautechnologien und -verfahren zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele der britischen Regierung und insbesondere zu weniger CO₂-Emissionen sowohl beim Bau als auch bei der Nutzung von Wohn- und Bürogebäuden gesehen. Vor dem Hintergrund der Schätzung des „Low Carbon Industrial Growth Team“ der britischen Regierung, nach der knapp die Hälfte der britischen CO₂-Emissionen auf Bau und Nutzung von Gebäuden zurückgeführt werden kann,²³⁸ wird klimaschonenden Bautechnologien, -verfahren und -materialien disruptives Potenzial zugeschrieben. Betont wird, dass die Erwartungen an die (britische) Bauindustrie, nachhaltige und klimaschonende Verfahren und Materialien einzusetzen, immer mehr steigen könnten. Es wird postuliert, dass Ansätze zur Ermittlung und Einschätzung der anfallenden CO₂-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus eines Bauprojektes (Bau, Nutzung, Rückbau) in Zukunft an Bedeutung gewinnen werden.

Klima- und ressourcenschonende Bautechnologie und -verfahren: disruptives Potenzial

Neben Ansätzen zur Verringerung des Energieverbrauchs in Gebäuden könnten neue Materialien helfen, die gesetzten Ziele hinsichtlich der Reduzierung von CO₂-Emissionen zu erreichen. Erwähnt werden in diesem Zusammenhang etwa CO₂-armer Beton sowie Phasenwechselmaterialien (Phase-change materials, PCM), die als Wärmespeicher in Gebäuden zum Einsatz kommen können.

Neue Materialien

Die zunehmende Nutzung von Faserverbundwerkstoffen im Bauwesen stellt laut der Studie einen weiteren wichtigen Trend für die nächsten 10 Jahre dar. Hervorgehoben werden Glas- und Kohlefaserverbundwerkstoffe, die aufgrund sinkender Preise und niedriger Anforderungen an Instandhaltung immer wirtschaftlicher erscheinen. Faserbetone mit besonders hoher Druck- und Biegefestigkeit, wie etwa kohlenstofffaserverstärkter Beton könnten sich insbesondere für den Bau von Brücken eignen.

Faserverbundwerkstoffe

Weitere Trends, auf die aber nicht detailliert eingegangen wird, sind laut der Studie:

- die vermehrte Nutzung von Nanotechnologien und -materialien, wie Titandioxid-Partikeln und Kohlenstoffnanoröhren;
- der möglicherweise steigende Einsatz von selbstreparierenden Materialien (Beton, Lackierungen) zwecks Erhöhung der Haltbarkeit von Gebäuden.

Allerdings wird darauf verwiesen, dass die hohen Kosten sowohl von Nano- wie auch von selbstreparierenden Materialien einem möglichen breiten Einsatz im Baugewerbe entgegenstehen könnten.

²³⁸ UK Government (2010).

Meerestechnik und Schifffahrt

Mit dem Thema „Meerestechnik und Schifffahrt“ beschäftigt sich die Studie nicht. Es wird lediglich im Zusammenhang mit dem Thema „Energie“ auf die Möglichkeit eingegangen, Strom aus dem Meer zu gewinnen – Wellen-, Gezeiten-, Salzgradienten- und Strömungsenergie (s. Abschnitt „Energie“).

Energie

Energietechnologien wird eine sehr große Bedeutung beigemessen. Insbesondere im Vergleich zur 2010 veröffentlichten Studie ergeben sich laut der Studie Veränderungen bei der Einschätzung der für die nächsten Jahre prognostizierten Wichtigkeit einzelner Energietechnologien und Energieansätze – und zwar aufgrund technologischer Fortschritte bei einzelnen Technologien aber auch in Folge politischer und wirtschaftlicher Entwicklungen (insbesondere der Finanzkrise und der vermehrten Ausschöpfung der Schiefergasreserven in den USA) sowie der Nuklearkatastrophe von Fukushima.

Vor diesem Hintergrund sowie der Nachhaltigkeitsziele der britischen Regierung²³⁹ seien folgende Aspekte besonders wichtig: (1) Wachsender Anteil an erneuerbaren Energien im Gesamtenergiemix, (2) Umstellung auf intelligente Stromnetze (smart grids), (3) Neuartige bzw. optimierte Batterietechnologien, (4) Kleinformatige Stromerzeugungsanlagen, (5) Energiegewinnung aus Wasserstoff, (6) Potenzial der Kernenergie.

(1) Umstellung auf erneuerbare Energien: Bei der Energiegewinnung aus Biomasse stellt, laut der Studie, die Produktivitätssteigerung die wesentliche technologische Herausforderung für die Zukunft dar. Wichtige Ansätze mit Zeithorizont 2030 sind: kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung aus Abfall, Wärmeerzeugung aus Biomasse für industrielle Prozesse, Deckung des durch die bevorstehende Abschaltung von Kohlekraftwerken fehlenden Stroms durch Energie aus Biomasse. Langfristig könnte die Energiegewinnung aus Biomasse weiterhin eine wichtige Rolle bei der Erreichung der festgelegten Emissionsziele spielen, insbesondere in Kombination mit Technologien zur Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (carbon capture storage, CCS). In diesem Zusammenhang werden insbesondere Verfahren zur Abtrennung von CO₂ nach der Verbrennung als für Großbritannien interessant dargestellt. Kraftwerke mit integrierter Kohlevergasung (IGCC) sowie – trotz aktuell hoher Kosten – Oxyfuel-Verfahren seien weitere interessante Ansätze. Technologien und Verfahren zur Kohlenstoffspeicherung im Meer könnten langfristig zu einem großen Markt werden, allerdings bestünden Bedenken bzgl. Sicherheit und Zuverlässigkeit sowie Kosteneffizienz der Anlagen. Eine

Große Bedeutung der
Energietechnologien

Energiegewinnung aus
Biomasse: großes
Potenzial - aber
auch technologische
Herausforderung

²³⁹ UK Government (2009).

andere wichtige Herangehensweise stellt laut der Studie der Versuch dar, den aus der Energiegewinnung aus Biomasse entstehenden CO₂ als Rohstoff z. B. für die Herstellung von Brennstoff, Kunststoff, Zement oder Dünger zu nutzen.

CO₂-Abscheidung und
-Speicherung

Bei der Solarenergie sind laut den Studienautoren zum jetzigen Zeitpunkt keine grundlegenden technologischen Innovationen vorhersehbar. Zukünftige Entwicklungen könnten die vermehrte Nutzung der organischen Photovoltaik sowie der Optimierung der Effizienz traditioneller Solarzellen sein.

Bei Windenergie sind laut der Studie, technologische Fortschritte bzgl. Gestaltung der Anlagen und der genutzten Materialien zu erwarten. Insbesondere Offshore-Windenergie könnte ein Schlüsselmarkt für Großbritannien werden, angestrebt wird die Entwicklung von sechs GW-Anlagen. Kleine Windenergieanlagen wiederum könnten in Zukunft vermehrt zur netzunabhängigen Energieversorgung von Batterien sowie in Privathaushalten genutzt werden. Geschätzt wird, dass im Jahre 2040 Energie in Höhe von neun GW durch kleine Windenergieanlagen gedeckt werden könnte.

Offshore-Windenergie
Potenzial zum
Schlüsselmarkt
für UK

Bei der Stromerzeugung aus dem Meer – Wellen-, Gezeiten-, Salzgradienten- und Strömungsenergie – sei noch nicht absehbar, welche der momentan international erforschten Verfahren sich in Zukunft am Markt durchsetzen werden. Allerdings bietet Technologie zur Stromerzeugung aus dem Meer laut der Studie großes (Markt-)Potenzial für Großbritannien. Unter Berücksichtigung der Küstenlage Großbritanniens seien allerdings besonders Gezeiten- und Osmosekraftwerke vielversprechende Ansätze.

Stromerzeugung aus
dem Meer aufgrund
der Küstenlage
interessant

(2) Umstellung auf intelligente Stromnetze (smart grids): In Folge der politisch gewünschten Umstellung auf erneuerbare Energien und / oder kleinformatische Stromerzeugungsanlagen geht laut der Studie, der Trend hin zu intelligenten Stromnetzen, bei der eine IuK unterstützende Infrastruktur dazu beiträgt, die Stromnachfrage, insbesondere deren Veränderungen und Stoßzeiten, auf der einen Seite und das dezentrale Stromangebot auf der anderen Seite auszubalancieren.

Trend zu
„smart grids“

Wichtige Technologien und Entwicklungen in diesem Zusammenhang sind:

- Technologien zur Stromspeicherung (z. B. Batterien, s. unten);
- IuK-Anwendungen zum Echtzeit-Monitoring von Nachfrage und Angebot auf nationaler und regionaler Ebene;
- Fortschritte in der Leistungselektronik für die Energieübertragung und den Anschluss dezentraler Stromerzeugungsanlagen an das nationale bzw. an ein mögliches europaweites Stromnetz.

Intelligente
Stromzähler

Intelligente Stromzähler und -infrastrukturen für Privathaushalte könnten zudem die Rückkopplung zwischen dem Verbrauch einzelner Haushalte auf der einen Seite und dem Stromnetz auf der anderen Seite sowie die Berechnung unterschiedlicher Strompreise je nach Zeit und Nachfrage ermöglichen – als Anreiz zur Umstellung des Nachfrageverhaltens jedes einzelnen Haushalts. Mit dieser letzten Technologie seien allerdings noch hohe Kosten sowie noch ungeklärte Regulierungsfragen verbunden – bzgl. beispielsweise der Möglichkeit eines Stromanbieters, Einzelgeräte (z. B. eine Tiefkühltruhe) in privaten Haushalten kurzfristig auszuschalten, um in Stoßzeiten die erhöhte Stromnachfrage zu decken.

Unverzichtbar:
Effiziente(re)
Batterietechnologien

(3) Neuartige bzw. effizientere Batterietechnologien werden als unverzichtbar angesehen, und zwar einerseits im Rahmen der Umstellung auf emissionsarme Fahrzeuge (s. Abschnitt „Transport und Verkehr, Logistik“). Andererseits könnten, laut der Studie, Batterien mit großskaliger Speicherkapazität im Rahmen eines zukünftigen intelligenten Stromnetzes (smart grid) die aus intermittierenden Energiequellen gewonnene Energie (Wind-, Sonnenenergie) speichern und dazu beitragen, Energieangebot und -nachfrage auszubalancieren. Folgende vielversprechende Batterietechnologien werden hervorgehoben:

- *Batterien mit großskaliger Speicherkapazität:*
 - Natrium-Schwefel-Batterien
 - langlebige, kostengünstige Flüssig-Batterien
 - kostengünstige Kies-Batterien
- *Batterien mit kleinskaliger Speicherkapazität:*
 - Dünnschichtbatterien – trotz des aktuell hohen Herstellungspreises
 - Nutzung neuer Materialien: Lithium-Nickel-Manganoxid
 - Beschichtung konventioneller Lithium-Ionen-Batterien mit Lithiumphosphat zwecks Verkürzung der Ladezeit
 - Nutzung eines Silizium-Nanodrahtes als Elektrode zwecks Steigerung der Kapazität von Lithium-Ionen-Batterie
 - Entwicklung neuer Katalysatoren – dank nanotechnologischer Fortschritte – für Lithium-Luft-Akkus

Kleinformatige
Stromerzeugungs-
anlagen

(4) Kleinformatige Stromerzeugungsanlagen und dazugehörige Technologien spielen laut der Studie im Rahmen eines smart grids sowie der angestrebten Ziele bzgl. Energieersparnisse in Gebäuden eine wichtige Rolle. Hierzu zählen u. a. Photovoltaik-Anlagen, Windkraftanlagen, Brennstoffzellen, Wasserpumpen und Biomasseboiler. In den nächsten Jahren sei mit weiteren Fortschritten bzgl. der Miniaturisierung der Bauelemente solcher Anlagen, sowie möglicherweise – dank Fortschritten in Material- sowie Mikro- und Nanotechnologien – mit neuen Verfahren zur

Stromerzeugung und –speicherung zu rechnen. Möglicherweise könnten kleinformatige Stromerzeugungsanlagen in Zukunft auch vermehrt zur Deckung des Energiebedarfs von Sensornetzwerken beitragen.

(5) Die Energiegewinnung aus Wasserstoff wird – trotz aktuell hoher Kosten – als die wichtigste Alternative zur Energiegewinnung aus fossilen Brennstoffen dargestellt und könnte im Rahmen zukünftiger emissionsarmer Energiesysteme eine wichtige Rolle spielen. Wichtige Anwendungsbereiche sind sowohl der Transportbereich als auch die Strom- und Wärmeversorgung in Gebäuden. Technologische Fortschritte seien sowohl bei der Wasserstoffspeicherung zu erwarten, z. B. bei der Speicherung in Metallorganischen Gerüstverbindungen, als auch bei der Wasserstoffgewinnung, z. B. aus einer CCS-Anlage.

Wasserstoff als wichtige Alternative zu fossilen Brennstoffen

(6) Potenzial der Kernenergie: Energiegewinnung aus der *Kernspaltung* wird zwar als zuverlässiges emissionsarmes Stromerzeugungsverfahren angesehen. Allerdings könnten Bedenken bzgl. Sicherheit, Risiko der Proliferation, Abfallentsorgung, hoher Kosten sowie öffentlicher Akzeptanz in Zukunft weiterhin große Hürden darstellen. Potenzial könnten Reaktoren der III. Generation bieten – trotz technologischer Herausforderungen bzgl. des Managements und Weiterverarbeitung abgebrannter Brennstäbe. Wichtig könnten kleine Kernreaktoren werden und zwar aufgrund der niedrigeren Kosten der Anlagen sowie der durch sie gebotenen Flexibilität. Die Energiegewinnung aus der *Kernfusion* stehe noch vor wesentlichen Herausforderungen, beispielsweise bzgl. der Ermittlung der optimalen Bedingungen zur Kernfusion sowie der zu nutzenden Materialien. Erste Fusionsreaktoren werden laut der Studie höchstwahrscheinlich auf Basis der Deuterium-Tritium-Reaktion funktionieren. Allerdings bestehe auch hier ein großes Proliferationsrisiko.

Kernenergie: nach wie vor hohe technologische Herausforderungen und Sicherheitsbedenken

Nano- und Mikrosystemtechnologie

(1) Sensorik – Trend zur weiteren Miniaturisierung und Konvergenz mit IuK-Technologien: Die Experten rechnen mit einer Fortsetzung des Trends hin zu immer kleineren Sensoren – dank Fortschritte bei den Nanotechnologien, der Mikrosystemtechnik, der Photonik, der Mikrofluidik sowie bei den Energiespeichermöglichkeiten für Sensoren. Bei letzteren könnten immer vielfältigere Batterietechnologien und Energiequellen für Sensoren in Frage kommen – Solar-, Wind- oder Salzgradientenenergie sowie thermische und kinetische Energie – und Sensoren zunehmend energieautark werden. Es wird davon ausgegangen, dass zukünftige Sensoren – dank günstiger werdenden Herstellungskosten – immer häufiger in Alltagsgegenstände und -geräte integriert und Zugang zu Informationen und Daten aus der Umwelt „auf zuvor nie dagewesene Art“²⁴⁰ ermög-

Sensoren immer kleiner und intelligenter

²⁴⁰ Im Original: „Sensors will provide unprecedented access to information about the environment“, Übersetzung durch VDI TZ-ZTC.

lichen werden. Anwendungsbeispiele seien in allen Bereichen denkbar, in denen Sensoren dazu beitragen können, mögliche Schäden oder Gefahren rechtzeitig zu erkennen:

- Im Umweltschutzbereich: Monitoring der Luft- oder Wasserqualität oder frühzeitige Aufspürung von Verschmutzung / Verseuchung;
- Im Bauwesen: an Gebäuden angebrachte Sensoren zur rechtzeitigen Identifizierung von Verschleißspuren und Strukturdefekten;
- Im Bereich Sicherheit und Verteidigung: Schutz von kritischen Infrastrukturen (etwa Brücken, Ölleitungen, etc.) sowie Detektion terroristischer Anschläge mit chemischen und Bio-Waffen.

Durch die zunehmende Integration von IuK-Technologien in Sensoren, sind neue Anwendungen und immer komplexer werdende intelligente Sensornetze möglich (s. Abschnitt „Informations- und Kommunikationstechnologien“):

- Mit dem Einsatz von (Bio-)Sensoren bzw. (Bio-)Sensornetzen in Kombination mit Lab-on-a-Chip-Analysegeräten, gehe der Trend bei der Diagnose von Krankheiten hin zur Nutzung sensorisch ermittelter relevanter biochemischer Daten. Denkbar seien neue, auf Graphit-Flächen angebrachte Biosensoren mit besonderer Empfindlichkeit für spezifische Biomarker für Krankheiten.
- Sensoren werden zudem in Kombination mit portablen Kommunikationstechnologien eine wichtige Rolle im Rahmen der Einrichtung eines möglichen individuellen (lebenslangen) Gesundheitsmonitorings zugesprochen.
- In Kombination mit hyperspektraler Bildgebungstechnik²⁴¹ könnten Sensoren in der Landwirtschaft dabei helfen, eventuelle Pflanzengesundheitsprobleme zu erkennen. Zudem versprechen günstiger werdende Kosten, dass in Zukunft diese Technologie selbst für Kleinbetriebe erschwinglich wird.
- Sensoren könnten immer häufiger in die Produktionsprozesse einfließen und, in Produkten integriert, über Herkunft und Zusammensetzung derselben informieren (z. B. RFID-Tags).

Zahlreiche
Anwendungsmöglichkeiten für
smarte Sensoren und
Sensornetze

²⁴¹ „Während herkömmliche Kameras in Wirklichkeit oft nur die Grundfarben Rot, Grün und Blau aufzeichnen, unterscheiden hyperspektrale Systeme dutzende bis hunderte Wellenlängenbereiche (sog. Spektralbänder). Dabei decken sie häufig ein breites Spektrum ab, das sich vom ultravioletten über den sichtbaren bis in den infraroten Spektralbereich erstrecken kann. Hyperspektrale Sensoren liefern so mehr Informationen pro Pixel als jede andere bildgebende Technologie.“ Quelle: Offenberger, D. (2012).

(2) In der Entwicklung bionischer Sensoren (bioinspired sensors) sehen die Experten einen wesentlichen Trend für die nächsten Jahre. Bei bionischen Sensoren wird versucht, die Wirkungsweise von biologischen Sensorsystemen – z. B. solchen, die bei Insekten vorkommen – zu verstehen und sich diese zunutze zu machen, um ähnlich funktionierende Sensorsysteme mikrosystemtechnisch nachbauen zu können. Hier verweist die Studie auf vielversprechende bereits durchgeführte oder aktuelle Forschungsarbeiten, bei denen versucht wurde bzw. wird, die Wirkungsweise optischer Sensorsysteme von Insekten nachzuahmen, um Sensorsysteme für autonome Fahrzeuge oder – im Verteidigungsbereich – Raketenverfolgungssysteme zu bauen.

Bionische Sensorik wird als disruptive Technologie dargestellt, da sie das Potenzial aufweise, Systeme mit bisher unmöglicher Sensorempfindlichkeit hervorbringen zu können und, in Kombination mit Nano- und IuK-Technologien, neue Anwendungsmöglichkeiten in den verschiedensten Produktionsbereichen zu eröffnen. Wichtige angestrebte Anwendungen, die in der Studie als Treiber für weitere Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der bionischen Sensorik identifiziert wurden, sind Nano-Bots zur Diagnose und Behandlung im medizinischen Bereich sowie autonome Fahrzeuge für den Einsatz in gefährlichen bzw. sperrigen Gebieten. Angesichts aktueller Herausforderungen bei der technischen Herstellung von bionischen Sensorsystemen, auf die aber in der Studie nicht detailliert eingegangen wird, wird geschätzt, dass der Höhepunkt des Innovationszyklus bei dieser Technologie im Jahre 2015 erreicht wird. Vor dem Hintergrund aktueller FuE-Anstrengungen in China und im Iran auf diesem Gebiet bestehe, laut den Studienautoren, allerdings das Risiko, dass westliche Nationen den technologischen Anschluss bei bionischer Sensorik verlieren könnten.

Bionische Sensorik:
disruptives
Potenzial

Starker Wettbewerb
bei FuE zu bionischer
Sensorik

(3) Zunehmender Einzug von Nanotechnologien und -materialien in Alltagsanwendungen: Nanotechnologien und -materialien werden laut der Studie in Zukunft voraussichtlich in vielen Lebensbereichen eingesetzt werden, auch wenn die Studienautoren betonen, dass zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht absehbar sei, wann Nanotechnologien tatsächlich alltäglich werden könnten. Vor allem die Konvergenz von Nano-, Bio- und Informations- und Kommunikationstechnologien könnte zu zahlreichen neuen Anwendungen in den verschiedensten Bereichen führen, z. B.:

- *im Materialbereich:* Geschätzt wird, dass der globale Markt für Nanomaterialien auf ca. 100 Milliarden USD im Jahr 2025 anwachsen könnte. Besonders hervorgehoben werden Kohlenstoff-Nanoröhren, die – vorausgesetzt ihre Kosten würden in Zukunft sinken – beispielsweise zur Gewichtsreduzierung von Fahrzeugen beitragen könnten. Desweiteren wird Graphen hervorgehoben (Kohlenstoff-Wabengitter), das die Entwicklung neuer Halbleiter ermöglichen sowie zu neuen Verfahren im medizinischen oder im Umweltschutzbereich führen könnte (s. unten). Hierfür müssten allerdings aktuelle Herausforderungen bei der Herstellung von Graphen (in Bezug auf Qualität und Größe der Graphen-Schichten) in Zukunft überwunden werden können. Weitere Anwendungen der Nanotechnologien im Materialbereich könnten sein:

Zahlreiche neue Anwendungen in den verschiedensten Bereichen in Folge der Konvergenz von Nano-, Bio- und IuK-Technologien

- Materialien mit verbesserten Eigenschaften: z. B. härtere, robustere oder leichtere bzw. selbstreparierende Materialien – mit Anwendungen z. B. in der Luftfahrt
 - Nanomaterialien in Brennstoffzellen und Batterien
 - Antistatische Verpackungsmaterialien
- *in der Medizin:* (langfristiger Zeithorizont)
 - effektivere Diagnosemöglichkeiten z. B. für Krebs
 - effizientere Medikamente bzw. Drug-Delivery-Systeme
 - leichtere langlebige Implantate (z. B. Herzklappe, künstliche Hüfte)
 - Nutzung von Graphen (Kohlenstoff-Wabengitter) für die DNA-Sequenzanalyse
 - intelligente Kleidung zwecks Monitoring der Vitalwerte des Trägers: z. B. Blutdruck, Puls
- *in der Elektronik, bzw. IuK-Bereich:*
 - kleinere und schnellere Computer (kurzfristiger Zeithorizont)
 - elektronische Displays mit schärferer Auflösung (kurzfristiger Zeithorizont)
 - Quantensensoren mit Anwendungen in der Bildverarbeitung und Objekterkennung
 - Entwicklung neuer mikro- und nanoelektromechanischer Systeme (MEMS/NEMS)
- *in der Produktion:*
 - Nutzung nanotechnologischer Verfahren mit dem Ziel, den Rohstoffverbrauch zu senken

- *im Umweltschutzbereich:*
 - Nanopartikel, z. B. Graphen, zur Sanierung von Böden und Grund- bzw. Trinkwasser
 - effizientere (vor allem in Bezug auf Größe und Energie) nanoporöse Membranen für Wasserentsalzungsanlagen
 - nanoporöse Keramikschwämme, um Industrieabfälle (beispielsweise Quecksilber) aufzubereiten

Es wird betont, dass Kontroversen um die potenziellen Gesundheits- und Umweltrisiken von Nanotechnologien und -materialien, vor allem angesichts deren in Zukunft wahrscheinlich zunehmenden Einsatz in etlichen Alltagsanwendungen, weiterhin eine wichtige Rolle sowohl in der Forschung als auch in der Öffentlichkeit spielen werden.

Materialtechnik

(1) Die Studie rechnet mit der weiteren Entwicklung von sogenannten smarten Materialien, d. h. von Materialien mit speziellen funktionellen Eigenschaften. Beispiele für smarte Materialien sind *selbstreparierende Materialien*, Materialien mit *Formgedächtnis*, d. h. Materialien, die nach einer Deformierung – z. B. in Folge von Erwärmung – ihre ursprüngliche Form wieder einnehmen; *thermochromatische Materialien*, deren Farbe je nach Temperatur variiert; *magnetorheologische Flüssigkeiten*, die in Anwesenheit eines Magnetfelds fest werden oder *piezoelektrische Materialien*, die bei Einwirkung einer mechanischen Kraft eine elektrische Spannung erzeugen.

Geschätzt wird, dass smarte Materialien, insbesondere in Kombination mit integrierter Sensorik – ob auf Siliziumbasis oder auf Basis von Kunststoffelektronik (s. Abschnitt „Elektronik“) – und IuK-Modulen, das Potenzial haben, die Funktionsweise alltäglicher Gegenstände verändern und wichtige neue Anwendungen in den verschiedensten Bereichen hervorbringen zu können, von der Elektronik, der Medizin, der Produktion bis hin zur Entwicklung intelligenter Textilien. Unterstützt wird die Entwicklung smarter Materialien durch verbesserte Möglichkeiten der Manipulation von Werkstoffen auf molekularer Ebene. Besonders hervorgehoben werden folgende smarte Materialien und mögliche Anwendungen:

- Elektroaktive Polymere (EAPs), deren Form sich in Reaktion auf eine elektrische Spannung verändert und z. B. die Entwicklung *künstlicher Muskeln* ermöglichen könnte;
- Polymere mit Formgedächtnis (shape memory polymers), die beispielsweise nach Erwärmung bzw. nachdem sie UV-Licht ausgesetzt worden sind, ihre ursprüngliche Form wieder einnehmen;

Smarte Materialien
in Kombination
mit Sensorik:
großes Potenzial

Zahlreiche
Anwendungs-
möglichkeiten
zukünftiger smarter
Materialien

- Textilien mit selektiver Durchlässigkeit, beispielsweise für Kleidungsstücke, bei denen dem Träger Vitamine über die Haut langsam zugeführt werden;
- Smarte Textilien für Kleidungsstücke, um beispielsweise das Monitoring über Sensoren von physiologischen Werten des Trägers zu ermöglichen;
- Mit Mikrosensoren ausgestattete Wandfarben, die in der Lage sind, auf Veränderungen der Umgebung zu reagieren;
- Drucktinten mit Kunststoffelektronik für flexible Displays;
- Smarte Materialien, die sowohl elektrischen Strom erzeugen als auch speichern können, für Anwendungen beispielsweise bei mobilen IuK-Geräten (Handys, Laptops, etc.);
- Biologisch abbaubare Textilien zur Verabreichung von Düngemitteln in der Landwirtschaft;
- Textilien mit eingebauten Micro-Computern und Displays;
- Smarte Textilien, die Düfte abliefern zwecks Beeinflussung der Befindlichkeit des Trägers;
- Intelligente Kleidung mit eingebautem Sensor-Warnsystem, um den Träger z. B. vor einem bevorstehenden Sturz zu warnen.

Die Studie unterstreicht die Wichtigkeit smarter Materialien, in Kombination mit Sensorik und IuK-Technologien, bei der Entwicklung von „Ambient intelligence“. Vor dem Hintergrund einer alternden Bevölkerung könnten smarte Materialien wesentlich zum Aufkommen neuer Anwendungen bei Medizin und Pflege beitragen: Telemedizin, Telemonitoring, ambulante Pflegeangebote, etc.

Bioinspirierte
Materialien

(2) Bioinspirierte Materialien, deren Eigenschaften diejenigen von in der Natur vorkommenden Materialien und Prozesse nachahmen, werden als vielversprechend dargestellt. Beispiele für bereits verfügbare bioinspirierte Materialien sind durch die Photosynthese bei Pflanzen inspirierte Solarzellen auf Polymer-Basis oder wasserabweisende Flächen nach dem Beispiel des Lotus-Effekts. Für die Entwicklung weiterer bioinspirierter Materialien – z. B. selbstreparierende Materialien für Anwendungen in der Luftfahrt – seien allerdings interdisziplinäre Forschungsanstrengungen von großer Bedeutung.

Künstliche
Herstellung von
Metamaterialien erst
im Stadium der
Grundlagenforschung

(3) Ebenfalls als vielversprechend dargestellt wird die künstliche Herstellung von Metamaterialien mit elektromagnetischen Eigenschaften (Permittivität, Permeabilität), die sich von denjenigen in der Natur vorkommender Materialien unterscheiden – auch wenn sich diese Technologie laut der Studie erst im Stadium der Grundlagenforschung befindet. Grund für die speziellen elektromagnetischen Eigenschaften von Metamaterialien ist ihre (meist periodische) Struktur – mit Zellgröße deutlich kleiner als die Wellenlänge des auf sie eintreffenden elektromagnetischen

Feldes. Besonders hervorgehoben werden Metamaterialien mit negativem Brechungsindex. Dank Fortschritten bei den Nanotechnologien gehe bei der Herstellung von Metamaterialien der Trend hin zur Erzielung – durch verbesserte Möglichkeiten der Veränderung der periodischen Anordnung einzelner Materialien – von immer kleineren Zellgrößen im Vergleich zur Wellenlänge des eintreffenden Feldes. Die Verfügbarkeit immer größerer Rechenleistungen könnte das systematische Design und die systematische Klassifizierung (ähnlich dem Periodensystem) von potenziellen Metamaterialien ermöglichen. Folgende Anwendungen von Metamaterialien werden vorausgesagt:

- *Zeithorizont 5 Jahre:* Antennen und Mikrowellen-Komponenten (Koppler, Filter, Verzögerungseinheiten) mit besserem *in-of-band* und *out-of-band*-Verhalten, verbesserte optische absorbierenden bzw. filternden Beschichtungen;
- *Zeithorizont 10 Jahre:* Breitband-Antennen für optische IuK-Anwendungen sowie zur effizienteren Solarenergiegewinnung;
- *Zeithorizont 15 Jahre und danach:* rekonfigurierbare elektromagnetische Flächen und Strukturen, die zur Entwicklung neuartiger Sensoren mit neuen Funktionalitäten führen könnten. Von der Entwicklung von Breitband-Tarnklappen sei man allerdings noch weit entfernt.

Mittel- bis langfristige Entwicklungsmöglichkeiten

Weitere Bezüge zu Materialtechnik finden sich im Zusammenhang mit dem Bauwesen (s. Abschnitt „Bauen und Wohnen“).

Produktions- und Prozesstechnik

Die in der Studie dargestellten technologischen Trends aus dem Bereich Produktions- und Prozesstechnik legen nahe, dass in diesem Bereich die Bedeutung der Informations- und Kommunikationstechnologien, der Elektronik und der Materialtechnik sowie deren Konvergenz in Zukunft weiter steigen werden.

(1) Simulation und Modellierung: Die Autoren der Studie schließen sich der Aussage der „US Integrated Manufacturing Technology Initiative“²⁴² an, nach der Modellierungs- und Simulationstechnologien als *Schlüsseltechnologien* für die Produktion des 21. Jahrhunderts angesehen werden können.²⁴³ Die Simulation und die Modellierung von Produkten und Produktionsprozessen biete das Potenzial, Produkte und Prozesse zu optimieren, den Herstellungszyklus vom Entwurf bis zur Fertigung zu reduzieren sowie die Produktionskosten senken zu helfen. Ferner gehen die Studienautoren davon aus, dass Simulations- und Modellierungstechno-

Modellierung und Simulation sind Schlüsseltechnologien

²⁴² <http://www.imti21.org/index.html>.

²⁴³ s. IMTI (2000), S. 1-3.

logien Unternehmen bei der Bewältigung wirtschaftlicher und regulatorischer Herausforderungen unterstützen können.

(2) „Active-Packaging“: Als solche werden Verpackungen genannt, deren Eigenschaften über den passiven Schutz hinausgehen – beispielsweise mit RFID-Tags ausgestattete Verpackungen oder solche, deren Farbe dank thermochromen Pigmenten abhängig von der Temperatur variiert. Laut der Studie sind durch den vermehrten Einsatz von Sensorik und Biotechnologien sowie durch die Nutzung neuer Materialien neue Active-Packaging-Konzepte und -Anwendungen in Zukunft wahrscheinlich. Denkbar sind etwa Verpackungen mit integrierten Biomarkern oder mit kühlender bzw. im Gegenteil wärmender Funktion sowie solche mit photochromen, piezochromen oder hydrochromen Beschichtungen. Als Hauptanwendungsgebiete für Active Packaging werden der Lebensmittelbereich sowie der pharmazeutische Bereich angesehen. Die Studie sieht Großbritannien als eine der führenden Nationen bei der Forschung an Active-Packaging. Zukünftige Herausforderungen würden die Optimierung der Reichweite bei „smart tags“, die Reduzierung derer Herstellungskosten sowie die Entwicklung von Standards betreffen, so dass alle in der Lieferkette eingesetzten „smart tags“ miteinander kompatibel sind und möglicherweise mit dem Internet verbunden werden können.

„Active Packaging“ im
Lebensmittel- und
pharmazeutischen
Bereich

(3) 3D-Drucker: Individualisierte Produktion bis hin zum Hausgebrauch: Nach Meinung der Studienautoren, könnten Fortschritte bei den 3D-Druckverfahren zu grundlegenden Veränderungen der Produktionsprozesse und des Konsumverhaltens im Allgemeinen führen – bis hin zur individualisierten Produktion und Eigenherstellung von Produkten durch den Verbraucher. In Zukunft könnten laut der Studie 3D-Druckverfahren soweit ausgereift sein, insbesondere aktuelle Herausforderungen z. B. bezüglich der Mehrachsen-Bearbeitung, dass das Drucken mit einem 3D-Drucker von Glasobjekten sowie von solchen aus komplexen Kunststoffen und Strukturen weit verbreitet wird. Auch könnten technologische Fortschritte sowohl bei den 3D-Drucktechniken selbst als auch bei der Nanoelektronik, bei Nano-Kondensatoren und -Logikgattern, dazu führen, dass die aktuellen Schwierigkeiten beim Drucken großflächiger elektronischer Komponenten überwunden werden – dies würde laut der Studie den Durchbruch für die kostengünstige Herstellung elektronischer Komponenten aus dem 3D-Drucker bedeuten. In Folge dessen sei mit einem sinkenden Preis der Konsumelektronik zu rechnen. Darüber hinaus könnte das Drucken von Nano-Strukturen sowohl für funktionale Komponenten als auch für Trägerstrukturen möglich werden: Denkbar seien Anwendungen in der Biotechnologie bzw. Medizin, z. B. DNA-Mikroarrays und Nano-Elemente für die genetische Diagnostik.

3D-Drucker:
Potenzial zur
grundlegenden
Veränderung der
Produktionsprozesse

Möglicherweise
Durchbruch bei der
Herstellung elektro-
nischer Komponenten
aus dem 3D-Drucker

Ähnlich der Herstellung künstlichen Gewebes für die Medizin (hier verweist die Studie u. a. auf aktuelle erfolgreiche Versuche in der Forschung, eine Kunstleber ausgehend von Zucker mit dem 3D-Drucker herzustellen) könnten 3D-Druckverfahren in Zukunft sogar genutzt werden, um mit Bio-Tinte aus Hydrokolloidpartikeln Lebensmittel aus dem 3D-Drucker herzustellen.

Anwendungen auch im
Medizin- und Lebens-
mittelbereich denkbar

Die Massenverbreitung von 3D-Druckern könnte weitreichende Auswirkungen auf Produktionsprozesse, Konsumverhalten und globale wirtschaftliche Zusammenhänge sowie auf die Umwelt haben:

- Die industrielle Produktion von Kleinserien bzw. die individualisierte Produktion, d. h. die Produktion von auf spezifische Kundenwünsche angepassten Produkten, könnte zur Regel werden.
- Möglicherweise werden 3D-Drucker für den einzelnen Verbraucher erschwinglich und der 3D-Drucker für den Hausgebrauch Realität.
- Die Verbreitung von 3D-Druckern könnte Entwicklungsländern neue Möglichkeiten des Zugangs zu komplexen Technologien und Produkten eröffnen.
- Es könnte zu einer Verschiebung des globalen wirtschaftlichen Kräfteverhältnisses kommen.
- Möglicherweise könnte dank Massenverteilung von 3D-Druckern und verteilter Produktionsprozesse das Volumen des globalen Gütertransports sinken (vorausgesetzt, die Druckmaterialien können lokal beschaffen werden), mit positiven Auswirkungen auf den globalen Kraftstoffverbrauch und somit auf die Umwelt.

Auswirkungen der
Verbreitung von 3D-
Druckern auf
Produktionsprozesse
und Konsumverhalten

Es wird allerdings darauf hingewiesen, dass die in Zukunft potenzielle Verbreitung von 3D-Druckern wichtige Regulierungsfragen hinsichtlich des neu zu gestaltenden Schutzes gegen Produktpiraterie aufwirft.

Regulierungsfragen

(4) Laut der Studie ist in Zukunft mit einer steigenden Bedeutung der Produktion „on demand“ zu rechnen. Damit ist gemeint, dass individuelle Präferenzen und Wünsche bereits beim Produktionsprozess berücksichtigt werden. Gefördert bzw. ermöglicht werde diese Entwicklung dadurch, dass einerseits (neue) Technologien, die eine verteilte Produktion ermöglichen (wie beispielsweise der eben dargestellten 3D-Drucktechniken) in Zukunft weiter verbreitet sein könnten. Andererseits würden in Folge neuer IuK-Möglichkeiten und -Anwendungen verschiedene Mechanismen zur Verfügung stehen, die einen direkten Kontakt zwischen Produzent und Verbraucher ermöglichen bzw. die Wahrnehmung der Kundenwünsche durch den Produzent fördern (z. B. mobile Kommunikationstechnologien, soziale Netzwerke). Derselbe Trend werde laut der Studie wesentliche Auswirkungen auf die Dienstleistungsbranche haben (s. Abschnitt „Dienstleistungen“).

Produktion
„on demand“:
zunehmende
Einbindung der
Kunden in den
Produktionsprozess

Individualisierung der
Produktion:
„Human-centred
design“

(5) Human-centred design: Der Hintergrund für die prognostizierte zunehmende Bedeutung von „Human-centred design“ oder nutzerorientiertem Design ist ähnlich wie bei der Produktion „on-demand“: Kunden seien zunehmend eher an individualisierten Produkten statt einer Massenproduktion interessiert; digital unterstützte Produktionstechniken und IuK-Technologien würden Reproduzierbarkeit und Produkthanpassungen zu geringen Kosten ermöglichen; Sensorik und IuK-Technologien ermöglichen zunehmend die Herstellung von smarten Materialien und Produkten mit der Fähigkeit zur Anpassung an verschiedenen Situationen bzw. Umgebungen und somit indirekt an Kundenwünschen.

Nach der Studie werde „Human-centred design“ durch technologische Entwicklungen ermöglicht und werde zunehmend dazu führen, dass zukünftige Nutzer eines Produkts bereits bei dessen Herstellung berücksichtigt bzw. involviert werden. Denkbar sei auch, dass zunehmend versucht werde, *schwache Signale* bezüglich Kundenerwartungen frühzeitig wahrzunehmen mit dem Ziel, für diese eine technologische Antwort in einem frühen Stadium des Produktlebenszyklus zu entwickeln.

Optische Technologien

Wachstumsmarkt
Green Photonics

Optische Technologien könnten aufgrund technologischer Fortschritte sowie sinkender Kosten weiter an Bedeutung gewinnen. Großes Potenzial wird insbesondere der nachhaltigen Nutzung von Licht (*green photonics*) zugeschrieben, von der erwartet wird, dass ihr Anteil an allen optischen Technologien von derzeit ca. 13 % des globalen Markts auf mehr als 50 % bis 2021 steigen wird. Als Treiber für diese Entwicklung werden die steigende Nachfrage nach Konsumelektronik sowie die angesichts steigender Systemkapazitäten wachsende Nachfrage nach niederenergetischen Lösungen für IuK-Infrastrukturen wie etwa Rechenzentren genannt.

Steigende
Konvergenz mit
Elektronik

Darüber hinaus erwarten die Studienautoren eine steigende Konvergenz von optischen Technologien mit Elektronik, die sich im zunehmenden Einsatz optischer Technologien in elektronischen Systemen widerspiegeln wird – insbesondere aufgrund steigender Ansprüche an Vernetzung und ausgetauschtem Datenvolumen auf der einen Seite und ermöglicht durch sinkende Kosten auf der anderen Seite. Verbesserungen bei bereits verfügbaren photonischen Kommunikationsnetzen sowie die Einführung neuer Hardware mit optischen Schnittstellen könnten zudem helfen, den Energieverbrauch der IuK-Branche zu reduzieren. Weitere Energieeinsparungen könnten durch die Entwicklung integrierter optoelektronischer oder rein optischer Bauelemente ermöglicht werden.

Beispiele für weitere mögliche technologische Entwicklungen sind laut der Studie die zunehmende Miniaturisierung und steigende Nutzung von Quantenpunkten als Lichtquelle oder Lichtdetektoren, die Erschließung bisher ungenutzter Wellenlängenbereiche für Photonik-Anwendungen,

Fortschritte bei Nieder- und Hochenergielasern sowie bei photonischen Sensoren für zivile und militärische Sicherheitsanwendungen, z. B. um chemische, biologische oder radioaktive Stoffe aufzuspüren. Ferner seien Fortschritte bei der Entwicklung von Quantencomputern (s. Abschnitt „Informations- und Kommunikationstechnologien“) möglich.

Folgende auf optischen Technologien basierende Produkte und Komponenten werden aufgrund der zu erwartenden steigenden Nachfrage in den nächsten Jahren besonders hervorgehoben:

- Flachbildschirme (Flat-panel displays)
- Optische Komponenten wie Photovoltaik-Zellen und ultra-helle LEDs (High-brightness LED devices, HLED)
- Organische Festkörperlichtquellen und organische lichtemittierende Polymere

Produkte und
Komponenten mit
steigender Nachfrage

Allerdings wird betont, dass sinkende Produktionskosten eine Voraussetzung dafür sind, dass ein breiter Einsatz von HLEDs sowie organischen Festkörperlichtquellen möglich wird.

Als eine weitere wichtige Anwendung der Photonik, auf die aber in technologischer Hinsicht nicht näher eingegangen wird, stellen Design und Herstellung von Photovoltaik-Modulen zur effizienten Erzeugung von Strom aus Licht dar (s. auch Abschnitt „Energie“).

Informations- und Kommunikationstechnologien

Den Informations- und Kommunikationstechnologien wird in der Studie sehr viel Bedeutung eingeräumt. Im Folgenden werden die wesentlichen angesprochenen Entwicklungen und technologischen Trends dargestellt.

Große Bedeutung
der IuK

(1) Supercomputing für jedermann, Grid- bzw. Cloud-Computing: Supercomputer, die bisher typischerweise wissenschaftlichen und technischen Anwendungen vorbehalten wurden, könnten in Zukunft zu einem Massenmarkt werden. Treiber für diese Entwicklung sind laut der Studie neue Anwendungen bei Medien, Spielen und ubiquitärem Computing (s. unten), die große Rechenleistungen erfordern. *Supercomputing auf Abruf* könnte durch Grid Computing, Autonomic Computing, Adaptable Computing, Cluster Computing und Utility Computing für jedermann möglich sein. Voraussetzung sei aber die Verfügbarkeit von Software, die diese riesige Verarbeitungsleistung nutzen kann.

Verbreitung von
Supercomputing und
Cloud Computing

Eine Umstellung auf Cloud Computing könnte wesentliche Einsparungen beim Energieverbrauch von IuK-Infrastrukturen zur Folge haben. Momentane Barrieren sind aber der Mangel an Standards bzw. die fehlende Interoperabilität der Systeme, ungeklärte Fragen zu Datensicherheit und -eigentum sowie die Tatsache, dass Cloud Computing für Unternehmen die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle und rechtlicher Rahmenbedingungen erfordert.

Technische und
regulatorische
Hürden

- Glasfasernetzwerke
- (2) Netzwerke der nächsten Generation: Damit private Haushalte in den Genuss des zunehmenden Volumens an übers Internet zur Verfügung gestellten Daten und Anwendungen kommen, ist laut den Studienautoren, eine Umstellung auf Glasfaserkabel beim Anschluss aller privaten Haushalte ans Internet wünschenswert, bedürfe aber der Bereitschaft der Kunden, für Glasfaser höhere Preise zu zahlen als für vorhandene Breitbandnetze sowie der Investitionsbereitschaft von Telekommunikationsunternehmen.
- Smarte
Sensornetzwerke
- (3) Intelligente Sensornetzwerke, ubiquitäres Computing bis hin zum vorausschauenden, kontextsensitiven Computing: Die zunehmende Integration von IuK-Technologien in – immer kleinere und immer energieärmere – Sensoren macht die Entwicklung komplexer intelligenter Sensornetzwerke möglich. In Kombination mit energiearmen, drahtlosen Kommunikationstechnologien bereitet diese Entwicklung, laut der Studie den Weg zum *ubiquitären Computing*, bei dem Menschen über vernetzte Geräte jederzeit und überall Zugang zu etlichen Daten und Informationen aus ihrer unmittelbaren Umwelt haben und auf sie reagieren können. Mit dieser Entwicklung verbunden sowie mit dem steigenden Verständnis – und in Folge dessen der möglich gewordenen Nutzung – der Interaktionen zwischen physikalischen, virtuellen und menschlichen Netzwerken, sei eine zunehmende Verwischung der Grenzen zwischen physischer und virtueller Umgebung möglich. Vorstellbar erscheint den Studienautoren, die Vision einer Welt, in der alle Aktivitäten in Zukunft in einer unsichtbaren technischen Infrastruktur eingebettet seien – ähnlich der physischen Infrastruktur moderner Städte.
- Verwischung der
Grenzen zwischen
virtueller und
physischer Umgebung
- Auf lange Sicht wird eine *Attentive-Computing*-Umwelt vorhergesagt, bei der die Mensch-Umwelt-Interaktion nicht mehr auf die Bedienung von Geräten angewiesen ist, sondern über Sprache, Gestik und Körpersprache erfolgen kann und Nutzerbedürfnisse vorausgesagt werden können. Bereits bis 2015, so die Autoren der Studie, seien Computer-Systeme denkbar, die im Auftrag der Nutzer Aufgaben eigeninitiativ unter Berücksichtigung des Zeit- und Raumbedarfs ausführen. Die folgenden Anwendungsbeispiele werden genannt:
- Attentive
Computing
- Intelligente Kalender und Reiserouten nach verfügbaren Zeiten und Zielorten durchsuchen;
 - Eigeninitiative Suche durch das Computer-System von Hintergrunddaten beispielsweise auf Dienstreise, und zwar zu Orten und anzutreffenden Personen.
- Diese Entwicklungen werfen laut der Studie wichtige Fragen, u. a. bezüglich der Speicher- und Verarbeitungsprobleme eines immer wachsenden Datenvolumens und der Zuverlässigkeit und Vertrauenswürdigkeit der eingesetzten Software und Systeme auf. Weiterhin seien darüber hinaus Fragen des Datenschutzes wichtig/ zu beachten.

(4) Data-Mining, Suchmaschinentechnologien, Simulations- und Modellierungsverfahren sowie neue Möglichkeiten der Entscheidungsfindung:

Fortschritte bei Data-Mining-, Modellierungs- und Simulationsverfahren werden voraussichtlich die effizientere Erkennung von Mustern in großen Datenbanken und ein tieferes Verständnis und eine bessere Visualisierung komplexer Zusammenhänge ermöglichen – mit Anwendungen in den verschiedensten Gebieten. In der Produktion etwa werden Modellierungs- und Simulationstechniken als Schlüsseltechnologie angesehen (s. Abschnitt „Produktions- und Prozesstechnologie“). Bei der nationalen Sicherheit und der Verbrechensaufdeckung versprechen Fortschritte beim Data-Mining mehr Effizienz.

Mustererkennung,
Simulation und
Modellierung

Bei den Suchmaschinentechnologien sind laut der Studie weitere Entwicklungen zu erwarten – auch wenn nicht absehbar sei, ob Technologien, wie das Semantic Web tatsächlich die Art, wie das Internet durchforstet werden kann, grundlegend verändern werden. Zukünftige Ansätze bei Suchmaschinen könnten durch neue 3-D-Visualisierungs- und Bild Darstellungstechnologien entstehen, z. B. multisensorische Suchmodalitäten, beispielsweise haptische Displays, mit denen Kunden Kleidung online suchen, visualisieren und fühlen können.

Neue Ansätze bei
Suchmaschinen-
technologien

Fortschritte in den Sozialwissenschaften, insbesondere beim Verständnis des menschlichen Verhaltens und des Verhaltens von Gruppen sowie deren formaler Darstellung, könnten in Kombination mit größerer Rechenleistung und Speicherkapazität dazu führen, dass komplexe Beziehungen und soziale und wirtschaftliche Zusammenhänge zunehmend modelliert und simuliert werden können. Dadurch würden sich Modellierungs- und Simulationsverfahren zu einem wichtigen Instrument zur Unterstützung der Entscheidungsfindung in Politik oder Wirtschaft entwickeln.

Modellierung und
Simulation zur
Unterstützung der
Entscheidungsfindung

Innerhalb der nächsten zehn Jahren könnten neue Technologien für Zusammenarbeit in Kombination mit einem besseren Verständnis kooperativer Strategien zu neuen Möglichkeiten der schnellen, verteilten Ad-hoc-Entscheidungsfindung führen: u. a. selbstorganisierende Mesh-Netzwerke, Community Computing Grids, Peer Production Networks, Social Mobile Computing. Diese Entwicklung könnte, laut der Studie, zur Entstehung neuer Märkte und neuer Handelsformen führen.

Mechanismen der
verteilten Ad-hoc-
Entscheidungsfindung

(5) Daten- und Kommunikationssicherheit: Die Sicherung der elektronischen Kommunikation sowie die Sicherung eines steigenden Datenvolumens als Folge der wachsenden Durchdringung aller Lebensbereiche durch IuK-Technologien, werden als große Herausforderung gesehen. In diesem Zusammenhang stelle die Quantenkryptographie den vielversprechendsten Ansatz, um den Austausch von Datenbeständen zu schützen. Es wird prognostiziert, dass Quantenkryptographie zukünftig in großen optischen Fasernetzwerken zur Sicherung der Kommunikation zwischen vielen Nutzern genutzt werden könnte.

Daten- und
Kommunikations-
sicherheit

Zum Schutz des geistigen Eigentums bei elektronischen Text-, Musik- oder Bilderdateien könnte sich der Einsatz von digitalen Wasserzeichen verallgemeinern. Solche Wasserzeichen, die nur vom auslesenden Computer, nicht aber vom Nutzer wahrgenommen werden, in Verbindung mit Nutzerlizenzen sollen vor Fälschung bzw. unerlaubter Reproduktion und Austausch schützen. Die Frage der Robustheit solcher digitalen Wasserzeichen sowie beispielsweise der Zulässigkeit des Einsatzes von Software, mit dem Ziel, nicht lizenzierte Nutzer von mit digitalem Wasserzeichen versehenen Dateien ausfindig zu machen, stellen allerdings regulatorische Herausforderungen dar.

(6) Mensch-Maschine-Interaktion: Fortschritte beim Verständnis davon, wie das menschliche Gehirn funktioniert, könnten zur Entwicklung von Prothesen führen, die direkt vom Gehirn gesteuert werden können.

Schwarmroboter
ab 2020

(7) Schwarmrobotik: Fortschritte auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz und der Selbstorganisation, könnten bis 2020 zur Entwicklung von einfachen und kostengünstigen Schwarmrobotern führen, die in der Lage sind, sich selbständig an die Umwelt anzupassen und ihre Aktionen zu koordinieren, um komplexe Aufgaben zu lösen – mit Anwendungsmöglichkeiten z. B. im Umweltmonitoring oder in der Produktion (automatisierte Produktion).

Elektronik

Kunststoffelektronik:
wichtige „enabling
technology“

(1) Kunststoffelektronik: Großbritannien wird als eine der führenden Nationen im Bereich Kunststoffelektronik angesehen – trotz starken Wettbewerbs aus den USA, Japan und Deutschland. Dank neuer kostengünstiger, flexibler und leicht herzustellender Materialien, darunter Polymere und Flüssigkristalle sowie Nanostrukturen (Kohlenstoff- und Silizium-Nanodrähte) sind laut der Studie weitere Entwicklungen auf dem Gebiet der Kunststoffelektronik zu erwarten. Die Wichtigkeit von Kunststoffelektronik, insbesondere von OLEDs, als „enabling technology“ für die Anwendungsbereiche Beleuchtung und Photovoltaik sowie für die Entwicklung integrierter smarter Systeme wird unterstrichen. Folgende Anwendungsbeispiele für die Kunststoffelektronik werden für die nächsten fünf Jahre prognostiziert: RFID-Tags, smarte Sensoren, Displays für Einzelhandelbeschilderung sowie Leuchtmittel. Auf Basis von Kunststoffelektronik könnten innerhalb der nächsten sieben Jahre videofähige Vollfarbdisplays auf Basis von Kunststoffelektronik entstehen und Konsumelektronik-Geräte und großflächige Displays für Beschilderung in die Serienproduktion gehen.

Silizium-Elektronik
weiterhin wichtigste
Technologie

(2) Silizium-basierte Elektronik: Die Studienautoren schätzen, dass Silizium-Chips kurzfristig die wichtigste Datenverarbeitungstechnologie darstellen werden. Aktuelle Forschungsansätze könnten dazu beitragen, die Computerleistung bei Silizium-basierten Transistoren trotz physikali-

scher Einschränkungen weiter zu steigern und die Effizienz vorhandener Computer zu erhöhen.

(3) Quantencomputer versprechen laut den Studienautoren, langfristig eine massive Steigerung der möglichen Rechenleistung sowie neue Fähigkeiten der Krypto-Analyse. Technologische Innovationen auf dem Weg zu einem möglichen Quantencomputer verspreche die Konvergenz zwischen Nanotechnologien und Elektronik: Die Studienautoren rechnen mit weiteren Fortschritten bei der Entwicklung von Halbleitern auf Basis von Graphen; auch in der Spintronik, die sich der Möglichkeit der „aktiven Manipulation der Spinorientierung von Ladungsträgern in Halbleitern“²⁴⁴ zunutze macht, werden weitere Fortschritte erwartet – auf diese möglichen Entwicklungen wird aber nicht detailliert eingegangen. Es wird betont, dass trotz verstärkter Forschungsanstrengungen auf dem Gebiet unsicher ist, wann und sogar ob der erste hochentwickelte Quantencomputer einsatzfähig sein könnte; möglicherweise sei dies aber nicht vor 2035 zu erwarten.

Quantencomputer
erst ab 2035 denkbar

(4) DNA-Computing nutzt die DNA als Speicher- und Verarbeitungsmedium. Mögliche Rechenwege entsprechen dabei den in einem Reagenzglas entstehenden Kombinationen von DNA-Fragmenten. Zwar verspricht DNA-Computing eine hochparallele Verarbeitung von Daten bei gleichzeitig niedrigem Energieverbrauch zu realisieren; allerdings sei es mit erheblichem Laboraufwand verbunden. Aus diesem Grund wird geschätzt, dass sich DNA-Computing nicht für die allgemeine Datenverarbeitung wie Textverarbeitung eignen wird.

DNA-Computing
weiterhin sehr
aufwändig

Weitere möglicherweise für die Zukunft interessante Ansätze, auf die aber nicht detailliert eingegangen wird, könnten chemische bzw. Neurocomputer auf Basis künstlicher neuronaler Netze darstellen.

Biotechnologie und Life Sciences

Biotechnologien und Life Sciences wird in der Studie eine große Bedeutung zugesprochen – entsprechend detailliert wird dieser Technologiebereich behandelt. Im Folgenden werden die wesentlichen identifizierten Trends und Prognosen dargestellt.

Große Bedeutung der
Biotechnologien

(1) Lab-on-a-Chip-Methoden: Fortschritte in der Mikrofluidik, der Nanotechnologie und der Materialforschung sowie sinkende Kosten werden, laut der Studie, zur weiteren Miniaturisierung beitragen und zur Herstellung von stark integrierten, kompakten Lab-on-a-Chip-Geräten (LOC) führen, mit denen in Verbindung mit kombinatorischer Chemie die automatisierte Analyse und Synthese winziger Mengen an Präparat möglich wird. Die Anwendungsgebiete für zukünftige LOC-Methoden wären vielfältig und reichen vom Gesundheitsbereich, in dem sie point-of-care

²⁴⁴ <http://www.spinelektronik.de/index.php/forschung.html>.

Neue
Anwendungen im
Gesundheits- und
Umweltbereich

Diagnosemöglichkeiten ermöglichen und eine wichtige Rolle bei der Einführung von Telemedizin-Angeboten spielen könnten bis hin zum Umweltbereich und dem Einsatz von LOC-Geräten zwecks Überwachung von Verschmutzung und Kontaminierung der Umwelt.

(2) Zunehmende Bedeutung der Omik-Forschung:

Bei der *Genomik* werden voraussichtlich sinkende Kosten bei der Gensequenzierung (DNA-Sequenziergeräte der 3. Generation) in Zukunft den Vergleich von Gensequenzen durch breite Bevölkerungsgruppen oder Pflanzengruppen möglich machen. Fortschritte in der *Proteomik* könnten zu einem besseren Verständnis der Muster von Proteingehalt und Proteinaktivität auf Zellebene führen – im gesunden sowie im kranken Zustand. Auch könnte die Proteomik bei der Identifizierung neuer Diagnosemarker für Krankheiten sowie der Ermittlung neuer Wirkorte für Medikamente helfen. Fortschritte in der *Epigenetik*, d. h. der Analyse der Modifikation der DNA-Moleküle und Methylierung von DNA-Bausteinen,²⁴⁵ und der *Transkriptomik*, d. h. der Untersuchung der Überschreibung von Genen in den Botenstoff RNA²⁴⁶, könnten ein besseres Verständnis der Mechanismen ermöglichen, die im Zusammenhang mit Krankheiten zum Ab- bzw. Anschalten bestimmter Gene führen. In diesem Zusammenhang könnten Techniken zur Analyse der Genregulation und insbesondere von Einzelstrang-DNA-, Mikro-RNA- (miRNA) und Doppelstrang-RNA (dsRNA) eine wichtige Rolle bei der Festlegung einer geeigneten genetischen medizinischen Behandlung für verschiedenste Krankheiten spielen.

Neue Diagnose- und
Behandlungs-
möglichkeiten

Weitere einzelne Prognosen aus der Studie lauten:

- Fortschritte bei Nukleinsäuresonden und Microarray-Diagnostik-Systemen könnten die Entwicklung sensibler Diagnostiktests und effizienterer, individuell zugeschnittener Therapeutika ermöglichen.
- Die RNA-Interferenz (RNAi) könnte zu neuen Behandlungsformen führen. Im Bereich des Spekulativen gehöre allerdings der Wunsch, anhand der RNAi in die Biochemie pathogener Erreger, ähnlich wie mit konventioneller, antimikrobieller Medikamente, eingreifen zu wollen.
- Viren, Bakterien oder Hefen könnten zunehmend als Träger neuer DNA-Sequenzen genutzt werden – beispielsweise bei der Behandlung bestimmter Immunschwächekrankheiten.
- Aus dem tieferen Einblick in die Korrelation von Genmutationen und -abweichungen in Verbindung mit epigenetischen Markern sowie der miRNA-Expression könnte die Entwicklung prädiktiver Tests sowie Medikamente für eine Vielzahl von Krebserkrankun-

²⁴⁵ vfa.de (2007).

²⁴⁶ vfa.de (2007).

gen hervorgehen. Auch könnte es dadurch in Zukunft möglich sein, individuelle Medikamentenempfindlichkeiten besser nachvollziehen zu können.

Fortschritte bei der Genomik, Proteomik, Epigenetik und Transkriptomik werden laut der Studie, in Verbindung mit der Miniaturisierung multipler Labortechniken (Lab-on-a-Chip), in Zukunft zu zahlreichen neuen Anwendungen in Gesundheit und Landwirtschaft führen (s. Abschnitt „Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung“).

Unterstützt werden diese Entwicklungen durch steigende Rechenleistungen und Fortschritte in der Bioinformatik, die die immer komplexere Analyse von Genen, Proteinen und epigenetischen Funktionen, einschließlich Mustererkennung, Data-Mining, maschinelles Lernen und Vorhersagetechniken vereinfachen sowie die Verarbeitung von immer größer und komplexer werdenden Datensätzen unterstützen. Standards bei der Datenerhebung und -beschreibung würden Datenvergleiche und -integration unterstützen.

luK als *enabling technology*

(3) Stammzellforschung und *tissue engineering*:

Im Vergleich zu vielen anderen (europäischen) Ländern profitiere die Stammzellforschung in Großbritannien, insbesondere die Forschung an embryonalen Stammzellen, traditionell von einer liberalen Gesetzgebung. Auch für die Zukunft wird von den Studienautoren der Stammzellforschung eine wichtige Bedeutung, insbesondere für den Forschungs- und Wirtschaftsstandort Großbritannien, beigemessen. Vorausgesetzt, die Mechanismen der Wirkweise von Stammzellbehandlungen und deren eventuelle Risiken könnten in Zukunft besser erkannt und verstanden werden, erhoffen sich die Studienautoren von Fortschritten auf diesem Gebiet zahlreiche neue Möglichkeiten der Therapie bei geschädigten Organen bzw. Geweben sowie für eine Vielzahl von Krankheiten (s. Abschnitt „Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung“). Ethische Fragestellungen und damit verbundene Regulierungen sowie die Frage der öffentlichen Akzeptanz werden allerdings bei der Stammzellforschung weiterhin eine sehr wichtige Rolle spielen und deren Fortschritt bzw. die Akzeptanz daraus folgender Therapiemöglichkeiten bedingen.

Liberale
Gesetzgebung

Ethik- und
Akzeptanzfragen
weiterhin wichtig

Es wird betont, dass sich mit verstärkten Anstrengungen in Japan, den USA sowie auch in den BRIC-Staaten auf diesem Gebiet der Wettbewerb bei der Stammzellforschung in Zukunft verschärfen werde. Besonderes Potenzial ergebe sich für Großbritannien bei der Gestaltung eines Markts für Stammzellen – ähnlich dem für Blutspenden – sowohl für autologe als auch für allogene Stammzelltransplantationen. Folgende Fragestellungen würden in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle spielen: Kultivierung von Stammzellen und biologische Verarbeitung (um das Problem der Nicht-Skalierbarkeit heutiger Verfahren bei allogenen Stammzellen zu überwinden); Automatisierung der Prozesse; Gestaltung von Vorschriften und Standards für eine grenzübergreifende Stammzellendatenbank.

Stammzellenmarkt:
besonderes Potenzial
für UK

Synthetische
Biologie: möglicher
Paradigmenwechsel in
den Life Sciences

(4) Synthetische Biologie: Fortschritte bei der Anwendung von Engineering-Methoden und -verfahren auf das Design und den Aufbau komplexer biologischer Systeme, sowie die Konvergenz von Bio-, Nano- und IuK-Technologien könnten zu einem Paradigmenwechsel führen – weg vom *genetischen Engineering* und der Optimierung bestehender Genome hin zur Entwicklung neuartiger komplexer, biologischer Systeme (Organismen, Zellen, Moleküle, etc.). Die synthetische Biologie habe laut der Studie das Potenzial, im Bereich Life Sciences eine ähnlich durchschlagende Wirkung mit erheblichen Auswirkungen auf Industrie und Forschung zu entwickeln, wie die Computerindustrie im Zeitraum 1970-1990. Bis 2018 könnte der globale Markt für synthetische Biologie auf 16,7 Milliarden USD wachsen.

Besonders vielversprechend seien folgende Ansätze:

- Herstellung von *Biofabriken* aus Bakterien mit dem Ziel, bestimmte Chemikalien oder biologische Bausteine zu produzieren – mit Anwendungsmöglichkeiten in der Medizin (z. B. Entwicklung von Medikamenten gegen Malaria oder Krebs) oder im Umweltschutzbereich (Dekontaminierung schadstoffbelasteter Flächen und Gewässer).
- Aufbau standardisierter DNA-Sequenzen zur Erzeugung bestimmter vorhersehbarer Wirkungen. Diese Entwicklung könnte bereits in den nächsten 3-10 Jahren zum Erfolg gebracht werden.
- Herstellung künstlicher Organismen, mit für kommerzielle Anwendungen interessanten Eigenschaften – z. B. der Fähigkeit zur Synthese von Proteinen, die zwar in der Natur nicht vorkommen aber industrielle und medizinische Anwendung finden.
- Herstellung neuartiger Roboter bzw. IuK-Bausteine auf Basis von Produkten aus der synthetischen Biologie.
- Entwicklung eines Verfahrens zur nachhaltigen Gewinnung von Wasserstoff für die Energieindustrie.

Verschiedene
vielversprechende
Ansätze

Langfristig könnte möglicherweise sogar die Kombination aus Produkten der synthetischen Biologie mit Nano- und Robotik-Entwicklungen, die Herstellung neuartiger, hybrider Bio-Nano-Lebensformen ermöglichen, die besondere sensorische Eigenschaften oder Reaktionsmöglichkeiten aufweisen.

Konvergenz mit
Nano- und
Robotik-
Entwicklungen

Laut der Studie bietet synthetische Biologie beträchtliche Möglichkeiten. Noch zu lösende Fragen betreffen allerdings den potenziellen Missbrauch dieser Technologie, beispielsweise die Gefahr der Erzeugung neuartiger Pathogene oder der Modifizierung vorhandener Pathogene mit dem Ziel, ihre Virulenz zu verstärken oder medizinische Gegenmaßnahmen zu vereiteln.

Risiko des
potenziellen
Missbrauchs der
Technologie

(5) Weißer Biotechnologie: Der bereits etablierten weißen Biotechnologie – oder industrielle Biotechnologie – wird weiterhin große Bedeutung und technologisches und wirtschaftliches Potenzial beigemessen. Die Studienautoren rechnen mit einem globalen Marktvolumen für weiße Biotechnologie in Höhe von 150-360 Milliarden GBP im Jahr 2025. Weiterhin wird geschätzt, dass Großbritannien seinen Marktanteil bis dahin weiter ausbauen könnte.

Weiterhin hohes technologisches und wirtschaftliches Potenzial der weißen Biotechnologien

Folgende Technologiebereiche bzw. -ansätze werden hervorgehoben:

- Identifizierung neuer Biokatalysatoren: Mithilfe von Hochdurchsatz-Sequenzieretechniken wird es voraussichtlich möglich sein, Gensequenzen zu identifizieren, die für nützliche Enzyme kodieren.
- Enzym-Engineering, Enzym-Stabilisierung und -immunsierung
- *Zellfabriken*: Entwicklung in den nächsten 7-15 Jahren eines wissensbasierten Ansatzes (insbesondere bzgl. Vorhersagbarkeit bei der Produktfertigung) für den Einsatz von lebenden Zellen als Zellfabriken, um aus einfachen, günstigen und erneuerbaren Rohstoffen Produkte im industriellen Maßstab herzustellen.
- Pflanzenbiofabriken: Herstellung von Chemikalien in Pflanzen ausgehend von Sonnenstrahlung, CO₂ und günstigen anorganischen Elementen.
- Bioraffination und Herstellung von Biokraftstoffen der 2. Generation (aus nicht essbaren Pflanzen) und der 3. Generation (aus Algen). Vor dem Hintergrund der britischen Expertise bei Biokatalyse sowie bei traditioneller Raffinationstechnik sehen die Experten in der Bioraffination großes Potenzial für Großbritannien.

Vielversprechende Ansätze

(6) Biotechnologie in der Landwirtschaft: Vor dem Hintergrund der wachsenden Weltbevölkerung und der damit verbundenen Herausforderungen für die Lebensmittelversorgung, wird dem Einsatz der Biotechnologie in der Landwirtschaft großes Potenzial zugeschrieben. Folgende Ansätze werden als besonders wichtig bzw. vielversprechend dargestellt:

- Besserung Verwertung von Rohstoffen und Nebenprodukten durch Nutzung neuartiger Enzyme sowie von für die Fermentierung optimierten Mikroorganismen.
- Entwicklung und Nutzung in der Lebensmittelkette von Tests auf Basis der Polymerasekettenreaktion, um Sicherheit und Rückverfolgbarkeit der Nahrungsmittel zu erhöhen.
- Entwicklung genetisch modifizierter Getreidesorten mit erhöhter Toleranz gegenüber Umwelteinflüssen, insbesondere Dürre, Krankheiten oder Schädlingen (in diesem Zusammenhang wird dürreresistenter Mais hervorgehoben, der schätzungsweise bis

Ertrag- und nährstoffreichere Pflanzen dank Biotechnologien

2017 in Afrika eingesetzt werden könnte) oder von ertragreicheren Nutzpflanzen.

- Entwicklung genetisch modifizierter Pflanzen mit verbesserten ernährungstechnischen Eigenschaften (z. B. höherer Vitaminen- und Nährstoffgehalt) – sowohl für Verzehr durch Menschen als auch in der Viehzucht durch Tiere.
- Entwicklung von spezifisch auf die Bedürfnisse der Pharmaindustrie abgestimmten Pflanzen.

Konvergenz mit
Nano- und IuK-
Technologien sowie
Elektronik

Es wird erwartet, dass die Konvergenz von Nanotechnologien, IuK, Elektronik und Biotechnologie neue Ansätze zur Unterstützung der Getreideproduktion und -lagerung hervorbringen wird, beispielsweise neue genetisch basierte Diagnose-Tools für Pflanzen- und Tierkrankheiten, Sensorik-Systeme zum Monitoring der Qualität von Wasser und Böden sowie zur Überwachung des Einsatzes von Düngemitteln und Pestiziden.

Biotechnologie in der
Landwirtschaft:
Chance und Risiko
zugleich

Der Einsatz biotechnologischer Verfahren in der Landwirtschaft stellt laut der Studie eine große Chance, zukünftige Herausforderungen meistern zu können, allerdings wird betont, dass potenzielle Risiken dieser Verfahren, sowohl für die Umwelt als auch für die Menschen, sorgfältig gegen ihren potenziellen Nutzen abgewogen werden müssen.

Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung

Zunehmender Einzug
von Bio-, Nano- und
IuK- sowie optischen
Technologien in den
Gesundheitsbereich

Auf den Bereich Gesundheit wird sehr detailliert eingegangen. Zukünftige Trends und Entwicklungen lassen sich laut der Studie dadurch charakterisieren, dass Bio-, Nano- und Informations- und Kommunikationstechnologien sowie optische Technologien zunehmend in den Gesundheitsbereich Einzug erhalten bzw. dass deren Bedeutung für die Gesundheitsversorgung steigt. Zudem würden sich aus der Konvergenz dieser Technologien miteinander sowie auch mit den Neurowissenschaften neue Ansätze für Diagnose und Behandlung ergeben.

Leistungsstarke
Sensorik für
Gesundheits-
monitoring und
-diagnostik

(1) Bessere Diagnose- und Behandlungsmöglichkeiten durch leistungsstärkere Bio- bzw. bioinspirierte Sensorik: Bei der Diagnose geht laut der Studie der Trend hin zur verstärkten Nutzung – jenseits rein physiologischer Symptome – von durch Sensoren gewonnenen biochemischen Informationen. Fortschritte bei der Miniaturisierung sowie der Energieversorgung der Sensorsysteme fördern diese Entwicklung. Auch im Rahmen eines zukünftigen kontinuierlichen Gesundheitsmonitorings sowie von e-Health-Konzepten werden zukünftige leistungsstarke Sensoren eine große Rolle spielen. Die Entwicklung von nano-bots für die Behandlung von Krankheiten sei ebenfalls möglich.

Personalisierte
Medizin

(2) Personalisierte Medizin dank Fortschritte bei Genetik und Molekularbiologie: Es wird erwartet, dass Fortschritte auf dem Gebiet der Genetik, der Proteomik, der Epigenomik, der Epidemiologie und der Molekularbiologie zunehmend die Identifizierung von Biomarkern für spezifische

Krankheiten (wie z. B. Krebs oder neurologische Störungen) und somit maßgeschneiderte Diagnosen ermöglichen. Denkbar seien auch, dank sinkender Kosten und weiterer Miniaturisierung bei den Diagnose-Tests, Früherkennungsprogramme auf epigenetischer Basis für diverse Krankheiten. Das wachsende Verständnis des Zusammenspiels zwischen genetischen und umgebungsbedingten Faktoren sowie der Wirksamkeit von Medikamenten, in Verbindung mit sinkenden Kosten für Gensequenzierung und Diagnosemethoden, werde die Möglichkeit einer auf den Patienten zugeschnittenen Behandlung im Sinne einer personalisierten Medizin eröffnen. Allerdings weist die Studie auf die Gefahr des Missbrauchs von genetischen Daten sowie auf ethische Probleme hin, beispielsweise hinsichtlich des Umgangs mit ggf. identifizierten genetischen Risikofaktoren für den Ausbruch von Krankheiten.

Ethische Probleme

Weitere Prognosen lauten:

- DNA-Impfungen gegen AIDS, Malaria, Hepatitis-B und bestimmte Krebserkrankungen könnten in 10 Jahren zur Verfügung stehen.
- RNA-Therapeutika werden wahrscheinlich bis 2020 die am schnellsten wachsende Therapeutika-Klasse auf dem Arzneimittelmarkt sein. Der globale Markt für RNA-Therapeutika könnte sich laut der Studie zwischen 2011 und 2015 jedes Jahr verdoppeln und 2015 etwa 3,5 Milliarden USD betragen.

(3) Regenerative Medizin: Trotz regulatorischer und ethischer Barrieren sowie Akzeptanzprobleme, die den Durchbruch der Technologie hemmen, wird der regenerativen Medizin, insbesondere der Gewebezüchtung aus Stammzellen (tissue engineering) vor dem Hintergrund der wachsenden Weltbevölkerung, vor allem aber der Alterung der britischen Gesellschaft, großes Potenzial zugeschrieben. Laut der Studie bietet „tissue engineering“, dank absehbarer Fortschritte in der Zellbiologie sowie bei Materialien und Methoden, die Chance, die steigende Nachfrage nach Behandlung bzw. Ersatz geschädigter Gewebe und Organe decken zu helfen (s. auch Abschnitt „Biotechnologie und Life Sciences“). Denkbar seien beispielsweise der Ersatz von geschädigten Leberzellen oder der ganzen Leber, durch gezüchtete Zellen bzw. Organe oder dass Menschen mit Hirnschäden oder Herzkrankheiten neue Neuronen bzw. Herzzellen eingepflanzt würden. Ähnliche Behandlungen könnten sich an Patienten mit Rückenmarkverletzungen bzw. Schlaganfall-Patienten richten. Auch könnten neue Möglichkeiten der Behandlung von Morbus Parkinson, Morbus Alzheimer, Krebs, Diabetes oder Arthritis/Rheuma aufkommen.

Tissue Engineering:
Mögliche Antwort auf
steigende Nachfrage
nach Ersatzgewebe
und -organen

(4) Optimierung von Diagnose und Therapie dank bildgebender Verfahren: Weiterhin wird erwartet, dass Fortschritte bei bildgebenden Verfahren zur verbesserten Möglichkeiten der Diagnose und Früherkennung von Krankheiten sowie der Behandlung bzw. der Überwachung des Behandlungsverlaufs führen. Insbesondere in den Neurowissenschaften

werden bildgebende Verfahren, indem sie dazu beitragen, Hirn- und Nervenmechanismen darstellbar zu machen, laut der Studie, in Zukunft weiterhin eine wichtige Rolle spielen. Folgende Beispiele bzw. Anwendungen bildgebender Verfahren werden angeführt:

Bildgebende
Verfahren immer
wichtiger

- Optimierte Informationsgewinnung und Rekonstruktion von 3D-Modellen dank Fortschritten auf dem Gebiet der Radiologie.
- Verbessertes Neuroimaging auf Gewebe- und Zellniveau und folglich bessere Möglichkeiten der Diagnose neurologischer Erkrankungen und psychischer Störungen im Anfangsstadium.
- Einsatz von funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT) in der präsymptomatischen Diagnostik, bei der Entwicklung von Medikamenten bzw. einer individuellen Behandlung sowie zur Überwachung chronischer Schmerzen.
- Nutzung von Echtzeit-fMRT zur Überwachung der Hirntätigkeit und daraus folgend Entwicklung neuer Behandlungsansätze für Hirnerkrankungen wie Demenz, Sucht, Depression.

Drahtlose Kommunikationstechnik sowie die Entwicklung von Open-Source-Standards, könnten eine größere Verbreitung und den effizienteren Einsatz medizinischer bildgebender Verfahren in Zukunft fördern. Fortschritte bei der Miniaturisierung von Bildgebungsgeräten, zusammen mit Point-of-Care-Diagnostik, könnten darüber hinaus neue dezentralisierte Behandlungs- und Pflegemodelle ermöglichen (z. B. Screening-Kabinen in Drogeriemärkten).

(5) Neue Behandlungsansätze dank Fortschritte in den Neurowissenschaften: Die Studie geht davon aus, dass ein zukünftig besseres Verständnis der Hirn- und Nervenfunktionen zu besseren Behandlungsansätzen, ggf. effizienteren Psychopharmaka für neurodegenerative Erkrankungen wie Demenz und psychische Störungen im Allgemeinen (z. B. Depression, Suchtstörungen) führen wird. Insbesondere denkbar sei die Entwicklung neuer leistungssteigernder Medikamente zur Steigerung der kognitiven Funktionen bei Demenzen bzw. in Kombination mit IuK-Technologien und Robotik, auch die Entwicklung von leistungssteigernden Implantaten und Prothesen sowie von brain-Computer-Interface zur Wiederherstellung der Funktion von Gliedmaßen bei gelähmten oder kranken Patienten.

Besseres Verständnis
und Behandlungsmöglichkeiten für
neurodegenerative
und psychische
Erkrankungen

(6) Selbstoptimierung bzw. Human Performance Enhancement: Das tiefer gehende Verständnis von Hirn- und Nervenmechanismen sowie der Wirksamkeit von (pharmakologischen) Therapien, könnte auch dazu führen, dass sowohl existierende Therapien aber auch zukünftige leistungssteigernde Medikamente und Neuroimplantate auch jenseits einer spezifischen medizinischen Indikation eingesetzt werden, zwecks Selbstoptimierung des Menschen (Human performance enhancement). Folgende Anwendungsbeispiele werden genannt:

- Zweckentfremdung von Demenz-Medikamenten (insbesondere gegen Alzheimer-Demenz) durch gesunde Personen zwecks Steigerung des Kurzzeitgedächtnisses und der Denkgeschwindigkeit.
- Nutzung der aus der Behandlung von Morbus Parkinson bekannten Tiefenhirnstimulation mit dem Ziel der Steigerung der Gedächtnisleistung bei nicht kranken Personen: transkranielle Hirnstimulation und Hirnprothese-Chips; Verbindung des Nervensystems an einen Computer mittels Hirnimplantat bis hin zur elektronischen Hirn-zu-Hirn-Kommunikation.
- *Emoticeuticals*, d. h. Medikamente, die auf den Hormonspiegel im Körper wirken, um emotionale Befindlichkeiten zu beeinflussen.
- *Sensoceuticals*, d. h. Medikamente zur Steigerung bzw. Simulation einer Sinneswahrnehmung.
- Exoskelette zur Verstärkung der normalen physiologischen Leistung (z. B. als Hilfe beim Heben schwerer Lasten).
- Brain-Computer-Interface zur Verstärkung sensorisch-motorischer Funktionen.

„Human Performance Enhancement“
als Norm?

Zwar könnten laut der Studie der Einsatz solcher leistungssteigernder Medikamente und Neuroimplantate bei eigentlich gesunden Menschen in Zukunft zur Norm werden. Allerdings sei er mit zahlreichen ethischen Problemen verbunden, beispielsweise hinsichtlich der Verteilungsgerechtigkeit, der möglichen Nebenwirkungen bzw. der eventuellen Suchtgefahr bei leistungssteigernden Medikamenten oder auch des wahrgenommenen gesellschaftlichen Drucks auf jeden einzelnen, diese technologischen und pharmakologischen Möglichkeiten tatsächlich auszuschöpfen. In dem speziellen Fall von Brain-Computer-Interfaces haben auch Fragen der Sicherheit und Zuverlässigkeit der IuK-Systeme eine große Bedeutung.

(7) Steigende Bedeutung von e-Health: Die Durchdringung des Gesundheitsbereichs durch Informations- und Kommunikationstechnologien wird laut der Studie, e-Health- und Telemedizin-Konzepte fördern. Vor dem Hintergrund einer gewünschten Qualitätssteigerung im Gesundheitssystem bei gleichzeitiger Eindämmung der Kosten, insbesondere angesichts der Alterung der Gesellschaft, wird e-Health eine sehr hohe Bedeutung beigemessen. Auch im Rahmen einer personalisierten Medizin erscheint den Autoren der Studie, der mögliche Zugriff auf individuelle medizinische Daten und Diagnosen jederzeit und überall (z. B. auch über Mobilgeräte) sehr wichtig. Fortschritte bei Lab-on-a-Chip-Technologien könnten es möglich machen, dass sich Patienten selbst zu Hause testen und die Daten für Diagnose und Behandlung elektronisch an einen Arzt übermitteln. Gegebenenfalls in Kombination mit Heimüberwachungssystemen, versprechen e-Health-Konzepte zudem Qualitätssteigerung im

e-Health?:
Beitrag zur
Qualitätssteigerung -
bei Eindämmung der
Gesundheitskosten

Pflegebereich. Allerdings weist die Studie darauf hin, dass mangelnde Interoperabilität und Standardisierung bei IuK-Anwendungen sowie ungeklärte rechtliche Fragen, die breite Verwendung von e-Health-Anwendungen hemmen könnte.

Roboter als
Pflegehilfe

(8) Zunehmender Einzug der Robotik in den Pflegebereich: Schließlich könnten laut den in der Studie involvierten Experten im Pflegebereich verstärkt Roboter zum Einsatz kommen, insbesondere vor dem Hintergrund der demographischen Entwicklung und der alternden Bevölkerung. Voraussetzung sei allerdings, dass sich die Mensch-Roboter-Interaktion intuitiv und sicher gestalten lässt.

Weniger Medikations-
fehler dank „Active
Packaging“

(9) Verbreitung von Active-Packaging-Konzepten im Gesundheitswesen (s. auch Abschnitt „Produktions- und Prozesstechnik“): Es wird geschätzt, dass *Active-Packaging* bei Medikamenten dazu beitragen könnte, die derzeit hohe Zahl der Medikationsfehler zu reduzieren, laut der Studie könnten aktuell ca. 25 % der Medikationsfehler auf unklare bzw. falsche Kennzeichnungen zurückgeführt werden.

Auch im Bereich Ernährung wird *Active Packaging* laut der Studie zunehmend eine wichtige Rolle spielen, möglich seien die Verlängerung der Haltbarkeitsdauer von Lebensmitteln dank smarter Verpackungsbeschichtungen oder auch die Besserung der Überprüfung von Haltbarkeitsdauer und Unversehrtheit sowie die Rückverfolgung von Lebensmitteln. Darüber hinaus könnten in der Landwirtschaft Fortschritte in der Sensorik, insbesondere bei Biosensoren eine wichtige Rolle spielen, indem sie neue Möglichkeiten der rechtzeitigen Identifizierung von Pflanzenkrankheiten bzw. -schäden eröffnen, z. B. dank der Nutzung von hyperspektralen Bildsensoren.

Nachhaltigkeit und Umwelt

Fokus auf Recycling-
Technologien

Im Bereich Nachhaltigkeit und Umwelt wird in der Studie – abgesehen von der komplexen und detailliert untersuchten Frage der Förderung ressourcenschonender und emissionsarmer Energietechnologien und energetischer Konzepte, die im Abschnitt „Energie“ behandelt wird – hauptsächlich auf die Bedeutung von Recycling-Technologien detailliert eingegangen. Nanotechnologische – im Vergleich zu traditionellen Verfahren kostengünstige und effektivere – Sanierungs- und Aufbereitungsverfahren könnten bei der Sanierung von Böden und Grundwasser sowie der Beseitigung und Aufbereitung von Industrie- und Haushaltsabfällen zum Standard werden (s. auch Abschnitt „Nano- und Mikrosystemtechnologie“). Allgemein könnte die verstärkte Nutzung existierender bzw. neuer Recycling-Technologien dazu beitragen, die Effizienz von Produktionsprozessen sowie den Energie- und Ressourcenverbrauch zu reduzieren. Dies sei insbesondere vor dem Hintergrund der global steigenden Roh-

stoff-Nachfrage wichtig. Allerdings sei die Kostenfrage eine wichtige Hürde: Bei bereits existierenden Recycling-Technologien (z. B. mechanisch-biologische Aufbereitung) bleibe der Marktwert aufbereiteter Materialien oft weit unter den Recycling-Kosten selbst.

Vielversprechend seien darüber hinaus neue Forschungsansätze zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen aus kommunalen oder Haushaltsabfällen, allerdings bleiben laut der Studie, auch hier die Kosten relativ hoch. Es wird gehofft, dass unter dem Druck starker gesetzlicher Recycling-Auflagen in Zukunft vermehrt an der Entwicklung wettbewerbsfähiger, insbesondere kostengünstiger Recycling-Technologien gearbeitet wird.

Ersatzbrennstoffe
aus Abfällen

Ferner verspricht der Einsatz der Biotechnologie in Landwirtschaft und Viehzucht laut der Studie höhere Effizienz und ertragreichere Produktion und bietet somit eine Antwort auf die Herausforderungen, die mit der zukünftigen Lebensmittelversorgung einer wachsenden Weltbevölkerung zusammenhängen, bei gleichzeitiger Ressourcenschonung. Darüber hinaus wird die konsequente Verfolgung in der Landwirtschaft von Ansätzen wie der Präzisionslandwirtschaft oder der vertikal integrierten Landwirtschaft, mit dem Ziel der Ressourcenschonung als vielversprechend dargestellt.

Am Rande erwähnt wird die Tatsache, dass Fortschritte in der Genomik – unterstützt durch die Bioinformatik – zu neuen Verfahren im Bereich Umweltmonitoring und Bioprospektion führen könnten.

Verteidigung und Sicherheit

Die in der Studie involvierten Experten sagen eine zunehmende Nachfrage nach biometrischen Verfahren zu Sicherheitszwecken voraus. Anwendungsmöglichkeiten ließen sich sowohl im Bereich der zivilen und militärischen nationalen Sicherheit als auch in der Wirtschaft finden: z. B. biometrische Pässe, biometrische Zugangskontrollen für öffentliche Gebäude oder Industrieanlagen, biometrische Authentifizierungsverfahren für den elektronischen Handel oder das Online-Banking sowie im Gesundheitssystem. Dank Fortschritten bei den genutzten Algorithmen sowie bei den optischen Technologien, wird mit immer präziser funktionierenden Methoden der Gesichtserkennung und der Erkennung bzw. Analyse von Fingerabdrücken gerechnet. Zukünftige Fortschritte bei der Genetik könnten zur Entwicklung von auf einer Gensequenzierung basierten biometrischen Verfahren führen. Die breite Verwendung biometrischer Verfahren, setze aber die Entwicklung von Industriestandards sowie interoperable Hardware- und Software-Komponenten voraus, die den Austausch relevanter Daten unter den verschiedenen Akteuren ermöglicht. Darüber hinaus werfen biometrische Verfahren wichtige Akzeptanzfragen insbesondere in Bezug auf Schutz und Sicherheit der erhobenen Daten auf.

Biometrische
Verfahren zunehmend
eingesetzt

Einsatz von Robotern

Darüber hinaus wird erwartet, dass Fortschritte bei Robotik und Automation zum verstärkten Einsatz von Robotern bei Verteidigungs- und Sicherheitsanwendungen führen werden, z. B. bei Such- und Rettungsaktionen oder bei dem Schutz von Infrastrukturen. Mittelfristig (2020) sind Schwarmroboter denkbar, die beispielsweise im Rahmen des Umweltschutzes Monitoring-Aufgaben in schwierigen Umgebungen übernehmen.

Lediglich am Rande erwähnt werden bildgebende Verfahren wie Terahertz-Bildgebung oder Farbröntgen, die bei Überwachungsanwendungen zukünftig (weiterhin) eine Rolle spielen könnten sowie 3D-Drucktechniken, auf die für die Herstellung von Radar absorbierenden Materialien zunehmend zurückgegriffen werden könnte.

Dienstleistungen

Service-Roboter in vielen Branchen

(1) Zunehmende Bedeutung von Service-Robotik: Es wird postuliert, dass die zunehmende Verbreitung von komplexen Service-Robotern, ähnlich grundlegende Veränderungen für den Dienstleistungsbereich haben könnte wie in der Vergangenheit die Verbreitung von Industrierobotern für den Industriebereich. Laut der Studie ist der Einsatz von Service-Robotern in den verschiedensten Dienstleistungsbranchen denkbar, von der Gesundheits- und Pflegebranche, in der Service-Roboter eine wichtige Rolle bei der Bewältigung der mit einer älter werdenden Gesellschaft verbundenen Herausforderungen spielen könnten, bis hin zur Bildungs- oder Transportbranche.

Noch zahlreiche technische Hürden

Voraussetzung für einen breiten Einsatz von Service-Robotern ist laut der Studie allerdings, dass wesentliche aktuelle technologische Probleme gelöst werden können, u. a. bezüglich der Fingerfertigkeit der Service-Roboter sowie ihrer Fähigkeit, aus Situationen zu *lernen* bzw. sich an wechselnde Situationen anzupassen. Hierfür seien wesentliche Fortschritte bei den Aktoren sowie bei den Methoden und Verfahren zur Kontrolle und Planung der Roboterbewegungen sowie zur Umweltwahrnehmung durch den Roboter. In dieser Hinsicht wird erwartet, dass 3D-Visualisierungstechniken, komplexe Sensorik und Aktorik sowie semantische Technologien eine wichtige Rolle spielen werden.

Ab 2025 mehr Service-Roboter als Industrie-Roboter

Die Studienautoren rechnen mit einer beträchtlichen Steigerung des globalen Marktvolumens für Service-Roboter (je nach Branche und Tätigkeit bis hin zu 30 % p. a.) und schätzen, dass im Jahr 2025 der Markt für Service-Roboter größer sein wird als der für Industrieroboter. Allerdings: Ob Service-Roboter auf eine breite Akzeptanz seitens der Bevölkerung stoßen werden oder nicht, insbesondere für den Einsatz in den eigenen vier Wänden, werde wesentlich davon abhängen, ob eine intuitive Mensch-Maschine-Interaktion möglich wird bzw. Roboter mit der Fähigkeit zu sozialen Interaktion entwickelt werden können.

(2) Dienstleistungen zunehmend „on demand“: Wie auch bei der Produktion von Waren, die zunehmend bereits beim Herstellungsprozess gemäß den Kundenwünschen individualisiert werden (s. Abschnitt „Produktions- und Prozesstechnik“), wird erwartet, dass Dienstleistungen in Zukunft zunehmend „on demand“ erbracht werden könnten. Hiermit ist gemeint, dass Dienstleistungsanbieter, sei es Unternehmen aber auch öffentliche Anbieter bzw. kommunale Verwaltungen, immer mehr danach streben könnten, individuelle Präferenzen und Erwartungen potenzieller Kunden im Vorfeld der Erbringung einer spezifischen Dienstleistung wahrzunehmen und zu berücksichtigen, um somit ihr Dienstleistungsangebot optimal an die Nachfrage anpassen zu können. Wie auch bei der Produktion „on demand“ stellen laut den Studienautoren, IuK-Technologien, insbesondere soziale Netzwerke, die eine direkte Rückkopplung zwischen Dienstleistungsanbietern und -abnehmern ermöglichen, einen wesentlichen Treiber für diese Entwicklung dar.

Dienstleistungen „on demand“: zunehmende frühzeitige Berücksichtigung von Kundenwünschen

4.5 USA

4.5.1 Nationales Innovationssystem

Keine zentrale
Institution

Im Unterschied zu den meisten Industrieländern existiert in den USA keine zentrale Institution, die die FuE-Politik und die dazugehörigen Programme verwaltet. Vielmehr erfahren Forschung und Entwicklung ihre öffentliche Förderung von einem breiten Spektrum von Ministerien und Bundesagenturen mit z. T. überlappenden Zuständigkeiten.²⁴⁷ Die Abbildung 4.16 stellt das bundesstaatliche Innovationssystem der USA dar.²⁴⁸

Rolle des OSTP:
wichtigster Berater
auf dem Gebiet der
Wissenschaft und
Technologie

Die nationale Wissenschafts- und Technologiepolitik wird von dem Präsidenten in Zusammenarbeit mit dem „**Office of Science and Technology Policy**“ (**OSTP**)²⁴⁹ festgesetzt. Weiterhin übernehmen das OSTP und insbesondere sein Direktor, der sogenannte Wissenschaftsberater des US-Präsidenten – derzeit John P. Holdren – die wichtigste Beratungsfunktion auf dem Gebiet der Wissenschaft und Technologie. Das OSTP ist zudem für die Ressorts übergreifende Koordination der Wissenschafts- und Technologiepolitiken sowie der entsprechenden Budgets zuständig. Laut dem „National Science and Technology Policy, Organization, and Priorities Act“ von 1976, soll es mit der Wirtschaft zusammenarbeiten, um sicherzustellen, dass öffentliche Investitionen in Wissenschaft und Technologie zu wirtschaftlicher Prosperität, Umweltqualität und nationaler Sicherheit beitragen. In seine Zuständigkeit fallen weiterhin der Aufbau enger Partnerschaften auf Bundes-, Staats- und lokaler Regierungsebene sowie mit anderen Ländern und der Wissenschaftsgemeinschaft. Das OSTP ist zudem für die Evaluierung von Umfang, Qualität und Effektivität der Bundesanstrengungen in Wissenschaft und Technologie verantwortlich.²⁵⁰

Nach dem OSTP sind die zwei wichtigsten Beratungsorgane der amerikanischen Regierung das „**National Science & Technology Council**“ (**NSTC**)²⁵¹ und das „**President’s Council of Advisors on Science & Technology**“ (**PCAST**)²⁵²:

Weitere wichtige
Beratungsorgane:
NSTC und PCAST

- Das **NSTC** ist ein auf Kabinettsbene eingerichtetes Kollektivorgan unter dem Vorsitz des US-Präsidenten. Ihm gehören neben dem Vizepräsidenten, dem Wissenschaftsberater, der auch das NSTC koordiniert, und den Ministern auch die Spitzen der großen

²⁴⁷ Holtmannspötter, D. et al. (2010) und darin enthaltene Referenzen.

²⁴⁸ Für weitere Informationen zum nationalen Innovationssystem in den USA, s. Holtmannspötter, D. et al. (2010) und darin enthaltene Referenzen.

²⁴⁹ www.ostp.gov.

²⁵⁰ Internationales Büro des BMBF (2009).

²⁵¹ <http://www.whitehouse.gov/administration/eop/ostp/nstc>.

²⁵² <http://www.whitehouse.gov/administration/eop/ostp/pcast>.

Forschungsförderungseinrichtungen an. Die Aufgabe des NSTC liegt in der Entwicklung von Prioritäten und Strategien für die amerikanische Forschungs- und Technologiepolitik.²⁵³

- Das **PCAST** berät den Präsidenten in Fragen der technologischen Entwicklung, der Forschungsprioritäten sowie der naturwissenschaftlichen Ausbildung. Ratsmitglieder sind neben dem Wissenschaftsberater Experten aus Industrie, Bildung und Forschungsorganisationen, die vom Präsidenten ernannt werden.²⁵⁴ Die im Folgenden untersuchten Studien wurden durch das PCAST durchgeführt.

Weitere Beratungsinstitutionen sind die „**National Academy of Sciences**“ (NAS)²⁵⁵, das „**National Science Board**“ (NSB)²⁵⁶, die „**American Association for the Advancement of Science**“ (AAAS)²⁵⁷, das „**Council of Competitiveness**“²⁵⁸ sowie die 2010 gegründete „**Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues**“²⁵⁹.

Weitere Beratungs-
institutionen

Für die Umsetzung und die Förderung der Wissenschafts- und Technologiepolitik sind schließlich mehrere Ministerien und Bundesagenturen zuständig. Die wichtigsten sind das „**Department of Defense**“²⁶⁰, das „**Department of Health and Human Services**“²⁶¹, das „**Department of Energy**“ (DOE)²⁶², die „**National Aeronautics and Space Administration**“ (NASA)²⁶³ und die „**National Science Foundation**“ (NSF)²⁶⁴.

Umsetzung und
Förderung der
W&T-Politik

²⁵³ <http://www.whitehouse.gov/administration/eop/ostp/nstc>, abgerufen am: 26.03.2013.

²⁵⁴ Internationales Büro des BMBF (2009).

²⁵⁵ Die NAS ist eine der vier „National Academies“ (www.nationalacademies.org), zu denen auch die „National Academy of Sciences“, die „National Academy of Engineering“, das „Institute of Medicine“ und der „National Research Council“ gehören.

²⁵⁶ www.nsf.gov/nsb/.

²⁵⁷ www.aaas.org.

²⁵⁸ www.compete.org.

²⁵⁹ <http://bioethics.gov/>.

²⁶⁰ www.defenselink.mil.

²⁶¹ www.hhs.gov.

²⁶² www.energy.gov.

²⁶³ www.nasa.gov.

²⁶⁴ www.nsf.gov.

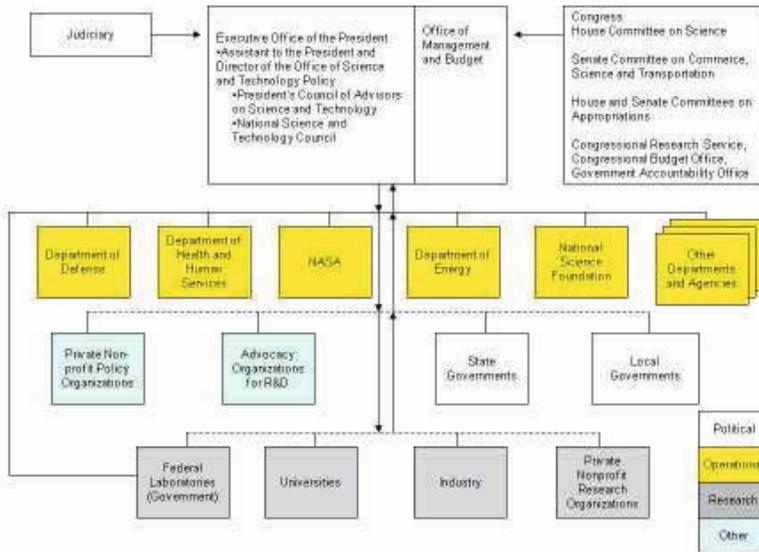


Abbildung 4.16: Übersicht des US-amerikanischen Innovationssystems.
Quelle: Youtie, J. (2011).

4.5.2 Aktivitäten im Bereich Technologieprognosen

Es werden in den USA keine institutionalisierten, systematischen nationalen Technologieprognosen (sogenannte Foresight-Studien) durchgeführt. Vielmehr tragen unterschiedliche zukunftsgerichtete Aktivitäten dazu bei, Entwicklungstrends, zukünftige Chancen und Förderprioritäten in Wissenschaft und Technologie zu identifizieren – beispielsweise folgende Aktivitäten:²⁶⁵

- **Workshops** zu spezifischen Themen werden von allen US-amerikanischen wissenschaftlichen und technologischen Einrichtungen organisiert. Neben Entwicklungstrends diskutieren Fachexperten auch über Forschungsprioritäten und sozioökonomische Aspekte der untersuchten Technologien.
- **„Technology roadmaps“** zur Vorhersage der Entwicklungen bestimmter Technologien nach dem Modell der „International Technology Roadmap for Semiconductors“²⁶⁶ werden in vielen Branchen der Industrie²⁶⁷ aufgestellt, z. B. in der Halbleiter- und Elektronik-

Keine zentrale Koordination von Technologieprognosen

Zahlreiche Aktivitäten zur Identifizierung von Technologietrends

²⁶⁵ Für weitere Informationen, s. Holtmannspötter, D. et al. (2010).

²⁶⁶ www.public.itrs.net.

²⁶⁷ z. B. in der Halbleiter- und Elektronikindustrie, der Optoelektronik-, der Aluminium-, der Papier- und Zellstoffindustrie.

dustrie, der Optoelektronik-, der Aluminium-, der Papier- und Zellstoffindustrie oder der Medizinbranche.

- Eine große Anzahl technologieorientierter **Zukunftsstudien** wird schließlich von „Think Tanks“, Beratungsausschüssen und Institutionen erstellt, mit dem Ziel, sowohl den zukünftigen Forschungsbedarf als auch soziale Auswirkungen von Technologien zu untersuchen. Gefördert werden solche Studien typischerweise von der Regierung und von privaten Stiftungen, wobei letztere aus dem ganzen politischen Spektrum kommen. Die im Folgenden untersuchten Studien des PCAST gehören zu dieser Kategorie.

4.5.3 Berichte des „President's Council of Advisors on Science and Technology“

4.5.3.1 Kurzbeschreibung der Studie

Name der Studie: Berichte des President's Council of Advisors on Science and Technology,
<http://www.whitehouse.gov/administration/eop/ost/p/pcast/docsreports>

Auftraggeber: Präsident der Vereinigten Staaten von Amerika
<http://www.whitehouse.gov/>

Durchgeführt von: President's Council of Advisors on Science and Technology
<http://www.whitehouse.gov/administration/eop/ost/p/pcast>

Erscheinungsjahr: 2010-2012 (je nach Studie)

Zeithorizont: variabel

Das 2009 unter dem Namen „President's Council of Advisors on Science and Technology (PCAST)“ von Präsident Obama ernannte und vom „Office of Science and Technology Policy“ (OSTP) verwaltete Gremium, das aktuell aus 20 Experten besteht, nimmt eine beratende Funktion beim Präsidenten wahr, formuliert politische Empfehlungen und identifiziert Forschungsprioritäten in allen Bereichen, in denen Wissenschaft, Technologie und Innovation das Potenzial haben, die Wettbewerbsfähigkeit der amerikanischen Wirtschaft zu stärken sowie der Gesellschaft zugutekommen zu können.²⁶⁸

Identifizierung von
Forschungsprioritäten
und Formulierung von
politischen
Empfehlungen

²⁶⁸ <http://www.whitehouse.gov/administration/eop/ostp/pcast/about>, abgerufen am: 13.03.2013.

Regelmäßige Studien
zu einzelnen Themen

In einem kontinuierlichen Verfahren werden thematische zukunftsgerichtete Studien zu einzelnen Bereichen wie Landwirtschaft oder Informationstechnologien verfasst. Im Folgenden werden fünf Studien des PCAST analysiert, die dem thematischen Profil der vorliegenden Meta-Analyse entsprechen:

Potenzieller Beitrag
der Informations- und
Kommunikations-
technologien im
Gesundheitsbereich

- **„Realizing the Full Potential of Health Information Technology to Improve Healthcare for Americans: The Path Forward“²⁶⁹ (2010):** Dieser Bericht analysiert den potenziellen Beitrag des Einzugs der Informations- und Kommunikationstechnologien in den Gesundheitsbereich. Insbesondere wird untersucht, inwiefern IuK-Technologien zu einer Qualitätssteigerung sowie zu einer Senkung der Kosten im Gesundheitswesen beitragen können und, darüber hinaus, ob es Optimierungspotenzial bzgl. der staatlichen Förderung in diesem Bereich gibt. Durchgeführt wurde die Analyse von einer aus Nicht-Regierungsexperten bestehenden Arbeitsgruppe, in Zusammenarbeit mit Regierungsmitarbeitern, Industrievertretern sowie Experten aus den IuK- und Gesundheitsbereichen. In der Studie werden insbesondere vielversprechende technologische IuK-Anwendungen für den Gesundheitsbereich identifiziert.

Modernisierung der
Fertigung

- **„Report to the President on Capturing Domestic Competitive Advantage in Advanced Manufacturing“²⁷⁰ (2012):** Der 2012 durch den Lenkungsausschuss der „Advanced Manufacturing Partnership“ (AMP)²⁷¹ erstellte Bericht – an dem über 1.200 Akteure aus Politik, Industrie und Forschung mitgewirkt haben – zielt auf die Identifizierung von Wegen und Investitionsmöglichkeiten, um die Fertigung zu modernisieren und somit den Wandel der US-amerikanischen Industrie zu unterstützen. Motivation für den Bericht ist der Wunsch, die in letzter Zeit schwächer gewordene Wettbewerbsposition der USA auf dem Gebiet der modernen Fertigung wieder zu stärken, dies insbesondere, weil die Wettbewerbsstärke des Produktionssektors große Auswirkungen auf Stärke und Innovationskraft der ganzen US-amerikanischen Wirtschaft habe. Die Entwicklung einer nationalen Strategie für die moderne Fertigung wird vorgeschlagen und Empfehlungen zur Verbesserung der Rahmenbedingungen für Innovation und des Geschäftsklimas sowie zur Förderung der nötigen Fachkompetenzen werden abgeleitet. Darüber hinaus werden elf Querschnittstechnologien mit Auswirkungen in vielen Industriebereichen identifiziert, die im Fokus zukünftiger Förderung durch die AMP liegen könnten (s. Tabelle 4.8).

²⁶⁹ PCAST (2010a).

²⁷⁰ PCAST (2012a).

²⁷¹ <http://www.manufacturing.gov/amp.html>, abgerufen am: 14.03.2013.

Tabelle 4.8: Identifizierte Technologien mit besonderem Potenzial für die moderne Fertigung.

Hochentwickelte Sensorik, Steuer- und Messtechnologien sowie Prozessregelung.
Design und Synthese hochentwickelter Materialien, einschließlich Nanomaterialien, Metamaterialien, Metallen, Beschichtungen und Keramik.
Informationstechnologien, einschließlich der Visualisierung und Digitalen Produktion.
Nachhaltige Herstellungsverfahren.
Nanofertigungstechnik (einschließlich der Fertigung von Mikrogrößen).
Flexible Elektronik.
Biotechnologien und Bioinformatik, einschließlich Proteomik und Genomik.
Generative Fertigung.
Hochentwickelte Fertigungstechnologie (einschließlich Testverfahren).
Industrierobotik.
Hochentwickelte Formgebung (einschließlich endkonturnaher Fertigung) und Klebe-Verbindungstechniken.

Quelle: PCAST (2012a), Übersetzung durch VDI TZ GmbH-ZTC.

- **„Report to the President and Congress on the Fourth Assessment of the National Nanotechnology Initiative“²⁷² (2012):** Dieser Bericht stellt eine Fortschreibung der Nationalen Nanotechnologie-Initiative (NNI)²⁷³ dar, die im Jahr 2000 zur Koordination der US-Investitionen in FuE in Nanowissenschaft, Engineering, Technologie geschaffen wurde. Zwar ist dieser Bericht keine Technologieprognose im engeren Sinne, allerdings evaluiert er bisherige, aus dem Strategieplan der NNI hervorgehende Trends und Handlungsfelder.²⁷⁴ Somit ist dieser Bericht – zusammen mit dem Strategieplan der NNI – für die vorliegende Analyse relevant.

Die Studienautoren kommen zu dem Schluss, dass die NNI, die über die gesamte Laufzeit der Initiative 16 Milliarden USD an Investitionen für über 26 Bundesbehörden bereitgestellt hat, eine *katalytische und substantielle Wirkung* auf das Wachstum der US-amerikanischen Nanotechnologie-Industrie gehabt hat und fortgesetzt werden sollte. Weiterhin wird die Tatsache, dass die USA auf dem Gebiet der Nanotechnologien und Nano-Forschung weltweit führend sind, im wesentlichen Maße auf den Erfolg der NNI zurückgeführt.

Der PCAST begrüßt die gesteigerten Bemühungen des „National Nanotechnology Coordinating Office“²⁷⁵ (NNCO) hinsichtlich der

National
Nanotechnology
Initiative

²⁷² PCAST (2012c).

²⁷³ <http://www.nano.gov/>.

²⁷⁴ NSTC (2011).

²⁷⁵ <http://www.nano.gov/about-nni/ncco>.

Kommerzialisierung von Nano-Produkten, der Koordination des Transfers zwischen Industrie und Forschung sowie der Förderung von Forschungsaktivitäten zu möglichen Auswirkungen der Nanotechnologie auf Umwelt, Gesundheit, Gesellschaft und Sicherheit. Damit die USA bei der Kommerzialisierung der Nanotechnologie ihre führende Rolle erhalten können, seien allerdings laut dem Bericht weitere Anstrengungen in den vier folgenden Bereichen erforderlich: bei der institutionsübergreifenden strategischen Planung von FuE-Aktivitäten zu Nanotechnologien; bei der Verwaltung von FuE-Förderprogrammen; bei der Entwicklung von Instrumenten zur Bewertung der Fördermaßnahmen sowie bei der Aufarbeitung für die Politik der Forschungsergebnisse zu Umwelt-, Gesundheits- und Sicherheitsfragen im Zusammenhang mit der Nanotechnologie.

- **„Report to the President on Accelerating the Pace of Change in Energy Technologies Through an Integrated Federal Energy Policy“ (2010)**²⁷⁶: Dieser Bericht wurde von einer Arbeitsgruppe bestehend aus PCAST-Mitgliedern und prominenten Energieexperten aus dem öffentlichen Sektor und der Privatwirtschaft verfasst und widmet sich der politisch gewünschten Umgestaltung des Energiesystems durch Förderung neuer Energietechnologien innerhalb von zwei Jahrzehnten. Die Motivation für die Energiewende, die als eine der größten Herausforderungen angesehen wird, denen die USA gegenüberstehen, ist dreifacher Natur:

Wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit: Erneuerung der eigenen Energie-Infrastruktur und Zugang zu den schnell wachsenden Weltmärkten für saubere Energietechnologien;

Umweltschutz: Übergang zu emissionsarmen Energiequellen innerhalb der nächsten 10 Jahre in Reaktion auf die Erderwärmung;

Versorgungssicherheit: Reduzierung der Abhängigkeit von Öl und Öl-fördernden Ländern.

In dem Bericht werden Maßnahmen zur staatlichen Förderung von Innovationen bei Energietechnologien vorgeschlagen und Empfehlungen an die Politik abgeleitet.

- **„Designing a Digital Future: Federally Funded Research and Development Networking and Information Technology“ (2010)**²⁷⁷: Dieser Bericht bewertet das Forschungs- und Entwicklungsprogramm zu Netz- und Informationstechnologie (NITRD) und formuliert zukünftige Fördermaßnahmen.

Modernisierung und
Umgestaltung des
Energiesystems

²⁷⁶ PCAST (2010b).

²⁷⁷ PCAST (2010c).

Der Bericht unterstreicht die Bedeutung der Netz- und Informationstechnologie für die Prosperität der Nation, ihren Wohlstand und ihre Lebensqualität und betont die Wichtigkeit von nachhaltigen Fortschritten bei den Netz- und Informationstechnologien für das nationale Wohlergehen. Der Bericht dokumentiert zudem die wichtige Rolle der staatlichen Investitionen in Forschung und Entwicklung zur NIT und identifiziert zukünftig wichtige Forschungsgebiete.

Bedeutung von IuK

4.5.3.2 Inhaltsanalyse

Transport und Verkehr, Logistik

Dieser Bereich wird nicht eingehend untersucht. Erwähnt werden lediglich der Trend hin zu intelligenten Verkehrsnetzen und, vor dem Hintergrund der Notwendigkeit, CO₂-Emissionen zu reduzieren, die steigende Bedeutung von Biokraftstoffen²⁷⁸ sowie die durch den Einzug von IuK-Technologien in Produktionsprozesse im Allgemeinen zu erwartenden Effizienzsteigerungen in der Logistik (s. Abschnitt „Produktions- und Prozesstechnik“).

Vereinzelte Bezüge
zu Transport

Luft- und Raumfahrt

Dieser Bereich wird in den hier analysierten Studien nicht untersucht.

Bauen und Wohnen

Dieser Bereich wird in den untersuchten PCAST-Studien nicht eingehend untersucht. Es wird lediglich erwähnt, dass der Trend hin zu „smart homes“ und dem zunehmenden Einzug von IuK-Technologien in Gebäuden gehe²⁷⁹ (s. auch Abschnitt „Informations- und Kommunikationstechnologien“).

Meerestechnik und Schifffahrt

Dieser Bereich wird in den hier analysierten Studien nicht untersucht.

²⁷⁸ PCAST (2010b).

²⁷⁹ PCAST (2010b); PCAST (2010c).

Energie

Emissionsarme Energiequellen

(1) Zunehmende Bedeutung emissionsarmer Energiequellen: als Reaktion auf den Klimawandel und der gewünschten Unabhängigkeit von Ölfördernden Ländern werden folgende Technologien und Aspekte hervorgehoben:²⁸⁰

- bei der Stromerzeugung:
 - Stromerzeugung durch Offshore-Windparks in großen Meerestiefen;
 - Stromerzeugung dank kostengünstiger Photovoltaik (s. unten);
 - Dezentrale Stromerzeugung;
 - Stromerzeugung in Kernreaktoren der nächsten Generation;
- bei den Kraftstoffen:
 - Förderung der Erzeugung von Biotreibstoffen aus Biomasse

Nanotechnologie zur optimalen Nutzung der Solarenergie

(2) Zunehmender Einsatz nanotechnologischer Verfahren bei der Nutzung von Solarenergie: Vor dem Hintergrund der politisch gewünschten Förderung CO₂-neutraler Energiequellen – zur Bekämpfung des Klimawandels aber auch, um die Abhängigkeit von Ölfördernden Ländern zu reduzieren – wird der Nutzung der Solarenergie eine große Bedeutung beigemessen. Technologien zur Nutzung der Solarenergie weisen laut der Studie zudem ein großes wirtschaftliches Potenzial für die USA auf. Nach dem heutigen Stand der Technik sei zwar die Sonnenenergie im Vergleich zu konventionellen Energiequellen aus fossilen Rohstoffen nur dank Subventionen wettbewerbsfähig. Allerdings könnten Innovation und technologische Durchbrüche in den nächsten Jahren die Wirtschaftlichkeit der Verfahren erhöhen. Insbesondere dank zunehmender Anwendung von Nanotechnologien. So könnten Nanoteilchen und -strukturen in Photovoltaik-Komponenten zur Steigerung der Lichtabsorption sowie der Effizienz bei der Umwandlung von Licht in Strom und bei der thermischen Speicherung beitragen.²⁸¹

Intelligente Stromnetze / Smart Homes

(3) Trend zu intelligenten Energieinfrastrukturen: Es wird mit einem weiteren Einzug von komplexen IuK-Technologien in den Energiebereich gerechnet. Dies könnte zu intelligenten Stromnetzen und „smart homes“ führen und mit neuen (Energie-)Dienstleistungen für Nutzer bzw. Endverbraucher einhergehen. Näher wird aber auf diesen Aspekt nicht eingegangen.²⁸²

²⁸⁰ PCAST (2010b).

²⁸¹ NSTC (2011).

²⁸² PCAST (2010b).

Nano- und Mikrosystemtechnologie

(1) Intelligente Sensorik und fortgeschrittene Steuerungssysteme werden als Querschnittstechnologie angesehen, die zukünftig in fast allen Industriebereichen eine Schlüsselrolle spielen könnten, insofern sie einen Beitrag zur Steigerung der Effizienz und der Produktivität liefern können, wie zum Beispiel:²⁸³

Intelligente Sensorik
und Steuerung

- im *Logistikbereich*: Kostengünstige und ubiquitäre Sensoren in Fabriken und logistischen Systemen könnten die Automatisierung der Kontrollprozesse unterstützen und die Logistikkette optimieren helfen
- im *Energie- und Umweltbereich*: zur Optimierung des Ressourcenverbrauchs
- in der *Produktion*: steigende und komplexer werdende Automatisierung
- in den *Biotechnologien*: spezielle smarte Biosensoren

(2) Nanomaterialien könnten eine zunehmende Rolle in zahlreichen Bereichen spielen und sowohl die Effizienz aktueller Technologien erhöhen als auch zu neuen Anwendungen bzw. Materialeigenschaften führen²⁸⁴:

Verbreitung von
Nanomaterialien

- Nanomaterialien in Solarzellen zur Effizienz-Steigerung
- Nanomaterialien in Brennstoffzellen zur Effizienz-Steigerung
- Nanofilter im Bereich des Umweltschutzes
- Nano-Bio-Systeme für medizinische Anwendungen
- Nano-Elektronik

Besonders vielversprechend erscheinen: Hochleistungswerkstoffe auf Basis von Nano-Kohlenstoff im Allgemeinen²⁸⁵ und Graphen insbesondere²⁸⁶; Optische Metamateriale²⁸⁷; nanoskalige Cellulosemateriale²⁸⁸. Graphen wird als das „Material der Zukunft“ bezeichnet²⁸⁹, das für Durchbrüche in der Elektronik (s. Abschnitt „Elektronik“) sowie bei Displaytechnologien (s. Abschnitt „Optische Technologien“) sorgen könnte.

(3) Steigende Bedeutung der Mikrostrukturierung, um die Funktionaleigenschaften von Geräten und Systemen zu optimieren.²⁹⁰

²⁸³ PCAST (2012b).

²⁸⁴ PCAST (2012b).

²⁸⁵ NSTC (2011).

²⁸⁶ PCAST (2012c).

²⁸⁷ NSTC (2011).

²⁸⁸ NSTC (2011).

²⁸⁹ PCAST (2012c).

²⁹⁰ PCAST (2012b).

Möglicher Durchbruch
in der Material-
technik dank
Nanotechnologien

(4) Durchbrüche bei den Verfahren zur Herstellung von Nanomaterialien und nanobasierten Produkten werden vor dem Hintergrund heutiger nicht-skalierbarer und teurer Verfahren als unverzichtbar angesehen. Hervorgehoben werden High-Throughput-Verfahren sowie Inline-Messtechnik zwecks Prozessüberwachung im geschlossenen Regelkreis sowie Qualitätsprüfung. Fortschritte bei diesen Verfahren könnten beispielsweise zu Durchbrüchen bei der Herstellung von leichten und hochbelastbaren Materialien führen.²⁹¹

Materialtechnik

Innovative
Materialien als
wichtige „enabling
technology“

Innovative Materialien sowie deren Erstellung werden als sehr wichtiger Markt und als „enabling technology“ für technologische Durchbrüche in vielen Bereichen angesehen, insbesondere im Energiebereich (zur Steigerung der Energieeffizienz) aber auch in der Produktion (zur Herstellung innovativer Konsumgüter) oder im Sicherheits- und Verteidigungsbereich. Genannt werden: die Entwicklung und Synthese von kleinen Molekülen, Nanomaterialien, Polymeren, Metallen, Verbundwerkstoffen sowie Materialschichten.²⁹²

Produktions- und Prozesstechnik

IuK-Technologien
zur Optimierung der
Produktionsprozesse

(1) Zunehmender Einzug von IuK-Technologien, insbesondere bildgebenden Verfahren sowie Simulationsverfahren, in der Produktionstechnik: IuK-Technologien versprechen eine Verkürzung der Entwicklungsprozesse sowie eine Erhöhung deren Effizienz (z. B. bei Design, Bedarfsplanung bei Materialien und Rohstoffen, etc.). IuK-Anwendungen tragen auch dazu bei, die Koordinationsprozesse zwischen allen Akteuren der „Supply Chain“ zu optimieren und schließlich die „Time-to-Market“ zu reduzieren und somit die Wettbewerbsfähigkeit einzelner Unternehmen zu steigern. Auch sei mit Anwendungen der Virtuellen Realität möglich, Prototypen im Vorfeld der Serienfertigung zu optimieren.²⁹³

Nachhaltige
Produktion

(2) Technologien zur nachhaltigen Produktion gewinnen an Bedeutung: optimierte Katalyseverfahren und Membrantechniken; Optimierung des Energieverbrauchs durch Nutzung alternativer Verfahren; Reduzierung von Industrieabfällen.²⁹⁴

3D-Drucker

(3) Zunehmende Erstellung personalisierter Produkte dank der Nutzung von 3D-Druckverfahren: 3D-Drucker könnten die Erstellung von nach Kundenwünschen differenzierten Multimaterialien sowie von Materialien

²⁹¹ NSTC (2011).

²⁹² PCAST (2012b).

²⁹³ PCAST (2012b).

²⁹⁴ PCAST (2012b).

mit eingebetteten smarten Sensoren ermöglichen. 3D-Druckverfahren könnten zu mehr Nachhaltigkeit in der Produktion, insbesondere zu einem schonenderen Umgang mit Ressourcen beitragen, indem sie Produktionsabfällen zu vermeiden helfen.²⁹⁵

(4) Zunehmende Automatisierung und industrielle Robotik versprechen Effizienzersparnisse, insbesondere Steigerung der Qualität und der Geschwindigkeit von Produktionsprozessen. Diese Technologien werden vor dem Hintergrund der steigenden Konkurrenz aus Niedriglohnländern als wesentlicher Aspekt angesehen, um die Wettbewerbsfähigkeit US-amerikanischer Unternehmen zu steigern bzw. zu konsolidieren.²⁹⁶

Automatisierung und Robotik in der Industrie

(5) Traditionelle Verfahrenstechniken wie Form-, Zerspan- oder Schweißtechniken werden voraussichtlich in Zukunft weiterhin eine wesentliche Rolle spielen, allerdings seien Verbesserungen insbesondere bei der Energie- und Rohstoffeffizienz dieser Verfahren möglich. Technologische Durchbrüche, die alternative Techniken hervorbringen würden, könnten einen wesentlichen Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der US-amerikanischen Produktion leisten.²⁹⁷

Traditionelle Verfahrenstechnik weiterhin wichtig

Optische Technologien

Es wird mit einer steigenden Bedeutung von Nanomaterialien und Nanoverfahren in den optischen Technologien gerechnet:

Neue Potenziale durch Konvergenz mit Nanotechnologien

- Graphen könnte aufgrund seiner hohen Leitfähigkeit und aufgrund seiner geringen Dicke sowie seiner Transparenz zunehmend, anstelle des teureren und zerbrechlichen Indium-Zinn-Oxids, bei der Herstellung von Touch Screens angewandt werden. Die Flexibilität von Graphen zeichnet das Material, laut der Studie, ebenfalls für die Entwicklung von Computer-Displays aus.²⁹⁸
- Nanomaterialien und Nanoverfahren bei Photovoltaik-Komponenten (s. Abschnitt „Energie“).²⁹⁹

Informations- und Kommunikationstechnologien

Jüngste technologische und gesellschaftliche Trends rücken laut den Studienautoren Fortschritt und Anwendung der IuK-Technologien in den Mittelpunkt. IuK-Technologien werden als wesentlich angesehen, um die

IuK-Technologien Schlüsseltechnologien für die USA

²⁹⁵ PCAST (2012b).

²⁹⁶ PCAST (2012b).

²⁹⁷ PCAST (2012b).

²⁹⁸ PCAST (2012c).

²⁹⁹ NSTC (2011).

Prioritäten des Landes zu verwirklichen und zukünftigen Herausforderungen zu überwinden:³⁰⁰

Herausforderungen
des Landes mit Hilfe
von IuK-Technologien
überwinden

- Fortschritte bei den IuK-Technologien seien ein wichtiger Treiber der wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit, würden neue Märkte schaffen und die Produktivität steigern.
- Fortschritte bei den IuK-Technologien sind entscheidend, um die wichtigsten nationalen und globalen Prioritäten bei Energie und Transport, Bildung und lebenslangem Lernen, im Gesundheitswesen und der nationalen und inneren Sicherheit zu verwirklichen.
- IuK-Technologien werden zum unverzichtbaren Element in den unterschiedlichsten Bereichen, beispielsweise in Gebäuden zwecks Managements des Energieverbrauchs oder auch im Bildungsbereich. Sie werden neue Dienstleistungen für kranke und pflegebedürftige Menschen anbieten.
- Fortschritte bei IuK-Technologien beschleunigen schließlich den Erkenntniszuwachs in fast allen anderen Bereichen, insbesondere aber im medizinischen und im Umweltbereich.
- Ferner spielen Fortschritte bei IuK-Technologien eine große Rolle bei der Erreichung der Ziele der offenen Regierungsführung: bessere Transparenz und Kommunikation zwischen Öffentlichkeit und Politik.

Folgende Technologien und Aspekte werden hervorgehoben:³⁰¹

(1) Auswirkungen ubiquitärer IuK-Technologien auf menschliche Verhaltens- und Interaktionsmuster: Durch IuK-Technologien und insbesondere das Internet, werden neue Formen „kollektiver Intelligenz“ ermöglicht, z. B. in Form von „Crowdsourcing“, „Peer Production“, „Social Media“. Diese Entwicklung kann künftig sowohl zu einem besseren Verständnis kollektiven menschlichen Verhaltens verhelfen als auch zu neuen Methoden der Problemlösung in komplexen Systemen und Netzwerken führen. Wichtige zukünftige Forschungsthemen könnten sein:

Neue Verhaltens- und
Interaktionsmuster

- Wissenschaftliche *Erforschung des Phänomens „Social computing“*: z. B. Aufbau, Organisation und Architektur der sozialen Netzwerke
- Nutzung des Internets für *großangelegte soziologische Studien* sowie zur Untersuchung der Mensch-Technik-Interaktion in großen Internet-basierten (sozialen) Netzwerken

³⁰⁰ PCAST (2010c).

³⁰¹ PCAST (2010c).

- Untersuchung der *Auswirkungen auf persönliches wie auch kollektives Verhalten von ubiquitärem Computing* und der Tatsache, dass Menschen sowohl immer häufiger einzeln in Interaktion mit IuK-Anwendungen und Geräten treten als auch zunehmend über IuK-Anwendungen untereinander kommunizieren (z. B. im Rahmen von „Social Media“).

(2) Der Trend gehe hin zum „Internet der Dinge“, einer durch intelligenten Sensorik und IuK-Technologien durchdrungenen physischen Welt und der Verwischung der Grenzen zwischen realer und virtueller Welt: In dieser Vision könnte künftig jeder Mensch eingebettet sein – in einem intelligenten, lernenden und hochpersonalisierten Sensor- und Datensystem, das ihn in seiner Interaktion mit der physikalischen Welt unterstützt. Voraussetzungen für die Umsetzung dieser Vision seien u. a.: ubiquitäre, vernetzbare, intelligente (Echtzeit-)Sensoren; Sensor-Aktor-Systeme für Robotik-Anwendungen; komplexe Datenverarbeitungsverfahren; intuitive Instrumente zur Unterstützung der Mensch-Maschine-Interaktion (z. B. Spracherkennungssysteme). Wichtige FuE-Themen für die nächsten Jahre könnten sein:

Verwischung der Grenzen zwischen virtueller und physischer Welt

- *Miniaturisierte, smarte, energiearme und kostengünstige Transducer / Sensoren* zur Digitalisierung der physischen Welt (Physical world transducers): z. B. Sensoren für intelligente Kleidung oder portable Geräte, die einen Sturz des Trägers melden. Besonders wichtig seien MEMS sowie chemische und biologische Sensoren z. B. für das Monitoring von Böden- und Wasserqualität
- Verfahren zur *automatischen Extraktion und Verarbeitung* (in Echtzeit) von Daten aus vielfältigen, in ihrer Raum- und Zeitskalen sowie ihrer Genauigkeit sehr heterogenen, Quellen zur Unterstützung der Mensch-Internet-reale-Welt-Interaktion
- *Komplexe autonome Aktorensysteme* zur Unterstützung des Einsatzes von Roboter in einer hybriden Mensch-Internet-reale Welt-Umgebung
- *Offene IuK-Architekturen* zur Unterstützung modularer interoperabler Anwendungen

(3) Das Management und die Verarbeitung großer Mengen an Daten, bei gleichzeitiger Wahrung der Privatsphäre des einzelnen Nutzers, stellt laut der Studie, eine Herausforderung dar und wird für zukünftige IuK-basierte neue Anwendungen, beispielsweise im Gesundheits- oder im Verteidigungsbereich sowie im Handel, von großer Bedeutung sein. Folgende wichtige Forschungsthemen könnten sein:

Neue Verfahren zum Umgang mit wachsenden Datenmengen

- *Datensammlung, -speicherung und -management*: Datenformate; Erkennung von Fehlern und Ungenauigkeiten in Datensätzen; Systeme zur Erhöhung der Datensicherheit und -zuverlässigkeit;

Rückverfolgung von Daten und Datenveränderungen; Entwicklung von wirtschaftlichen Modellen für die Langzeit-Unterstützung großer Datensätze.

- *Datenanalyse*: Datensysteme; Algorithmen; Proprietäre und Open-Source Programmiersprachen; Extraktion und Zusammenfügen von Informationen aus unterschiedlichen Medien und in unterschiedlichen Formaten (Wort, Bilder, Video, etc.).
- Kontrollierter und effizienter Datenaustausch: Modelle und Algorithmen unter Berücksichtigung von Datenschutzanforderungen; Kontext- und nutzerbezogene Darstellung und Visualisierung von Daten.

(4) Vertrauenswürdigkeit von IuK-Systemen und Netz- und Computersicherheit: s. Abschnitt „Verteidigung und Sicherheit“.

(5) Skalierbare Systeme und Vernetzung: Wichtig sind laut der Studie sowohl die Entwicklung und der Ausbau größerer schnellerer Prozessoren, Netzwerke und Speichersysteme (scaling up), als auch die Entwicklung kleiner, portabler und kostengünstiger Systeme für Konsumgüter wie Handys, Kameras, etc. (scaling down) sowie die Einbettung von IuK-Technologie in alle Objekte und Gegenstände – *Internet der Dinge* – und die Vernetzung immer mehr Gegenstände und Anwendungen sowohl untereinander als auch mit dem Internet (scaling out). Folgende FuE-Arbeiten werden für die Zukunft als wichtig angesehen:

- *Skalierungsfragen in Netzwerken*: Anpassung der Netzwerkarchitektur an künftige Bedarfe, z. B. hinsichtlich neuer Dienstleistungen; Optimierung des für drahtlose Kommunikationen zur Verfügung stehenden Spektrums.
- *Skalierungsfragen für zukünftige Computerarchitekturen*: Aufbau und Programmierung von Multicore-Rechensystemen; Senkung des Energieverbrauchs.
- *Herausforderungen des Datenschutzes und -sicherheit sowie der Zuverlässigkeit von Systemen im Zusammenhang mit Skaleneffekten*: Datenschutz- und Datensicherheitsmechanismen für Netzwerke; Entwicklung von Systemen, die sich gegenüber Störungen, ob akzidenteller oder krimineller Natur, stabil verhalten; Instrumente und Modelle zur Quantifizierung der Leistung von Systemen hinsichtlich Datenschutz und -sicherheit und der an sie gestellten Anforderungen.
- *„Scaling down“ der Software* / Anpassung der Software an geringere Leistungen (z. B. für Sensoren oder sehr kleine Geräte) oder angesichts deren Anwendung durch einen breiten Kreis von Nutzern mit jeweils geringen Computerressourcen (z. B. kleine Unternehmen und Organisationen). In diesem Zusammenhang könnte „Software-as-a-Service“ eine besondere Rolle spielen.

Steigende
Vernetzung und damit
einhergehende
Herausforderungen

- *Effizienzoptimierung*: Entwicklung selbstkonfigurierender und sich selbst vernetzender Systeme; Erhöhung von Transparenz und Standardisierung bei über das Internet angebotenen Dienstleistungen (Cloud Services).

(6) Softwareentwicklung: Die Bedeutung und die Komplexität von Software wird laut der Studie voraussichtlich weiterhin steigen. Folgende Aspekte könnten in Zukunft eine wichtige Rolle spielen:

- Verbesserung der Softwareentwicklung: Sprachen, Bibliotheken; Kompetenzen; etc.
- Erhöhung der Zuverlässigkeit, Sicherheit und Fehlertoleranz entwickelter Software
- Optimierung der Entwicklung bestimmter Software, u. a.: Software zur Unterstützung der Mensch-Maschine-Interaktion (z. B. für „Touch Screens“); Software für „Cloud Computing“
- Herausforderungen für die Programmierung im Zusammenhang mit Skaleneffekten, z. B.: Programmiersprachen, die sich für Systeme, bestehend aus heterogenen Komponenten eignen; Erhöhung des Abstrahierungsniveaus
- Offene Schnittstellen und Open-Source-Entwicklung.

Steigende
Komplexität bei
Software

(7) Hochleistungsrechnen wird als Schlüsseltechnologie angesehen, die einen wichtigen Beitrag zur Überwindung nationaler Herausforderungen liefern kann. Die Bedeutung von Hochleistungsrechnen sei in den letzten Jahrzehnten stetig gewachsen, da Simulation – neben Theorie und Experiment – zur „dritten Säule der Wissenschaft“³⁰² geworden sei. Hochleistungsrechnen spiele bei der Entwicklung von Lösungen für unterschiedlichste großskalige Problemstellungen, bei denen die Modellierung und Simulation einer großen Datenmenge unerlässlich ist, eine wichtige Rolle. Typische Anwendungsbeispiele seien die Modellierung der Ausbreitung von Krankheiten und Epidemien, die Entwicklung von Notfall- und Evakuierungsplänen auf Basis der Modellierung von Verkehrsdaten, die Berechnung der Auswirkungen von Änderungen des wirtschaftlichen Umfelds auf das Unternehmertum oder auch die Modellierung des Klimawandels und seiner Auswirkungen.

Es wird betont, dass zukünftige Entwicklungen nicht alleine darauf abzielen sollten, die Rechenleistungen von Prozessoren in Form steigender FLOPS („Floating Point Operations Per Second“) zu erhöhen. Ebenfalls wichtig sei es, die Leistungsfähigkeit von Supercomputern hinsichtlich der Verarbeitung von zunehmend großen Mengen sowohl numerischer als nicht-numerischer Daten zu erhöhen sowie hinsichtlich der Fähigkeit zur Echtzeit-Berechnung.

Neue Herausforderungen beim Hochleistungsrechnen

³⁰² PCAST (2010c), S. 66.

Technische Hürden

Die Entwicklung von Hochleistungsrechnern der nächsten Generation setzt laut der Studie voraus, dass verschiedene technische Hürden überwunden werden können. Dazu zählten u. a. die mit steigenden Rechenleistungen verbundenen hohen Anforderungen an die Kühlsysteme von Hochleistungsrechnern sowie die Begrenzung der Interprozessorkommunikation durch Bandbreitenbeschränkungen und zu hohen Latenzzeiten.

Folgende FuE-Prioritäten werden identifiziert:

Zukünftige
FuE-Prioritäten

- *Hardwareforschung*: u. a. neue Architekturen für Mehrkernprozessoren, für die Kommunikation auf dem Chip selbst sowie für die Kommunikation auf Systemebene mit großer Bandbreite und geringer Latenzzeit; neue Ansätze zur Reduzierung des Energieverbrauchs von Hochleistungsrechnern.
- *Hardware/Software-kombinierte Forschung*: u. a. Design von zuverlässigen hochparallelisierten Computersystemen, von großskaligen Systemen und von Systemen „für spezielle Zwecke“, die speziell dazu entwickelt werden, hohe Leistungen bei spezifischen Algorithmen, Anwendungen und Datenstrukturen zu liefern.
- *Softwareforschung*: u. a. Programmiersprachen und -ansätze für hochparallelisierte Systeme (inkl. Datenspeicher und Fehlersuchprogramme); Instrumente und Techniken der Modellierung und Optimierung der Leistung von großskaligen Systemen; Ansätze zur Reduzierung der Latenzzeit und des Energieverbrauchs.

Elektronik

(1) Zunehmende Miniaturisierung dank Nutzung von Nanotechnologien und -materialien (Nanoelektronik):

Steigende
Miniaturisierung und
Bedeutung der
Nanoelektronik

Es ist mit Fortschritten bei der weiteren Miniaturisierung elektronischer Komponenten dank der Nutzung von Nanoverfahren zu rechnen. Genannt wird die Nutzung von u. a.: Zellularen Automaten; Quantenverschränkung; Photonpolarisation, Elektronenspin oder Atomposition als Informationsträger. Die Nutzung von Nanoverfahren in der Elektronik wird als sehr wichtig für die heimische Wirtschaft angesehen.³⁰³

Graphen könnte zu einem technologischen Durchbruch führen, insofern dieses Material aufgrund seiner hohen Leitfähigkeit das Potenzial aufweist, in elektronischen Komponenten Silizium zu ersetzen. Die Nutzung von Graphen könnte eine weitere Miniaturisierung elektronischer Komponenten ermöglichen, als es mit Silizium der Fall ist. Technologische

³⁰³ NSTC (2011).

Hürden bestehen allerdings bzgl. der Skalierbarkeit der Graphenproduktion.³⁰⁴

(2) Flexible Elektronik wird als sehr wichtige Technologie angesehen, insofern deren Beherrschung Unternehmen zu wichtigen Unterscheidungsmerkmalen, z. B. auf dem Markt für Konsumprodukte und Computergeräte verhelfen könnte. Es wird geschätzt, dass der Markt für Anwendungen der flexiblen Elektronik in der Photovoltaik sowie bei den flexiblen Displays, in den nächsten Jahren besonderes Wachstum aufzeigen könnte.³⁰⁵

Flexible Elektronik

Biotechnologie und Life Sciences

Biotechnologien werden als sehr wichtige Zukunftstechnologien angesehen, mit wichtigen Anwendungsmöglichkeiten insbesondere im Gesundheits- und Ernährungsbereich, aber auch in der Produktion. Von zukünftigen biotechnologischen Verfahren, versprechen sich die Studienautoren beispielsweise effizientere Möglichkeiten der Synthese von Medikamenten oder Zwischenprodukten in der Industrie, bei gleichzeitigem Beitrag zu einer nachhaltigeren Produktion, z. B. in Form einer Senkung des Energieverbrauchs.³⁰⁶

Biotechnologien als wichtige Zukunftstechnologien

Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung

Der Gesundheits- sowie der Ernährungsbereich werden als sehr wichtige (Technologie-)Bereiche angesehen, die im wesentlichen Ausmaß von Fortschritten in den Bio- und Nanotechnologien sowie deren Konvergenz profitieren könnten,³⁰⁷ z. B. in Form von nanobasierten Impfstoffen und Therapeutika (Nano-Drug-Delivery-Systeme)³⁰⁸ oder neuen In-vitro-Analyseverfahren und High-Throughput-Screening-Methoden.³⁰⁹

Gesundheits- und Ernährungsbereich: Große Potenziale durch Konvergenz zwischen Bio- und Nanotechnologien

Die Experten, die an der 2010 veröffentlichten Studie³¹⁰ zu Potenzialen der IuK-Technologien im Gesundheitsbereich mitgewirkt haben, unterstreichen zudem, dass die zunehmende Durchdringung des Gesundheitsbereichs durch Informations- und Kommunikationstechnologien, in einem wesentlichen Ausmaß zu einer Steigerung der Effizienz und Qualität von Gesundheitsdienstleistungen beitragen können, insbesondere hinsichtlich folgender Aspekte:

³⁰⁴ PCAST (2012c).

³⁰⁵ PCAST (2012b).

³⁰⁶ PCAST (2012b).

³⁰⁷ PCAST (2012b).

³⁰⁸ PCAST (2012c).

³⁰⁹ NSTC (2011).

³¹⁰ PCAST (2010a).

Effizienz- und
Qualitätssteigerung
dank
IuK-Durchdringung

- Verbesserter Zugriff auf Patientendaten und -befunde und Vermeidung von unnötigen Dateneingabeverfahren.
- Effizientere Diagnose- und Behandlungsmöglichkeiten, insbesondere aufgrund der Verfügbarkeit in Echtzeit der vollständigen Gesundheitsdaten des Patienten sowie von darüber hinaus gehenden Informationen, die die Entscheidungsfindung von Ärzten unterstützen können.
- Bessere Informations- und Kontrollmöglichkeiten aufseiten des Patienten selbst hinsichtlich Befunden, Diagnose und angestrebter Behandlungsschritte und somit bessere Einbindung des Patienten in seine eigene Behandlung.
- Verbesserung von klinischen Testverfahren.
- Fortschritte bei der Entwicklung einer personalisierten Medizin.
- Bessere Möglichkeiten des systematischen Monitorings der Volksgesundheit (public health), insbesondere Möglichkeit des Monitoring in Echtzeit.
- Rationalisierung der Prozesse im Gesundheitswesen und Erhöhung deren Transparenz – mit positiven Auswirkungen auf die Verwaltungskosten im Gesundheitswesen.

IuK im Gesundheits-
bereich als wichtige
Marktchance

Darüber hinaus wird der Einzug der IuK-Technologien als große Chance für die US-amerikanische Wirtschaft angesehen, er verspricht laut den Studienautoren die Schaffung neuer Marktchancen sowie neuer Arbeitsplätze im Hochtechnologiesektor. In politischer Hinsicht kommt IuK-unterstützten Gesundheitsdienstleistungen zudem eine besondere Bedeutung zu, insofern sie angestrebte (fiskale) Reformen im Gesundheitssystem unterstützen könnten.

Folgende Gesundheitstechnologien bzw. technologische Anwendungen, die durch den Einzug von IuK-Technologien in den Dienstleistungsbereich ermöglicht werden, werden hervorgehoben³¹¹:

Immer mehr Gesund-
heitsdienstleistungen
über Cloud-basierte
IuK

(1) Cloud-basierte IuK-Technologien, bei denen die Software über das Internet zur Verfügung gestellt und Daten auf einem externen Server gespeichert werden, könnten insbesondere für kleine Anbieter von Gesundheitsdienstleistungen von Interesse sein, die möglicherweise nicht über Kompetenzen und Kapazitäten verfügen, um Software und Speichersysteme zu warten bzw. anzupassen. Die Studienautoren rechnen damit, dass in Zukunft zunehmend IT-Instrumente im Gesundheitsbereich (von Praxismanagementsysteme bis hin zu analytischen Instrumenten für das Monitoring von Volksgesundheit oder für die klinische Forschung) über Cloud-basierte IuK-Technologien angeboten werden. Damit gehe einher, dass die Verantwortung für die Zuverlässigkeit und Sicher-

³¹¹ PCAST (2010a).

heit der genutzten Software und Daten vom einzelnen Anbieter von Gesundheitsdienstleistungen auf den Anbieter Cloud-basierter Anwendungen übertragen wird. Cloud-basierte IuK-Technologien könnten zudem den Austausch von Gesundheitsdaten insofern unterstützen, als mit ihnen und gemeinsame Formen der Datenverwaltung und -speicherung gefördert würden.

(2) Elektronische Gesundheitsakten (Personal Health Records) sind vom Patienten selbst verwaltete digitale Anwendungen, die es jedem ermöglichen, seine persönlichen Gesundheitsdaten elektronisch zu speichern und zu verwalten, sowohl zwecks Dokumentation der eigenen Gesundheit bzw. Behandlungsschritte als auch zwecks Vermittlung einzelner Daten an Gesundheitsdienstleister. Elektronische Gesundheitsakten können sowohl web-basiert oder lokal sein, beispielsweise wenn Software und Speicherort für die erhobenen Daten auf dem Heimcomputer oder auf tragbaren Geräten vorliegen. Elektronische Gesundheitsakten könnten in Zukunft wichtiger werden, insofern sie den Trend zum informierten, eigenverantwortlichen und mündigen Patienten unterstützen können.

Elektronische
Gesundheitsakte

(3) „Middleware“ für die Datenaggregation: Vor dem Hintergrund der heute noch fehlenden Standards bei der Erhebung, Speicherung und Verwaltung von Gesundheitsdaten durch unterschiedliche Anbieter von Gesundheitsdienstleistungen könnte in Zukunft die Bedeutung von „Middleware“ steigen, durch die Daten aus untereinander inkompatiblen Formaten und Systemen extrahiert und in ein einheitliches Format bzw. einheitliche Sprache umwandelt werden können.

„Middleware“ zur
Steigerung der
Systemkompatibilität

(4) Nutzung von Metadaten zur Unterstützung eines universellen Datenaustauschs (Universal Exchange Using Metadata-Tagged Data Elements): Betont wird, dass es bislang an einheitlichen Standards zum Zusammentragen und zum Austausch von Gesundheitsinformationen und -daten über institutionelle Grenzen hinweg mangelt. Vor diesem Hintergrund sind die Studienautoren der Überzeugung, dass der beste Weg zu einer landesweiten effizienten IuK-Infrastruktur für Gesundheitsdienstleistungen über die Entwicklung einer gemeinsamen Sprache für die Speicherung und den Austausch von Gesundheitsdaten geht. Der für die Zukunft als geeignetste angesehen Weg, Gesundheitsdaten zu verwalten und zu speichern, besteht laut der Studie darin, sie in kleinste Einzelteile aufzuschlüsseln, in die sogenannten „Tagged Data Elements“, und diese „Tagged Data Elements“ mit über einen universellen „Extensible Markup Language-Code“ austauschbaren sogenannten Metadaten („Metadaten-Tag“) zu versehen, die Dateneigenschaften, Datenherkunft sowie erforderlichen bzw. verlangten Grad an Datenschutz spezifiziert. Die Nutzung solcher Metadaten verspreche mehr Effizienz in der Patientenversorgung, beispielsweise um Kontinuität in der Versorgung bei einem Arztwechsel zu gewährleisten, aber auch in der Forschung, wo sie in anonymisierter Form dazu genutzt werden könnten, die Effizienz einzelner Therapieverfahren zu bewerten.

Metadaten zum
universellen
Datenaustausch

(5) Die Bedeutung von IuK-Anwendungen, die ähnlich einer Internet-Suchmaschine den Zugriff auf gespeicherte Gesundheitsdaten ermöglichen (Data Element Access Services), wird laut der Studie in Zukunft steigen. Wichtige Elemente solcher IuK-Anwendungen betreffen Fragen der Indexierung, der Sicherheit der Daten sowie der Autorisierungs- bzw. Authentifizierungsverfahren bei der Abfrage von Daten.

Universelle
Austauschsprache für
Gesundheitsdaten

Der Entwicklung einer *universellen Austauschsprache* für Gesundheitsdaten und -informationen mit dem Ziel der Einführung der elektronischen Patientenakte wird eine sehr große Bedeutung beigemessen. Vor dem Hintergrund, dass die wirtschaftlichen Anreize für die Systemanbieter als gering eingestuft werden, eine solche Sprache in Eigenregie zu entwickeln, bestehe ein großer Bedarf für eine gezielte Förderung durch die Politik. In dieser Hinsicht könnten das „Office of the National Coordinator for Health Information Technology“ (ONC)³¹² sowie die „Centers for Medicare and Medicaid Services“³¹³ eine besondere Rolle spielen und die Entwicklung einer landesweit gültigen Sprache für Gesundheitsdaten inklusive dazugehörige Standards unterstützen, beispielsweise in Form der Erarbeitung von Richtlinien sowie von Unterstützung bei der Umsetzung von den vielfältigen (teils inkompatiblen) aktuellen Systemen auf ein zukünftiges einheitliches System zur Verwaltung und Verarbeitung von Patientendaten und -informationen. Eine große Herausforderung dabei sei, dafür zu sorgen, dass eine sichere und zuverlässige digitale Infrastruktur zur Speicherung von Patientendaten zur Verfügung steht, die insbesondere die strikte Einhaltung – z. B. dank eingebauter Datenschutz- und Sicherheitsspezifikationen, u. a. auch Datenschutzpräferenzen des Patienten – von Datenschutz und Privatsphäre der Patienten ermöglicht.

Große technische und
regulatorische
Herausforderungen

Bei der Entwicklung einer *universellen Austauschsprache* für Gesundheitsinformation könnte, der Studie zufolge, auf zahlreichen aktuellen (politischen) Anstrengungen und Vorarbeiten aufgebaut werden, beispielsweise durch das „Department of Health and Human Services“ (HHS)³¹⁴ und das ONC (insbesondere das „Nationwide Health Information Network project“³¹⁵), aber auch auf im Rahmen des „Health Information Technology for Economic and Clinical Health“ (HITEC)³¹⁶ 2011 herausgegebenen Regeln zur *sinnvollen Nutzung* (meaningful use) von

Zahlreiche
Vorarbeiten

³¹² <http://www.healthit.gov/newsroom/about-onc>.

³¹³ <http://www.cms.gov/>.

³¹⁴ <http://www.hhs.gov/>.

³¹⁵ <http://www.healthit.gov/policy-researchers-implementers/nationwide-health-information-network-nwhin>, abgerufen am: 13.03.2013.

³¹⁶

<http://www.hhs.gov/ocr/privacy/hipaa/administrative/enforcementrule/hitech/enforcement.html>, abgerufen am: 13.03.2013.

Patientendaten,³¹⁷ die als erste Schritte auf dem Weg zu einer elektronischen Patientenakte angesehen werden.

Schließlich wird im Rahmen der 2010 veröffentlichten Studie „Designing a Digital Future: Federally Funded Research and Development Networking and Information Technology“³¹⁸ darauf hingewiesen, dass zunehmend ubiquitäre IuK- und Sensorik-Anwendungen, ggf. in Verbindung mit Robotik, zu zahlreichen neuen Gesundheits- und Pflegedienstleistungen führen könnten: beispielsweise Tele-Monitoring von Vitalwerten; adaptive Prothesen; Computer- und Roboter-unterstützte Chirurgie; etc.

Neue Gesundheits- und Pflegedienstleistungen durch Sensorik und Robotik

Nachhaltigkeit und Umwelt

Der Bereich „Nachhaltigkeit und Umwelt“ wird in den hier analysierten Studien nicht als eigenständiger Bereich untersucht – allerdings finden sich Bezüge hierzu, z. B. im Zusammenhang mit ubiquitär werdenden IuK- und Sensor-Netzen, die im Umweltschutz bei der Erfassung von Umweltdaten eine zunehmende Rolle spielen könnten (s. Abschnitt „Informations- und Kommunikationstechnologien“) oder im Zusammenhang mit nachhaltigen Produktions- und Prozesstechniken (s. Abschnitt „Produktions- und Prozesstechnik“).

Verschiedene Bezüge zu Nachhaltigkeit

Verteidigung und Sicherheit

Der Bereich „Verteidigung und Sicherheit“ wird in den hier analysierten Studien hauptsächlich unter dem Aspekt der Computer- und Netzwerksicherheit betrachtet. Im Rahmen der Studie „Designing a Digital Future: Federally Funded Research and Development Networking and Information Technology“ (2010)³¹⁹ wird Vertrauenswürdigkeit von Computersystemen und Computer- und Netzwerksicherheit ein sehr hoher Stellungswert beigemessen. Diese werden als extrem kritisch angesehen, angesichts der immer größeren Bedeutung von zunehmend ubiquitären IuK-Anwendungen in allen Lebens- und Industriebereichen und für alle US-amerikanischen Prioritäten³²⁰. Großer Forschungsbedarf wird bei der Entwicklung von vertrauenswürdigen Computersystemen und -netzwerken gesehen, die genau so reagieren wie Nutzer es erwarten, insbesondere auch im Fall von Systemfehlern. Zukünftige Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten könnten auf folgende Themen fokussieren:

Fokus auf Computer- und Netzwerksicherheit

- Entwicklung von Kriterien und Standards zur Charakterisierung der Vertrauenswürdigkeit von Computersystemen;

³¹⁷ <http://www.healthit.gov/policy-researchers-implementers/meaningful-use>, abgerufen am: 13.03.2013.

³¹⁸ PCAST (2010c).

³¹⁹ PCAST (2010c).

³²⁰ PCAST (2010c).

- Verständnis der sozialen Dimension von vertrauenswürdigen Computersystemen und z. B. Ergänzung der Systeme durch Mechanismen zur Vorbeugung von menschlichen Fehlern;
- Systematische Entwicklung von Mechanismen der Netzsicherheit: Authentifizierung, Autorisierung, Vertrauensmanagement, Kryptographie;
- Optimierung der Methoden zur Erkennung und Bekämpfung von Cyber-Angriffen;
- Entwicklung von Methoden zur Aufrechterhaltung einer soliden essentiellen Netzinfrastruktur für Notfälle (survivable core of essential cyber-infrastructure) wie einen Cyber-Angriff dramatischen Ausmaßes.

Dienstleistungen

Der Bereich „Dienstleistungen“ wird in den analysierten Studien nicht als eigenständiger Bereich untersucht. Es finden sich allerdings Bezüge hierzu, vor allem im Rahmen der Besprechung der durch moderne IuK-Technologien und -Anwendungen neu geschaffenen Möglichkeiten und der daraus folgenden möglichen neuen Konzepte für Dienstleistungen, beispielsweise im Gesundheits- oder Handelsbereich (s. Abschnitt „Informations- und Kommunikationstechnologien“).

Vereinzelte Bezüge
zu Dienstleistungen

4.6 EU

4.6.1 Innovationssystem

Die Europäische Union weist eine starke Innovationsfähigkeit auf und belegt in diesem Bereich, insbesondere im Vergleich mit den BRIC-Ländern, einen Spitzenplatz, wengleich China aufgeholt und in Sachen Wettbewerbsfähigkeit die EU-27³²¹ inzwischen sogar überholt hat. Was die Innovation und Wettbewerbsfähigkeit anbelangt, so klafft jedoch zwischen den 27 Mitgliedstaaten der EU³²² einerseits und Japan und den USA andererseits eine beträchtliche Lücke, die sich allerdings in den letzten fünf Jahren verringert hat.^{323,324}

Wie in Abbildung 4.17 dargestellt, zeigen die Daten des Europäischen Innovationsanzeigers 2013³²⁵, dass Deutschland hinter Schweden und vor Dänemark und Finnland der Führungsgruppe angehört.³²⁶ Großbritannien fällt seit 2010 immer weiter von der Gruppe der Innovations-Verfolger ab.³²⁷ Die Leistungsfähigkeit der Innovationsführer liegt gemäß Innovationsanzeiger 20 % oder mehr über dem EU27-Mittelwert.³²⁸

³²¹ Quellen und Daten zur Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit der Europäischen Union, die diesem Kapitel zugrunde liegen, beziehen sich auf die EU-27, d. h. auf die Zeit vor dem Beitritt Kroatiens zur EU als 28. Mitgliedsstaat am 01.07.2013.

³²² s. Fußnote 321.

³²³ EP (2010).

³²⁴ EC (2009d).

³²⁵ Der Europäische Innovationsanzeiger wird im Auftrag der Generaldirektion Unternehmen und Industrie der Europäischen Kommission vom Maastricht Economic and Social Research and Training Centre on Innovation and Technology (UNUMERIT) mit Unterstützung der Gemeinsamen Forschungsstelle der EU erstellt.

³²⁶ EC (2013a).

³²⁷ Zwar schneidet Großbritannien bei verschiedenen Innovationsindikatoren immer noch sehr gut ab (z. B. bei der Anzahl vielzitiierter wissenschaftlicher Veröffentlichungen, der Anzahl der in Natur- und Ingenieurwissenschaften abgeschlossenen Promotionsstudien sowie der Verfügbarkeit von Wagniskapital), dennoch liegt die Forschungsquote – trotz der über die letzten Jahre beachtlich gewachsenen FuE-Ausgaben – unter dem OECD-Durchschnitt. Zudem sind die privaten Ausgaben für Forschung und Entwicklung über die letzten Jahre gesunken, was vermuten lässt, dass Großbritannien sowohl in Hightech-Feldern als auch in traditionellen Technologiebereichen an internationalem Niveau verliert. Quelle: Braun, A. et al. (2011).

³²⁸ Die durchschnittliche Leistung wird anhand eines zusammengesetzten Indikators gemessen, in den Daten für 24 Indikatoren einfließen, für die eine Leistungsziffer zwischen 0 (niedrigstes Leistungsniveau) und 1 (höchstes Leistungsniveau) bestimmt wird.

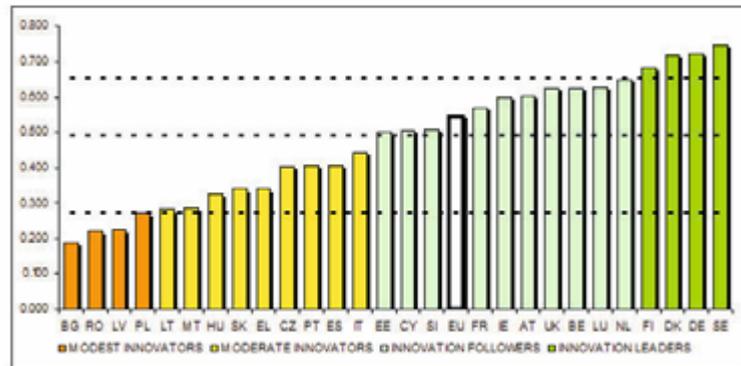


Abbildung 4.17: Innovationsfähigkeit der EU-Länder 2013 laut EU Innovationsanzeiger.³²⁹

Quelle: Europäischer Innovationsanzeiger 2013 – EC (2013a).

Im September 2009 veröffentlichte die Europäische Kommission (EC) die Mitteilung „Überarbeitung der Innovationspolitik der Gemeinschaft in einer Welt im Wandel“³³⁰. Im Oktober 2010 verabschiedete die Europäische Kommission als eine der sieben Leitinitiativen der „Strategie Europa 2020 für intelligentes, nachhaltiges und integratives Wachstum“ die Mitteilung über eine Innovationsunion³³¹.

Durch das Konzept der **Innovationsunion** sollen Innovationen vorangetrieben werden, die den wichtigsten sozialen Problemstellungen im Rahmen der **Europa 2020 Strategie**³³² Rechnung tragen.³³³

Die Einzelziele umfassen die Stärkung von Bildung und Forschung (z. B. Verwirklichung des Europäischen Forschungsraums, Förderung von Exzellenz in der (Aus-)Bildung), die Optimierung der Mechanismen der Innovationsförderung (u. a. Verbesserung des Zugangs zu Fördermitteln für innovative Unternehmen) sowie der Mechanismen und Rahmenbedingungen der Nutzung von Innovation (z. B. zwecks Abbaus geografischer und soziale Ungleichgewichte in der EU).³³⁴

Neben Innovationen im öffentlichen Sektor und sozialer Innovation sieht das Konzept auch Innovation in der Wirtschaft vor. Alle Akteure und alle Regionen sollen in den Innovationszyklus mit einbezogen werden.³³⁵

³²⁹ s. Fußnote 321.

³³⁰ EC (2009f).

³³¹ EC (2011j).

³³² EC (2013b).

³³³ EC (2009d).

³³⁴ EC (2010i).

³³⁵ EC (2011h).

Um sicherzustellen, dass die umgesetzten innovationspolitischen Maßnahmen zu greifbaren Ergebnissen führen, bedient sich die Europäische Kommission einer Reihe von Instrumenten zur Erhebung von Daten über die Innovationsleistung in Europa, darunter der EU Leistungsanzeiger.³³⁶

Der EU Leistungsanzeiger Innovationsunion (Innovation Union Scoreboard, IUS) erweitert und ersetzt den bis 2010 jährlich von der Generaldirektion Unternehmen herausgegebenen Europäischen Innovationsanzeiger (European Innovation Scoreboard, EIS).³³⁷

Er wird jährlich (erstmalig 2011) von der Kommission veröffentlicht und dokumentiert die Fortschritte bei der Umsetzung der Europa 2020-Leitinitiative Innovationsunion. Insgesamt fließen in dieses Gesamtbild 25 Indikatoren ein, darunter Indikatoren aus den Bereichen Humanressourcen, Unternehmensinvestitionen und Patente.

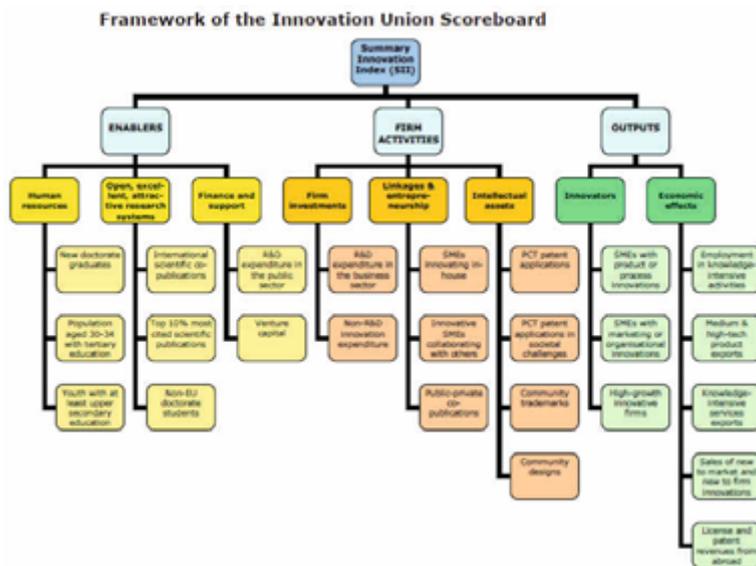


Abbildung 4.18: Architektur des EU Leistungsanzeiger Innovationsunion (Innovation Union Scoreboard, IUS).
Quelle: EC (2013a).

Der Anzeiger 2013 enthält **25 Indikatoren im Zusammenhang mit Forschung und Innovation** und deckt die *bis dato* 27 EU-Mitgliedsstaaten und das seit dem 01.07.2013 als 28. Mitgliedsstaat bei-

³³⁶ EC (2011k).

³³⁷ EC (2012e).

getretene Kroatien sowie Serbien, die Türkei, Island, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Norwegen und die Schweiz ab.³³⁸

Die Indikatoren lassen sich in drei Kategorien unterteilen:

- **Potenzial**, d. h. die wesentlichen Bausteine, die Innovation ermöglichen (Humanressourcen, Finanzierung und Förderung, offene, hervorragende und attraktive Forschungssysteme);
- **Aktivität der Unternehmen**, d. h. alle Faktoren, die die Anstrengungen der Unternehmen bzgl. der Förderung von Innovation widerspiegeln (Investitionen der Unternehmen, Vernetzung und unternehmerische Initiative, intellektuelles Kapital) und
- **Erträge**, die zeigen, welche Vorteile sich für die Gesamtwirtschaft daraus ergeben (Innovatoren, gesamtwirtschaftliche Auswirkungen).³³⁹

4.6.2 Aktivitäten im Bereich Technologieprognosen: Key Enabling Technologies (KET) und Technologieplattformen

Key Enabling Technologies (KET)

Unter dem Titel „Eine europäische Strategie für Schlüsseltechnologien – Eine Brücke zu Wachstum und Beschäftigung“ hat die Europäische Kommission am 26. Juni 2012 ihre Mitteilung zur Rolle der Schlüsseltechnologien (Key Enabling Technologies, KET) veröffentlicht.³⁴⁰ Demnach sind Schlüsseltechnologien Querschnittstechnologien, die ihre Wirkung technologie- und branchenübergreifend in der gesamten Industrie entfalten. Sie tragen maßgeblich zur Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Regionen bei.³⁴¹

Die Kommission definiert Schlüsseltechnologien als:

„...wissensintensiv und durch hohe FuE Intensität, schnelle Innovationszyklen, hohen Kapitalaufwand und hochqualifizierte Arbeitskräfte gekennzeichnet.

Sie ermöglichen Innovation bei Prozessen, Waren und Dienstleistungen und sind von systemischer Bedeutung für die gesamte Wirtschaft.

Darüber hinaus sind sie multidisziplinär, berühren eine Vielzahl technologischer Bereiche und weisen einen deutlichen Trend zur Konvergenz und Integration auf.

Technologie- und
branchen-
übergreifende
Querschnitts-
technologien

³³⁸ EC (2013a).

³³⁹ EC (2013a).

³⁴⁰ EC (2012b).

³⁴¹ EC (2010h), EC (2010e).

*In diesem Sinne können die Schlüsseltechnologien führende Technologieanbieter in anderen Bereichen dabei unterstützen, die Vorteile ihrer Forschungstätigkeit auszuschöpfen.*³⁴²

Die nun vorliegende europäische Strategie für Schlüsseltechnologien baut auf den in 2009 definierten Prioritäten und dem Sachverständigen-Abschlussbericht^{343,344} auf, der folgende sechs Technologiebereiche als vorrangig für die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie identifiziert: **Nanotechnologie; Mikro- und Nanoelektronik; Photonik; Materialwissenschaften; Biotechnologie; Fortschrittliche Fertigungssysteme.**

Sechs KETs

Die am 13. Juli 2010 durch die Europäische Kommission eingesetzte hochrangige Sachverständigengruppe³⁴⁵, (bestehend aus 27 Repräsentanten der Mitgliedstaaten³⁴⁶, der europäischen Industrie, der Forschungsgemeinschaft und der Europäischen Zentralbank³⁴⁷), erarbeitete binnen eines Jahres eine gemeinsame längerfristige Strategie und einen Aktionsplan für Schlüsseltechnologien.³⁴⁸

Ein besonderer Schwerpunkt lag auf der Frage, wie Forschungsergebnisse in diesen Bereichen besser für industrielle Produktion und Dienstleistung nutzbar gemacht werden können. Der erste Zwischenbericht wurde im Februar 2011 vorgelegt, das Abschlussdokument mit insgesamt elf Empfehlungen an die Politik wurde am 28. Juni 2011 veröffentlicht.³⁴⁹

Der neue strategische Ansatz zur Erschließung des Potenzials von Schlüsseltechnologien soll dazu führen, dass die KET-Förderung durch die EU und die Mitgliedstaaten besser koordiniert und effizienter eingesetzt wird. Die vorgeschlagenen Maßnahmen sollen auf den drei „Säulen“³⁵⁰ der Technologieentwicklung stehen und – mit zunehmender Ein-

³⁴² EC (2009c).

³⁴³ EC (2009e).

³⁴⁴ EC (2009b).

³⁴⁵ EC (2011e).

³⁴⁶ s. Fußnote 309.

³⁴⁷ Deutsche Vertreter sind Prof. Dr. Hans-Jörg Bullinger, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, Dr. Wolfgang Plischke, Vorstandmitglied der Bayer AG, Dr. André Koltermann, Leiter der strategischen Forschung der Süd-Chemie AG, Jochen Homann, Staatssekretär im Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und Dr. Peter Bauer, Vorstandsvorsitzender der Infineon Technologies AG. Siehe: Liste der Mitglieder der High-Level Expert Group on Key Enabling Technologies: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/files/hlg_members_website_en.pdf, zuletzt abgerufen am 15.02.13.

³⁴⁸ EC (2011e).

³⁴⁹ EC (2011c).

³⁵⁰ Säule 1: technologische Forschung, – Säule 2: Produktdemonstration, – Säule 3: wettbewerbsfähige Fertigung.

satzreife (Technology Readiness Levels, TRL) – an die Grundlagenforschung anschließen.

Wie in Abbildung 4.19 verdeutlicht, sind in der europäischen Strategie für Schlüsseltechnologien neben den Bereichen Forschung, Innovation und Kohäsionspolitik auch Finanzierungsoptionen durch die Europäische Investitionsbank und die Gewährung staatlicher Beihilfen vorgesehen. Die EIB stellt für KET ca. 1 Milliarde EUR jährlich zur Verfügung. Im Rahmen von Horizon 2020 sind etwa 6,7 Milliarden EUR für KET vorgesehen.³⁵¹

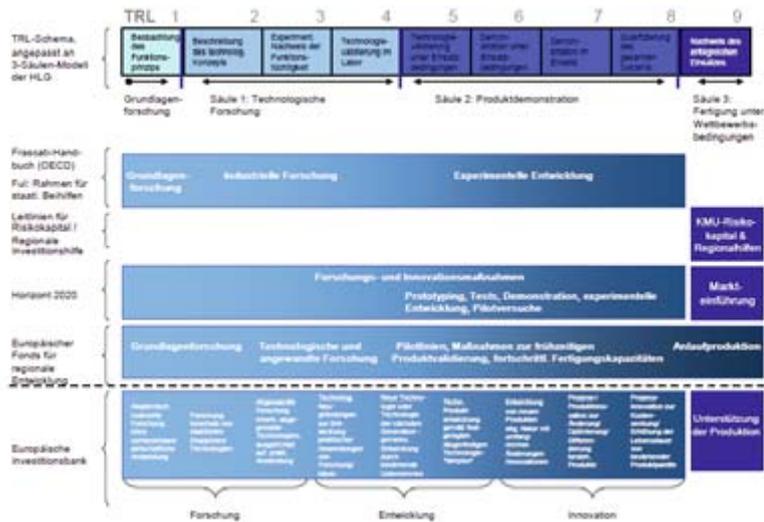


Abbildung 4.19: Europäische Strategie für Schlüsseltechnologien. Quelle: EC (2012b), S. 21.

Die Kommission will noch in diesem Jahr (2013) einen KET-Überwachungsmechanismus einführen und entsprechende Informationen bereitstellen. Die mit dem Überwachungsmechanismus ermittelten Ergebnisse sowie Marktdaten über KET Angebot und Nachfrage, sollen auf einer Website öffentlich verfügbar gemacht werden.³⁵²

Beim ersten europäischen Ministertreffen zu Schlüsseltechnologien am 6. und 7. Februar 2013 in Grenoble wurde eine neue hochrangige Experten-Gruppe eingerichtet, die die Kommission bei der Umsetzung politisch beraten soll.³⁵³ Wie bereits in den letzten Jahren werden möglicherweise

³⁵¹ EC (2012c).

³⁵² EC (2012b).

³⁵³ EC, KET's High Level Commission expert group, <http://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.cfm?do=groupDetail.groupDetail&groupID=2841>. Zuletzt abgerufen am: 15.02.13.

spezifische Arbeitsgruppen zu Einzelthemen eingerichtet. Die sogenannte „Sherpa-Gruppe“ hatte sich am 23. Januar 2013 in Brüssel erstmals getroffen, das erste Treffen der HLG fand am 27. Februar 2013 in Brüssel statt.³⁵⁴

Für eine wirksame Umsetzung von Schlüsseltechnologien gilt es nach Ansicht der Kommission, in folgenden Politikbereichen tätig zu werden:

- mehr Gewicht auf die **Förderung der Innovation** für Schlüsseltechnologien und stärkere Verbindung zwischen Forschungsergebnissen und deren Auswirkungen auf die Industrie;
- mehr Gewicht auf **Technologietransfer** zwischen Forschungseinrichtungen und der Industrie, insbesondere den KMU, sowie Sicherstellung, dass in Europa gefertigte Hochtechnologieprodukte in der Lieferkette berücksichtigt werden;
- intensivere **Zusammenarbeit** zwischen den Mitgliedstaaten, z. B. durch gemeinsame strategische Planung und stärkere Einbeziehung von Industrie und Nutzern in diese Projekte;
- **staatliche Beihilfepolitik** zur Korrektur von Marktverzerrungen;
- Förderung des Einsatzes von Schlüsseltechnologien **im Kampf gegen den Klimawandel**;
- Schaffung günstigerer Rahmenbedingungen für eine **wirksamere Verwertung von Forschungsergebnissen** in Anlehnung an die Leitmarktinitiative und das öffentliche Auftragswesen als Anreizegeber für spitzentechnologische Anwendungen;
- **internationaler Vergleich** der politischen Maßnahmen im Bereich Spitzentechnologie zwischen den EU-Mitgliedstaaten und anderen Regionen wie den USA, Japan, China und Indien, um bewährte Verfahren zu ermitteln und Möglichkeiten einer engeren Kooperation auszuloten;
- internationale Handelspolitik, um **günstige Handelsbedingungen** für Schlüsseltechnologien sicherzustellen;
- Förderung **finanzieller Investitionen** in Hochtechnologieunternehmen; so soll die Europäische Investitionsbank (EIB) aufgefordert werden, Hochtechnologieunternehmen den Zugang zu Krediten zu erleichtern; ferner sollen Finanzinstrumente des bis 2013 laufenden Rahmenprogramms für Wettbewerbsfähigkeit und Innovation (CIP)³⁵⁵ und des ab 2014 und bis 2020 anschließenden

Forschungsergebnisse
für industrielle
Produktion und
Dienstleistungen
nutzbar machen

³⁵⁴ Pressemitteilung des französischen Ministeriums für Hochschulbildung und Forschung vom 7.02.13:
<http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid67089/technologies-cles-generiques-enjeu-pour-l-innovation-industrielle-en-europe.html>.

³⁵⁵ http://ec.europa.eu/cip/index_de.htm, zuletzt abgerufen am: 12.07.2013.

Programms für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen und für KMU (COSME)³⁵⁶ genutzt und öffentlich-private Partnerschaften gefördert werden, um die Verfügbarkeit von Risikokapital zu erhöhen;

- mehr Gewicht auf **Aus- und Berufsbildung** im Bereich der neuen Technologien unter Berücksichtigung der Erfordernisse des Arbeitsmarkts, um zu gewährleisten, dass das Potenzial der neuen Technologien voll und ganz ausgeschöpft wird.³⁵⁷

Europäische Technologieplattformen (ETP)

Die Europäischen Technologieplattformen (ETP) sind Initiativen, die sich besonders an die Industrie richten. In ETP will die EU die wichtigsten Akteure in einem Technologiebereich – in Industrie, Verwaltung, Wissenschaft, KMU – zusammenbringen, um mittel- bis langfristige Zielsetzungen in Forschung und technologischer Entwicklung zu definieren und Eckpunkte für deren Verwirklichung festzulegen.

Derzeit³⁵⁸ existieren 36 ETP zu 5 Bedarfsweldern, wie Abbildung 4.20 zeigt.

36 ETP zu 5 Bedarfsweldern

³⁵⁶ http://ec.europa.eu/cip/cosme/index_de.htm, zuletzt abgerufen am: 12.07.2013.

³⁵⁷ EC (2009c).

³⁵⁸ Die Analyse der 36 ETP wurde im August 2010 unternommen.

Individual ETPs

Energy	ICT	Bio-based economy	Production and processes	Transport
Biofuels	ARTEMIS	FABRE TP	ECTP	ACARE
SmartGrids	ENIAC	Food	ESTEP	ERRAC
TPWind	ISI	GAH	ETP SMR	ERTRAC
Photovoltaics	Net!Works	NanoMedicine	Manufature	Waterborne
ZEP	NEM	Plants	FTC	ESTP
SNETP	NESSI	Forest-based	WSSTP	
RHC	EUROP		SusChem	
	EPoSS		EuMaT	
	Photonics21		IndustrialSafety	

Abbildung 4.20: Europäische Technologieplattformen.

Quelle: Europäische Kommission, http://cordis.europa.eu/technology-platforms/individual_en.html, zuletzt abgerufen am: 12.07.2013.

Bis August 2010 hatten es sich 9 der existierenden 36 ETP zur Aufgabe gemacht, eine gemeinsame Vision über die zukünftige technologische Entwicklung ihres Gebietes zu formulieren, die über das Jahr 2030 hinausgeht. Hierbei handelt es sich um:

9 der existierenden
36 ETP: Vision 2030+

1. European Biofuels Technology Platform (EBTP): „Biofuels in the European Union, a vision for 2030 and beyond“
2. European Construction Technology Platform (ECTP): „Challenging and Changing Europe’s Built Environment. A vision for a sustainable and competitive construction sector by 2030“
3. European Steel Technology Platform (ESTEP): „Vision 2030: From a Strategic Research Agenda to implementation“
4. Forest-based sector Technology Platform (FTP): „Innovative and Sustainable Use of Forest Resources – Vision 2030“³⁵⁹
5. European Photovoltaic Technology Platform (EPTP): „A vision for photovoltaic technology“

³⁵⁹ Im Januar 2013 wurde die Revision der Vision 2030 veröffentlicht, siehe unter: http://www.forestplatform.org/files/FTP_Vision_revision/130121_FTP_vision_v8a_13.pdf. Zuletzt abgerufen am 20.02.13.

6. European Platform on Sustainable Mineral Resources (ETP SMR): „VISION FOR 2030“
7. Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (SNE-TP): „Vision 2030“
8. European Wind Energy Technology Platform (TPWind): „Windenergy: A vision for Europe in 2030“
9. Water Supply and Sanitation European Technology Platform (WSSTP): „Water – safe, strong, sustainable European vision for water supply and sanitation I 2030“

Somit konnte unter den Europäischen Technologieplattformen eine strategische Vision 2030+ für folgende Technologiebereiche identifiziert werden:

Bauen und Wohnen: European Construction Technology Platform (ECTP): „Challenging and Changing Europe’s Built Environment. A vision for a sustainable and competitive construction sector by 2030“.

Energie: European Biofuels Technology Platform (EBTP): „Biofuels in the European Union, a vision for 2030 and beyond“; European Photovoltaic Technology Platform (EPTP): „A vision for photovoltaic technology“; Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (SNE-TP): „Vision 2030“; European Wind Energy Technology Platform (TPWind): „Windenergy: A vision for Europe in 2030“.

Materialtechnik: European Steel Technology Platform (ESTEP): „Vision 2030: From a Strategic Research Agenda to implementation“.

Nachhaltigkeit und Umwelt: Forest-based sector Technology Platform (FTP): „Innovative and Sustainable Use of Forest Resources – Vision 2030“; Water Supply and Sanitation European Technology Platform (WSSTP): „Water – safe, strong, sustainable European vision for water supply and sanitation I 2030“; European Platform on Sustainable Mineral Resources (ETP SMR): „VISION FOR 2030“.

Für die anderen, in dieser Studie untersuchten Themenfelder³⁶⁰, lag zum Analysezeitpunkt keine strategische Vision 2030+ vor.

Strategische Vision
2030+ in 9 ETP

³⁶⁰ Transport und Verkehr, Logistik; Luft- und Raumfahrt; Meerestechnik und Schifffahrt; Nano- und Mikrosystemtechnologie; Produktions- und Prozesstechnik; Optische Technologien; Informations- und Kommunikationstechnologien; Elektronik; Biotechnologien und Life Sciences; Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung; Verteidigung und Sicherheit; Dienstleistungen.

4.6.3 „Key Enabling Technologies (KET) – Schlüsseltechnologien“

4.6.3.1 Kurzbeschreibung

Die europäische Strategie für Schlüsseltechnologien identifiziert sechs Technologiebereiche als vorrangig für die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie:

- **Nanotechnologie:** Entwicklung von intelligenten Nano- und Mikrosystemen. Weitere Anwendungsmöglichkeiten in den Bereichen Gesundheit, Umwelt und Energie.³⁶¹
- **Mikro- und Nanoelektronik:** Zum Beispiel Halbleiter, welche für alle Arten von Produkten und Dienstleistungen benötigt werden, die intelligente Kontrollsysteme benötigen (insbesondere in den Bereichen Automobile, Transport, Luft- und Raumfahrt).³⁶²
- **Photonik:** Technologische Basis für die Umwandlung von Sonnenlicht in Energie im Bereich der erneuerbaren Energien.³⁶³
- **Materialwissenschaften:** Herstellung immer leichter Materialien, die den Ausstoß vom Kohlendioxid mindern und die natürlichen Ressourcen schonen.³⁶⁴
- **Biotechnologie:** Sauberere und nachhaltigere Prozessalternativen für die Industrie und den Sektor der agrarischen Lebensmittel.³⁶⁵
- **Fortschrittliche Fertigungssysteme:** Querschnittsthema, das alle fünf Bereiche tangiert.

EU Strategie für Schlüsseltechnologien: sechs Technologiebereiche

Die durch die hochrangige Sachverständigengruppe erarbeiteten Einzelberichte zu den jeweiligen Technologiebereichen werden nachfolgend dargestellt.

Die Themen Transport und Verkehr, Logistik, Luft- und Raumfahrt, Bauen und Wohnen, Meerestechnik und Schifffahrt, Energie, Informations- und Kommunikationstechnologien, Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung, Nachhaltigkeit und Umwelt, Verteidigung und Sicherheit sowie Dienstleistungen werden vereinzelt im Rahmen dieser Technologiebereiche angesprochen aber nicht dezidiert behandelt.

³⁶¹ EC (2009g).

³⁶² EC (2010a).

³⁶³ EC (2011d).

³⁶⁴ EC (2010b).

³⁶⁵ EC (2010c).

4.6.3.2 Inhaltsanalyse

Transport und Verkehr, Logistik

Beitrag zum nachhaltigen Transport aus der Mikro- und Nanoelektronik

Nachhaltiger Transport wird im Bericht zur Mikro- und Nanoelektronik behandelt: Zum Beispiel intelligente Elektroautos, kooperatives Verkehrsmanagement, digitalbasierte, intelligente Autos, verbesserte Effizienz der öffentlichen Verkehrsversorgung durch Einsatz von IKT.

Intelligente Fahrerassistenzsysteme und Nachtsichtsysteme wird im Bericht zur Photonik behandelt: Photonik verbessert die Sicherheit für alle Straßenbenutzer. Fahrerassistenzsysteme in Autos beruhen auf photonischen Sensoren, die helfen, Fahrfehler zu vermeiden. Durch die Weiterentwicklung dieser photonischen Technologien, werden die Straßen in Zukunft noch sicherer.

Luft- und Raumfahrt

Beitrag aus der Mikro- und Nanoelektronik

Der Bericht zur Mikro- und Nanoelektronik befasst sich mit Halbleitern, die für alle Arten von Produkten und Dienstleistungen benötigt werden, die intelligente Kontrollsysteme brauchen (insbesondere in den Bereichen Luft- und Raumfahrt).

Bauen und Wohnen

Zum Thema Bauen und Wohnen werden seitens der EC Schlüsseltechnologieberichte keine Aussagen gemacht. Die European Construction Technology Platform (ECTP) konstatiert jedoch, dass im Jahr 2030 Europas Bauwirtschaft und -technologie den gestiegenen Bedürfnissen der Gesellschaft und der Verantwortung für Mensch und Umwelt gerecht werden wird.³⁶⁶

Meerestechnik und Schifffahrt

Zu den Themen Meerestechnik und Schifffahrt werden seitens der EC Schlüsseltechnologieberichte keine Aussagen gemacht.

Energie

Beitrag zur Energiesicherheit und -effizienz aus der Mikro- und Nanoelektronik

Energiesicherheit und -effizienz wird im Schlüsseltechnologiebericht zu Mikro- und Nanoelektronik behandelt. Zum Beispiel: nachhaltige, saubere und effiziente Energieerzeugung; Einsatz eines technologiefähigen, intelligenten Stromnetzes und intelligenter Verbrauchsmessung für ein effizienteres Energiemanagement zuhause. Mikroelektronische Geräte, wie *grüne Elektronik*, Niedrigstromgeräte, Leistungsregler, Steuerungsmikroprozessoren und Kommunikationsgeräte liefern Schlüsselösungen

³⁶⁶ Siehe Exkurs: Strategische Visionen der Technologieplattformen im Annex B.

für Automatisierungs-, Überwachungs- und Steuerungsaufgaben und beschleunigen die Integration und Synergie zwischen erneuerbaren Energiequellen und Versorgungsunternehmen. Halbleiter werden der Gesellschaft ermöglichen, alternative Energiequellen effizienter zu nutzen, Energie effizienter zu verteilen und sie auf effizienteste und benutzerfreundliche Art und Weise zu verbrauchen – sie sind ein entscheidender Teil des Smart-Grid-Programms, das viele Länder in Europa auf den Weg bringen.

Auch die Europäischen Technologieplattformen European Biofuels Technology Platform, European Photovoltaic Technology Platform, European Wind Energy Technology Platform befassen sich mit diesem Technologiebereich.

Nano- und Mikrosystemtechnologie

Die hochrangige Sachverständigengruppe Nanotechnologie stellte am 27. Oktober 2010 ihren Technologiebericht³⁶⁷ einer breiteren Fachöffentlichkeit vor. Darin konstatieren die Experten, dass die Nanotechnologie *de facto* eine Querschnitts-KET für die anderen fünf definierten KET-Themen ist: Mikro- und Nanoelektronik, Photonik, fortgeschrittene Werkstoffe, Biotechnologie und fortgeschrittene Fertigungssysteme.

Der Bericht stellt fest, dass Nanotechnologie ein sehr vielfältiges, naturgemäß multidisziplinäres Querschnittskonzept ist, das eine große Bandbreite an innovativen Ansätzen zur Entwicklung neuer Materialien bis hin zu Strukturen mit maßgeschneiderten, einzigartigen Eigenschaften umfasst.

Als *Grundlagentechnologie* werde die Nanotechnologie frühzeitig eingesetzt und sei ein Schlüsselement in der Wertschöpfungskette, um kleinere, schnellere, stärkere oder *intelligentere* Zwischenprodukte und Systemkomponenten für Produkte mit deutlich verbesserten oder sogar völlig neuen Funktionen zu realisieren. Nanotechnologie habe potentielle Auswirkungen auf die Herstellung oder Veredelung einer Vielzahl von Werkstoffen und Geräten mit Anwendungen quer durch die Gesellschaft, von Medizin und Elektronik zu Werkstoffen und Themen im Zusammenhang mit Energie (Lagerung, Effizienz und Transport). Viele dieser Anwendungen, die eine Verbesserung von Produkten und Verfahren ermöglichen, könnten innerhalb der nächsten 5-10 Jahre zur Markterprobung und Anwendung bereit sein.

Unbestritten sei das große Potenzial der Nanotechnologie, Beschäftigung und gesellschaftsrelevante Lösungen zu liefern. Der Einsatz der Nanotechnologie ist eine wichtige Triebfeder für den Trend, vorhandene Produkte durch die Herstellung kleinerer Komponenten und Materialien mit

Entwicklung von
intelligenten Nano-
und Mikrosystemen

Beschäftigungs- und
Gesellschaftsrelevanz
der Nanotechnologie

³⁶⁷ EC (2010g).

besseren (funktionalen und umwelttechnischen) Leistungen zu verbessern. In diesem Segment werden Nanounternehmen schnell wachsen (insbesondere aufbauend auf die europäische Stärke eines gut funktionierenden Netzwerks kleiner, mittlerer und großer Unternehmen) und somit weiterhin für hohe Beschäftigung in Bereichen sorgen, in denen die Industrien der EU traditionell weltweit führend sind (z. B. Werkstoffe, Verbraucher, Automobil und IKT).

Keine eigenständige
Nanotechnologie-
Industrie

Die größte Herausforderung sei jedoch die Tatsache, dass es keine eigenständige Nanotechnologie-Industrie gäbe und eine erhebliche Forschungslücke von der akademischen Welt zur Industrie bestünde. Daher sei die Zusammenarbeit zwischen unterschiedlichen Branchen erforderlich, bevor die KET ihrem potentiellen Nutzen für die Gesellschaft gerecht werden können.

Unsicheres
regulatorisches
Umfeld

Momentan gebe es aufgrund des unsicheren regulatorischen Umfelds und den daraus folgenden Implikationen für Investitionen und Handel deutliche Risiken im Zusammenhang mit dem erfolgreichen Einsatz von Nanotechnologien und Nanomaterialien. Als wichtiger Schritt in der Sicherheitsdebatte werde, so die Experten, derzeit zwischen den Mitgliedsstaaten und der EC ein neuer Ansatz zur gezielten Sicherheitsforschung diskutiert. Dazu gehöre ein öffentlicher Fond zur Finanzierung der Forschung, die für die praktische Entscheidungsfindung erforderlich sei. Dies würde die Grundlagenforschung ergänzen, die in vielen Fällen mehr Fragen aufwirft als Antworten bietet. Ein pragmatischer Vorschlag ist, die neuen Nanomaterialien entlang bestimmter Wertschöpfungsketten in ihren jeweiligen angemessenen Nutzungskategorien zu evaluieren und unter Anwendung der bereits geltenden Bestimmungen das erforderliche Schutzniveau zu bewerten. Ein zu rigider Schutzvorschriften-Ansatz berge, so der Bericht, die Gefahr, dass sich der Einsatz von Nanotechnologie in Europa erheblich reduziere, wobei umgekehrt das Risiko, das von der Markteinführung der Nanotechnologie durch Produkte aus weniger kontrollierten Gebieten der Welt ausgehe, nicht vermieden wird.

Beitrag der Nanotechnologien zur Bewältigung der zukünftigen gesellschaftlichen Herausforderungen

Der Sachverständigenbericht erklärt, dass Europa vor einer Reihe einzigartiger sozialer Herausforderungen stehe. Dazu gehören unter anderem das Altern, Beschäftigung, Sicherheit, Klimawandel, Sicherung der Energieversorgung, Rohstoff- und Wasserversorgung und Fragen der Mobilität, die im Laufe der nächsten Dekade nachhaltige Lösungen erfordern.

Nanotechnologie als Querschnitts-Schlüsseltechnologie werde unverzichtbar sein, wenn es darum gehe, diese Herausforderungen durch neue Lösungen hinsichtlich Lebensqualität, Umweltschutz, Informationsgesellschaft und Medizin zu meistern.

Konkret könne der Beitrag der Nanotechnologien zur Bewältigung der zukünftigen gesellschaftlichen Herausforderungen insbesondere darin bestehen, eine nachhaltige Energieversorgung zu gewährleisten, den Umweltsektor zu unterstützen und das Gesundheitswesen zu verbessern.

Nachhaltige Energieversorgung und -verbrauch

Derzeitige erneuerbare Energietechnologien, wie Wasserkraft, Windkraft, Solarenergie, Gezeitenkraft, geothermische Energie und Biomasse werden den künftigen Energiebedarf nicht decken können. Nanotechnologie könnte durch folgende Merkmale tiefgreifende Auswirkungen haben:

- Thermoelektrika – Strom aus (Ab-)Wärme;
- Nanostrukturierte Solarzellen mit nanobasierten, transparenten und flexiblen, leitfähigen Schichten;
- Effiziente Energiespeicherung mithilfe neuer, nanostrukturierter Batteriematerialien;
- Elektrizität aus Brennstoffzellen mit kontrollierten elektrochemischen Reaktionen;
- Direkte Wasserstoffherzeugung durch Sonnenlicht oder Photolyse;
- Effizientere Windturbinen auf Basis nanobasierter Rotorblätter-Materialien.

Anwendungsmöglichkeiten in den Bereichen Gesundheit, Umwelt und Energie

Nanotechnologie und Umwelt

Der Umweltsektor profitiert derzeit von einer Welle neuer Ideen auf Nanotechnologiebasis, wie z. B.:

- Boden- und Grundwassersanierung, z. B. unter Verwendung nullwertiger Eisenpartikel;
- Wasseraufbereitung mittels Nanofiltration, Nanoabsorptionsmittel oder Nanokatalysatoren;
- Luftreinigung mithilfe photokatalytischer Nanomaterialien;
- Erfassung und Nachweis von Verschmutzung mithilfe neuartiger, preiswerter und hochauflösender Nanosensoren;
- Effizientere Nutzung von Ressourcen und Energie durch den Ersatz herkömmlicher Materialien und Prozesse (z. B. Nanoschäume zur Gebäudeisolierung, Leichtbaumaterialien für die Mobilität, ressourceneffiziente Prozesse).

Herstellung immer leichter Materialien zur Minderung des Ausstoßes von Kohlendioxid und zur Schonung natürlicher Ressourcen

Gesundheitswesen und Nanomedizin

Heutzutage werden viele Ansätze zur Nanomedizin verfolgt und viele reichen an neue medizinische Diagnostik oder klinische Therapeutik heran:

- Optimierte Rezeptur und Wirkstoffabgabe, intelligente Systeme zur Wirkstoffabgabe (gezielte Wirkstoffabgabe und kontrollierte Freisetzung).
- In-vivo-Bildgebung mit verbesserter Auflösung und Leistung sowie Früherkennung von biologischen Krankheitsmarkern durch Nanobiosensoren und Lab-on-Chip-Systemen.
- Regenerative Medizin, dazu gehören bioresorbierbare Trägermaterialien zur Geweberegeneration. Moderne Therapien in der regenerativen Medizin umfassen den Einsatz von Stammzellen (embryonische, IPS, und/oder mesenchymale).

Materialtechnik

Beitrag der modernen Werkstoffe zur Bewältigung der zukünftigen gesellschaftlichen Herausforderungen

Der in 2010 erschienene Bericht der Europäischen Schlüsseltechnologie-Expertengruppe zu „Advanced Material Technologies“³⁶⁸ konstatiert, dass moderne Werkstofftechnologien dazu beitragen können, die Probleme der Rohmaterialverfügbarkeit durch drei Maßnahmen zu adressieren:

1. langfristig: alternative Werkstoffe entwickeln,
2. mittelfristig: Design-for-Recycling, also recyclingorientierte Gestaltung,
3. kurzfristig: Zugang erleichtern, Recycling verstärken und Recycling-Technologien entwickeln.

Drei Maßnahmen zur
Rohmaterial
verfügbarkeit

Derzeit betrage die Zeitspanne von der Entdeckung moderner Werkstoffe bis hin zur industriellen Nutzung etwa 8-10 Jahre.

Die industrielle Zusammenarbeit über die Grenzen der Wertschöpfungsketten hinweg sollte stimuliert werden. Dabei seien folgende Faktoren zu beachten:

- Europäische Spitzencluster moderner Werkstoffe (z. B. Silizium-PV, CPV und Batteriewerkstoffe) und Infrastrukturen, die ähnliche Werkstofftechnologien miteinander kombinieren, sollten ausgebaut werden;
- Die Umsetzung dieser Entwicklungsinitiativen erfordere auf allen Unternehmensebenen große Kooperationsbereitschaft und könne deshalb eine große Herausforderung darstellen. Aus diesem Grund solle hierauf ein besonderer Schwerpunkt gelegt werden.

³⁶⁸ EC (2010b).

- Ausgewählte strategische Entwicklungsinitiativen sollten bei der Überwindung der „pilot-plant gap“ unterstützt werden: Viele interessante technologische Entwicklungen schaffen es nicht über die FuE-Stufe hinaus, weil das Risiko für die private Finanzierung von Demonstrationsanlagen / Pilotanlagen mit einem Preis von größer 10 Millionen EUR zu hoch ist. Die Unterstützung zukunftssträchtiger Projekte durch die Europäische Union (EU), zum Beispiel in Form von EIB-Darlehen mit Risikoteilung (Rückzahlung nur im Erfolgsfall), könnte dieses Problem lösen;
- Zur Unterstützung der ersten Industrialisierungsstufe, ausgewählter strategischer Projekte, könnten Steuervergünstigungen, ähnlich denen, die derzeit in den neuen Mitgliedsstaaten in Anspruch genommen werden können, eingeräumt werden. Der Abstand, zum Beispiel zu Singapur und anderen asiatischen Ländern würde dadurch nicht beseitigt, aber ein wichtiger Schritt wäre getan.

Produktions- und Prozesstechnik

In ihren Berichten zu fortschrittlichen Fertigungssystemen (2010)³⁶⁹ und global wettbewerbsfähigen Produktionsstätten (2011)³⁷⁰ definiert die EU KET-Expertengruppe AMS (Advanced Manufacturing Systems – Fortschrittliche Fertigungssystem) folgendermaßen:

„...Produktionsverfahren zur Herstellung von High-Tech-Produkten, nutzen innovative Produktionstechnologien und entwickeln neue Prozesse und Techniken für Fertigungsverfahren der Zukunft. Sie umfassen Produktionssysteme und entsprechende Dienstleistungen, Prozesse, Anlagen und Ausrüstung einschließlich Automation, Robotik, Messtechnik, kognitiver Datenverarbeitung, Signalerkennung und Produktionskontrolle mithilfe von Hochgeschwindigkeits-Informations- und Kommunikationssystemen.“³⁷¹

Querschnittsthema,
das alle anderen
Bereiche tangiert

Europa verfüge über starke Produktionsstandorte mit langer Tradition, an denen mehr als 34,4 Millionen Menschen arbeiten. Die verarbeitende Industrie vereint eine Vielzahl von Betrieben und Unternehmen unterschiedlichster Größe. Ihre Stärke gewinnt sie aus der Kombination bewährter Maschinenbautradition mit großem akademischen Potenzial und überzeugender Forschungs- und Entwicklungsarbeit sowie aus der nachweislichen Fähigkeit der europäischen Industrie, sich dem technischen Fortschritt anzupassen und qualitativ hochwertige Produkte zu erzeugen, die den Anforderungen von Kunden auf der ganzen Welt gerecht werden.

³⁶⁹ EC (2010f).

³⁷⁰ EC (2011g).

³⁷¹ EC (2010f).

Lücke zwischen
Forschung und
Kommerzialisierung:
„Tal des Todes“

Dennoch hat Europa in den letzten Jahren bei der Erhaltung von Arbeitsplätzen in der Fertigungsindustrie deutlich an Boden verloren und musste große Einbußen zugunsten anderer Regionen hinnehmen, was die Anziehungskraft für neue und fortschrittliche Produktionsunternehmen anbelangt.

Angesichts dieser Tatsache erklärte die Arbeitsgruppe zu fortschrittlichen Fertigungssystemen in ihrem KET-Bericht über Schlüsseltechnologien, dass eine der größten Schwächen Europas in dem sogenannten „Tal des Todes“ (engl. „Valley of death“³⁷²) liege, also der Lücke zwischen Forschung und Entwicklung einerseits und der Herstellung sowie Kommerzialisierung entsprechender Produkte andererseits. Zwar bringe Europa wettbewerbsfähige Erfindungen hervor, jedoch sei die allgemein als „Time-to-Market“ bezeichnete Zeitspanne von der Entwicklung einer ersten Produktidee – ausgehend von Erkenntnissen aus der Grundlagenforschung – bis zur Einführung und Kommerzialisierung eines innovativen Produkts auf dem Markt zu groß. Ähnliche Phänomene habe man zwar auch in den USA, China und Taiwan gefunden, dort seien jedoch (meist staatliche) koordinierte Programme ins Leben gerufen mit dem Ziel, die Rahmenbedingungen für Innovationsprozesse zu optimieren – so heißt es im vorgelegten Abschlussbericht der Expertengruppe.³⁷³

Insgesamt lasse sich in den letzten Jahrzehnten eine verstärkte Ansiedlung von Produktionsstätten außerhalb Europas feststellen. Dieser Globalisierungstrend betraf ursprünglich in erster Linie arbeitsintensive Produktionsfelder, wirkte sich dann aber zunehmend auch auf hochtechnische Verfahren einschließlich aufwendiger Forschung und Entwicklung aus, nicht zuletzt in Verbindung mit einer äußerst proaktiven lokalen Industriepolitik (vor allem in asiatischen Ländern). Um diesem Trend entgegenzuwirken, sollte und könnte die EU und ihre Mitgliedstaaten eine innovative Industriepolitik verfolgen.³⁷⁴

Beitrag fortschrittlicher Fertigungssysteme und Produktionsstätten zur Bewältigung der zukünftigen gesellschaftlichen Herausforderungen

Der KET-Bericht zu global wettbewerbsfähigen Produktionsstätten enthält Empfehlungen, um den Verbleib solcher Produktionsstätten in Europa zu sichern bzw. neue Global Player anzuziehen und somit eine Brücke über dieses *Tal des Todes* zu schlagen, wobei es gilt, erstklassige Forschungs- und Entwicklungsarbeit durch Pilotlinien und Erfindung von Prototypen zu globaler Kommerzialisierung zu führen. Die Kapitalrendi-

³⁷² EC (2011c), S. 24.

³⁷³ EC (2011c).

³⁷⁴ EC (2011g).

te solcher Investitionen sollte sich global konkurrenzfähiger und attraktiver gestalten; hierzu sind im Zuge einer innovativen Industriepolitik geeignete Rahmenvoraussetzungen zu schaffen. Um dies zu erreichen, sollte und kann Europa die richtige Mischung aus regulativen Maßnahmen, Auslegungen von Rechtsvorschriften, finanzieller Fördermaßnahmen und Steuervergünstigungen finden.

Nachfolgende Empfehlungen stellten notwendige Schritte dar, um das Tal des Todes zu überwinden und Anreize für Unternehmen zu schaffen, Produktionsinvestitionen größeren Umfangs in Europa zu tätigen.³⁷⁵

Aufrechterhaltung solider Produktionsstandorte in Europa

- Unterstützung und politische Führung der Produktionsindustrie
- Schaffung von Anreizen für europäische und außereuropäische Investitionen (Fabriken) in Europa
- Gewährleistung einer soliden Infrastruktur, wettbewerbsfähiger Energiepreise und einer gesicherten Versorgung mit Rohmaterialien in Europa
- Mobilisierung und Umstrukturierung von Ressourcen auf allen Ebenen, um strategische und wettbewerbsfähige Schlüsselsektoren am Zukunftsstandort Europa zu unterstützen

Aufrechterhaltung
solider Produktions-
standorte in Europa

Fokus auf Lösung der historischen Schwachstellen Europas

Umstrukturierung und Neugestaltung von Forschungs- und Innovationsprogrammen zur Förderung innovativer Ideen in der gesamten Wertschöpfungskette, angefangen vom Technologie-Anbieter bis hin zum Endnutzer;

- Öffentlicher Support neuer Technologien und umfangreicher Pilotprojekte, um Forschungsergebnisse marktorientierter auszurichten;
- Entwicklung von Instrumenten zur ersten Unterstützung von Betriebsstätten, bis diese selbsttragend sind;
- Sicherstellung der Kapitalverfügbarkeit zur Überbrückung des Tal des Todes;
- Förderung des Unternehmertums, um innovative Firmen bei der Kommerzialisierung ihrer Forschungsergebnisse zu stärken;
- Förderung des nachfragegesteuerten Produktionsdrucks zwecks Schaffung kritischer Massen;

Fokus auf Lösung
historischer
Schwachstellen
Europas

³⁷⁵ EC (2011b).

- Bereitstellung und Kontinuität finanzieller Förderungen sind im Bereich der Hochtechnologie unabdingbar;
- Förderung von Bildung, Aus- und Weiterbildung.

Sicherstellung eines Betätigungsfeldes auf globaler Ebene

Sicherstellung eines
Betätigungsfeldes
auf globaler Ebene

- Ergänzung industriepolitischer Ansätze durch eine ebenso solide wie proaktive Handelspolitik, die offene Märkte und einheitliche Vorschriften für Handel und Wettbewerb propagiert;
- verstärkte Bekämpfung des unlauteren Wettbewerbs aus außereuropäischen Wirtschaftssystemen.

Optische Technologien

Der im Januar 2011 veröffentlichte Bericht der Sachverständigengruppe zur Photonik³⁷⁶ widmet sich folgenden Fragestellungen: Was muss getan werden, um das volle Potenzial der Photonik in Europa auszuschöpfen? Wie kann sich die europäische Photonik-Industrie international besser positionieren? Wie sollten die europäischen Regierungen und die Industrie auf den zunehmenden globalen Wettbewerb in der Photonik reagieren? Wie sollte die Europäische Industrie- und Forschungspolitik ausgerichtet werden?

Internationale
Positionierung der
Photonik-Industrie

Europa verfügt über 19 % des gesamten weltweiten Photonik-Produktionsvolumens und ist Weltmarktführer in einer Reihe von Teilspektoren, einschließlich Beleuchtung, Produktionstechnologie sowie optische Komponenten und Systeme.³⁷⁷

Die europäische Photonik-Industrie ist in einer Reihe europäischer Cluster gebündelt. Frankreich, Deutschland und Großbritannien dominieren die industrielle Landschaft bei der absoluten Anzahl an Photonik-Unternehmen, während in den Niederlanden im Vergleich zu anderen europäischen Ländern eine relativ große Anzahl an Photonik-Unternehmen angesiedelt ist.³⁷⁸

Beitrag der Photonik zur Bewältigung der zukünftigen gesellschaftlichen Herausforderungen

Hin zur nachhaltigen
Wirtschaft

Der Bericht der Sachverständigengruppe zu Photonik erwartet für die zukünftige Evolution der Photonik, dass es zur Entwicklung sogenannter *grüner* Photonik kommen wird, hin zu einer nachhaltigen Wirtschaft und Fertigung; zudem wird Photonik eine wichtige Rolle auf den Gebieten

³⁷⁶ EC (2011d).

³⁷⁷ EC (2011f).

³⁷⁸ Ebenda.

der alternden Gesellschaft, dem Gesundheitswesen und der Wissensgesellschaft spielen.

Im Einzelnen besagt der Bericht der Sachverständigengruppe:

Hin zur nachhaltigen Wirtschaft – Grüne Photonik

Festkörperbeleuchtungsquellen werden hinsichtlich der Effizienz künftig fast alle anderen Quellen an Leistung übertreffen, da sie ein Energiesparpotenzial von annähernd 50 % böten. Würde die Festkörperbeleuchtungstechnologie dann mit intelligenten Lichtmanagement-Systemen kombiniert, die die Lichtleistung entsprechend den Beleuchtungsbedingungen der Umgebung oder der Anwesenheit und Aktivitäten von Personen reguliert, könnten weitere 20 % eingespart werden. Daher könnte moderne Festkörperbeleuchtung den heutigen Elektrizitätsverbrauch für Beleuchtung dramatisch um 70 % reduzieren. Außerdem könnten Photovoltaiksysteme diesen oder anderen Elektrizitätsbedarf auf nachhaltige Weise decken. Die Kombination dieser Photonik-Technologien der Angebots- und Nachfrageseite sind daher ein starker Ansatz, das Energiesystem *grüner* zu machen.

*Grüne Photonik
für eine nachhaltige
Fertigung*

Die Umsetzung dieser Lösungen ermöglichen, so der Bericht der Sachverständigengruppe, die Erzielung erheblicher Nutzen:

- Jedes Jahr können durch die Einführung energieeffizienter Beleuchtung auf der globalen Energierechnung mehr als 300 Milliarden EUR gespart werden;
- Infolgedessen können auf globaler Ebene Emissionen von mehr als 1000 Millionen Tonnen Kohlendioxid pro Jahr eingespart werden;
- Rund 10 % des gesamten Stromverbrauchs in Europa können bis 2020 durch Photovoltaik gedeckt werden und dieser Beitrag wird langfristig erheblich gesteigert;
- Die Wirtschaft wird durch die Stärkung der industriellen Position Europas in den Bereichen Lampen, Leuchtmittel & Fahrerelektronik sowie Photovoltaik, die zusammen bereits über 250.000 Menschen in Europa beschäftigen, angekurbelt;
- Die Gesellschaft im allgemeinen wird von größerem Sichtkomfort aufgrund der überlegenen Beleuchtungslösungen profitieren, sowie von weniger Lichtverschmutzung durch enger fokussiertes Licht;
- energieeffiziente Beleuchtungstechnologien liefern erhebliche individuelle Geldeinsparungen;

- Photovoltaiksysteme liefern Strom zu wettbewerbsfähigen und vorhersehbaren Kosten, während mithilfe fossiler Brennstoffe erzeugter Strom unvermeidlich teurer werden muss.

Nachhaltige Fertigung

Laser erfüllen ein breites Spektrum an Fertigungsaufgaben: Schneiden und Fügen, Abtragen und Abscheiden, Bohren, Markieren und anderes. Dabei werden Werkstoffe von Stahl und Kunststoff bis hin zu Halbleitern eingesetzt. Sogar Diamanten geben der gebündelten Stärke eines Lasers nach. Vom Kleinsten zum Größten, von in Massenfertigung hergestellten Bauteilen zu Einzelstücken – der Laserstrahl ist eines der vielseitigsten Fertigungswerkzeuge unserer Zeit. Die physikalischen und technischen Grenzen moderner photonischer Komponenten können nur durch interdisziplinäre Forschungsbemühungen bei Fertigungstechnologien, Mikrosystem-Engineering, Nanotechnologie, Telekommunikation und der Optik selbst überwunden werden.

Alternde Gesellschaft & Gesundheitswesen

Die Kostenreduzierungen durch den Einsatz von Photonik im Gesundheitswesen werden auf 20 % geschätzt. Da der demographische Wandel und die alternde Gesellschaft in Europa die Kosten des Gesundheitswesens hochtreiben, werden die aus der Photonik resultierenden Einsparungen beachtlich sein und letztlich zu wichtigen Verbesserungen der Lebensqualität unserer Gesellschaft führen. Aus folgenden Gründen kann Photonik eine wichtige Rolle auf diesem Gebiet spielen:

- Innovative Mikroskope und Endoskope helfen, Zellprozesse, Gewebe und Modellorganismen zu verstehen und so die Entwicklung von Medikamenten zu unterstützen, die auf einen bestimmten Patienten zugeschnitten sind. Diese werden für die personalisierte Medizin dringend benötigt.
- Screening und medizinische Bildgebungsmethoden auf Basis der Photonik stärken die präventive Medizin und die Früherkennung von Krankheiten.
- Nicht-invasive oder minimal-invasive Behandlungen, wie therapeutische Lasersysteme helfen, die Gesundheit und Mobilität von Patienten zu verbessern und könnten zu erheblichen Kosteneinsparungen führen.
- Durch die Kombination von Mikrofluidik und Photonik können ultrasensitive *Lab-on-a-Chip*-Biosensoren hergestellt werden. Diese Sensoren können winzige Mengen an Substanzen in kleinen Probevolumina messen und die schnelle Beurteilung von Patienten am Krankenbett ermöglichen (Point-of-Care-Diagnostik).

Kostenreduzierungen
durch Einsatz der
Photonik im
Gesundheitswesen

Photonik für die
alternde Gesellschaft

Wissengesellschaft

Computer und Telefone sind momentan über Kabel oder kabellose Links mit dem Netzwerk verbunden, aber auf kurze Distanz werden diese Signale sicher optisch transportiert werden. In naher Zukunft werden viele dieser *kurzen* Distanzen im Wesentlichen *Null*-Distanzen werden, da photonische Netzwerke immer stärker in unsere Häuser und Arbeitsplätze eingebettet werden, und sogar direkt in die Geräte selbst. Diese zunehmende Durchdringung der photonischen Technologien bietet Dienst Anbietern wichtige Vorteile in Bezug auf Leistung und Kosten und stellt eine entscheidende wirtschaftliche Chance für die photonische Industrie dar. Informations- und Kommunikationstechnologie trägt dazu bei, Daten zu sammeln und zu verarbeiten, um Gefahren zu vermeiden. Zudem wird Photonik in folgenden Bereichen eine Schlüsselrolle spielen:

- Im Straßenverkehr werden Anwendungen, wie intelligente Fahrerassistenzsysteme und Nachtsichtsysteme die Sicherheit für alle Straßenbenutzer verbessern. Fahrerassistenzsysteme in Autos beruhen auf photonischen Sensoren, die helfen, Fahrfehler zu vermeiden. Wenn die Entwicklung dieser photonischen Technologien weiter voranschreitet, werden die Straßen in Zukunft noch sicherer.
- Die Erkennung nicht erlaubter Waren an Flughäfen und internationalen Grenzen ist ein anderes wichtiges Thema für die öffentliche Sicherheit. Innovative photonische Anwendungen können dazu beitragen, solche Inspektionen effizienter zu machen. Biometrische Technologien, die auch Photonik einsetzen, können die Sicherheit und den Schutz an internationalen Grenzen verstärken.

Informations- und Kommunikationstechnologien

Das Thema Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK) wird seitens der EU als Querschnittstechnologie zu allen anderen Bereichen verstanden und somit nicht als Schlüsseltechnologie besprochen. Die zunehmende Bedeutung der IuK für die Entwicklung der jeweiligen Technologiebranche wird daher jeweils in den einzelnen Schlüsseltechnologieberichten dargelegt.

Elektronik

Die Sachverständigengruppe zur Mikro- und Nanoelektronik³⁷⁹ stellte ihren Bericht am 18. Oktober 2010 in Brüssel vor. Darin wird die europäische Mikro- und Nanoelektronikbranche als Global Player dargestellt, mit erheblichen Stärken sowohl in der Forschung als auch in der indust-

³⁷⁹ EC (2010h).

Europäische Mikro- und Nanoelektronikbranche als Global Player

riellen Anwendung. Zum Beispiel verfüge Europa über ein starkes FuE-Netzwerk, das aus Industrie, Universitäten und Forschungsinstituten bestehe. Europa habe seine FuE-Bemühungen in den letzten zehn Jahren kontinuierlich verstärkt. Außerdem verfügen eine Reihe europäischer Regionen über Kompetenzen auf dem Gebiet der kritischen Masse und der Halbleiter, die weltweit anerkannt wird.³⁸⁰ Europa profitiere auch von einer starken, typisch europäischen Wertschöpfungskette, zu der weltweit führende Ausrüstungshersteller, enorme Fertigungsfähigkeiten und eine starke nachgelagerte Zusammenarbeit mit Branchensektoren zählen, in denen Europa weltweit führend sei, z. B. im Bereich Automatisierung, Medizin und Energie sowie bei der Drahtloskommunikation. Die europäische Mikroelektronik-Industrie sei mit erheblichen Wettbewerbsherausforderungen konfrontiert. Zum Beispiel sei Europas Anteil am Halbleitermarkt seit 2000 von 21 % auf 16 % abgerutscht, die Fertigungskapazität sinke und der Anteil der europäischen Industrie an den weltweiten Investitionen in die Mikroelektronik schrumpfe, nicht zuletzt im Bereich der Fertigung.³⁸¹

Beitrag der Mikro- und Nanoelektronik zur Bewältigung der zukünftigen gesellschaftlichen Herausforderungen

Hohes Zukunftspotenzial der Mikro- und Nanoelektronikindustrie im Bereich digitale Produkte und Dienste

Die Mikro- und Nanoelektronikindustrie habe hohes Zukunftspotenzial, indem sie digitale Produkte und Dienste, insbesondere in den Bereichen Gesundheit, alternde Gesellschaft, Energieeffizienz, nachhaltiger Transport, Sicherheit, Klimawandel, Beschäftigung und Wohlstand zugänglich, erschwinglich, handhabbar und anwendbar macht:

- **Energiesicherheit und -effizienz:** (zum Beispiel nachhaltige, saubere und effiziente Energieerzeugung, Einsatz eines technologiefähigen, intelligenten Stromnetzes und intelligenter Verbrauchsmessung für ein effizienteres Energiemanagement zuhause). Mikroelektronische Geräte, wie *grüne Elektronik*, Niedrigstromgeräte, Leistungsregler, Steuerungsmikroprozessoren und Kommunikationsgeräte liefern Schlüssellösungen für Automatisierungs-, Überwachungs- und Steuerungsaufgaben und beschleunigen die Integration und Synergie zwischen erneuerbaren Energiequellen und Versorgungsunternehmen. Halbleiter werden der Gesellschaft ermöglichen, alternative Energiequellen effizienter zu nutzen, Energie effizienter zu verteilen und sie auf effizienteste und benutzerfreundliche Art und Weise zu verbrauchen – sie

³⁸⁰ Die bedeutendsten europäischen Cluster liegen um Grenoble (Frankreich), Dresden (Deutschland) und Dublin (Irland), aber andere europäische Cluster, wie Eindhoven (Niederlande) und Catania (Spanien) haben ebenfalls globales Potential. EU (2011): Cross-sectoral Analysis of the Impact of International Industrial Policy on Key Enabling Technologies, Final report.

³⁸¹ OECD (2009).

sind ein entscheidender Teil des Smart-Grid-Programms, das viele Länder in Europa auf den Weg bringen.

- **Nachhaltiger Transport:** (zum Beispiel intelligente Elektroautos, kooperatives Verkehrsmanagement, digitalbasierte, intelligente Autos, verbesserte Effizienz der öffentlichen Verkehrsversorgung durch Einsatz von IKT).
- **Sicherheit und Schutz:** Bislang ist der Rohstoffmangel noch kein allgemein ernstes Problem, aber das Risiko der Verknappung wächst. Europa muss den Zugang zu Rohstoffen sicherstellen. Es ist auch festzuhalten, dass Europa seine politische und wirtschaftliche Unabhängigkeit als eine wichtige strategische Ressource schützen und die Sicherheit der Halbleiterversorgung wahren sollte, indem es dafür sorgt, dass die zukunftsweisende Halbleiterproduktion innerhalb seiner Grenzen stark bleibt.
- **Klimawandel:** Die Mikro- und Nanoelektronikindustrie unterstützt und fördert Lösungen für den Klimawandel, entweder durch ihre Geräte selbst oder durch die Bereitstellung von Mitteln zur Nutzung und Steuerung anderer Geräte. Die europäische Industrie kann durch Führerschaft in Bereichen wie der Entwicklung von Elektroautos, Festkörperbeleuchtung und LED sowie durch die Verringerung von CO₂ eine zentrale Rolle spielen, wenn es darum geht sicherzustellen, dass dieses Ziel ein globales ist. Ferner ist darauf hinzuweisen, dass die von der Mikro-/Nanoelektronikindustrie hervorgebrachten Lösungen andere Branchen in der CO₂ Reduktion unterstützen können.
- **Beschäftigung/Wettbewerbsfähigkeit/Wohlstand:** Studien haben den direkten Zusammenhang zwischen dem Maß an Technologieeinsatz und dem Wachstum der Wirtschaft oder des BIP gezeigt. Die Mikro- und Nanoelektronikindustrie fördert die Beschäftigung und Wettbewerbsfähigkeit in Europa durch die Steigerung der Produktivität quer durch viele Branchen (mehr als 200.000 Menschen in IC-Unternehmen und ihren Lieferketten). Durch die kapitalintensive Natur der Branche kurbelt die Mikro- und Nanoelektronikindustrie das Wirtschaftswachstum an und trägt zur Erhaltung der hochmodernen Fertigung in Europa bei.
- **Globalisierung:** Wege zu einer nachhaltigen Entwicklung zu finden, ist eine globale Herausforderung. Innovation und Know-how sind zentrale Anforderungen der nächsten Jahrzehnte. Die Mikro- und Nanoelektronikindustrie ist eine der am meisten globalisierten Industriezweige der Welt. Die Herausforderung dabei ist europäische Weltführerschaft in Anwendungsbranchen wie Automotive, Industrie und Sicherheit und auf der Ausrüstungsseite in Bereichen wie Lithographie sowie Werkstoffe und Trägermaterial zu erlangen.

Zentrale Empfehlungen der EU-Expertengruppe für Mikro- und Nanoelektronik

Die EU-Expertengruppe für Mikro- und Nanoelektronik empfiehlt in ihrem Bericht eine ehrgeizige europäische Vision zur Stärkung der europäischen Position in der Mikro-/Nanoelektronik zu entwickeln. Dies sei möglich durch die Förderung und die konsequente Weiterentwicklung folgender Bereiche:

Ausbildung

Förderung der
Ausbildung

Ausbildung und Qualifikation seien Aktivposten für Europa, aber die Anziehungskraft der technischen Ausbildung nehme ab. Spezielle Initiativen könnten helfen, Fertigkeiten auszubilden, die Europa in der Zukunft benötigen werde:

- Initiativen zur Sensibilisierung und Förderung der Attraktivität von Mathematik, Ingenieurwissenschaften, Technologie und Wissenschaft im Alter von 10-18 Jahren;
- Spezielle ERASMUS-Aufrufe starten, die auf KET-Bereiche fokussiert sind;
- Förderung der internationalen Kooperation zwischen Master in Elektronik und Nanotechnologien durch Stipendien sowie der Ansiedlung solcher Master-Studenten in europäischen RTOs (Forschungs- und Technologieorganisationen);
- Europäische, transnationale Initiativen für gezielte Schulungsmaßnahmen für in diesem Bereich tätige Arbeitnehmer.

Cluster, FuE und Prototyping

Förderung von FuE

- Entwicklung von Spitzenclustern sowie deren Zusammenarbeit untereinander fördern;
- Diese Spitzencluster durch Unterstützung der Zusammenarbeit der Cluster und der globalen europäischen Industrie wirksam einsetzen (mögliche gezielte Aufforderung im FP8);
- Entwicklung europäischer Instrumente zur Förderung und Belebung europäischer, grenzüberschreitender (und cluster-überschreitender) Zusammenarbeit;
- Sicherstellung von Prototyping-Fähigkeiten, insbesondere für Geräte und Anwendungen auf Basis der More-than-Moore-Technologien. Der Vorschlag war, fünf bis zehn EU „LabFabs“ auf Basis bestehender Centers of Excellence zu finanzieren, wo intelligente Systemtechnologien entwickelt

werden und das Prototyping intelligenter Systeme erfolgt, diese gefertigt und in einem kurzen Zyklus auf den Markt gebracht werden. In diesem Netzwerk von „LabFabs“ könnten System-OEMs, Halbleiterfirmen, Forschungslabors und KMUs zusammenarbeiten, um die intelligenten Best-in-Class-Systeme zu bestimmen und zu produzieren;

- Durch gezielte Finanzförderung den Zugang zu Spitzentechnologien für KMUs fördern;
- Entwicklung eines großangelegtes Programms zur Sicherung der langfristigen Produktion moderner Nanoelektronik-Chips (Prozessoren, ASICs, System-on-Chips (SoC)) und strategischer Ausrüstung von Werkstoffen (Lithographie, Epitaxie, intelligente Substrate), durch den effektiven Einsatz der Stärken vorhandener Cluster;
- Unterstützung der Verbindung zwischen europäischen Entwicklern und Technologie-Clustern, um die Umwandlungsrate dieser Technologien in Produkte zu beschleunigen. Gezielte Aufrufe erwägen; im Rahmen finanzierter Programme einen Bonus für die Nutzung von Fertigungsstandorten in Europa erwägen;
- Die Schlüsseltechnologien für „More-than-Moore“ entwickeln und sicherstellen: Leistungsgeräte, Sensoren.

Fertigung

Die Expertengruppe bestätigte die strategische Bedeutung der Erhaltung von Fertigungsfähigkeiten in einigen Schlüsselbereichen in Europa, aufgrund der Schaffung von Wohlstand und der Hebelwirkung auf andere Sektoren. Andere Gebiete (Asien, USA) hätten das strategische Interesse an ihrer Strategie bekräftigt und böten starke Unterstützung für Fertigung und FuE. Es sollten Maßnahmen entwickelt werden, die den Wettbewerbsvorteil Europas steigern helfen (insbesondere im Bereich Vorschriften und Regularien).

Vorschriften und Regularien

Es gelte, durch ein wettbewerbsfähiges Umfeld von Anreizen und Industriepolitik (den internationalen Gepflogenheiten des Wettbewerbs angepasst):

- einen globalen, wettbewerbsfähigen Markt für Forschung, Entwicklung und Fertigung in Europa im Vergleich zum Rest der Welt sicherzustellen;

- den Zugang für KMUs zu erleichtern (durch entsprechende Regelungen für Kleinunternehmen); Beschränkungen gegenüber regionalen/nationalen Politiken reduzieren, denn Wettbewerb besteht nicht vordringlich innerhalb Europas, sondern im Wesentlichen zwischen Europa und dem Rest der Welt;
- die EC-Direktfinanzierungsmechanismen an die besonderen Herausforderungen der Erhaltung von More-than-Moore-FuE und Fertigungsfähigkeiten in Europa im Wettbewerb mit den USA und Asien anzupassen;
- ein finanzielles Ökosystem und dedizierte Börsen für Hightech-Werte schaffen, die Wachstum für KMUs ermöglichen;
- einen nachhaltigen Vorsprung zu schaffen;
- frühzeitig Standards (z. B. für die grüne Gesellschaft) und Vorschriften festzulegen;
- das FuE-Niveau zu halten oder sogar zu steigern, ein hohes Zuverlässigkeits- und Qualitätsniveau zu halten;
- die Einführung intelligenter Systeme durch Strategien und Pilot-Infrastrukturprogramme zu beschleunigen.

Biotechnologie und Life Sciences

Die Sachverständigengruppe zur Biotechnologie veröffentlichte 2011 ihren Bericht³⁸², der im Wesentlichen eine vergleichende Darstellung der internationalen Aktivitäten auf dem Gebiet der industriellen Biotechnologie abbildet.

USA und Japan:
größte Konkurrenten
der EU in der
industriellen
Biotechnologie

Der Bericht besagt, dass die USA und Japan die größten Konkurrenten auf dem Gebiet der industriellen Biotechnologie seien: Die USA investiere auf diesem Gebiet fast zehn Mal so viel in die Forschung wie die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union. Auch China und andere Schwellenländer wie Indien zeigten eine rasante Entwicklung und würden zu einer großen Bedrohung für die industrielle Biotechnologie in Europa. Die Regierung der Vereinigten Staaten habe beschlossen, die industrielle Biotechnologie im Rahmen ihres Regierungsprogramms zu fördern und hierzu erhebliche Mittel für den Entwurf eines Plans zur Erleichterung der Weiterentwicklung und Einführung der Anwendung dieser Form von Biotechnologie bereitgestellt. Große FuE-Programme laufen in den Bereichen der Biobrennstoffe und Biomaterialien und in kleinerem Maße bei den Biochemikalien. Die amerikanische Vision der Entwicklung bis 2020 sei um eine kohärente Strategie herum aufgebaut, die auf eine reduzierte Energieabhängigkeit abzielt. US-Bundesbehörden räumten geneh-

³⁸² EC (2010c).

migten, biobasierten Produkten Priorität ein und die Gesetzgebung werde rasch geändert, um staatliche Programme zur Förderung der Nutzung von Produkten der industriellen Biotechnologie zu koordinieren. Es würden Budgets für Forschungsprogramme zu Enzym- und Biomassetechnologien sowie zu biobasierten Produkten und Bioenergie bereitgestellt. Von 2004 bis 2007 stiegen die Forschungs- und Entwicklungsausgaben für Biobrennstoffe um 400 % auf 152,5 Millionen USD, die dreifache Rate der herkömmlichen FuE-Ausgaben. Die Forschungs- und Entwicklungsausgaben für biobasierte Chemikalien waren noch höher als bei Biobrennstoffen, nämlich 2,4 Milliarden USD.

Biotechnologie in China stehe, so der Sachverständigenbericht, auf einer soliden inländischen Forschungsbasis, die eng mit ausländischen Netzwerken verknüpft ist und von der wissenschaftlichen Kompetenz der Chinesen profitiere, die aus dem Ausland zurückkehren. Die chinesische Regierung verfüge über ein entwickeltes Rahmenwerk für Wissenschafts- und Technologiepolitik, das in drei Hauptprogramme gegliedert sei. Die Regierung investiere auch in Quasi-Risikokapitalgesellschaften, um Start-up-Unternehmen zu unterstützen, durch steuerliche Anreize private Investitionen in die Biowissenschaften anzuziehen. Regionalregierungen entwickelten Hightech-Parks und lockten durch Marketing-Kampagnen ausländische Investoren an.

Laut Sachverständigengruppe zur Biotechnologie wird die Forschung im Zusammenhang mit biobasierten Produkten in Europa heute hauptsächlich über verschiedene öffentliche Quellen finanziert:

Auf Ebene der Europäischen Union: das 7. Rahmenprogramm (RP7) für Forschung und Technologische Entwicklung, das von 2007 bis 2013 läuft, ist das Hauptinstrument der EU zur Forschungsfinanzierung in Europa. Die Forschungsrahmenprogramme haben zwei wichtige strategische Ziele: Die Stärkung der wissenschaftlichen und technologischen Basis der europäischen Industrie und die Belebung ihrer internationalen Wettbewerbsfähigkeit sowie die gleichzeitige Förderung der Forschung, welche die EU-Politik unterstützt. Aufrufe, wie KBBE 2011 (Knowledge Based Bio-Economy 2011) im Rahmen des RP7, können weiterhin unterstützt werden und ihre Finanzierung könnte im RP8 intensiviert werden.

Auf Ebene der Mitgliedsstaaten: Die gezielte öffentliche Forschungsfinanzierung für industrielle Biotechnologie ist in den EU-Mitgliedsstaaten sehr begrenzt. Nur einige wenige Länder unterhalten spezielle Forschungsprogramme. Manche werden über allgemeine Forschungsprogramme finanziert oder über parallele Programme (wie Energie, Landwirtschaft, usw.) unterstützt. Die Finanzierung kommt von regionalen und/oder nationalen Forschungsräten.

Über ERA-NET Programme: Außerdem versuchen verschiedene Mitgliedsstaaten, ihre Forschung über ERA-NET Programme (z. B. das ERA-NET für industrielle Biotechnologie) zu koordinieren. Im Rahmen

des ERA-NET-Programms legen die nationalen und regionalen Behörden Forschungsgebiete von allgemeinem Interesse fest und starten Kooperationen über gemeinsame Aufrufe zu Projekten. Die nationalen Partner bei diesen Aktionen sind *Programm-Inhaber* (typischerweise Ministerien oder Regionalbehörden, die Forschungsprogramme ausarbeiten) oder *Programm-Manager* (wie z. B. Forschungsräte oder andere forschungsfinanzierende Stellen, die Forschungsprogramme leiten). Die Partner unterhalten für gewöhnlich eine erweiterte Zusammenarbeit mit den jeweiligen nationalen Forschungsinstituten und anderen nationalen und internationalen Berufsverbänden und Regierungsbehörden. Der Umfang, die Ziele und Ergebnisse werden von der Partnerschaft im ERA-NET definiert.

Beitrag der Biotechnologie zur Bewältigung der zukünftigen gesellschaftlichen Herausforderungen

Sauberere und
nachhaltigere
Prozessalternativen
für die Industrie und
den Sektor der agrarischen
Lebensmittel

- Die Strategischen Forschungsagendas (SFA) der Europäischen Technologieplattformen geben Empfehlungen über prioritäre FuE-Themen, die es zu verfolgen gelte, um die langfristige Entwicklung des jeweiligen Sektors zu unterstützen (vgl. Strategische Visionen der Technologieplattformen in Anhang B).
- Die Entwicklung von KBBE (Knowledge Based Bio-Economy), wissensbasierte Bioökonomie, als Konzept und die Gründung des KBBE-Netzwerks durch die Europäische Kommission trügen dazu bei, das Bewusstsein auf EU-Ebene und bei den Mitgliedsstaaten erheblich zu sensibilisieren.
- Um Biomasse vollständig zu nutzen, also für Food- und Non-Food-Anwendungen gleichermaßen, sei es wichtig, effiziente und robuste Enzyme zu entwickeln.
- Synthetische Biologie und das Design des Stoffwechselweges seien Beispiele neu entstehender Technologien, die die Vielfalt biotechnologischer Prozesse und Produkte erhöhen und somit die Entwicklung innovativer Produkte fördern könnten. Diese Techniken führten zur Entwicklung sogenannter *mikrobieller Zellfabriken*, bei denen es sich um Produktionsorganismen handele, die erwünschte Produkte in hohen Mengen und mit hoher Produktivität produzieren. Einige dieser Bioraffinerie-Produkte würden jedoch weitere chemische Verarbeitung erfordern. Solange diese chemischen Prozesse aber nicht zur Verfügung stünden, werde es für diese Präkursoren keinen Markt geben.
- Daher sei auch der gezielten Forschung zur Kombination von Technologien, wie die der biochemischen und chemischen Prozesse, besondere Aufmerksamkeit zu widmen.
- Entscheidend sei auch die Sicherung eines nachhaltigen Rohstoffvorrats für die KBBE. Dazu werde die weitere Erforschung

der Methoden zur Verbesserung der Rohstoffträge und/oder der Zusammensetzung von Biomasse zur optimalen Umwandlungseffizienz erforderlich sein.

- Diese Forschung werde sowohl die Pflanzengenomik als auch neue Züchtungsprogramme betreffen sowie die Forschung zu Fragen der effizienten Fruchtfolge, des Flächenmanagements und der Landnutzungsänderung.

Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung

Gesundheitswesen und Nanomedizin werden im Schlüsseltechnologiebericht zu Mikro- und Nanoelektronik behandelt: Optimierte Rezeptur und Wirkstoffabgabe, intelligente Systeme zur Wirkstoffabgabe (gezielte Wirkstoffabgabe und kontrollierte Freisetzung); In-vivo-Bildgebung mit verbesserter Auflösung und Leistung sowie Früherkennung von biologischen Krankheitsmarkern durch Nanobiosensoren und Lab-on-Chip-Systemen; Regenerative Medizin, dazu gehören bioresorbierbare Trägermaterialien zur Geweberegeneration. Moderne Therapien in der regenerativen Medizin umfassen den Einsatz von Stammzellen (embryonische, IPS, und/oder mesenchymale).

Nanomedizin im
Gesundheitswesen

Nachhaltigkeit und Umwelt

Aussagen zur Nachhaltigkeit und Umwelt machen die Europäischen Technologieplattformen Forest-based sector Technology Platform (FTP), Water Supply and Sanitation European Technology Platform (WSSTP) und European Platform on Sustainable Mineral Resources (ETP SMR).

Verteidigung und Sicherheit

Sicherheit und Schutz wird im Schlüsseltechnologiebericht zur Mikro- und Nanoelektronik behandelt: Bisher ist der Rohstoffmangel noch kein allgemein ernstes Problem, aber das Risiko der Verknappung wächst. Europa muss den Zugang zu Rohstoffen sicherstellen. Es ist auch festzuhalten, dass Europa seine politische und wirtschaftliche Unabhängigkeit als eine wichtige strategische Ressource schützen und die Sicherheit der Halbleiterversorgung wahren sollte, indem es dafür sorgt, dass die zukunftsweisende Halbleiterproduktion innerhalb seiner Grenzen stark bleibt.

Sicherstellung
des Zugangs zu
Rohstoffen

Auch der Schlüsseltechnologiebericht zur Photonik bespricht die Erkennung nicht erlaubter Waren an Flughäfen und internationalen Grenzen als weiteres wichtiges Thema für die öffentliche Sicherheit. Innovative photonische Anwendungen könnten dazu beitragen, solche Inspektionen effizienter zu machen. Biometrische Technologien, die auch Photonik ein-

setzen, können die Sicherheit und den Schutz an internationalen Grenzen verstärken.

Dienstleistungen

Das Thema Dienstleistungen wird nicht als Schlüsseltechnologie besprochen, jedoch finden sich in den Schlüsseltechnologieberichten vereinzelt Bezüge zur zunehmenden Bedeutung des Dienstleistungsbereichs für die Entwicklung der jeweiligen Technologiebranche.

5 VERGLEICH DER TECHNOLOGIEFELDER

Die nachfolgende Themenmatrix fasst zusammen, welche Studien sich mit welchen Themenfeldern befassen.³⁸³ Zur besseren Übersichtlichkeit werden die Titel der Technologiestudien in abgekürzter Form dargestellt.

Tabelle 5.1: Themenmatrix für die Beschäftigung einer Studie mit dem jeweiligen Themenfeld.

	FR_11	CN_12	UK_12	JP_10	EU_11	USA_12
Transport und Verkehr, Logistik	■	■	■	■	■	■
Luft- und Raumfahrt	■	■	■	■	■	■
Bauen und Wohnen	■	■	■	■	■	■
Meerestechnik und Schifffahrt	■	■	■	■	■	■
Energie	■	■	■	■	■	■
Nano- und Mikrosystemtechnologie	■	■	■	■	■	■
Materialtechnik	■	■	■	■	■	■
Produktions- und Prozesstechnik	■	■	■	■	■	■
Optische Technologien	■	■	■	■	■	■
Informations- und Kommunikationstechnologien	■	■	■	■	■	■
Elektronik	■	■	■	■	■	■
Biotechnologien und Life Sciences	■	■	■	■	■	■
Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung	■	■	■	■	■	■
Nachhaltigkeit und Umwelt	■	■	■	■	■	■
Verteidigung und Sicherheit	■	■	■	■	■	■
Dienstleistungen	■	■	■	■	■	■

Die Titel der analysierten Technologieprognosen werden hier in abgekürzter Form wiedergegeben:

- FR_11: Frankreich, „Technologies Clés 2015“ (2011)
- CN_12: China, „Wissenschaft & Technologie in China: Roadmap in das Jahr 2050“ (2012)
- UK_12: UK, „Technology and Innovation Futures: UK Growth Opportunities for the 2020s – 2012 Refresh“ (2012)
- JP_10: Japan, „9. Japanische Wissenschafts- und Technikprognose“ (2010)
- EU_11: EU, „Key Enabling Technologies (KET)“ (2011)
- USA_12: USA, Berichte des „President’s Council of Advisors on Science and Technology“ (2012)

Schwarze Felder bedeuten eine intensive Beschäftigung mit der Thematik, graue Felder stehen für eine weniger intensive Thematisierung und weiße Felder besagen, dass sich die jeweilige Studie nicht bzw. nur marginal zu diesem Themenfeld äußert.

³⁸³ Da sich die Aussagen letztlich immer nur auf die im Rahmen dieser Analyse betrachteten Technologiestudien beziehen, stellt die hier dargestellte Analyse lediglich ein grobes Indiz für das Profil eines Landes bezüglich des technologischen Zukunftsinteresses dar und ist nicht als umfassende Länderanalyse zu verstehen.

In der nachfolgenden Themenmatrix sind die Zeilen und Spalten jeweils nach der Häufigkeit der Themennennung sortiert, d.h. nach der Anzahl schwarzer Felder und bei gleicher Anzahl schwarzer Felder nach der Zahl grauer Felder. Mithin werden in den Prognosen häufig berücksichtigte Technologien weiter oben gelistet. Die Interpretation dieser Themenmatrix ist jedoch sehr behutsam vorzunehmen: Zwar kann sie Hinweise auf das Ausmaß des Interesses eines Staates /Staatenverbundes an einem bestimmten Thema oder Technologie zu einem bestimmten Zeitpunkt liefern; allerdings erlaubt sie keine konkreten Rückschlüsse auf die tatsächliche Technologiepolitik und -förderung des jeweiligen Staates / Staatenverbundes.³⁸⁴

Tabelle 5.2: Ranking der Themen: Themenmatrix der aktuell untersuchten Technologieprognosen 2013³⁸⁵

	FR_11	CN_12	UK_12	JP_10	EU_11	USA_12
Energie					■	
Biotechnologien und Life Sciences						■
Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung					■	
Nano- und Mikrosystemtechnologie		■				
Informations- und Kommunikationstechnologien					□	
Produktions- und Prozesstechnik	■			□		
Nachhaltigkeit und Umwelt			■		■	■
Materialtechnik	■			□		■
Elektronik		■	■	■		■
Verteidigung und Sicherheit	■					■
Luft- und Raumfahrt			□		■	□
Transport und Verkehr, Logistik		□	■	■	■	□
Optische Technologien	■		■	□	■	■
Meerestechnik und Schifffahrt	■		□	■	□	□
Dienstleistungen	■	□	■	■		□
Bauen und Wohnen	■	□	■	□		□

Dabei steht schwarz für eine intensive, grau für eine weniger intensive und weiß für eine marginale Beschäftigung der jeweiligen Studie mit dem Themenfeld.

Zudem wird auch die absolute Anzahl der in den Studien berücksichtigten Technologien in die Darstellung mit einbezogen (absteigend geordnet

³⁸⁴ s. Fußnote 383.

³⁸⁵ Zur Aufschlüsselung der für die Titel der Technologieprognosen benutzten Abkürzungen, s. Tabelle 5.1.

von links nach rechts). Mithin kann hiermit das Maß der thematischen Breite der Technologieprognosen abgeschätzt werden.

Folgende Beobachtungen lassen sich in allen analysierten Technologieprognosen machen: Das deutlichste Interesse besteht an den Themen Energie, Biotechnologie und Life Sciences, Gesundheit und Ernährung, Nano- und Mikrosystemtechnologie, gefolgt von IuK; Produktions- und Prozesstechnik, Materialtechnik, Elektronik, aber auch mit Nachhaltigkeit und Umwelt³⁸⁶ sowie Verteidigung und Sicherheit.

Mindestens die Hälfte der analysierten Technologieprognosen legten großen Wert auf die Themenbereiche Transport, Verkehr, und Logistik; Luft- und Raumfahrt; Meerestechnik und Schifffahrt; Verteidigung und Sicherheit. Die Themenbereiche Elektronik, Optische Technologien und Verteidigung/Sicherheit werden oft als Querschnittsthemen zu anderen Bereichen diskutiert.

Die Themenfelder Bauen/Wohnen und Dienstleistungen zählen in den ausgewerteten Technologieprognosen zu den Themenfeldern mit geringerer Bedeutung.

Deutlichstes
Interesse bei den
Themen Energie,
Biotechnologie und
Life Sciences,
Gesundheit und
Ernährung,
Nano- und
Mikrosystem-
technologie

Bauen/Wohnen und
Dienstleistungen:
Themenfelder mit
geringerer Bedeutung

³⁸⁶ Das Gebiet Nachhaltigkeit und Umwelt wird häufig insbesondere hinsichtlich des Aspektes Ressourcenknappheit im Zusammenhang mit anderen Technologiebereichen besprochen.

5.1 Themenprofile der Studien einzelner Länder

5.1.1 China („Wissenschaft & Technologie in China: Roadmap in das Jahr 2050“)

Tabelle 5.3: Themenprofil der Studie „Wissenschaft & Technologie in China: Roadmap in das Jahr 2050“.

Technologiefeld	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
Transport und Verkehr, Logistik	–
Luft- und Raumfahrt	<p>Weltraumforschung und Lösung astrophysikalischer Fragestellungen.</p> <p>Weltraumanwendungen: Durchbrüche werden auf den Gebieten des Umgangs mit der Verknappung von Energie und Ressourcen, der ökologischen Verschlechterung und schwerer Naturkatastrophen erwartet. Der Aufbau der Infrastruktur zur Erdbeobachtung wird als Voraussetzung gesehen, um Fragen der Auswirkungen globaler Umweltveränderungen auf China zu lösen, bzw. ihre Modellierung und Vorhersagbarkeit zu ermöglichen.</p> <p>Raumfahrttechnik: Fortschritte bei Leicht- und Miniaturraumfahrzeugen und Nutzlasten, erdnahen Raumfahrzeugen, beim Ultra-Hochgeschwindigkeitsflug im fernen Weltraum und der autonomen Navigation sowie beim Daueraufenthalt des Menschen im Weltraum etc.</p>
Bauen und Wohnen	–
Meerestechnik und Schifffahrt	<p>Bis 2050 das Niveau der Top-Drei der Welt der Meereswissenschaft und -technik erreichen; globales System zur Überwachung der Weltmeere; die grüne Weiterentwicklung der marinen Bioindustrie durch Gentechnologie vollständig integrieren; Gerätesysteme für die großtechnische Exploitation der Tiefseeressourcen entwickeln; China als Seemacht etablieren.</p>
Energie	<p>Die Roadmap Energy Science & Technology in China skizziert 7 wichtige Bereiche zur Entwicklung der Energiewissenschaft und der <i>neuen staatlichen Energieindustrie</i>: 1. die hocheffiziente Bodentransport-Technologie, die ohne fossile Brennstoffe auskommt; 2. die saubere und mit hoher Wertschöpfung verbundene Kohlennutzungstechnologie; 3. die Technologie für Stromversorgungssicherheit- und -stabilität; 4. die Biomasse-Flüssigbrennstoff- und Rohstoff-Technologie; 5. großtechnische Stromerzeugungstechnologie aus erneuerbaren Energiequellen (Sonne, Wind, Wasser, Biomasse, Geothermie); 6. die neue Kernkraft- und atomare Abfallaufbereitungstechnik. 7. die Technologie für potentielle Energie.</p> <p>Die Roadmap Oil and Gas Resources in China prognostiziert, dass China langfristig, bis etwa 2050, in der Lage sein werde, in vollem Umfang die Öl- und Gasexploration und -produktion auf dem</p>

	Kontinentalschelf und in tiefen Meeresbecken durchzuführen. Das Explorationsverhältnis soll langfristig bei Rohölvorkommen 70%, bei Erdgas 60% und das Rohölgewinnungsverhältnis 60% betragen.
Nano- und Mikrosystem-technologie	Eine der im strategischen Gesamtbericht (Strategic General Report) der chinesischen Akademie der Wissenschaften dargelegten zweiundzwanzig Wissenschafts- und Technologieinitiativen von strategischer Bedeutung für Chinas Modernisierung befasst sich mit Nanowissenschaft und -technologie, als Beitrag zur interdisziplinären und innovativen Forschung Chinas. Konkrete Aussagen zur zukünftigen Ausgestaltung dieses Technologiefeldes werden allerdings nicht gemacht.
Materialtechnik	Die Roadmap Advanced Materials Science & Technology in China proklamiert, dass die Entwicklung moderner Materialien in China langfristig (bis zum Jahr 2050) die Bedarfe erneuerbare Ressourcen, Lebensverlängerung, Gesundheitsförderung und Umweltschutz voll decken solle. Die Werkstoff-Recyclingrate solle 50% erreichen, bionische Materialien mit Selbstreparatur- und Selbstheilungsfunktionen Anwendung finden und intelligente Werkstoffe an Bedeutung gewinnen. Neue Errungenschaften, Methoden, Tools und Einrichtungen der Naturwissenschaft und Informationstechnologie würden, so die Autoren, in Werkstoffdesign und -simulation, Simulation und Steuerung von Fertigungstechniken sowie in Materialanalyse und -bewertung weitgehend eingeführt sein. Es werde möglich sein, die Struktur und Eigenschaften von Werkstoffen zu gestalten.
Produktions- und Prozesstechnik	Die Roadmap Advanced Manufacturing Technology in China fokussiert zwei Hauptentwicklungsstränge der modernen Fertigungstechnologien: intelligente Fertigung und grüne Fertigung. Die Fertigungstechnik werde intelligenter, transparenter und leistungsfähiger. In der modernen Fertigungstechnik würden miteinander verwandte Technikfelder zusammengeführt. Die Fertigungsumgebung werde sauberer (<i>grüner</i>): Hier kämen der Nutzung neuer Ressourcen und Energiequellen, der Systemintegration, der Entwicklung grüner Produkte in der verarbeitenden Industrie sowie dem Recycling eine wachsende Bedeutung zu. Bis zum Jahr 2050 könne die Rückgewinnung und optimale Nutzung von Wertstoffen auf mehreren Ebenen realisiert sein.
Optische Technologien	–
Informations- und Kommunikationstechnologien	Die Roadmap Information Science and Technology in China definiert bis 2050 sechs grundlegende Aufgaben für China: Aufbau eines umfassenden Informationsnetzwerks mit sinnvollen Inhalten; Wegweisende Aufrüstung der Informationsgeräte und -systeme; Entwicklung einer Dienstleistungsindustrie für Daten und Wissen; Aufrüstung der herkömmlichen Industrien durch Informationstechnologien und Realisierung einer kostengünstigen Informatisierung; Entwicklung neuer computergestützter, interdisziplinärer und computerbasierter Informationswissenschaften.

Elektronik	Der Technologiebereich Elektronik wird im Rahmen der I+K Roadmap bearbeitet.
Biotechnologie und Life Sciences	Die Roadmap Agricultural Science and Technology in China definiert als Ziele der grünen Biotechnologie bis 2050: pflanzliches Keimplasma und moderne Pflanzenzucht; tierisches Keimplasma und moderne Tierzucht; Ressourcenschonung; landwirtschaftliche Erzeugung und Ernährungssicherheit. Zu den wesentlichen biotechnologischen Zielen der agrarwissenschaftlichen und agrartechnischen Entwicklung in China bis 2050 zählen die Beschleunigung der molekularbiologischen Pflanzenzucht; die Züchtung und Freigabe neuer Kulturpflanzen zur Nahrungsmittelerzeugung und zur Zeugung neuer energiereicher Pflanzensorten; die Einführung der molekularbiologisch gestützten Züchtung wichtiger Nutztiersorten, die schnell wachsen, einen hohen Fleischanteil oder einen hohen Proteingehalt aufweisen oder resistent gegen Krankheiten sind.
Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung	Die Roadmap Science & Technology of Public Health in China verfolgt fünf Ansätze: Bevölkerungskontrolle und Fortpflanzungsmedizin; Prävention und Heilung schwerer chronischer Krankheiten; Infektionskrankheiten und Biosicherheit; Ernährung und Lebensmittelsicherheit und Biomedizinische Industrie. Gemäß der Roadmap müsse in China bis circa 2050 ein umfangreiches medizinisches System aufgebaut werden, das biologische, ökologische, psychologische und soziale Aspekte umfasse. Hierbei sollten in Bezug auf Molekularmarker bei neurologischen und geistigen Krankheiten sowie im Bereich funktionaler Bildtechnik deutliche Fortschritte erzielt werden. Zudem gelte es, ein biomedizinisches System der neuen Generation zu etablieren, das fortschrittliche Instrumentationstechnologie, nano-biomedizinische Technologie, minimalinvasive Technologien und Kombinationen medikamentöser Instrumentation umfasst.
Nachhaltigkeit und Umwelt	Zum Bereich Nachhaltigkeit und Umwelt und Ressourcenknappheit wurden 4 selbstständige Roadmaps angefertigt: Die Roadmap 2050 zu Chinas Umweltwissenschaften und -technologien definiert vier wesentliche Forschungsfelder für Chinas Umweltwissenschaften und -technologien: den globalen Klimawandel und der zugehörige ökologische Prozess; die Fluss und Umweltqualität (der biologisch-geochemische Zusammenhang zwischen Land/ Fluss/ Küste); die Urbanisierung und Umweltqualität (Kontrolle und Beseitigung von Umweltverschmutzung) und die Biodiversität und die Wiederherstellung des geschädigten Ökosystems durch biologische Vielfalt. Die Roadmap 2050 zu Chinas nachwachsenden Rohstoffen (Biomasse) konzentriert sich in Abgrenzung zu den Roadmaps „Gesundheitswesen“ und „Moderne Landwirtschaft“ auf die Aspekte Mechanismen der Photosynthese; Energie aus Biomasse; Nutzung und Anwendung mikrobieller Ressourcen; Innovationssystem für die strategische Nutzung biologischer

	<p>Ressourcen; Gene und Genomressourcen; Biomimetische und bioinspirierte Wissenschaft & Technologie</p> <p>Die Roadmap 2050 für Chinas Wasserwirtschaft setzt die zukünftigen Schwerpunkte in den Bereichen: Wasserressourcen; Wasserumwelt; Wasserökologie; Flutkatastrophen; und Wassermanagement.</p> <p>Die Roadmap 2050 zu den Bodenschätzen Chinas erwartet bis 2050 eine Ausschöpfungsgrad der Bodenschätze von 80% und ein Verhältnis von alternativen Ressourcen zum Gesamtverbrauch an Bodenschätzen von zwischen 40% und 80%.</p>
Verteidigung und Sicherheit	Konkrete Aussagen zur zukünftigen Ausgestaltung dieses Technologiefeldes werden im Rahmen von dezidierten Roadmaps nicht gemacht.
Dienstleistungen	Dieser Bereich wird in den Chinesischen Roadmaps 2050 nicht behandelt.

5.1.2 Frankreich („Technologies-Clés 2015“)

Tabelle 5.4: Themenprofil der Studie „Technologies-Clés 2015“ aus Frankreich.

Technologiefeld	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
Transport und Verkehr, Logistik	Allgemeine Trends im Transportbereich: Zunehmende Nutzung von Materialien und Montagetechnologien zur Gewichtsreduzierung; Optimierung von Verbrennungsmotoren und Treibstoffen; Elektrifizierung der Transportmittel; Zunehmende Durchdringung des Transport- und Logistikbereichs durch IuK-Technologien; Zunehmende Bedeutung von Systemengineering und komplexen Modellierungs- und Simulationsverfahren.
Luft- und Raumfahrt	Allgemeine Trends im Transportbereich (s. oben) Fortschritte bei den Strahltriebwerk-Technologien
Bauen und Wohnen	Essenzielle Bedeutung von Technologien zur Optimierung der Energieeffizienz und für einen schonenderen Umsatz mit Ressourcen – sowohl während des Bauprozesses selbst als auch bei der späteren Gebäudenutzung: Energieeffiziente und smarte Gebäudehüllsysteme; Fertigbausysteme; Biomaterialien und Bioverbundwerkstoffe sowie Recycling-Materialien; Gebäudedatenmodellierung; Intelligente Zähler-Systeme, insbesondere Stromzähler; Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien in Gebäuden und gebäudeübergreifende Energiemanagementsysteme.
Meerestechnik und Schifffahrt	Allgemeine Trends im Transportbereich (s. oben) Industrielle Gewinnung von Strom aus Wellen-, Gezeiten- und Strömungsenergie innerhalb von 5 Jahren möglich
Energie	Kurz- bis mittelfristig: eher Verbesserungen bestehender Energietechnologien als neue technologische Durchbrüche: Erneuerbare Energien, vor allem: Biomasse als Wärmequelle; Biokraftstoffe der 2. Generation und – langfristig – der 3. Generation; Umwandlung der Sonnenenergie in thermische Energie und Photovoltaik (insbesondere im Baubereich). Energie aus fossilen Rohstoffen: Effizienzoptimierung bei der Ölförderung und Raffinationstechniken sowie Nutzung nicht-konventioneller Ressourcen bei Öl- und Gasförderung; Zunehmende Nutzung von CO ₂ -Abscheidungs-, -Speicherungs- und -Verwertungsverfahren. Kernenergie: Inbetriebsetzung von Kraftwerken der 3. Generation in den nächsten Jahren; Kraftwerke der 4. Generation könnten einen technologischen Umbruch darstellen und erscheinen langfristig vorstellbar (ca. 2040). Wasserstoff als Energiequelle: Gewinnung, im industriellen Maßstab, von Wasserstoff aus der Elektrolyse von Wasser oder auf thermochemischem Wege in Zukunft möglich; Einsatz bei der Verbrennung in Motoren und Triebwerken sowie in Brennstoffzellen.

	<p>Strominfrastrukturen: Monitoring in Echtzeit von Stromnachfrage und -angebot; Technologien zur Stromspeicherung zwecks Bildung von Stromreserven (z. B. für Spitzenzeiten); Technologien zur Optimierung des Verbrauchs; Dezentrale Stromproduktion und -speicherung.</p>
Nano- und Mikrosystem-technologie	<p>Nanotechnologien als <i>transversale</i> Schlüsseltechnologien: wichtige technologische Durchbrüche dank Konvergenz mit zahlreichen anderen Disziplinen (Materialtechnik, Biotechnologien, IuK-Technologien, etc.).</p> <p>Nanomaterialien: Steigende Bedeutung von Graphen aufgrund seiner Leitfähigkeit; Zunehmende Bedeutung von bottom-up-Verfahren bei der Herstellung von Nanomaterialien; Mikroapparate, mikrostrukturierte Apparate und Mikroreaktoren: wachsende Rolle in der chemischen Verfahrenstechnik.</p> <p>Sensoren und Sensornetzwerke: Zunehmende Miniaturisierung; Zunehmender Einzug von IuK.</p> <p>Dünnschichttechniken.</p>
Materialtechnik	<p>Zunehmende Bedeutung und weitere Entwicklungen bei den funktionalen und smarten Materialien. Zunehmende Nutzung von Simulationsverfahren, u. a. molekularer Simulation, bei der Entwicklung neuer Materialien, der Untersuchung von Materialeigenschaften sowie bei der Lösung der Frage des Recycling / Wiederverwertung von Materialien am Ende des Produktlebenszyklus. Fortschritte auf dem Gebiet der Methoden zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung.</p>
Produktions- und Prozesstechnik	<p>Technologien zur Effizienzsteigerung bzw. Reduzierung des Ressourcenverbrauchs:</p> <p>Mikroapparate und mikrostrukturierte Apparate sowie Mikroreaktoren insbesondere für die chemische Industrie sowie für Raffinationsverfahren; Katalyseverfahren; Membrantechniken; Effizientere bzw. neue Verfahren der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung; Technologien zur Optimierung der Gestaltung des Produktlebenszyklus (Kunden zunehmend an Gesamtlösungen statt reinen Produkten interessiert); Systemengineering, Modellierungs- und Simulationsverfahren; Rapid Prototyping; Progressive Intelligent Manufacturing; Umweltfreundliches Produzieren; Lean Manufacturing / Management.</p>
Optische Technologien	<p>Besonderes Marktpotenzial für die Anwendung der Photonik bei bildgebenden Verfahren in der Medizin, für Photovoltaik-Anwendungen und für smarte Beleuchtungssysteme sowie bei „green photonics“.</p> <p>Photovoltaik: Solarzellen der 3. Generation als eine wichtige Wachstumschance für die französische Photovoltaik-Industrie – Herstellung und Produktionsreife von organischen Solarzellen bis 2015 möglich.</p>
Informations- und Kommunikationstechnologien	<p>Kurz- bis mittelfristig (Zeithorizont 2015-2020):</p> <p>Steigerung der Leistung bei elektronischen Komponenten könnte zu neuen technologischen Anwendungen führen.</p>

	<p>Zunehmende Digitalisierung von Informationen und Daten und – in Verbindung dem Internet sowie mobilen und drahtlosen IuK-Technologien – möglicher Zugang jederzeit und überall zu Information, Daten, Anwendungen und Dienstleistungen.</p> <p>Zahlreiche intuitive Lösungen, um IuK-Anwendungen nutzen zu können, z. B. für Mensch-Maschine-Schnittstelle.</p> <p>Cloud Computing aus Kosten- und Kapazitätsgründen sowie dank immer einfacherer Nutzung für immer mehr Unternehmen wichtig.</p> <p>Cloud Computing als möglicher wichtiger Wettbewerbsfaktor, z. B. in Zusammenhang mit der Entwicklung neuer Dienstleistungen (z. B. <i>Software as a Service</i>).</p> <p>Langfristig: <i>Internet der Dinge</i> ab 2020 wahrscheinlich; Konvergenz IuK / lebende Organismen / Robotik: <i>Kybernetik-Ära</i>.</p>
Elektronik	<p>Immer leistungsstärkere Komponenten dank Innovationen in Mikro- und Nanotechnologien. Zunehmende Bedeutung der Leistungselektronik. Mechatronik als enabling technology für alle intelligenten Fahrzeugsteuerungssysteme im Straßen-, Schienen- und Flugverkehr.</p>
Biotechnologie und Life Sciences	<p>Zunehmende Bedeutung der Omik-Technologien.</p> <p>Entwicklung neuer Gewebeimplantate und Therapien für die verschiedensten Krankheiten in Folge von Fortschritten bei Zell- und Gewebetechnik.</p> <p>Weiterentwicklung der Verfahren zur Optimierung des Immunsystems</p> <p>Zunahme der Biotechnologie in Landwirtschaft und Viehzucht, u. a.: Züchtung von dürreresistenten Pflanzen; biologische Düngemittel.</p> <p>Synthetische Biologie insbesondere für Gesundheitsanwendungen sowie die Herstellung von Biokraftstoffen wichtig.</p> <p>Zunehmende Bedeutung der weißen Biotechnologie – neue Anwendungsbereiche in Textil-, Papier-, Parfümindustrie sowie in der Erzverarbeitung.</p> <p>Neue biologische Düngemittel dank Techniken zur Steuerung mikrobieller Ökosysteme.</p> <p>Neue Techniken zur Schnelldiagnostik dank Fortschritte in Membrantechniken, Mikrofluidik, Molekularbiologie.</p> <p>Zunehmende Konvergenz mit IuK, Nano- und Mikrosystemtechnologien.</p>
Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung	<p>Weitere Durchdringung des Gesundheitsbereichs durch Biotechnologien, IuK-Technologien, Nano- und Mikrosystemtechnologien sowie Materialtechnologien.</p> <p>e-Health und Telemedizin als wachsender Markt.</p> <p>Effizientere Diagnose- und Therapiemöglichkeiten dank Omik-Technologien.</p> <p>Personalisierte Medizin zunehmend möglich.</p> <p>Regenerative Medizin und Bioimplantate.</p> <p>Bessere Überprüfung und Rückverfolgung von Le-</p>

	bensmitteln dank IuK, Sensorik und Schnelldiagnostik / Bessere Analyse- und Konservierungsmethoden.
Nachhaltigkeit und Umwelt	<p>2 wesentliche Trends: Zunehmende Nutzung von Sensoren und Sensornetzwerken im Umweltschutzbereich; Aufschwung von Umweltechnologien für einen schonenden Umgang mit Ressourcen.</p> <p>Wassernutzung: energiearme Entsalzungstechnologien; smarte Systeme zur nachhaltigen Nutzung von Wasser; Wasseraufbereitungstechnologien; Sensoren-Systeme zur Messung der Wasserqualität.</p> <p>Luftaufbereitung: u. a. Verbesserung von Photokatalyse-Verfahren; Senkung der Kosten der Verfahren.</p> <p>Sanierung von Böden: In-Situ-Sanierungsverfahren; Sedimenten-Abtragung und –Aufbereitung.</p> <p>Abfallentsorgung und -aufbereitung: Technologien zur automatisierten Abfalltrennung; Technologien zum Recycling und zur Aufbereitung seltener Materialien; Technologien zur Aufbereitung organischer Abfälle.</p>
Verteidigung und Sicherheit	Sicherheit von IuK-Systemen und -Anwendungen; Komplexe Verwaltung von User-Identitäten / semantische Techniken
Dienstleistungen	<p>3 wichtige Trends:</p> <p>Veränderung der Mechanismen der Dienstleistungserbringung sowie neue Dienstleistungskonzepte aufgrund der zunehmenden Durchdringung durch IuK-Technologien.</p> <p>Zunehmende Hybridisierung der Produktion.</p> <p>Zunehmende Bedeutung von Dienstleistungen zur ganzheitlichen Betrachtung des Lebenszyklus von Produkten und Dienstleistungen.</p>

5.1.3 Japan („9. Wissenschafts- und Technikprognose“)

Tabelle 5.5: Themenprofil der „9. Wissenschafts- und Technikprognose“ aus Japan.

Technologiefeld	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
Transport und Verkehr, Logistik	Pendeln, Verkehrssystem. Handlungsfelder: Implementierung eines benutzerfreundlichen Verkehrssystems, verdichten von Siedlungsgebieten zur Förderung eines optimierten Zusammenspiels von öffentlichen Verkehrsnetzen und Carsharing mit Elektroautos.
Luft- und Raumfahrt	Verständnis der Dynamik von Weltraum, Erde und Leben sowie Wissenschaft und Technik zur Erweiterung des menschlichen Aktionsradius (Panel 5)
Bauen und Wohnen	–
Meerestechnik und Schifffahrt	Weltraum- und Meeresbewirtschaftungstechnologie (einschließlich Beobachtung): Technologien für die gewerbliche Nutzung von Meeresenergien wie Wind, Wellen und Gezeiten. Technologien für die gewerbliche Gewinnung von Meeresbodenressourcen wie hydrothermale Ablagerungen. Etablierung von Technologien zur Lösung von CO ₂ in Wasser oder Fixierung von CO ₂ unter dem Meeresboden.
Energie	Förderung innovativer Energietechnologien (Panel 6) Atomenergie: Kreislauftechnologie des Schnellen Brütens; Geologische Lagertechnik für hochradioaktive Abfälle; Standardtechnologien für Leichtwasserreaktoren der nächsten Generation, keinerlei Ansiedlungsbeschränkungen dank erdbebensicherer Technik. Erneuerbare Energien: Große Dünnschichtsolarzelle mit einem Wirkungsgrad von mindestens 20 %; Neue Werkstofftechnologien für Solarzellen mit höherem Wirkungsgrad; Konzentrierte Solarenergie (Sonnentürme, Parabolzylinder, chemische Solarwärmesysteme etc.). Nutzung nichtfossiler Energien. Effektive Umwandlung/ Nutzung von Energie. Handlungsfelder: Implementierung eines kommunalen Managements für den regionalen Energie- und Ressourceneinsatz. Verbesserung der Führungskompetenzen und die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Sektoren. Fortführung der institutionellen Förderung (z. B. Subventionssystem) von Produktion, Nutzung und breiter Anwendung erneuerbarer Energien.
Nano- und Mikrosystem-technologie	Grundlagentechnologien, Basistechnologien, Grenztechnologien einschließlich Substanzen, Materialien, Nanosystemen, Verarbeitung, Messung etc. (Panel 9) Biotechnologie und Nanotechnologie im Dienste der Menschheit (Panel 3)
Materialtechnik	–
Produktions- und Prozesstechnik	–

Optische Technologien	–
Informations- und Kommunikationstechnologien	<p>Informationstechnologie einschließlich Medien und Inhalten (Panel 2): Mit einem System zur Vorhersage von Bedingungen für das globale Wetter, für Meere, Umwelt, Ökosysteme, Epidemien, Wirtschaft und menschliche Aktivitäten durch eine umfassende Simulation aufgrund von Echtzeitdaten können unbekannte globale Krisen bewältigt werden. System für grüne IKT-Dienste, das die für die Übertragung und Speicherung von Informationen erforderliche Energie auf ein Millionstel des 2010 anfallenden Verbrauchs reduziert (auf den Umfang der verarbeiteten Informationen bezogen).</p> <p>Handlungsfelder: Vergesellschaftung von Informationen (Panel 2): Schaffung neuer IKT-Inhalte, wie elektronischer klinischer Akten, Rückverfolgbarkeit gewerblicher Güter, elektronischer Lehrbücher, E-Learning (für Schule, Hochschule und lebenslanges Lernen) und E-Museen (einschließlich E-Theater). Verstärkter Einsatz von IuK im täglichen Leben, beispielsweise Gesundheitsberatung via Internet oder ferngesteuerte Pflegeleistungen. Verstärkter Einsatz von Robotern zur Unterstützung älterer Personen und Verrichtung gefährlicher Arbeiten</p>
Elektronik	<p>Einsatz von Elektronik, Kommunikation und Nanotechnologie in einer allgegenwärtigen Gesellschaft (Panel 1): Solarzellen mit einem elektrischen Wirkungsgrad von mindestens 60 %; Intelligente Netztechnologien, mit denen sich der Stromwirkungsgrad verbessern und der gesamte japanische Energiebedarf um 20 % verringern lässt; langlebige und zuverlässige Batterietechnik mit hoher Energiedichte für Elektrofahrzeuge, mit der diese über die gleiche Gesamtreichweite pro Ladevorgang wie benzingetriebene Fahrzeuge verfügen.</p> <p>Handlungsfelder: Fortgeschrittene Nutzung von Energienetzen (das intelligente Netz und andere). Senkung des Energieverbrauchs von Datenzentren, deren Strombedarf künftig schnell ansteigen dürfte. Senkung des Strombedarfs von Fabriken und Haushalten durch die effiziente Nutzung der Informationen, die das intelligente Netz liefert. Technische Entwicklungen für die effiziente Sammlung, Übertragung und Verringerung von Daten sowie die dafür notwendige institutionelle Ausgestaltung. Aufbau von Informationsnetzen, die Platz für neue Technologien bieten, beispielsweise die Ipv6-Kommunikation.</p>
Biotechnologie und Life Sciences	<p>Biotechnologie und Nanotechnologie im Dienste der Menschheit (Panel 3).</p> <p>Handlungsfelder: Implementierung einer offenen Datenbank für die Förderung von Genom-Kohortenstudien, mit deren Hilfe Forscher verschiedener Gebiete ein forschungsfreundliches Umfeld vorfinden. Bereitstellung einer Datenbank mit klinischen Akten für die uneingeschränkte Verwendung für das Data-Mining in Texten, unter strengem Schutz personenbezogener Daten. Förderung der interdisziplinären Forschung (auch außerhalb der</p>

	Medizin) mit unbeschränktem Zugang zu land-, forst- und fischereiwirtschaftlichen Datenbanken.
Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung	<p>Medizintechnik für eine gesunde Lebensweise der nationalen Bevölkerung mithilfe von IT etc. (Panel 4)</p> <p>Handlungsfelder: Medizin: Entwicklung prognostischer und präventiver Medizintechnologien, mit denen Krankheiten unter Kontrolle gebracht werden sollen sowie fortschrittliche Diagnose- und Behandlungstechniken für deren Heilung. Aufbau eines personalisierten Gesundheitsmanagement- und Versorgungssystems. Schaffung eines ethischen Bewusstseins bei den Wissenschaftlern und dem Personal aus dem medizinischen Bereich sowie in der breiten Öffentlichkeit, Erzielung eines nationalen Konsens über moderne medizinische Verfahren (z. B. die regenerative Medizin) und Verbesserung des Kenntnisstands der Bevölkerung bezüglich Gesundheitsinformationen.</p> <p>Handlungsfelder: Ernährung: Förderung der so genannten sechsten Industrialisierung: Integration der Primär-, Sekundär- und Tertiärsektoren in einem einheitlichen System und Aufbau neuer Geschäfts- und Produktionsfelder, die neuen Mehrwert in der Nahrungsmittelindustrie schaffen. Entwicklung von Robotertechnik sowie verbesserte Genom- und Postgenomforschung an Nutzpflanzen und Nutzvieh.</p> <p>Sensibilisierung im Management aufgrund von Agrarökonomie und Wirtschaftswissenschaften. Technische Entwicklungen zur Steigerung der Produktion je landwirtschaftlicher Nutzflächeneinheit: Mikrofarmen und Pflanzenfabriken. Forschungsförderung für Simulationstechnologien zur umfassenden Verbesserung der Bedingungen für Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft; die Forschungsgebiete reichen von der Umweltbeobachtung über die Wettervorhersage bis hin zu Logistik und Lieferung. Einführung von IKT unterstützten Hightech-Lösungen für die Rückverfolgbarkeit zur Gewährleistung sicherer Nahrungsmittelprodukte. Entwicklung innovativer Biomolekular-Technologien und Methoden zur Bewertung der Sicherheit.</p>
Nachhaltigkeit und Umwelt	<p>Notwendige Ressourcen einschließlich Wasser, Nahrungsmitteln, Mineralien (Panel 7). Technologien für den Umweltschutz und Schaffung einer nachhaltigen Gesellschaft (Panel 8). Energie, Ressourcen und Umwelt (Panel 10). Herstellungstechniken zur umfassenden Unterstützung von Industrie, Gesellschaft sowie Wissenschaft und Technik (Panel 10). Ein Recycling-Produktionssystem, das die Prozesse „Ressourcenzufuhr/Konstruktion und Produktion/Nutzung/Entsorgung und Sammlung/Trennung /Ressourcenrecycling“ vereinheitlicht. Effiziente Anwendungstechniken für zeitweise erzeugte ungenutzte Wärmeenergie. Umfassende, objektive Bewertungsindizes anstelle von CO₂ als Indikator für die Umweltbelastung durch Energie und Ressourcenverbrauch, Produktionsprozesse (Fabriken) und Produkte sowie Bewertungstechniken für diese Indizes.</p> <p>Handlungsfelder: Etablierung eines interregionalen</p>

	Handelssysteme mit festen Emissionsobergrenzen.
Verteidigung und Sicherheit	Krisenmanagement, Katastrophenschutz, Sicherheit im Leben. Politikaufgaben: Studie über ungenutzte wissenschaftlich-technische Anwendungen zur Verhütung von Verbrechen, beispielsweise biometrische Verfahren und Messnetze, sowie die Anwendung von IKT-Infrastruktur. Neben den wissenschaftlichen und technischen Aspekten sind auch kriminalistische Positionen aus soziologischer und geisteswissenschaftlicher Sicht zu untersuchen.
Dienstleistungen	Entwicklung der Humanressourcen, Mobilität, Diversifizierung; Interkulturelle Programme zur Weiterbildung von Lehrkräften; Bildungssystem zur Schulung und ständigen Weiterbildung von Ingenieuren; Global vernetztes Managementsystem für Humanressourcen

5.1.4 UK („Technology and Innovation Futures: UK Growth Opportunities for the 2020s“)

Tabelle 5.6: Themenprofil der UK- Studie “Technology and Innovation Futures: UK Growth Opportunities for the 2020s”.

Technologiefeld	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
Transport und Verkehr, Logistik	Entwicklung emissionsarmer Fahrzeuge. Zunehmende Durchdringung des Verkehrs- und Transportbereichs durch IuK-Technologien. Förderung eines ressourcenschonenden Fahrverhaltens.
Luft- und Raumfahrt	Neue Kompositmaterialien zur Senkung des Gesamtgewichts von Flugzeugen / selbstreparierende Materialien.
Bauen und Wohnen	Methoden zur Ermittlung der anfallenden CO ₂ -Emissionen über den gesamten Lebenszyklus eines Bauprojektes. Neue Materialien zur Reduzierung der CO ₂ -Emissionen. Zunehmende Nutzung von Faserverbundwerkstoffen
Meerestechnik und Schifffahrt	–
Energie	<p>Wachsender Anteil an erneuerbaren Energien im Gesamtenergiemix: insbesondere Biomasse. Eventuell besonderes Potenzial für UK bei Offshore-Windenergie sowie der Stromerzeugung aus dem Meer.</p> <p>Umstellung auf intelligente Stromnetze (smart grids): Technologien zur Stromspeicherung; Echtzeit-Monitoring von Stromnachfrage und -angebot; Leistungselektronik für Energieübertragung und Anschluss dezentraler Stromerzeugungsanlagen an das nationale Stromnetz.</p> <p>Neuartige bzw. optimierte Batterietechnologien. Kleinformatige Stromerzeugungsanlagen. Energiegewinnung aus Wasserstoff. Potenzial der Kernenergie, insbesondere Reaktoren der 3. Generation sowie kleine Kernreaktoren.</p>
Nano- und Mikrosystemtechnologie	Sensorik – Trend zur weiteren Miniaturisierung und Konvergenz mit IuK-Technologien. Entwicklung bionischer Sensoren. Zunehmender Einzug von Nanotechnologien und -materialien in Alltagsanwendungen.
Materialtechnik	Weitere Entwicklung von smarten Materialien. Bioinspirierte Materialien. Metamaterialien.
Produktions- und Prozesstechnik	Simulation und Modellierung sind Schlüsseltechnologien. „Active Packaging“. 3D-Drucker: Individualisierte Produktion bis hin zum Hausgebrauch. Steigende Bedeutung der Produktion „On demand“. Steigende Bedeutung von Human-centred design.
Optische Technologien	Bedeutung von „green photonics“ steigt. Steigende Konvergenz mit Elektronik. Insbesondere steigende Nachfrage nach Flachbildschirmen, optischen Komponenten (Photovoltaik-Zellen und LEDs), organischen Festkörperlichtquellen und lichtemittierenden Polymeren.

Informations- und Kommunikationstechnologien	Supercomputing für jedermann, Grid- bzw. Cloud-Computing. Netzwerke der nächsten Generation Intelligente Sensornetzwerke, ubiquitäres Computing bis hin zum vorausschauenden, kontextsensitiven Computing. Data-Mining, Suchmaschinentechnologien, Simulations- und Modellierungsverfahren sowie neue Möglichkeiten der Entscheidungsfindung. Daten- und Kommunikationssicherheit. Mensch-Maschine-Interaktion. Schwarmrobotik
Elektronik	Kunststoffelektronik. Silizium-basierte Elektronik vs Quantencomputer und DNA-Computing.
Biotechnologie und Life Sciences	Lab-on-a-Chip-Methoden. Zunehmende Bedeutung der Omik-Forschung. Stammzellforschung und „tissue engineering“. Synthetische Biologie. Weiße Biotechnologie. Biotechnologie in der Landwirtschaft
Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung	Bessere Diagnose- und Behandlungsmöglichkeiten durch leistungs-stärkere Bio- bzw. bioinspirierte Sensorik. Personalisierte Medizin dank Fortschritte bei Genetik und Molekularbiologie. Regenerative Medizin. Optimierung von Diagnose und Therapie dank bildgebender Verfahren. Neue Behandlungsansätze dank Fortschritte in den Neurowissenschaften. Selbstoptimierung bzw. Human Performance Enhancement. Steigende Bedeutung von e-Health. Zunehmender Einzug der Robotik in den Pflegebereich. Verbreitung von Active-Packaging-Konzepten im Gesundheitswesen.
Nachhaltigkeit und Umwelt	Steigende Bedeutung von Bedeutung von Recycling-Technologien. Nanotechnologien ermöglichen neue Sanierungs- und Aufbereitungsverfahren. Herstellung von Ersatzbrennstoffen aus Abfällen.
Verteidigung und Sicherheit	Zunehmende Nachfrage nach biometrischen Verfahren. Verstärkter Einsatz von Robotern bei Verteidigungs- und Sicherheitsanwendungen.
Dienstleistungen	Zunehmende Bedeutung von Service-Robotik Dienstleistungen zunehmend „on demand“

5.1.5 USA (Berichte des „President's Council of Advisors on Science and Technology“)

Tabelle 5.7: Themenprofil der Berichte des „President's Council of Advisors on Science and Technology“ aus den USA.

Technologiefeld	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
Transport und Verkehr, Logistik	Trend zu intelligenten Verkehrsnetzen. Effizienzsteigerungen in der Logistik
Luft- und Raumfahrt	–
Bauen und Wohnen	–
Meerestechnik und Schifffahrt	–
Energie	Zunehmende Bedeutung emissionsarmer Energiequellen. Zunehmender Einsatz nanotechnologischer Verfahren bei der Nutzung von Solarenergie. Trend zu intelligenten Energieinfrastrukturen
Nano- und Mikrosystem-technologie	Intelligente Sensorik und fortgeschrittene Steuerungssysteme in fast allen Industriebereichen. Zunehmende Bedeutung von Nanomaterialien. Steigende Bedeutung der Mikrostrukturierung. Durchbrüche bei Verfahren zur Herstellung von Nanomaterialien und nanobasierten Produkten.
Materialtechnik	Innovative Materialien als <i>enabling technology</i> für viele Bereiche .
Produktions- und Prozesstechnik	Zunehmender Einzug von IuK-Technologien. Technologien zur nachhaltigen Produktion. Zunehmende Erstellung personalisierter Produkte dank der Nutzung von 3D-Druckverfahren. Zunehmende Automatisierung und industrielle Robotik. Traditionelle Verfahrenstechniken wie Form-, Zerspan- oder Schweiß-techniken weiterhin wichtig.
Optische Technologien	Steigender Einzug von Nanomaterialien und -technologien in optische Technologien.
Informations- und Kommunikationstechnologien	Auswirkungen ubiquitärer IuK-Technologien auf menschliche Verhaltens- und Interaktionsmuster. <i>Internet der Dinge</i> und Verwischung der Grenzen zwischen realer und virtueller Welt. Management und Verarbeitung großer Mengen an Daten. Skalierbare Systeme und Vernetzung. Softwareentwicklung. Hochleistungsrechnen.
Elektronik	Zunehmende Miniaturisierung dank Nanomaterialien und -technologien. Hohes Potenzial für Graphen. Flexible Elektronik.
Biotechnologie und Life Sciences	Biotechnologien als Schlüsseltechnologien mit wichtigen Anwendungsmöglichkeiten insbesondere im Gesundheits- und Ernährungsbereich sowie der Produktion.
Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung	Zunehmende Durchdringung durch IuK-Technologien: Cloud-basierte IuK-Technologien. Elektronische Gesundheitsakten. „Middleware“ für die Datenaggregation. Nutzung von Metadaten zur Unterstützung eines universellen Datenaustauschs. Data Element Access Services. Zunehmende ubiqui-

	täre IuK- und Sensorik-Anwendungen, ggf. in Verbindung mit Robotik, führen zu zahlreichen neuen Gesundheits- und Pflegedienstleistungen.
Nachhaltigkeit und Umwelt	Kein eigenständiger Untersuchungsbereich – allerdings zahlreiche Bezüge in anderen Bereichen, bspw. im Zusammenhang mit ubiquitären IuK- und Sensornetzen, die bei der Erfassung von Umweltdaten für den Umweltschutz eine Rolle spielen können, oder im Zusammenhang mit nachhaltigen Produktions- und Prozesstechniken.
Verteidigung und Sicherheit	Computer- und Netzwerksicherheit
Dienstleistungen	–

5.1.6 EU („Key Enabling Technologies (KET) - Schlüsseltechnologien“)

Tabelle 5.8: Themenprofil der Studien „Key Enabling Technologies (KET) – Schlüsseltechnologien“ der EU-Kommission.

Technologiefeld	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
Transport und Verkehr, Logistik	Nachhaltiger Transport: intelligente Elektroautos, kooperatives Verkehrsmanagement, digitalbasierte, intelligente Autos, verbesserte Effizienz der öffentlichen Verkehrsversorgung durch Einsatz von IuK (KET Mikro- und Nanoelektronik). Intelligente Fahrerassistenzsysteme und Nachtsichtsysteme: Photonik verbessert die Sicherheit für alle Straßenbenutzer. Fahrerassistenzsysteme in Autos beruhen auf photonischen Sensoren, die helfen, Fahrfehler zu vermeiden. Wenn wir diese photonischen Technologien weiter entwickeln, werden unsere Straßen in Zukunft noch sicherer. (KET Photonik behandelt)
Luft- und Raumfahrt	Halbleiter für alle Arten von Produkten und Dienstleistungen, die intelligente Kontrollsysteme brauchen (insbesondere in den Bereichen Automobile, Transport, Luft- und Raumfahrt) (KET Mikro- und Nanoelektronik).
Bauen und Wohnen	– Siehe jedoch Europäische Technologieplattform ECTP.
Meerestechnik und Schifffahrt	–
Energie	Energiesicherheit und -effizienz: nachhaltige, saubere und effiziente Energieerzeugung; Einsatz eines technologiefähigen, intelligenten Stromnetzes und intelligenter Verbrauchsmessung für ein effizienteres Energiemanagement zuhause. Mikroelektronische Geräte, wie <i>grüne Elektronik</i> , Niedrigstromgeräte, Leistungsregler, Steuerungsmikroprozessoren und Kommunikationsgeräte liefern Schlüssellösungen für Automatisierungs-, Überwachungs- und Steuerungsaufgaben und beschleunigen die Integration und Synergie zwischen erneuerbaren Energiequellen und Versorgungsunternehmen. Halbleiter werden der Gesellschaft ermöglichen, alternative Energiequellen effizienter zu nutzen, Energie effizienter zu verteilen und sie auf effizienteste und benutzerfreundliche Art und Weise zu verbrauchen – sie sind ein entscheidender Teil des Smart-Grid-Programms, das viele Länder in Europa auf den Weg bringen. (KET Mikro- und Nanoelektronik) Siehe auch Europäische Technologieplattformen EBTP, SNE-TP, TPWind.
Nano- und Mikrosystemtechnologie	Entwicklung von intelligenten Nano- und Mikrosystemen. Weitere Anwendungsmöglichkeiten in den Bereichen Gesundheit, Umwelt und Energie. (KET Nanotechnologie)

Materialtechnik	<p>Herstellung immer leichter Materialien, die den Ausstoß vom Kohlendioxid mindern und die natürlichen Ressourcen schonen: langfristig: alternative Werkstoffe entwickeln; mittelfristig: Design-for-Recycling, also recyclingorientierte Gestaltung; kurzfristig: Zugang erleichtern, Recycling verstärken und Recycling-Technologien entwickeln. (KET Materialwissenschaften).</p> <p>Siehe auch Europäische Technologieplattform ESTEP.</p>
Produktions- und Prozesstechnik	<p>Querschnittsthema, das alle anderen Bereiche tangiert: Aufrechterhaltung solider Produktionsstandorte in Europa; Fokus auf Lösung der historischen Schwachstellen Europas (Tal des Todes); Sicherstellung eines Betätigungsfeldes auf globaler Ebene (KET Fortschrittliche Fertigungssysteme).</p>
Optische Technologien	<p>Hin zur nachhaltigen Wirtschaft – <i>Grüne</i> Photonik für eine nachhaltige Fertigung, die alternde Gesellschaft & Gesundheitswesen und die Wissensgesellschaft (KET Photonik).</p>
Informations- und Kommunikationstechnologien	–
Elektronik	<p>Halbleiter, die für alle Arten von Produkten und Dienstleistungen benötigt werden, die intelligente Kontrollsysteme brauchen (insbesondere in den Bereichen Automobile, Transport, Luft- und Raumfahrt). Förderung und konsequenten Weiterentwicklung folgender Bereiche Ausbildung; Cluster, FuE und Prototyping; Fertigung; Vorschriften und Regularien (KET Mikro- und Nanoelektronik).</p>
Biotechnologie und Life Sciences	<p>Sauberere und nachhaltigere Prozessalternativen für die Industrie und den Sektor der agrarischen Lebensmittel (KET Biotechnologie).</p>
Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung	<p>Gesundheitswesen und Nanomedizin: Optimierte Rezeptur und Wirkstoffabgabe, intelligente Systeme zur Wirkstoffabgabe (gezielte Wirkstoffabgabe und kontrollierte Freisetzung); In-vivo-Bildgebung mit verbesserter Auflösung und Leistung sowie Früherkennung von biologischen Krankheitsmarkern durch Nanobiosensoren und Lab-on-Chip-Systemen; Regenerative Medizin, dazu gehören bioresorbierbare Trägermaterialien zur Geweberegeneration. Moderne Therapien in der regenerativen Medizin umfassen den Einsatz von Stammzellen (embryonische, IPS, und/oder mesenchymale) (KET Nanotechnologie).</p>
Nachhaltigkeit und Umwelt	<p>–</p> <p>Siehe jedoch Europäische Technologieplattformen FTP, WSSTP, SMR.</p>
Verteidigung und Sicherheit	<p>Sicherheit und Schutz: Bislang ist der Rohstoffmangel noch kein allgemein ernstes Problem, aber das Risiko der Verknappung wächst. Europa muss den Zugang zu Rohstoffen sicherstellen. Es ist auch festzuhalten, dass Europa seine politische und wirtschaftliche Unabhängigkeit als eine wichtige strategische Ressource schützen und die Sicherheit der Halbleiterversorgung wahren sollte, indem es dafür sorgt,</p>

	<p>dass die zukunftsweisende Halbleiterproduktion innerhalb seiner Grenzen stark bleibt. (KET Mikro- und Nanoelektronik).</p> <p>Die Erkennung nicht erlaubter Waren an Flughäfen und internationalen Grenzen ist wichtiges Thema für die öffentliche Sicherheit. Innovative photonische Anwendungen könnten dazu beitragen, solche Inspektionen effizienter zu machen. Biometrische Technologien, die auch Photonik einsetzen, können die Sicherheit und den Schutz an internationalen Grenzen verstärken. (KET Photonik).</p>
Dienstleistungen	–

5.2 Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte

5.2.1 Transport und Verkehr, Logistik

Tabelle 5.9: Thematischer Vergleich: Transport und Verkehr, Logistik.

Studie aus:	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
China	–
Frankreich	Zunehmende Nutzung von Materialien und Montagetechnologien zur Gewichtsreduzierung. Optimierung von Verbrennungsmotoren und Treibstoffen. Elektrifizierung der Transportmittel. Zunehmende Durchdringung des Transport- und Logistikbereichs durch IuK-Technologien. Zunehmende Bedeutung von Systemengineering und komplexen Modellierungs- und Simulationsverfahren.
Japan	Pendeln, Verkehrssystem. Politikaufgaben: Implementierung eines benutzerfreundlichen Verkehrssystems, verdichten von Siedlungsgebieten zur Förderung eines optimierten Zusammenspiels von öffentlichen Verkehrsnetzen und Carsharing mit Elektroautos.
UK	Entwicklung emissionsarmer Fahrzeuge. Zunehmende Durchdringung des Verkehrs- und Transportbereichs durch IuK-Technologien. Förderung eines ressourcenschonenden Fahrverhaltens.
USA	Trend zu intelligenten Verkehrsnetzen. Effizienzsteigerungen in der Logistik.
EU	Nachhaltiger Transport; intelligente Elektroautos; kooperatives Verkehrsmanagement; digitalbasierte, intelligente Autos; verbesserte Effizienz der öffentlichen Verkehrsversorgung durch Einsatz von IKT.; Intelligente Fahrerassistenzsysteme und Nachtsichtsysteme auf Basis photonischer Sensoren, die helfen, Fahrfehler zu vermeiden.

Während in den untersuchten chinesischen Roadmaps der Bereich „Transport und Verkehr, Logistik“ keine Rolle spielt, machen alle weiteren hier analysierten Technologieprognosen Aussagen zu diesem Thema. Allerdings sind Schwerpunktsetzung und Detaillierungsgrad unterschiedlich.

Die französische sowie die britische Technologieprognose befassen sich eingehend mit dem Thema: in diesen beiden Studien werden zukünftige Transport- und Verkehrstechnologien vor dem Hintergrund ihres potenziellen Beitrags zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen, insbesondere zur Reduzierung von CO₂-Emissionen, untersucht. In diesem Zusammenhang werden in beiden Studien die gleichen technologischen Trends identifiziert, und zwar die Entwicklung emissionsarmer Fahrzeuge (durch Gewichts- und somit Kraftstoffverbrauchsreduzierung, Optimierung von Motoren und Treibstoffen bei traditionellen Fahrzeugen oder durch die zunehmende Elektrifizierung der Transportmittel) sowie die zunehmende Durchdringung des Transport- und Logistikbereichs durch moderne Informations- und Kommunikationstechnologien. Hier werden insbesondere Fahrerassistenzsysteme, der Trend zu intelligenten Verkehrsnetzen so-

wie Methoden der Modellierung, Simulation und Optimierung von Verkehrsrouten, Verkehrsaufkommen, Lagerbeständen und Lieferketten hervorgehoben.

Die meisten der oben geschilderten Trends aus der französischen und der britischen Studie finden ebenfalls in der japanischen, den US-amerikanischen sowie der EU-Studie zu Schlüsseltechnologien Erwähnung – wenn auch all diese Studien deutlich weniger detailliert auf das Thema eingehen.

Über die eben dargestellten und stark technologiebezogenen Trends hinaus unterstreicht die britische Studie die Wichtigkeit von Verhaltensänderungen in der Bevölkerung in Bezug auf das Thema Verkehr und Transport. Genannt wird die Förderung eines ressourcenschonenden Verhaltens – etwa durch die (Weiter-)Entwicklung von Carsharing-Angeboten. Ebenfalls in diese Richtung – Änderung des Fahrverhaltens zwecks Reduzierung der CO₂-Emissionen – gehen Aussagen aus der japanischen Technologieprognosen: technologische und sozio-ökonomische Entwicklungen werden hier eng verbunden, wenn von der Umwandlung eines Großteils der Büroarbeit in Telearbeit oder vom virtuellen Büro die Rede ist.

5.2.2 Luft- und Raumfahrt

Tabelle 5.10: Thematischer Vergleich: Luft- und Raumfahrt.

Studie aus:	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
China	Weltraumforschung; Weltraumanwendungen; Raumfahrttechnik.
Frankreich	Fortschritte bei den Strahltriebwerk-Technologien.
Japan	Verständnis der Dynamik von Weltraum, Erde und Leben sowie Wissenschaft und Technik zur Erweiterung des menschlichen Aktionsradius.
UK	Neue Kompositmaterialie zur Senkung des Gesamtgewichts von Flugzeugen / selbstreparierende Materialie.
USA	–
EU	Halbleiter, für intelligente Kontrollsysteme in den Bereichen Luft- und Raumfahrt.

Bis auf die US-amerikanischen Studien gehen alle hier analysierten Technologieprognosen auf das Thema „Luft- und Raumfahrt“ ein. Allerdings muss angemerkt werden, dass diesem Thema allgemein sehr wenig Platz eingeräumt wird. Die meisten der Aussagen werden lediglich in Zusammenhang mit identifizierten technologischen Trends aus anderen Bereichen gemacht: Dies ist beispielsweise der Fall, wenn in der französischen Studie allgemeine Trends für den Bereich Transport identifiziert werden, die auch für den spezifischen Bereich „Luft- und Raumfahrt“ gelten (beispielsweise Nutzung neuer Materialien zur Gewichtsreduzierung bzw. zunehmende Elektrifizierung). Dies ist ebenfalls der Fall, wenn der Bereich „Luft- und Raumfahrt“ als potenziell interessantes Anwendungsgebiet für technologische Neuerungen in der Materialtechnik (beispielsweise in der britischen Studie) oder in der Mikro- und Nanoelektronik (beispielsweise in der EU-Studie) dargestellt wird.

Trotz dieser Einschränkungen lassen sich einige spezifische Trends für den Bereich „Luft- und Raumfahrt“ finden, insbesondere in der chinesischen Roadmap zu Weltraumforschung und -technologie sowie – in geringerem Umfang – in der französischen und der japanischen Studie.

Über die Klärung rein wissenschaftlicher Fragen (astrophysikalische Aspekte) hinaus werden in der chinesischen Studie in Folge von Fortschritten in der Weltraumforschung etwa Durchbrüche auf den Gebieten des Umgangs mit der Verknappung von Energie und Ressourcen, der ökologischen Verschlechterung und schwerer Naturkatastrophen erwartet. Darüber hinaus werden für die Raumfahrttechnik Fortschritte bei Leicht- und Miniaturraumfahrzeugen und Nutzlasten prognostiziert, sowie beim Daueraufenthalt des Menschen im Weltraum.

Während die französische Studie mögliche Fortschritte bei den Antriebstechnologien hervorhebt, erscheinen in der japanischen Studie die Entwicklung in Japan von wettbewerbsfähigen Weltraumrüstungen bis

2017 als wahrscheinlich sowie das erste japanische bemannte Weltraumsystem bis 2024 als denkbar. Schließlich könnten laut der japanischen Studie technologische Umbrüche zur Lösung des Problems des Weltraummülls beitragen.

5.2.3 Bauen und Wohnen

Tabelle 5.11: Thematischer Vergleich: Bauen und Wohnen.

Studie aus:	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
China	–
Frankreich	Energieeffiziente und smarte Gebäudehüllsysteme; Fertigbausysteme; Biomaterialien und Bioverbundwerkstoffe sowie Recycling-Materialien; Gebäudedatenmodellierung; Intelligente Zähler-Systeme, insbesondere Stromzähler; Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien in Gebäuden und gebäudeübergreifende Energiemanagementsysteme.
Japan	–
UK	Methoden zur Ermittlung der anfallenden CO ₂ -Emissionen über den gesamten Lebenszyklus eines Bauprojektes; Neue Materialien zur Reduzierung der CO ₂ -Emissionen; Zunehmende Nutzung von Faserverbundwerkstoffen.
USA	–
EU	–

Dem Themenfeld „Bauen und Wohnen“ widmen sich lediglich zwei der untersuchten Technologieprognosen, und zwar diejenigen aus Frankreich und Großbritannien. Bei diesen beiden Studien wird das Thema allerdings eingehend untersucht und in beiden Fällen spielt die Tatsache eine wichtige Rolle, dass neue Technologien dazu beitragen können, den Ressourcenverbrauch sowie die CO₂-Emissionen im Bauwesen reduzieren zu können.

Zukunftspotenziale werden in diesem Zusammenhang bei den Technologien zur Optimierung der Energieeffizienz und für einen schonenderen Umsatz mit Ressourcen erkannt – und dies sowohl während des Bauprozesses selbst als auch bei der späteren Gebäudenutzung. Beispielsweise könnten laut der französischen Studie intelligente Zählersysteme zukünftig eine wichtige Rolle bei der Optimierung des Ressourcenverbrauchs in Gebäuden spielen.

Auch die zunehmende Nutzung von Faserverbundwerkstoffen und neuen Materialien zur Reduzierung der CO₂-Emissionen wird als wichtig angesehen.

5.2.4 Meerestechnik und Schifffahrt

Tabelle 5.12: Thematischer Vergleich: Meerestechnik und Schifffahrt.

Studie aus:	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
China	Bis 2050 das Niveau der Top-Drei der Welt der Meereswissenschaft und -technik erreichen; das integrierte System zur Überwachung der dynamischen Küstenumwelt und -ökologie, das globale System zur Überwachung der Weltmeere und das numerische Prognosesystem aufbauen; die grüne Weiterentwicklung der marinen Bioindustrie durch Gennutzungstechnologie vollständig integrieren; Gerätesysteme für die großtechnische Exploitation der Tiefseeressourcen entwickeln; China als Seemacht dauerhaft und effizient unterstützen.
Frankreich	Allgemeine Trends im Transportbereich (s. oben); Erzeugung von Strom aus dem Meer: industrielle Gewinnung von Strom aus Wellen-, Gezeiten- und Strömungsenergie innerhalb von 5 Jahren möglich.
Japan	Weltraum- und Meeresbewirtschaftungstechnologie (einschließlich Beobachtung): Technologien für die gewerbliche Nutzung von Meeresenergien wie Wind, Wellen und Gezeiten; Technologien für die gewerbliche Gewinnung von Meeresbodenressourcen wie hydrothermale Ablagerungen; Etablierung von Technologien zur Lösung von CO ₂ in Wasser oder Fixierung von CO ₂ unter dem Meeresboden.
UK	–
USA	–
EU	–

Mit dem Themenfeld „Meerestechnik und Schifffahrt“ befassen sich die Technologieprognosen aus China, Frankreich und Japan. Dabei steht die potenzielle Gewinnung im industriellen Maßstab – und dank moderner Technologien – von Meeresbodenressourcen und Energie im Vordergrund. Die Gewinnung von Strom aus Wellen-, Gezeiten und Strömungsenergie wird sowohl in der französischen Studie empfohlen als auch im Rahmen der japanischen Delphi-Studie als wichtig identifiziert.

Darüber hinaus wird in der japanischen Studie die Möglichkeit der Fixierung von Kohlendioxid unter dem Meeresboden als vielversprechend dargestellt. Schließlich wird laut der chinesischen Roadmap zur Meereswissenschaft und -technologie der grünen Weiterentwicklung der marinen Bioindustrie Zukunftspotenzial zugeschrieben.

5.2.5 Energie

Tabelle 5.13: Thematischer Vergleich: Energie.

Studie aus:	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
China	<p>Die Roadmap Energy Science & Technology in China skizziert 7 wichtigen Bereich zur Entwicklung der Energiewissenschaft und der <i>neuen staatlichen Energieindustrie</i>: 1. die Bodentransport-Technologie, die ohne fossile Brennstoffe auskommt; 2. die saubere und mit hoher Wertschöpfung verbundene Kohlennutzungstechnologie; 3. die Technologie für Stromversorgungssicherheit- und -stabilität; 4. die Biomasse-Flüssigbrennstoff- und Rohstoff-Technologie; 5. großtechnische Stromerzeugungstechnologie aus erneuerbaren Energiequellen (Sonne, Wind, Wasser, Biomasse, Geothermie); 6. die neue Kernkraft- und atomare Abfallaufbereitungstechnik; 7. die Technologie für potentielle Energie.</p> <p>Die Roadmap Oil and Gas Resources in China prognostiziert, dass China langfristig, bis etwa 2050, in der Lage sein werde, in vollem Umfang die Öl- und Gasexploration und -produktion auf dem Kontinentalshef und in tiefen Meeresbecken durchzuführen. Das Explorationsverhältnis soll langfristig bei Rohölvorkommen 70%, bei Erdgas 60% und das Rohölgewinnungsverhältnis 60% betragen.</p>
Frankreich	<p>Kurz- bis mittelfristig: eher Verbesserungen bestehender Energietechnologien als neue technologische Durchbrüche: Erneuerbare Energien, vor allem: Biomasse als Wärmequelle; Biokraftstoffe der 2. Generation und – langfristig – der 3. Generation; Umwandlung der Sonnenenergie in thermische Energie und Photovoltaik (insbesondere im Baubereich).</p> <p>Energie aus fossilen Rohstoffen: Effizienzoptimierung bei der Ölförderung und Raffinationstechniken sowie Nutzung nicht-konventioneller Ressourcen bei Öl- und Gasförderung; Zunehmende Nutzung von CO₂-Abscheidungs-, -speicherungs- und -verwertungsverfahren.</p> <p>Kernenergie: Inbetriebsetzung von Kraftwerken der 3. Generation in den nächsten Jahren; Kraftwerke der 4. Generation stellen eine disruptive Technologie dar und sind langfristig vorstellbar (ca. 2040).</p> <p>Wasserstoff als Energiequelle: Gewinnung, im industriellen Maßstab, von Wasserstoff aus der Elektrolyse von Wasser oder auf thermochemischem Wege in Zukunft möglich; Einsatz bei der Verbrennung in Motoren und Triebwerken sowie in Brennstoffzellen.</p> <p>Strominfrastrukturen: Monitoring in Echtzeit von Stromnachfrage und -angebot; Technologien zur Stromspeicherung zwecks Bildung von Stromreserven (z. B. für Spitzenzeiten); Technologien zur Optimierung des Verbrauchs; Dezentrale Stromproduktion und -speicherung.</p>
Japan	<p>Förderung innovativer Energietechnologien (Panel 6): Atomenergie: Kreislauftechnologie des Schnellen Brüters; Geologische Lagertechnik für hochradioaktive Abfälle; Standardtechnologien für Leichtwasserreaktoren der nächsten Generation, achtzigjähriger Haltbarkeit und keinerlei Ansiedlungsbeschränkungen dank Erdbebentechnik; Erneuerbare Energien: Große Dünnschichtsolarzelle mit einem Wirkungsgrad von mindestens 20 %; Neue Werkstofftechnologien für Solarzellen mit höherem Wirkungsgrad; Konzentrierte Solarenergie (Sonnentürme, Parabolzylinder, chemische Solarwärmesysteme etc.).</p> <p>Nutzung nichtfossiler Energien. Effektive Umwandlung/ Nutzung von Energie.</p>
UK	<p>Wachsender Anteil an erneuerbaren Energien im Gesamtenergiemix: insbesondere Biomasse. Eventuell besonderes Potenzial für UK bei Offshore-</p>

	Windenergie sowie der Stromerzeugung aus dem Meer. Umstellung auf intelligente Stromnetze (smart grids): Technologien zur Stromspeicherung; Echtzeit-Monitoring von Stromnachfrage und -angebot; Leistungselektronik für Energieübertragung und Anschluss dezentraler Stromerzeugungsanlagen an das nationale Stromnetz; Neuartige bzw. optimierte Batterietechnologien; Kleinformatige Stromerzeugungsanlagen, ; Energiegewinnung aus Wasserstoff; Potenzial der Kernenergie, insbesondere Reaktoren der 3. Generation sowie kleine Kernreaktoren.
USA	Zunehmende Bedeutung emissionsarmer Energiequellen; Zunehmender Einsatz nanotechnologischer Verfahren bei der Nutzung von Solarenergie; Trend zu intelligenten Energieinfrastrukturen.
EU	Nachhaltige, saubere und effiziente Energieerzeugung; Einsatz eines technologiefähigen, intelligenten Stromnetzes und intelligenter Verbrauchsmessung für ein effizienteres Energiemanagement zuhause). Mikroelektronische Geräte, wie <i>grüne Elektronik</i> , Niedrigstromgeräte, Leistungsregler, Steuerungsmikroprozessoren und Kommunikationsgeräte liefern Schlüsselösungen für Automatisierungs-, Überwachungs- und Steuerungsaufgaben und beschleunigen die Integration und Synergie zwischen erneuerbaren Energiequellen und Versorgungsunternehmen. Halbleiter werden der Gesellschaft ermöglichen, alternative Energiequellen effizienter zu nutzen, Energie effizienter zu verteilen und sie auf effizienteste und benutzerfreundliche Art und Weise zu verbrauchen – sie sind ein entscheidender Teil des Smart-Grid-Programms, das viele Länder in Europa auf den Weg bringen.

Das Thema „Energie“ findet in allen hier betrachteten Technologieprognosen große Aufmerksamkeit. In allen betrachteten Technologieprognosen kommt den erneuerbaren Energiequellen (Sonne, Wind, Wasser, Biomasse, Geothermie) hohe Bedeutung zu. Aber auch zukünftigen Technologien zur Stromspeicherung und -einsparung (smart grids) und der effektiven Umwandlung / Nutzung von Energie wird hohe Bedeutung beigemessen. Hierbei wird dem Einsatz nanotechnologischer Verfahren besondere Bedeutung zugeschrieben.

Gleich zwei Chinesische Roadmaps befassen sich mit dem Themenkomplex Energie: einerseits die Roadmap zu Chinas Energiewissenschaft & -technik, die sieben wichtige Bereiche zur Entwicklung der Energiewissenschaft und der neuen staatlichen Energieindustrie skizziert, und andererseits die Roadmap zu den Öl- und Gasressourcen, die prognostiziert, dass China langfristig in der Lage sein werde, in vollem Umfang die Öl- und Gasexploration und -produktion auf dem Kontinentalshelf und in tiefen Meeresbecken durchzuführen. Frankreichs Technologieprognosen erwarten kurz- bis mittelfristig keine völlig neuen technologischen Durchbrüche, sondern eher Verbesserungen bestehender Energietechnologien, insbesondere im Bereich Energie aus fossilen und nicht-fossilen Rohstoffen, Kernenergie, Wasserstoff als Energiequelle, Strominfrastrukturen. Daneben sehen die Technologieprognosen aus China, Japan, Frankreich und UK Potenzial für Atomenergietechnologien sowie nukleare Wiederaufbereitung.

5.2.6 Nano- und Mikrosystemtechnologie

Tabelle 5.14: Thematischer Vergleich: Nano- und Mikrosystemtechnologie.

Studie aus:	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
China	Eine der im strategischen Gesamtbericht (Strategic General Report) der chinesischen Akademie der Wissenschaften dargelegten zweiundzwanzig Wissenschafts- und Technologieinitiativen von strategischer Bedeutung für Chinas Modernisierung befasst sich mit Nanowissenschaft und -technologie, als Beitrag zur interdisziplinären und innovativen Forschung Chinas. Konkrete Aussagen zur zukünftigen Ausgestaltung dieses Technologiefeldes werden allerdings nicht gemacht.
Frankreich	Nanotechnologien sind <i>transversale</i> Schlüsseltechnologien, deren Konvergenz mit zahlreichen anderen Disziplinen (Materialtechnik, Biotechnologien, IuK-Technologien, etc.) zu wichtigen technologischen Durchbrüchen führen kann. Nanomaterialien: Steigende Bedeutung von Graphen aufgrund seiner Leitfähigkeit; Zunehmende Bedeutung von Bottom-up-Verfahren bei der Herstellung von Nanomaterialien. Mikroapparate, mikrostrukturierte Apparate und Mikroreaktoren: wachsende Rolle in der chemischen Verfahrenstechnik. Sensoren und Sensornetzwerke: Zunehmende Miniaturisierung; Zunehmender Einzug von IuK. Dünnschichttechniken.
Japan	Grundlagentechnologien, Basistechnologien, Grenztechnologien einschließlich Substanzen, Materialien, Nanosystemen, Verarbeitung, Messung etc. (Panel 9); Biotechnologie und Nanotechnologie im Dienste der Menschheit (Panel 3).
UK	Sensorik – Trend zur weiteren Miniaturisierung und Konvergenz mit IuK-Technologien; Entwicklung bionischer Sensoren; Zunehmender Einzug von Nanotechnologien und -materialien in Alltagsanwendungen.
USA	Intelligente Sensorik und fortgeschrittene Steuerungssysteme in fast allen Industriebereichen; Zunehmende Bedeutung von Nanomaterialien; Steigende Bedeutung der Mikrostrukturierung; Durchbrüche bei Verfahren zur Herstellung von Nanomaterialien und nanobasierten Produkten.
EU	Entwicklung von intelligenten Nano- und Mikrosystemen. Weitere Anwendungsmöglichkeiten in den Bereichen Gesundheit, Umwelt und Energie.

Das Thema Nano- und Mikrosystemtechnologie findet in allen hier betrachteten Technologieprognosen große Aufmerksamkeit, insbesondere als „enabling technology“ und Querschnittstechnologie, deren Konvergenz mit zahlreichen anderen Disziplinen (Materialtechnik, Biotechnologien, IuK-Technologien, etc.) zu wichtigen technologischen Durchbrüchen führen kann.

Insbesondere die Studien aus Frankreich, UK, den USA sowie der EU gehen detailliert auf das Thema ein. Die steigende Bedeutung von Nanomaterialien und Nanoverfahren wird in all diesen Studien unterstrichen. Es wird erwartet, dass Nanomaterialien und -verfahren zunehmend in Alltagsanwendungen einfließen sowie neue Produkte und Techniken in den unterschiedlichsten Bereich ermöglichen werden – vom Gesund-

heitsbereich bis hin zum Energiebereich oder der industriellen Produktion.

Darüber hinaus legen die Studien aus Frankreich, UK und den USA einen Schwerpunkt auf die Sensorik und identifizieren die gleichen Trends: zunehmende Miniaturisierung der Sensorik und zunehmender Einzug von IuK in Sensoren und Sensorenetzwerke – was zu neuen Anwendungen in vielfältigen Bereichen führen könnte. Die britische Studie hebt zudem die Bedeutung von bionischen Sensoren hervor, die als disruptive Technologie angesehen werden.

5.2.7 Materialtechnik

Tabelle 5.15: Thematischer Vergleich: Materialtechnik.

Studie aus:	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
China	Die Roadmap Advanced Materials Science & Technology in China proklamiert, dass die Entwicklung moderner Materialien in China langfristig (bis zum Jahr 2050) die Bedarfe erneuerbare Ressourcen, Lebensverlängerung, Gesundheitsförderung und Umweltschutz voll decken solle. Die Werkstoff-Recyclingrate solle 50% erreichen, bionische Materialien mit Selbstreparatur- und Selbstheilungsfunktionen Anwendung finden und intelligente Werkstoffe an Bedeutung gewinnen. Neue Errungenschaften, Methoden, Tools und Einrichtungen der Naturwissenschaft und Informationstechnologie würden, so die Autoren, in Werkstoffdesign und -simulation, Simulation und Steuerung von Fertigungstechniken sowie in Materialanalyse und -bewertung weitgehend eingeführt sein. Es werde möglich sein, die Struktur und Eigenschaften von Werkstoffen zu gestalten und zu prognostizieren und der damit verbundene technologische Prozess könne präzise gesteuert und umgesetzt werden.
Frankreich	Zunehmende Bedeutung und weitere Entwicklungen bei den funktionalen und smarten Materialien. Zunehmende Nutzung von Simulationsverfahren, u. a. molekularer Simulation, bei der Entwicklung neuer Materialien, der Untersuchung von Materialeigenschaften sowie bei der Lösung der Frage des Recycling / Wiederverwertung von Materialien am Ende des Produktlebenszyklus. Fortschritte auf dem Gebiet der Methoden zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung.
Japan	–
UK	Weitere Entwicklung von smarten Materialien. Bioinspirierte Materialien Metamaterialien.
USA	Innovative Materialien als <i>enabling technology</i> für viele Bereiche.
EU	Herstellung immer leichter Materialien, die den Ausstoß vom Kohlendioxid mindern und die natürlichen Ressourcen schonen: langfristig: alternative Werkstoffe entwickeln; mittelfristig: Design-for-Recycling, also recyclingorientierte Gestaltung; kurzfristig: Zugang erleichtern, Recycling verstärken und Recycling-Technologien entwickeln.

Während die japanische Delphi-Studie gar nicht auf das Thema „Materialtechnik“ eingeht, befassen sich alle weiteren untersuchten Technologieprognosen mit dem Thema – allerdings mit unterschiedlichem Fokus und Detaillierungsgrad.

Die amerikanischen PCAST-Berichte heben innovative Materialien als wichtige „enabling technology“ hervor, gehen aber nicht auf konkrete technologische Entwicklungen ein.

Die chinesische Roadmap zur modernen Materialwissenschaft und -technik formuliert konkrete Ziele bis 2050 für die Entwicklung von Kompetenzen und Forschung auf dem Gebiet der Materialtechnik sowie auch für die Gewinnung, Herstellung und das Recycling von Werkstoffen.

Die französische und die britische Studie heben gleichermaßen die Bedeutung von funktionalen und smarten Materialien hervor und verweisen auf die steigende Konvergenz der Materialtechnik mit Elektronik und Mikro- und Nanotechnologie. Bioinspirierte Materialien sowie Metamaterialien stellen laut der UK-Studie einen weiteren wichtigen Trend dar.

Die europäische Studie zu Schlüsseltechnologie unterstreicht die Bedeutung der Förderung der industriellen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Materialtechnik – zwecks Verkürzung der Zeitspanne zwischen Entwicklung und industrieller Nutzung von modernen Werkstoffen.

5.2.8 Produktions- und Prozesstechnik

Tabelle 5.16: Thematischer Vergleich: Produktions- und Prozesstechnik.

Studie aus:	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
China	Die Roadmap Advanced Manufacturing Technology in China: A Roadmap to 2050 (2012) fokussiert zwei Hauptentwicklungsstränge der modernen Fertigungstechnologien: intelligente Fertigung und grüne Fertigung. Die Fertigungstechnik werde intelligenter, transparenter und leistungsfähiger. In der modernen Fertigungstechnik würden miteinander verwandte Technikfelder zusammengeführt. Die Fertigungsumgebung werde sauberer (<i>grüner</i>): Hier kämen der Nutzung neuer Ressourcen und Energiequellen, der Systemintegration, der Entwicklung grüner Produkte in der verarbeitenden Industrie sowie dem Recycling eine wachsende Bedeutung zu. Bis zum Jahr 2050 könne die Rückgewinnung und optimale Nutzung von Wertstoffen auf mehreren Ebenen realisiert sein.
Frankreich	Technologien zur Effizienzsteigerung bzw. Reduzierung des Ressourcenverbrauchs: Mikroapparate und mikrostrukturierte Apparate sowie Mikroreaktoren insbesondere für die chemische Industrie sowie für Raffinationsverfahren; Katalyseverfahren; Membrantechniken; Effizientere bzw. neue Verfahren der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung; Kunden zunehmend an Gesamtlösungen statt reinen Produkten interessiert → Technologie zur Optimierung der Gestaltung des Produktlebenszyklus gewinnen an Bedeutung. ; Systemengineering, Modellierungs- und Simulationsverfahren; Rapid Prototyping; Progressive Intelligent Manufacturing; Umweltfreundliches Produzieren; Lean Manufacturing / Management.
Japan	–
UK	Simulation und Modellierung sind Schlüsseltechnologien; „Active Packaging“; 3D-Drucker: Individualisierte Produktion bis hin zum Hausgebrauch; Steigende Bedeutung der Produktion „On demand“; Steigende Bedeutung von Human-centred design.
USA	Zunehmender Einzug von IuK-Technologien; Technologien zur nachhaltigen Produktion; Zunehmende Erstellung personalisierter Produkte dank der Nutzung von 3D-Druckverfahren; Zunehmende Automatisierung und industrielle Robotik; Traditionelle Verfahrenstechniken wie Form-, Zerspan- oder Schweißtechniken weiterhin wichtig.
EU	Querschnittsthema, das alle anderen Bereiche tangiert: Aufrechterhaltung solider Produktionsstandorte in Europa; Fokus auf Lösung der historischen Schwachstellen Europas (Tal des Todes); Sicherstellung eines Betätigungsfeldes auf globaler Ebene.

Fünf der sechs untersuchten Technologieprognosen beschäftigen sich mit dem Bereich „Produktions- und Prozesstechnik“.

Der Trend zum zunehmenden Einzug von IuK-Technologien in die Produktion sowie die Entwicklung hin zu effizienteren und ressourcenschonenderen Produktionsprozessen werden gleichermaßen in der chinesische, der französischen und der amerikanischen Studie hervorgehoben. Dabei kommt der Nutzung neuer Ressourcen und Energiequellen, Technologien zur Effizienzsteigerung bzw. Reduzierung des Ressourcenverbrauchs, der Systemintegration, der Entwicklung grüner Produkte in der

verarbeitenden Industrie sowie dem Recycling eine wachsende Bedeutung zu.

Als einzige geht die französische Studie detailliert auf zukunftsrelevante Entwicklung in der Prozesstechnik ein.

Die britische Studie hebt den Trend zur Produktion „on demand“ hervor, der in der industriellen Produktion sowie auch im Dienstleistungsbereich (s. Abschnitt 5.2.16) eine zunehmende Bedeutung erfahren könnte.

Sowohl die chinesische als auch die europäische Studie formulieren konkrete langfristige Ziele und Strategieempfehlungen für die Entwicklung der industriellen Produktion in China bzw. EU.

5.2.9 Optische Technologien

Tabelle 5.17: Thematischer Vergleich: Optische Technologien.

Studie aus:	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
China	–
Frankreich	Besonderes Marktpotenzial wird insbesondere bei der Anwendung der Photonik für bildgebende Verfahren in der Medizin, für Photovoltaik-Anwendungen und für smarte Beleuchtungssysteme sowie bei „green photonics“ gesehen. Photovoltaik: Solarzellen der 3. Generation stellen diese eine wichtige Wachstumschance für die französische Photovoltaik-Industrie – Herstellung und Produktionsreife von organischen Solarzellen bis 2015 möglich.
Japan	–
UK	Bedeutung von „green photonics“ steigt. Steigende Konvergenz mit Elektronik Insbesondere steigende Nachfrage nach Flachbildschirmen, optischen Komponenten (Photovoltaik-Zellen und LEDs), organischen Festkörperlichtquellen und lichtemittierenden Polymeren.
USA	Steigender Einzug von Nanomaterialien und -technologien in optische Technologien.
EU	KET Photonik: Hin zur nachhaltigen Wirtschaft – <i>Grüne</i> Photonik für eine nachhaltige Fertigung, die alternde Gesellschaft & Gesundheitswesen und die Wissensgesellschaft.

Die Technologieprognosen aus Frankreich, UK, den USA sowie der EU unterstreichen die steigende Bedeutung optischer Technologien. Insbesondere die französische Studie zu „Technologies Clés 2015“ sowie die europäische Studie zu Schlüsseltechnologien prognostizieren, dass Fortschritte in den optischen Technologien zu zahlreichen neuen Anwendungen und Techniken auf den verschiedensten Gebieten führen werden – von dem Gesundheitsbereich, dem Energie- und Beleuchtungsbereich bis hin zum Sicherheitsbereich oder dem Produktionsbereich.

Großes (Markt-)Potenzial wird sowohl in der britischen als auch in der europäischen Studie bei „green photonics“, d. h. der Nutzung optischer Verfahren zwecks Optimierung der Effizienz und somit des Ressourcenverbrauchs, gesehen. Dabei wird mit einer zunehmenden Konvergenz mit Elektronik gerechnet.

5.2.10 Informations- und Kommunikationstechnologien

Tabelle 5.18: Thematischer Vergleich: Informations- und Kommunikationstechnologien.

Studie aus:	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
China	Die Roadmap Information Science and Technology in China: A Roadmap to 2050 (2011) definiert bis 2050 sechs grundlegende Aufgaben für China: Aufbau eines umfassenden Informationsnetzwerks mit sinnvollen Inhalten; Wegweisende Aufrüstung der Informationsgeräte und -systeme; Entwicklung einer Dienstleistungsindustrie für Daten und Wissen; Aufrüstung der herkömmlichen Industrien durch Informationstechnologien und Realisierung einer kostengünstigen Informatisierung; Entwicklung neuer computergestützter, interdisziplinärer und computerbasierter Informationswissenschaften.
Frankreich	Kurz- bis mittelfristig (Zeithorizont 2015-2020): Steigerung der Leistung bei elektronischen Komponenten könnte zu neuen technologischen Anwendungen führen. ; Zunehmende Digitalisierung von Informationen und Daten und – in Verbindung dem Internet sowie mobilen und drahtlosen IuK-Technologien – möglicher Zugang jederzeit und überall zu Information, Daten, Anwendungen und Dienstleistungen; Zahlreiche intuitive Lösungen, um IuK-Anwendungen nutzen zu können, z. B. für Mensch-Maschine-Schnittstelle; Cloud Computing für immer mehr Unternehmen wichtig. Langfristig: <i>Internet der Dinge</i> ab 2020 wahrscheinlich; Konvergenz IuK / lebende Organismen / Robotik: <i>Kybernetik-Ära</i> .
Japan	Informationstechnologie einschließlich Medien und Inhalten (Panel 2) Mit einem System zur Vorhersage von Bedingungen für das globale Wetter, für Meere, Umwelt, Ökosysteme, Epidemien, Wirtschaft und menschliche Aktivitäten durch eine umfassende Simulation aufgrund von Echtzeitdaten können unbekannte globale Krisen bewältigt werden. System für grüne IKT-Dienste, das die für die Übertragung und Speicherung von Informationen erforderliche Energie auf ein Millionstel des 2010 anfallenden Verbrauchs reduziert (auf den Umfang der verarbeiteten Informationen bezogen). Politikaufgaben: Schaffung neuer IKT-Inhalte, wie elektronischer klinischer Akten, Rückverfolgbarkeit gewerblicher Güter, elektronischer Lehrbücher, E-Learning (für Schule, Hochschule und lebenslanges Lernen) und E-Museen (einschließlich E-Theater). Verstärkter Einsatz von IuK im täglichen Leben, beispielsweise Gesundheitsberatung via Internet oder ferngesteuerte Pflegeleistungen. Verstärkter Einsatz von Robotern zur Unterstützung älterer Personen und Verrichtung gefährlicher Arbeiten.
UK	Supercomputing für jedermann, Grid- bzw. Cloud-Computing; Netzwerke der nächsten Generation; Intelligente Sensornetzwerke, ubiquitäres Computing bis hin zum vorausschauenden, kontextsensitiven Computing; Data-Mining, Suchmaschinentechnologien, Simulations- und Modellierungsverfahren sowie neue Möglichkeiten der Entscheidungsfindung; Daten- und Kommunikationssicherheit; Mensch-Maschine-Interaktion; Schwarmrobotik.
USA	Auswirkungen ubiquitärer IuK-Technologien auf menschliche Verhaltens- und Interaktionsmuster; <i>Internet der Dinge</i> und Verwischung der Grenzen zwischen realer und virtueller Welt; Management und Verarbeitung großer Mengen an Daten; Skalierbare Systeme und Vernetzung; Softwareentwicklung; Hochleistungsrechnen.
EU	–

Auch zu dem Themenbereich IuK finden sich in fünf der untersuchten sechs Technologieprognosen Aussagen. Wesentlicher Tenor ist jeweils die Entwicklung einer Dienstleistungsindustrie für Daten und Wissen; die Konvergenz zwischen IuK und anderen Disziplinen; der Zugang jederzeit und überall zu Information, Daten, Anwendungen und Dienstleistungen; Grid- und Cloud Computing; das *Internet der Dinge*; Netzwerke der nächsten Generation; die Daten- und Kommunikationssicherheit und die Mensch-Maschine-Interaktion. Während die Roadmap in China bis 2050 der nationalen Aufrüstung der herkömmlichen Industrien durch Informationstechnologien und der Realisierung einer kostengünstigen Informatisierung besonderes Gewicht beimisst, konzentrieren sich die Technologieprognosen aus Frankreich, den USA, UK und Japan auf die Entwicklung einer Dienstleistungsindustrie für Daten und Wissen für neue technologische Anwendungen und neue IuK-Inhalte.

5.2.11 Elektronik

Tabelle 5.19: Thematischer Vergleich: Elektronik.

Studie aus:	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
China	–
Frankreich	Immer leistungsstärkere Komponenten dank Innovationen in Mikro- und Nanotechnologien; Zunehmende Bedeutung der Leistungselektronik; Mechatronik als enabling technology für alle intelligenten Fahrzeugsteuerungssysteme im Straßen-, Schienen- und Flugverkehr.
Japan	Einsatz von Elektronik, Kommunikation und Nanotechnologie in einer allgegenwärtigen Gesellschaft (Panel 1): Solarzellen mit einem elektrischen Wirkungsgrad von mindestens 60 %; Intelligente Netztechnologien, mit denen sich der Stromwirkungsgrad verbessern und der gesamte japanische Energiebedarf um 20 % verringern lässt; Langlebige und zuverlässige Batterietechnik mit hoher Energiedichte für Elektrofahrzeuge, mit der diese über die gleiche Gesamtreichweite pro Ladevorgang wie benzingetriebene Fahrzeuge verfügen. Politikaufgaben: Fortgeschrittene Nutzung von Energienetzen (das intelligente Netz und andere). Senkung des Energieverbrauchs von Datenzentren, deren Strombedarf künftig schnell ansteigen dürfte. Senkung des Strombedarfs von Fabriken und Haushalten durch die effiziente Nutzung der Informationen, die das intelligente Netz liefert. Technische Entwicklungen für die effiziente Sammlung, Übertragung und Verringerung von Daten sowie die dafür notwendige institutionelle Ausgestaltung. Aufbau von Informationsnetzen, die Platz für neue Technologien bieten, beispielsweise die Ipv6-Kommunikation.
UK	Kunststoffelektronik; Silizium-basierte Elektronik vs Quantencomputer und DNA-Computing.
USA	Zunehmende Miniaturisierung dank Nanomaterialien und -technologien; Hohes Potenzial für Graphen; Flexible Elektronik.
EU	Halbleiter, die für alle Arten von Produkten und Dienstleistungen benötigt werden, die intelligente Kontrollsysteme brauchen (insbesondere in den Bereichen Automobile, Transport, Luft- und Raumfahrt). Förderung und konsequente Weiterentwicklung folgender Bereiche Ausbildung; Cluster, FuE und Prototyping; Fertigung; Vorschriften und Regularien.

Fünf der sechs untersuchten Technologieprognosen erwarten für den Bereich „Elektronik“ eine Konvergenz mit anderen Technologiefeldern, wie z. B. den Mikro- und Nanotechnologien (zunehmende Miniaturisierung, Halbleiter) und der Biotechnologie (DNA-Computing). Es wird eine zunehmende Bedeutung der Leistungselektronik und des Einsatzes der Elektronik in die Kommunikation und den Energiebereich (Solarzellen, intelligente Netztechnologien, Batterietechnik) prognostiziert. Der Technologiebereich Elektronik wird in China nicht durch eine eigenständige Roadmap beleuchtet sondern im Rahmen der IuK-Roadmap bearbeitet.

5.2.12 Biotechnologie und Life Sciences

Tabelle 5.20: Thematischer Vergleich: Biotechnologie und Life Sciences.

Studie aus:	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
China	<p>Die Roadmap Agricultural Science and Technology in China: A Roadmap to 2050 (2011) formuliert in folgenden Bereichen Ziele der grünen Biotechnologie bis 2050: pflanzliches Keimplasma und moderne Pflanzenzucht; tierisches Keimplasma und moderne Tierzucht; Ressourcenschonung; landwirtschaftliche Erzeugung und Ernährungssicherheit.</p> <p>Zu den wesentlichen biotechnologischen Zielen der agrarwissenschaftlichen und agrartechnischen Entwicklung in China bis 2050 zählen die Beschleunigung der molekularbiologischen Pflanzenzucht; die Züchtung und Freigabe neuer Kulturpflanzen zur Nahrungsmittelerzeugung und zur Zeugung neuer energiereicher Pflanzensorten; die Einführung der molekularbiologisch gestützten Züchtung wichtiger Nutztiersorten, die schnell wachsen, einen hohen Fleischanteil oder einen hohen Proteingehalt aufweisen oder resistent gegen Krankheiten sind.</p>
Frankreich	<p>Zunehmende Bedeutung der Omik-Technologien; Fortschritte bei Zell- und Gewebetechnik könnten zur Entwicklung neuer Gewebeimplantate und Therapien für die verschiedensten Krankheiten führen. Weiterentwicklung der Verfahren zur Optimierung des Immunsystems; Zunahme der Biotechnologie in Landwirtschaft und Viehzucht, u. a.: Züchtung von dürreresistenten Pflanzen; biologische Düngemittel; Synthetische Biologie insbesondere für Gesundheitsanwendungen sowie die Herstellung von Biokraftstoffen wichtig; Weiße Biotechnologie gewinnt an Bedeutung – neue Anwendungsbereiche in Textil-, Papier-, Parfümindustrie sowie in der Erzverarbeitung; Neue biologische Düngemittel dank Techniken zur Steuerung mikrobieller Ökosysteme; Neue Techniken zur Schnelldiagnostik dank Fortschritte in Membrantechniken, Mikrofluidik, Molekularbiologie, Genomik. Zunehmende Konvergenz mit IuK, Nano- und Mikrosystemtechnologien.</p>
Japan	<p>Biotechnologie und Nanotechnologie im Dienste der Menschheit (Panel 3)</p> <p>Politikaufgaben: Implementierung einer offenen Datenbank für die Förderung von Genom-Kohortenstudien, mit deren Hilfe Forscher verschiedener Gebiete ein forschungsfreundliches Umfeld vorfinden. Insbesondere Bereitstellung einer Datenbank mit klinischen Akten für die uneingeschränkte Verwendung für das Data-Mining in Texten, unter strengem Schutz personenbezogener Daten. Auch außerhalb der Medizin muss die interdisziplinäre Forschung durch Bedingungen gefördert werden, in denen der unbeschränkte Zugang zu land-, forst- und fischereiwirtschaftlichen Datenbanken für Forschungszwecke ermöglicht wird.</p>
UK	<p>Lab-on-a-Chip-Methoden; Zunehmende Bedeutung der Omik-Forschung; Stammzellforschung und „tissue engineering“; Synthetische Biologie; Weiße Biotechnologie; Biotechnologie in der Landwirtschaft.</p>
USA	<p>Biotechnologien als Schlüsseltechnologien mit wichtigen Anwendungsmöglichkeiten insbesondere im Gesundheits- und Ernährungsbereich sowie der Produktion.</p>
EU	<p>Sauberere und nachhaltigere Prozessalternativen für die Industrie und den Sektor der agrarischen Lebensmittel.</p>

Alle der hier untersuchten Technologieprognosen machen Vorhersagen im Bereich Biotechnologie und Life Sciences. Dabei gelten in allen Studien die Biotechnologien als Schlüsseltechnologien mit wichtigen An-

wendungsmöglichkeiten insbesondere im Gesundheits- und Ernährungsbereich sowie der Produktion; für sauberere und nachhaltigere Prozessalternativen in der Industrie und den Landwirtschaftssektor.

Während die Roadmap in China die Ziele der grünen Biotechnologie (biologische Düngemittel, molekularbiologische Zuchttechniken; Ressourcenschonung; landwirtschaftliche Erzeugung und Ernährungssicherheit) in den Vordergrund rücken, sprechen die Technologieprognosen aus Frankreich, UK und Japan darüber hinaus auch der zunehmenden Bedeutung der Omik-Technologien; der synthetischen Biologie (für Gesundheitsanwendungen sowie in der Herstellung von Biokraftstoffen) und der Konvergenz mit IuK, Nano- und Mikrosystemtechnologien hohe Zukunftspotenziale zu. Sie sehen zukunftsweisende Felder in den Bereichen Lab-on-a-Chip-Methoden; Zunehmende Bedeutung der Omik-Forschung; Stammzellforschung und *tissue engineering*; Synthetische Biologie; Weiße Biotechnologie (Textil-, Papier-, Parfümindustrie, Erzverarbeitung).

5.2.13 Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung

Tabelle 5.21: Thematischer Vergleich: Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung.

Studie aus:	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
China	Die Roadmap Science & Technology of Public Health in China: A Roadmap to 2050 (2010) verfolgt fünf Ansätze: Bevölkerungskontrolle und Fortpflanzungsmedizin; Prävention und Heilung schwerer chronischer Krankheiten; Infektionskrankheiten und Biosicherheit; Ernährung und Lebensmittelsicherheit und Biomedizinische Industrie. Gemäß der Roadmap müsse in China bis circa 2050 ein umfangreiches medizinisches System aufgebaut werden, das biologische, ökologische, psychologische und soziale Aspekte umfasse. Hierbei sollten in Bezug auf Molekularmarker bei neurologischen und geistigen Krankheiten sowie im Bereich funktionaler Bildtechnik deutliche Fortschritte erzielt werden. Zudem gelte es, ein biomedizinisches System der neuen Generation zu etablieren, das fortschrittliche Instrumentationstechnologie, nanobiomedizinische Technologie, minimalinvasive Technologien und Kombinationen medikamentöser Instrumentation umfasst.
Frankreich	Weitere Durchdringung des Gesundheitsbereichs durch Biotechnologien, IuK-Technologien, Nano- und Mikrosystemtechnologien sowie Materialtechnologien. e-Health und Telemedizin sind wachsender Markt ; Effizientere Diagnose- und Therapiemöglichkeiten dank Omik-Technologien; Personalisierte Medizin zunehmend möglich; Regenerative Medizin und Bioimplantate; Bessere Überprüfung und Rückverfolgung von Lebensmitteln dank IuK, Sensorik und Schnell Diagnostik / Bessere Analyse- und Konservierungsmethoden.
Japan	Medizintechnik für eine gesunde Lebensweise der nationalen Bevölkerung mithilfe von IT etc. (Panel 4): Politikaufgaben Medizin: Ein Krankenversicherungssystem, nicht nur für die Behandlung von Krankheiten, sondern auch für die Vorsorge sollte eingeführt werden. Ausgewogene Förderung der beiden Ansätze: Entwicklung prognostischer und präventiver Medizintechnologien, mit denen Krankheiten unter Kontrolle gebracht werden sollen sowie fortschrittliche Diagnose- und Behandlungstechniken für deren Heilung. Aufbau eines personalisierten Gesundheitsmanagement- und Versorgungssystems. Neben der Verbesserung der medizinischen Institutionen und Systeme müssen folgende Aspekte des medizinischen Umfelds implementiert werden: Schaffung eines ethischen Bewusstseins bei den Wissenschaftlern und dem Personal aus dem medizinischen Bereich sowie in der breiten Öffentlichkeit, Erzielung eines nationalen Konsens über moderne medizinische Verfahren (z. B. die regenerative Medizin) und Verbesserung des Kenntnisstands der Bevölkerung bezüglich Gesundheitsinformationen. Politikaufgaben Ernährung: Förderung der so genannten sechsten Industrialisierung: Integration der Primär-, Sekundär- und Tertiärsektoren in einem einheitlichen System und Aufbau neuer Geschäfts- und Produktionsfelder, die neuen Mehrwert in der Nahrungsmittelindustrie schaffen. Entwicklung von Robotertechnik sowie verbesserte Genom- und Postgenomforschung an Nutzpflanzen und Nutzvieh. Sensibilisierung im Management aufgrund von Agrarökonomie und Wirtschaftswissenschaften. Technische Entwicklungen zur Steigerung der Produktion je landwirtschaftlicher Nutzflächeneinheit: Mikrofarmen und Pflanzenfabriken. Forschungsförderung für Simulationstechnologien zur umfassenden Verbesserung der Bedingungen für Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft; die Forschungsgebiete reichen von der Umweltbeobachtung über die Wettervorhersage bis hin zu Logistik und Lieferung. Einführung von IKT-unterstützten Hightech-Lösungen für die Rückverfolgbarkeit zur Gewähr-

	leistung sicherer Nahrungsmittelprodukte. Für eine Steigerung der Nahrungsmittelproduktion und eine stabile Versorgung werden gentechnisch veränderte Tiere und Pflanzen an Bedeutung gewinnen. Bei diesem Themenkomplex sind zwei Ansätze zu verfolgen, nämlich die Entwicklung innovativer Biomolekular-Technologien und Methoden zur Bewertung der Sicherheit. Neben den wissenschaftlich-technischen Aspekten müssen Anstrengungen unternommen werden, um einen gesellschaftlichen Konsens über gentechnisch veränderte Nahrungsmittel herzustellen.
UK	Bessere Diagnose- und Behandlungsmöglichkeiten durch leistungsstärkere Bio- bzw. bioinspirierte Sensorik; Personalisierte Medizin dank Fortschritte bei Genetik und Molekularbiologie; Regenerative Medizin; Optimierung von Diagnose und Therapie dank bildgebender Verfahren; Neue Behandlungsansätze dank Fortschritte in den Neurowissenschaften; Selbstoptimierung bzw. <i>Human Performance Enhancement</i> ; Steigende Bedeutung von e-Health; Zunehmender Einzug der Robotik in den Pflegebereich; Verbreitung von Active-Packaging-Konzepten im Gesundheitswesen.
USA	Zunehmende Durchdringung durch IuK-Technologien: Cloud-basierte IuK-Technologien; Elektronische Gesundheitsakten; „Middleware“ für die Datenaggregation; Nutzung von Metadaten zur Unterstützung eines universellen Datenaustauschs; <i>Data Element Access Services</i> ; Zunehmende ubiquitäre IuK- und Sensorik-Anwendungen, ggf. in Verbindung mit Robotik, führen zu zahlreichen neuen Gesundheits- und Pflegedienstleistungen.
EU	Gesundheitswesen und Nanomedizin: Optimierte Rezeptur und Wirkstoffabgabe, intelligente Systeme zur Wirkstoffabgabe (gezielte Wirkstoffabgabe und kontrollierte Freisetzung); In-vivo-Bildgebung mit verbesserter Auflösung und Leistung sowie Früherkennung von biologischen Krankheitsmarkern durch Nanobiosensoren und Lab-on-Chip-Systemen; Regenerative Medizin, dazu gehören bioresorbierbare Trägermaterialien zur Geweberegeneration. Moderne Therapien in der regenerativen Medizin umfassen den Einsatz von Stammzellen (embryonische, IPS, und/oder mesenchymale).

Alle der hier untersuchten Technologieprognosen befassen sich mit dem Bereich „Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung“. Dabei sind die Themen Fortpflanzungsmedizin, Prävention und Heilung schwerer chronischer Krankheiten, Infektionskrankheiten und Biosicherheit, Ernährung und Lebensmittelsicherheit von vorrangiger Bedeutung.

Die Chinesische Roadmap stellt darüber hinaus die Bevölkerungskontrolle und Fortpflanzungsmedizin, die Biosicherheit und die Biomedizinische Industrie in den Mittelpunkt des Interesses.

Prognostiziert wird in den Studien aus den USA und Frankreich eine weitere Durchdringung des Gesundheitsbereichs durch Bio- und IuK-Technologien; in den Studien der EU sowie aus Frankreich darüber hinaus durch Nano- und Mikrosystemtechnologien sowie Materialtechnologien.

Im Bereich Medizintechnik wird in nahezu allen Technologieprognosen der funktionalen Bildtechnik; der Telemedizin; der personalisierten Medizin; Lab-on-Chip-Systemen; der regenerativen Medizin; fortschrittlichen Instrumentationstechnologien; der nanobiomedizinischen Technologien und minimalinvasiven Methoden hohes Zukunftspotenzial zugeschrieben.

5.2.14 Nachhaltigkeit und Umwelt

Tabelle 5.22: Thematischer Vergleich: Nachhaltigkeit und Umwelt.

Studie aus:	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
China	Zum Bereich Nachhaltigkeit, Umwelt und Ressourcenknappheit wurden in China 4 eigenständige Roadmaps angefertigt: zu Chinas Umweltwissenschaften und -technologien, zu Chinas nachwachsenden Rohstoffen (Biomasse), seiner Wasserwirtschaft und den Bodenschätzen.
Frankreich	2 wesentliche Trends: Zunehmende Nutzung von Sensoren und Sensornetzwerken im Umweltschutzbereich; und Aufschwung von Umwelttechnologien für einen schonenden Umgang mit Ressourcen. Wassernutzung: energiearme Entsalzungstechnologien; smarte Systeme zur nachhaltigen Nutzung von Wasser; Wasseraufbereitungstechnologien; Sensoren-Systeme zur Messung der Wasserqualität. Luftaufbereitung: u. a. Verbesserung von Photokatalyse-Verfahren; Senkung der Kosten der Verfahren. Sanierung von Böden: In-situ-Sanierungsverfahren; Sedimenten-Abtragung und -Aufbereitung. Abfallentsorgung und -aufbereitung: Technologien zur automatisierten Abfalltrennung; Technologien zum Recycling und zur Aufbereitung seltener Materialien; Technologien zur Aufbereitung organischer Abfälle.
Japan	Notwendige Ressourcen einschließlich Wasser, Nahrungsmitteln, Mineralien (Panel 7). Technologien für den Umweltschutz und Schaffung einer nachhaltigen Gesellschaft (Panel 8). Energie, Ressourcen und Umwelt (Panel 10). Herstellungstechniken zur umfassenden Unterstützung von Industrie, Gesellschaft sowie Wissenschaft und Technik (Panel 10). Ein Recycling-Produktionssystem, das die Prozesse „Ressourcenzufuhr/Konstruktion und Produktion/Nutzung/Entsorgung und Sammlung/Trennung /Ressourcenrecycling“ vereinheitlicht. Effiziente Anwendungstechniken für zeitweise erzeugte ungenutzte Wärmeenergie. Umfassende, objektive Bewertungsindizes anstelle von CO ₂ als Indikator für die Umweltbelastung durch Energie und Ressourcenverbrauch, Produktionsprozesse (Fabriken) und Produkte sowie Bewertungstechniken für diese Indizes. Politikaufgaben: Etablierung eines interregionalen Handelssystems mit festen Emissionsobergrenzen.
UK	Kein eigenständiger Untersuchungsbereich – allerdings zahlreiche Bezüge in anderen Bereichen, bspw. im Zusammenhang mit ubiquitären IuK- und Sensornetzen, die bei der Erfassung von Umweltdaten für den Umweltschutz eine Rolle spielen können, oder im Zusammenhang mit nachhaltigen Produktions- und Prozesstechniken.
USA	Computer- und Netzwerksicherheit.
EU	–

Zum Bereich „Nachhaltigkeit und Umwelt“ werden in fünf von sechs untersuchten Technologieprognosen dezidierte Zukunftsaussagen gemacht, wenn auch das Thema nicht in allen Studien als eigenständiger Bereich erfasst wird – so z. B. in den PCAST-Berichten, bei denen sich zahlreiche Bezüge zu „Nachhaltigkeit und Umwelt“ bei der Besprechung anderer Technologiebereiche finden lassen. Auch variiert der Umfang der Analyse des Themenkomplexes „Nachhaltigkeit und Umwelt“ erheblich:

Während der britische Bericht – abgesehen von der detailliert untersuchten Frage der Förderung emissionsarmer Energietechnologien, die unter dem Thema „Energie“ analysiert wird – sich hauptsächlich den Recycling-Technologien widmet, befassen sich die Studien aus China, Frankreich und Japan mit zahlreichen unterschiedlichen Aspekten der Nachhaltigkeit und des Umweltschutzes.

Die Bedeutung des Themas zeigt sich nicht zuletzt dadurch, dass beispielsweise allein in China vier selbständige Roadmaps zum Bereich Nachhaltigkeit, Umwelt und Ressourcenknappheit angefertigt wurden und dass Umwelttechnologien laut der französischen Studie „Technologies Clés 2015“ zu den Technologien zählen, deren Bedeutung seit 2006 und der Veröffentlichung der Vorläuferstudie „Technologies Clés 2010“ stark gewachsen ist.

Die steigende Bedeutung von (smarten) Sensornetzwerken für den Umweltschutz sowie von Verfahren und Techniken für einen schonenden Umgang mit Umweltressourcen wird in allen fünf untersuchten Studien gleichermaßen hervorgehoben. Dabei stehen Aspekte wie die Fluss- und Umweltqualität (der biologisch-geochemische Zusammenhang zwischen Land / Fluss / Küste), die Urbanisierung und Umweltqualität (Kontrolle und Beseitigung von Umweltverschmutzung) und die Biodiversität und Wiederherstellung des geschädigten Ökosystems durch biologische Vielfalt im Vordergrund. Auch Anwendungstechnologien zur Wasser- und Luftaufbereitung (u. a. Verbesserung von Photokatalyse-Verfahren, Sanierung von Böden, Abfallentsorgung und -aufbereitung) werden diskutiert.

Ferner spielen auch sozio-kulturelle Aspekte eine Rolle, wenn beispielsweise in der japanischen Studie Verhaltensänderungen als Voraussetzungen zur Schaffung einer nachhaltigen Gesellschaft dargestellt werden.

Es lässt sich schließlich festhalten, dass der Bereich Nachhaltigkeit und Umwelt hinsichtlich des Aspektes Ressourcenknappheit quer zu allen anderen Technologiebereichen behandelt wird (so z. B. im Rahmen der Untersuchung des Themas „Produktions- und Prozesstechnik“).

5.2.15 Verteidigung und Sicherheit

Tabelle 5.23: Thematischer Vergleich: Verteidigung und Sicherheit.

Studie aus:	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
China	Zwei der zweiundzwanzig Wissenschafts- und Technologieinitiativen des strategischen Gesamtberichtes (Strategic General Report) der chinesischen Akademie der Wissenschaften haben strategische Bedeutung für Chinas nationale und öffentliche Sicherheit. Konkrete Aussagen zur zukünftigen Ausgestaltung dieses Technologiefeldes werden allerdings nicht gemacht.
Frankreich	Sicherheit von IuK-Systemen und -Anwendungen; Komplexe Verwaltung von User-Identitäten / semantische Techniken.
Japan	Krisenmanagement, Katastrophenschutz, Sicherheit im Leben. Politikaufgaben: Studie über ungenutzte wissenschaftlich-technische Anwendungen zur Verhütung von Verbrechen, beispielsweise biometrische Verfahren und Messnetze, sowie die Anwendung von IKT-Infrastruktur. Neben den wissenschaftlichen und technischen Aspekten sind auch kriminalistische Positionen aus soziologischer und geisteswissenschaftlicher Sicht zu untersuchen.
UK	Zunehmende Nachfrage nach biometrischen Verfahren; Verstärkter Einsatz von Robotern bei Verteidigungs- und Sicherheitsanwendungen.
USA	Computer- und Netzwerksicherheit.
EU	Sicherheit und Schutz: Bislang ist der Rohstoffmangel noch kein allgemein ernstes Problem, aber das Risiko der Verknappung wächst. Europa muss den Zugang zu Rohstoffen sicherstellen. Es ist auch festzuhalten, dass Europa seine politische und wirtschaftliche Unabhängigkeit als eine wichtige strategische Ressource schützen und die Sicherheit der Halbleiterversorgung wahren sollte, indem es dafür sorgt, dass die zukunftsweisende Halbleiterproduktion innerhalb seiner Grenzen stark bleibt. Die Erkennung nicht erlaubter Waren an Flughäfen und internationalen Grenzen ist wichtiges Thema für die öffentliche Sicherheit. Innovative photonische Anwendungen könnten dazu beitragen, solche Inspektionen effizienter zu machen. Biometrische Technologien, die auch Photonik einsetzen, können die Sicherheit und den Schutz an internationalen Grenzen verstärken.

Alle untersuchten Technologieprognosen nehmen Bezug zum Themenkomplex Verteidigung und Sicherheit, wenngleich häufig keine konkreten Aussagen zur zukünftigen Ausgestaltung dieses Technologiefeldes gemacht werden.

Das Thema „Verteidigung und Sicherheit“ wird in der französischen Studie „Technologies Clés 2015“ sowie den amerikanischen PCAST-Berichten hauptsächlich unter dem Aspekt der Sicherheit von Zuverlässigkeit von IuK-Systemen und -Anwendungen, insbesondere von Computernetzwerken betrachtet.

Die Weiterentwicklung biometrischer Verfahren zu Sicherheitszwecken spielt sowohl in der britischen als auch in der europäischen Studie eine Rolle.

Weitere behandelte Teilaspekte sind das Krisenmanagement und der Katastrophenschutz sowie die allgemeine zivile Sicherheit (s. japanische Studie) aber auch die Rohstoffsicherheit (s. EU-Studie).

5.2.16 Dienstleistungen

Tabelle 5.24: Thematischer Vergleich: Dienstleistungen.

Studie aus:	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
China	–
Frankreich	3 wichtige Trends: Zunehmende Durchdringung durch IuK-Technologien verändert die Mechanismen der Dienstleistungserbringung und bringt neue Dienstleistungskonzepte hervor. Zunehmende Hybridisierung der Produktion. Hohe Anforderungen an Nachhaltigkeit führen zur zunehmenden Bedeutung von Dienstleistungen, die die ganzheitliche Betrachtung des Lebenszyklus von Produkten und Dienstleistungen unterstützen.
Japan	Entwicklung der Humanressourcen, Mobilität, Diversifizierung; Interkulturelle Programme zur Weiterbildung von Lehrkräften; Bildungssystem zur Schulung und ständigen Weiterbildung von Ingenieuren; Global vernetztes Managementsystem für Humanressourcen.
UK	Zunehmende Bedeutung von Service-Robotik Dienstleistungen zunehmend „on demand“.
USA	–
EU	–

Insbesondere die französische Studie „Technologies Clés 2015“ geht detailliert auf Dienstleistungen ein – wenn auch das Thema aufgrund des Fokus auf die 85 identifizierten Schlüsseltechnologien nicht als eigenständiger Bereich betrachtet wird. Zahlreiche Bezüge zu möglichen Entwicklungen bei Dienstleistungen lassen sich in den unterschiedlichsten Bereichen finden. Zudem wird postuliert, dass zukünftige Entwicklungen bei Dienstleistungen eng mit technologischen Trends verknüpft werden könnten – z. B. mit der Durchdringung des Dienstleistungsbereichs durch IuK-Technologien. Ferner wird die zunehmende Hybridisierung der Produktion als wichtiger Trend identifiziert. Darunter wird die Tatsache verstanden, dass immer häufiger Gesamtlösungen gefragt werden, die Produkt- und Dienstleistungsanteile kombinieren (hybride Produkte) und speziell auf die Bedürfnisse der Kunden – ob Endkonsumenten oder Unternehmen – zugeschnitten werden. Dieser Trend führe laut der Studie dazu, dass der zukünftige Nutzer hybrider Produkte zunehmend bereits in Entwicklungs- und Herstellungsprozesse eingebunden wird. In eine ähnliche Richtung geht auch die britische Studie, die den Trend zu Dienstleistungen „on demand“ hervorhebt.

Darüber hinaus unterstreicht die französische Studie die steigende Bedeutung von Dienstleistungen zur Optimierung des Produktlebenszyklus vor dem Hintergrund der gestiegenen Anforderungen an Nachhaltigkeit, die an Produkte und Produktionsprozesse gestellt werden.

Die britische Studie legt zudem einen Schwerpunkt auf die steigende Bedeutung von Service-Robotik: es wird prognostiziert, dass Robotik ähnlich große Veränderungen im Dienstleistungsbereich anstoßen könnte wie einst der Einzug der Robotik in industrielle Prozesse.

In der japanischen Studie werden Dienstleistungen unter dem Aspekt der Bildung, Aus- und Weiterbildung thematisiert (z. B. Dienstleistungsangebote zur Kompetenzentwicklung).

5.3 Fazit des Ländervergleichs

Im Folgenden werden die Kernaussagen der Technologieprognosen für die einzelnen Themenbereiche inhaltlich zusammengefasst.

Das Thema **Energie** findet in allen hier betrachteten Technologieprognosen große Aufmerksamkeit. In allen betrachteten Technologieprognosen kommt den erneuerbaren Energiequellen (Sonne, Wind, Wasser, Biomasse, Geothermie) hohe Bedeutung zu. Aber auch zukünftigen Technologien zur Stromspeicherung und -einsparung (*smart grids*) und der effektiven Umwandlung / Nutzung von Energie wird hohe Bedeutung beigemessen. Hierbei wird dem Einsatz nanotechnologischer Verfahren besondere Bedeutung zugeschrieben.

Gleich zwei Chinesische Roadmaps befassen sich mit dem Themenkomplex Energie: einerseits die Roadmap zu Chinas Energiewissenschaft & -technik, die sieben wichtige Bereiche zur Entwicklung der Energiewissenschaft und der neuen staatlichen Energieindustrie skizziert, und andererseits die Roadmap zu den Öl- und Gasressourcen, die prognostiziert, dass China langfristig in der Lage sein werde, in vollem Umfang die Öl- und Gasexploration und -produktion auf dem Kontinentalschelf und in tiefen Meeresbecken durchzuführen. Frankreichs Technologieprognosen erwarten kurz- bis mittelfristig keine völlig neuen technologischen Durchbrüche, sondern eher Verbesserungen bestehender Energietechnologien, insbesondere im Bereich Energie aus fossilen und nicht-fossilen Rohstoffen, Kernenergie, Wasserstoff als Energiequelle, Strominfrastrukturen. Daneben sehen die Technologieprognosen aus China, Japan, Frankreich und UK Potenzial für Atomenergietechnologien sowie nukleare Wiederaufbereitung.

In dem Themenkomplex **Biotechnologie und Life Sciences** gelten die Biotechnologien als Schlüsseltechnologien mit wichtigen Anwendungsmöglichkeiten insbesondere im Gesundheits- und Ernährungsbereich, in der Produktion, sowie für sauberere und nachhaltigere Prozessalternativen in der Industrie und im Landwirtschaftssektor. Zu den zukunftsweisenden Feldern gehören Lab-on-a-Chip-Methoden, die zunehmende Bedeutung der Omik-Forschung³⁸⁷, Stammzellforschung und *tissue engineering*, Synthetische Biologie, Weiße Biotechnologie (Textil-, Papier-, Parfümindustrie, Erzverarbeitung), Biotechnologie in der Landwirtschaft (biologische Düngemittel, molekularbiologische Pflanzenzucht), moderne Tierzucht, Ressourcenschonung, neue Techniken zur Schnelldiagnostik dank Fortschritte bei den Membrantechniken sowie in der Mikrofluidik und der Molekularbiologie.

Im Bereich **Gesundheit, Medizintechnik und Ernährung** sind die Themen Fortpflanzungsmedizin, Prävention und Heilung schwerer chro-

³⁸⁷ „Omik“ bezeichnet Teilgebiete der modernen Biologie, die sich mit der Analyse von Einzelementen beschäftigen, wie z.B. Genomik, Metabolomik, Proteomik, etc.

nischer Krankheiten, Infektionskrankheiten und Biosicherheit, Ernährung und Lebensmittelsicherheit von vorrangiger Bedeutung. Die Chinesische Roadmap stellt darüber hinaus die Bevölkerungskontrolle und Fortpflanzungsmedizin, die Biosicherheit und die Biomedizinische Industrie in den Mittelpunkt des Interesses. Prognostiziert wird in den Studien aus den USA und Frankreich eine weitere Durchdringung des Gesundheitsbereichs durch Bio- und IuK-Technologien; in den Studien der EU und aus Frankreich darüber hinaus durch Nano- und Mikrosystemtechnologien sowie Materialtechnologien. Im Bereich Medizintechnik wird in nahezu allen Technologieprognosen der funktionalen Bildtechnik; der Telemedizin; der personalisierten Medizin; Lab-on-Chip-Systemen; der regenerativen Medizin; fortschrittlichen Instrumentationstechnologien; der nanobiomedizinischen Technologien und minimalinvasiven Methoden hohes Zukunftspotenzial zugeschrieben.

Auch das Thema **Nano- und Mikrosystemtechnologie** findet in allen hier betrachteten Technologieprognosen große Aufmerksamkeit, insbesondere als „enabling technology“ und Querschnittstechnologie, deren Konvergenz mit zahlreichen anderen Disziplinen (Materialtechnik, Biotechnologien, IuK-Technologien, etc.) zu wichtigen technologischen Durchbrüchen führen kann. Insbesondere die Studien aus Frankreich, UK, den USA sowie der EU gehen detailliert auf das Thema ein. Die steigende Bedeutung von Nanomaterialien und Nanoverfahren wird in all diesen Studien unterstrichen. Es wird erwartet, dass Nanomaterialien und -verfahren zunehmend in Alltagsanwendungen einfließen sowie neue Produkte und Techniken in den unterschiedlichsten Bereich ermöglichen werden – vom Gesundheitsbereich bis hin zum Energiebereich oder der industriellen Produktion. Darüber hinaus legen die Studien aus Frankreich, UK und den USA einen Schwerpunkt auf die Sensorik und identifizieren die gleichen Trends: zunehmende Miniaturisierung der Sensorik und zunehmender Einzug von IuK in Sensoren und Sensornetzwerke – was zu neuen Anwendungen in vielfältigen Bereichen führen könnte. Die britische Studie hebt zudem die Bedeutung von bionischen Sensoren hervor, die als disruptive Technologie angesehen werden.

Tenor im Bereich **IuK** ist die Entwicklung einer Dienstleistungsindustrie für Daten und Wissen, die Konvergenz zwischen IuK und anderen Disziplinen, der Zugang jederzeit und überall zu Information, Daten, Anwendungen und Dienstleistungen, Grid- und Cloud Computing, das *Internet der Dinge*, Netzwerke der nächsten Generation, die Daten- und Kommunikationssicherheit und die Mensch-Maschine-Interaktion. Während die Roadmap aus China bis 2050 der nationalen Aufrüstung der herkömmlichen Industrien durch Informationstechnologien und der Realisierung einer kostengünstigen Informatisierung besonderes Gewicht beimisst, konzentrieren sich die Technologieprognosen aus Frankreich, den USA, UK und Japan auf die Entwicklung einer Dienstleistungsindustrie

für Daten und Wissen für neue technologische Anwendungen und neue IuK-Inhalte.

Im Bereich **Produktions- und Prozesstechnik** kommt der Nutzung neuer Ressourcen und Energiequellen, Technologien zur Effizienzsteigerung bzw. Reduzierung des Ressourcenverbrauchs, der Systemintegration, der Entwicklung grüner Produkte in der verarbeitenden Industrie sowie dem Recycling eine wachsende Bedeutung zu. Als einzige geht die französische Studie detailliert auf zukunftsrelevante Entwicklung in der Prozesstechnik ein. Die britische Studie hebt den Trend zur Produktion „on demand“ hervor, der in der industriellen Produktion sowie auch im Dienstleistungsbereich eine zunehmende Bedeutung erfahren könnte. Sowohl die chinesische als auch die europäische Studie formulieren konkrete langfristige Ziele und Strategieempfehlungen für die Entwicklung der industriellen Produktion in China bzw. EU.

Im Bereich **Materialtechnik** gibt es keine einheitlich Richtung: Während die japanische Delphi-Studie gar nicht auf das Thema „Materialtechnik“ eingeht, befassen sich alle weiteren untersuchten Technologieprognosen mit dem Thema – allerdings mit unterschiedlichem Fokus und Detaillierungsgrad. Die amerikanischen PCAST-Berichte heben innovative Materialien als wichtige „enabling technology“ hervor, gehen aber nicht auf konkrete technologische Entwicklungen ein. Die chinesische Roadmap zur modernen Materialwissenschaft und -technik formuliert konkrete Ziele bis 2050 für die Entwicklung von Kompetenzen und Forschung auf dem Gebiet der Materialtechnik sowie für die Gewinnung, Herstellung und das Recycling von Werkstoffen.

Im Bereich **Nachhaltigkeit, Umwelt und Ressourcenknappheit** wurden in fünf von sechs untersuchten Technologieprognosen dezidierte Zukunftsaussagen gemacht, wenngleich das Thema nicht in allen Studien als eigenständiger Bereich erfasst wird – so z. B. in den PCAST-Berichten, bei denen sich zahlreiche Bezüge zu „Nachhaltigkeit und Umwelt“ bei der Besprechung anderer Technologiebereiche finden lassen. Auch variiert der Umfang der Analyse des Themenkomplexes „Nachhaltigkeit und Umwelt“ erheblich: Während der britische Bericht – abgesehen von der detailliert untersuchten Frage der Förderung emissionsarmer Energietechnologien, die unter dem Thema „Energie“ analysiert wird – sich hauptsächlich den Recycling-Technologien widmet, befassen sich die Studien aus China, Frankreich und Japan mit zahlreichen unterschiedlichen Aspekten der Nachhaltigkeit und des Umweltschutzes.

Die Bedeutung des Themas zeigt sich nicht zuletzt dadurch, dass beispielsweise allein in China vier selbständige Roadmaps zum Bereich Nachhaltigkeit, Umwelt und Ressourcenknappheit angefertigt wurden und dass Umwelttechnologien laut der französischen Studie „Technologies Clés 2015“ zu den Technologien zählen, deren Bedeutung seit 2006 und der Veröffentlichung der Vorläuferstudie „Technologies Clés 2010“ stark gewachsen ist. Die steigende Bedeutung von (smarten)

Sensorennetzwerken für den Umweltschutz sowie von Verfahren und Techniken für einen schonenden Umgang mit Umweltressourcen wird in allen fünf untersuchten Studien gleichermaßen hervorgehoben. Dabei stehen Aspekte wie die Fluss- und Umweltqualität (der biologisch-geochemische Zusammenhang zwischen Land / Fluss / Küste), die Urbanisierung und Umweltqualität (Kontrolle und Beseitigung von Umweltverschmutzung) und die Biodiversität und Wiederherstellung des geschädigten Ökosystems durch biologische Vielfalt im Vordergrund. Auch Anwendungstechnologien zur Wasser- und Luftaufbereitung (u. a. Verbesserung von Photokatalyse-Verfahren, Sanierung von Böden, Abfallentsorgung und -aufbereitung) werden diskutiert. Ferner spielen auch sozio-kulturelle Aspekte eine Rolle, wenn beispielsweise in der japanischen Studie Verhaltensänderungen als Voraussetzungen zur Schaffung einer nachhaltigen Gesellschaft dargestellt werden. Es lässt sich schließlich festhalten, dass der Bereich Nachhaltigkeit und Umwelt hinsichtlich des Aspektes Ressourcenknappheit quer zu allen anderen Technologiebereichen behandelt wird (so z. B. im Rahmen der Untersuchung des Themas „Produktions- und Prozesstechnik“).

Fünf der sechs untersuchten Technologieprognosen erwarten für den Bereich **Elektronik** eine Konvergenz mit anderen Technologiefeldern, wie z. B. den Mikro- und Nanotechnologien (zunehmende Miniaturisierung, Halbleiter) und der Biotechnologie (DNA-Computing). Es wird eine zunehmende Bedeutung der Leistungselektronik und des Einsatzes der Elektronik in der Kommunikation und dem Energiebereich (Solarzellen, intelligente Netztechnologien, Batterietechnik) prognostiziert. Der Technologiebereich Elektronik wird in China nicht durch eine eigenständige Roadmap beleuchtet sondern im Rahmen der IuK-Roadmap bearbeitet.

Alle untersuchten Technologieprognosen nehmen Bezug zum Themenkomplex **Verteidigung und Sicherheit**, wenngleich häufig keine konkreten Aussagen zur zukünftigen Ausgestaltung dieses Technologiefeldes gemacht werden. Das Thema „Verteidigung und Sicherheit“ wird in der französischen Studie „Technologies Clés 2015“ sowie den amerikanischen PCAST-Berichten hauptsächlich unter dem Aspekt der Sicherheit und Zuverlässigkeit von IuK-Systemen und -Anwendungen, insbesondere von Computernetzwerken betrachtet. Die Weiterentwicklung biometrischer Verfahren zu Sicherheitszwecken spielt sowohl in der britischen als auch in der europäischen Studie eine Rolle.

Dem Bereich **Luft- und Raumfahrt** wird insgesamt sehr wenig Platz eingeräumt. Die meisten der Aussagen werden lediglich in Zusammenhang mit identifizierten technologischen Trends aus anderen Bereichen gemacht: Dies ist beispielsweise der Fall, wenn in der französischen Studie allgemeine Trends für den Bereich Transport identifiziert werden, die auch für den spezifischen Bereich „Luft- und Raumfahrt“ gelten (beispielsweise Nutzung neuer Materialien zur Gewichtsreduzierung bzw. zunehmende Elektrifizierung). Dies ist ebenfalls der Fall, wenn der Be-

reich „Luft- und Raumfahrt“ als potenziell interessantes Anwendungsgebiet für technologische Neuerungen in der Materialtechnik (beispielsweise in der britischen Studie) oder in der Mikro- und Nanoelektronik (beispielsweise in der EU-Studie) dargestellt wird. Trotz dieser Einschränkungen lassen sich einige spezifische Trends für den Bereich „Luft- und Raumfahrt“ finden, insbesondere in der chinesischen Roadmap zu Weltraumforschung und -technologie sowie – in geringerem Umfang – in der französischen und der japanischen Studie. Während die französische Studie mögliche Fortschritte bei den Antriebstechnologien hervorhebt, erscheinen in der japanischen Studie die Entwicklung in Japan von wettbewerbsfähigen Weltraumrüstungen bis 2017 als wahrscheinlich sowie das erste japanische bemannte Weltraumsystem bis 2024 als denkbar. Schließlich könnten laut der japanischen Studie technologische Umbrüche zur Lösung des Problems des Weltraummülls beitragen.

Im Bereich **Transport, Verkehr und Logistik** stehen die Entwicklung emissionsarmer Fahrzeuge, die zunehmende Durchdringung des Transport- und Logistikbereichs durch IuK-Technologien (Fahrerassistenzsysteme), der Trend zu intelligenten Verkehrsnetzen und die Förderung eines ressourcenschonenden Fahrverhaltens (z. B. Carsharing) im Vordergrund; allerdings sind Schwerpunktsetzung und Detaillierungsgrad in den verschiedenen Technologieprognosen unterschiedlich. Die französische sowie die britische Technologieprognose befassen sich eingehend mit dem Thema: in diesen beiden Studien werden zukünftige Transport- und Verkehrstechnologien vor dem Hintergrund ihres potenziellen Beitrags zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen, insbesondere zur Reduzierung von CO₂-Emissionen, untersucht. In diesem Zusammenhang werden in beiden Studien die gleichen technologischen Trends identifiziert, und zwar die Entwicklung emissionsarmer Fahrzeuge (durch Gewichts- und somit Kraftstoffverbrauchsreduzierung, Optimierung von Motoren und Treibstoffen bei traditionellen Fahrzeugen oder durch die zunehmende Elektrifizierung der Transportmittel) sowie die zunehmende Durchdringung des Transport- und Logistikbereichs durch moderne Informations- und Kommunikationstechnologien. Hier werden insbesondere Fahrerassistenzsysteme, der Trend zu intelligenten Verkehrsnetzen sowie Methoden der Modellierung, Simulation und Optimierung von Verkehrsrouten, Verkehrsaufkommen, Lagerbeständen und Lieferketten hervorgehoben.

Die meisten der oben geschilderten Trends aus der französischen und der britischen Studie finden ebenfalls in der japanischen, den US-amerikanischen sowie der EU-Studie zu Schlüsseltechnologien Erwähnung – wenn auch all diese Studien deutlich weniger detailliert auf das Thema eingehen.

Im Bereich der **optischen Technologien** unterstreichen besonders die Technologieprognosen aus Frankreich, UK, den USA sowie der EU die steigende Bedeutung für die Zukunft. Insbesondere die französische Studie zu „Technologies Clés 2015“ sowie die europäische Studie zu

Schlüsseltechnologien prognostizieren, dass Fortschritte in den optischen Technologien zu zahlreichen neuen Anwendungen und Techniken auf den verschiedensten Gebieten führen werden – von dem Gesundheitsbereich, dem Energie- und Beleuchtungsbereich bis hin zum Sicherheitsbereich oder dem Produktionsbereich. Großes (Markt-)Potenzial wird sowohl in der britischen als auch in der europäischen Studie bei „green photonics“, d. h. der Nutzung optischer Verfahren zwecks Optimierung der Effizienz und somit des Ressourcenverbrauchs, gesehen. Dabei wird mit einer zunehmenden Konvergenz mit Elektronik gerechnet.

Hinsichtlich des Themenkomplexes **Meerestechnik und Schifffahrt** steht die potenzielle Gewinnung von Meeresbodenressourcen und Energie im Vordergrund. Die Gewinnung von Strom aus Wellen-, Gezeiten und Strömungsenergie wird sowohl in der französischen Studie empfohlen als auch im Rahmen der japanischen Delphi-Studie als wichtig identifiziert. Darüber hinaus wird in der japanischen Studie die Möglichkeit der Fixierung von Kohlendioxid unter dem Meeresboden als vielversprechend dargestellt. Schließlich wird laut der chinesischen Roadmap zur Meereswissenschaft und -technologie der grünen Weiterentwicklung der marinen Bioindustrie Zukunftspotenzial zugeschrieben.

Dem Themenfeld **Bauen und Wohnen** widmen sich lediglich zwei der untersuchten Technologieprognosen, und zwar diejenigen aus Frankreich und Großbritannien. Bei diesen beiden Studien wird das Thema allerdings eingehend untersucht und in beiden Fällen spielt die Tatsache eine wichtige Rolle, dass neue Technologien dazu beitragen können, den Ressourcenverbrauch sowie die CO₂-Emissionen im Bauwesen reduzieren zu können. Zukunftspotenziale werden in diesem Zusammenhang bei den Technologien zur Optimierung der Energieeffizienz und für einen schonenderen Umsatz mit Ressourcen erkannt – und dies sowohl während des Bauprozesses selbst als auch bei der späteren Gebäudenutzung. Beispielsweise könnten laut der französischen Studie intelligente Zählersysteme zukünftig eine wichtige Rolle bei der Optimierung des Ressourcenverbrauchs in Gebäuden spielen. Auch die zunehmende Nutzung von Faserverbundwerkstoffen und neuen Materialien zur Reduzierung der CO₂-Emissionen wird als wichtig angesehen.

Für den Bereich **Dienstleistungen** werden neue Dienstleistungskonzepte durch die zunehmende Hybridisierung der Produktion prognostiziert. Insbesondere die französische Studie „Technologies Clés 2015“ geht detailliert auf Dienstleistungen ein. Zahlreiche Bezüge zu möglichen Entwicklungen bei Dienstleistungen lassen sich in den unterschiedlichsten Bereichen finden. Zudem wird postuliert, dass zukünftige Entwicklungen bei Dienstleistungen eng mit technologischen Trends verknüpft werden könnten – z. B. mit der Durchdringung des Dienstleistungsbereichs durch IuK-Technologien. Ferner wird die zunehmende Hybridisierung der Produktion als wichtiger Trend identifiziert. Darunter wird die Tatsache verstanden, dass immer häufiger Gesamtlösungen gefragt wer-

den, die Produkt- und Dienstleistungsanteile kombinieren (hybride Produkte) und speziell auf die Bedürfnisse der Kunden – ob Endkonsumenten oder Unternehmen – zugeschnitten werden. Dieser Trend führe laut der Studie dazu, dass der zukünftige Nutzer hybrider Produkte zunehmend bereits in Entwicklungs- und Herstellungsprozesse eingebunden wird. In eine ähnliche Richtung geht auch die britische Studie, die den Trend zu Dienstleistungen „on demand“ hervorhebt. Die britische Studie legt zudem einen Schwerpunkt auf die steigende Bedeutung von Service-Robotik: es wird prognostiziert, dass Robotik ähnlich große Veränderungen im Dienstleistungsbereich anstoßen könnte wie einst der Einzug der Robotik in industrielle Prozesse. In der japanischen Studie werden Dienstleistungen unter dem Aspekt der Bildung, Aus- und Weiterbildung thematisiert (z B. Dienstleistungsangebote zur Kompetenzentwicklung).

6 THEMENSCHWERPUNKTE 2004-2006-2010-2013

In diesem Kapitel wird die zeitliche Entwicklung der Themenschwerpunkte dargestellt. Dazu wird auf die Themenmatrizen der früheren Vergleichsstudien zurückgegriffen.³⁸⁸ In den Themenmatrizen sind die Zeilen jeweils so sortiert, dass ein Thema umso weiter oben erscheint, je mehr Technologieprognosen sich eingehend mit diesem Thema befassen.

In der Vergleichsstudie von 2004³⁸⁹ stellte sich die aufkommende Diskussion um die Konvergenz von Technologiefeldern als das zentrale Motiv heraus. Es zeigte sich ein Zukunftsbild der Technologieentwicklung, in dem es vier große Technologiesegmente gibt: Bio – Nano – Material – IuK, die trotz ihrer offensichtlichen Unterschiede in starker Wechselbeziehung zueinander stehen und deren Erfolge und Fortschritte von denen der anderen Segmente abhängen. Dementsprechend nahm die Diskussion der zugehörigen Schlüsseltechnologien einen breiten Raum ein.

Konvergenz von Technologiefeldern. zentrales Motiv der Vergleichsstudie von 2004

Tabelle 6.1: Themenmatrix aus dem in 2004 durchgeführten internationalen Vergleich von Technologieprognosen.

2004	Japan	UK	USA1	USA2	NL	USA3
IuK						
Elektronik						
Materialtechnik						
Biotech/LifeSciences						
Gesundheit& Ernährung						
Produktions/ Prozesstechnik						
Energie						
Nano/Mikrosystemtechnik						
Transport/Verkehr/Logistik						
Verteidigung /Sicherheit						
Nachhaltigkeit /Umwelt						
Luft- und Raumfahrt						
Meerestechnik /Schifffahrt						
Dienstleistungen						
Optische Technologien						
Bauen und Wohnen						

Dabei steht schwarz für eine intensive, grau für eine weniger intensive und weiß für eine Auseinandersetzung der jeweiligen Studie mit dem Themenfeld.³⁹⁰

Nachhaltigkeit und Umwelt erwies sich als das Leitthema der Vergleichsstudie 2006.³⁹¹ Nahezu alle betrachteten Studien setzten sich mit dem Technologiefeld Nachhaltigkeit und Umwelt auseinander. Zudem fanden sich in den meisten Technologiestudien Querbezüge zu Nachhal-

³⁸⁸ s. Seiler, P. et al. (2004), Holtmannspötter, D. et al. (2006), Holtmannspötter, D. et al. (2010).

³⁸⁹ Seiler, P. et al. (2004).

³⁹⁰ Seiler, P. et al. (2004).

³⁹¹ Holtmannspötter, D. et al. (2006).

Nachhaltigkeit und Umwelt: Leitthema der Vergleichsstudie 2006

tigkeit und Umwelt auch in anderen Technologiefeldern (beispielsweise im Bereich der Energie oder der Produktions- und Prozesstechnik).

Tabelle 6.2: Themenmatrix aus dem in 2006 durchgeführten internationalen Vergleich von Technologieprognosen.

2006	USA	Südafrika	Kanada	China	Dänemark	Süd-korea	Indien	UK
Nachhaltigkeit / Umwelt	■							■
IuK	■						■	■
Biotech/LifeSciences	■					■		■
Gesundheit/Ernährung	■						■	■
Energie		■	■					
Produktions/Prozesstechnik	■				■			■
Materialtechnik	■		■		■	■		■
Nano/Mikrosystemtechnik	■			■	■			■
Transport/Verkehr/Logistik	■					■		■
Luft- und Raumfahrt	■		■			■		■
Bauen und Wohnen	■					■	■	■
Verteidigung / Sicherheit	■		■					■
Elektronik	■	■	■	■	■			■
Optische Technologien	■	■			■			■
Dienstleistungen		■						
Meerestechnik/Schifffahrt	■		■					

Dabei steht schwarz für eine intensive, grau für eine weniger intensive und weiß für eine Auseinandersetzung der jeweiligen Studie mit dem Themenfeld.³⁹²

Der Themenkomplex Energie rückte in den Mittelpunkt des Interesses der Vergleichsstudie 2010.³⁹³ Eher anwendungsbezogene Themenfelder waren wichtig, während die Basistechnologien mehr in Bezug auf das jeweilige Anwendungsfeld und weniger oft für sich genommen besprochen wurden. Hinsichtlich der thematischen Breite der einzelnen Technologieprognosen wurde festgestellt, dass thematisch umfassendere Einzelstudien eher in denjenigen Ländern unternommen wurden, die erst geringe Erfahrung bei der Erstellung von Technologieprognosen haben.

Themenkomplex Energie als Schwerpunkt der Vergleichsstudie 2010

Tabelle 6.3: Themenmatrix der Technologieprognosen aus dem in 2010 durchgeführten internationalen Vergleich von Technologieprognosen.

2010	USA	Japan	Spanien	Frankreich	UK	Indien
Energie	■	■	■	■	■	■
Nachhaltigkeit/Umwelt	■				■	■
Gesundheit/Ernährung	■		■			■
IuK	■					■

³⁹² Holtmannspötter, D. et al. (2006).

³⁹³ Holtmannspötter, D. et al. (2010).

Transport/Verkehr/ Logistik						
Biotechnologie/Life Sciences						
Verteidigung/Sicherheit						
Bauen und Wohnen						
Produktions-/Prozesstechnik						
Materialtechnik						
Nano-/Mikrosystemtechnik						
Luft- und Raumfahrt						
Meerestechnik /Schifffahrt						
Optische Technologien						
Dienstleistungen						
Elektronik						

Dabei steht schwarz für eine intensive, grau für eine weniger intensive und weiß für eine Auseinandersetzung der jeweiligen Studie mit dem Themenfeld.³⁹⁴

Das deutlichste Interesse besteht in der hier vorgelegten, aktuellen Vergleichsstudie (2013) an den Themen Energie, Biotechnologie und Life Sciences, Gesundheit und Ernährung, Nano- und Mikrosystemtechnologie. Diese Themenfelder werden in der nachfolgenden Themenmatrix gleichwertig (jeweils fünf schwarze, ein graues Feld) dargestellt. Ihre Reihenfolge wurde vor dem Hintergrund der qualitativen Bewertung getroffen.

Wichtigste Themen der aktuellen Vergleichsstudie: Energie, Biotechnologie und Life Sciences, Gesundheit und Ernährung, Nano- und Mikrosystemtechnologie

Fast alle untersuchten Technologieprognosen befassen sich mit den Themenbereichen IuK; Produktions- und Prozesstechnik, Materialtechnik, sowie mit dem Bereich Nachhaltigkeit und Umwelt. Auch das Thema Elektronik erlebt im aktuellen Vergleich eine *Renaissance*.

Tabelle 6.4: Themenmatrix der in der vorliegenden Meta-Analyse Technologieprognosen (2013).

2013	Frankreich	China	UK	Japan	EU	USA
Energie						
Biotechnologien/Life Sciences						
Gesundheit / Ernährung						
Nano/Mikrosystemtechnologie						
IuK						
Produktions- und Prozesstechnik						
Nachhaltigkeit und Umwelt						
Materialtechnik						
Elektronik						
Verteidigung und Sicherheit						
Luft- und Raumfahrt						
Transport und Verkehr, Logistik						
Optische Technologien						
Meerestechnik und Schifffahrt						
Dienstleistungen						
Bauen und Wohnen						

Dabei steht schwarz für eine intensive, grau für eine weniger intensive und weiß für eine Auseinandersetzung der jeweiligen Studie mit dem Themenfeld.

³⁹⁴ Holtmannspötter, D. et al. (2010).

6.1 Veränderung der Themenfelder im Zeitverlauf

Die nachfolgenden Abbildungen stellen dar, wie sich die Themenschwerpunkte im Laufe der Zeit verschoben haben. Je häufiger ein Thema behandelt wurde, desto weiter oben erscheint es in der Themensäule. Die Spalten geben jeweils die Rangfolge der Technologiefelder in den Vergleichsstudien 2004, 2006, 2010 und aus der vorliegenden Studie 2013 wieder.



Abbildung 6.1: Zeitliche Entwicklung der häufigsten Themenfelder in den Vergleichsstudien 2004, 2006, 2010, 2013. Je häufiger ein Thema behandelt wurde, desto weiter oben erscheint es in der Themensäule.

Kontinuierlicher Abwärtstrend für das Thema IuK

In der nachfolgenden Abbildung 6.2 sind die drei meistdiskutierten Technologiefelder der Vergleichsstudie 2004 markiert und zwar IuK, Elektronik und Materialtechnik. Bei allen drei Technologiefeldern zeigt sich im zeitlichen Verlauf ein Rückgang ihrer Untersuchungsintensität mit besonders kontinuierlichem Abwärtstrend für das Thema IuK. An

dieser Stelle muss jedoch noch einmal auf die Konvergenz zwischen IuK und anderen Disziplinen hingewiesen werden. IuK gilt für viele andere Technologiebereiche als „enabling technology“, d.h. Fortschritte in IuK sind oft Voraussetzung für Weiterentwicklungen in anderen Bereichen. Daher wird häufig IuK in neueren Technologieprognosen nicht als eigenständiger Bereich betrachtet, sondern dessen Anwendung/input quer zu anderen Bereichen (z.B. Transport, Verkehr, Logistik). Bei den Themen Elektronik und Materialtechnik war der Rückgang zwar bis 2010 recht deutlich, jedoch stehen beide Bereiche im aktuellen Vergleich wieder höher auf der Untersuchungsagenda.

2004	2006	2010	2013
I&K	Nachhaltigkeit und Umwelt	Energie	Energie
Elektronik	I&K	Nachhaltigkeit und Umwelt	Biotechnologie / Life Sciences
Materialtechnik	Biotechnologie / Life Sciences	Gesundheit, Medizintechnik, Ernährung	Gesundheit, Medizintechnik, Ernährung
Biotechnologie / Life Sciences	Gesundheit, Medizintechnik, Ernährung	I&K	Nano- und Mikrosystemtechnologie
Gesundheit, Medizintechnik, Ernährung	Energie	Transport und Verkehr, Logistik	I&K
Produktions- und Prozesstechnik	Produktions- und Prozesstechnik	Biotechnologie / Life Sciences	Produktions- und Prozesstechnik
Energie	Materialtechnik	Verteidigung und Sicherheit	Nachhaltigkeit und Umwelt
Nano- und Mikrosystemtechnologie	Nano- und Mikrosystemtechnologie	Bauen und Wohnen	Materialtechnik
Transport und Verkehr, Logistik	Transport und Verkehr, Logistik	Produktions- und Prozesstechnik	Elektronik
Verteidigung und Sicherheit	Luft- und Raumfahrt	Materialtechnik	Verteidigung und Sicherheit
Nachhaltigkeit und Umwelt	Bauen und Wohnen	Nano- und Mikrosystemtechnologie	Luft- und Raumfahrt
Luft- und Raumfahrt	Verteidigung und Sicherheit	Luft- und Raumfahrt	Transport und Verkehr, Logistik
Meerestechnik und Schifffahrt	Elektronik	Meerestechnik und Schifffahrt	Optische Technologien
Dienstleistungen	Optische Technologien	Optische Technologien	Meerestechnik und Schifffahrt
Optische Technologien	Dienstleistungen	Dienstleistungen	Dienstleistungen
Bauen und Wohnen	Meerestechnik und Schifffahrt	Elektronik	Bauen und Wohnen

Abbildung 6.2: Zeitliche Entwicklung der Themenfelder, die in der Vergleichsstudie 2004 am intensivsten diskutiert wurden. Je häufiger ein Thema behandelt wurde, desto weiter oben erscheint es in der Themensäule.

Für die vier Topthemen der aktuellen Vergleichsstudie (2013), Energie; Biotechnologien und Life Sciences, Gesundheit/Medizintechnik und Ernährung sowie Nano- und Mikrosystemtechnologien zeigt sich im zeitlichen Verlauf über die vier Vergleichsstudien hinweg ein klarer Aufwärtstrend. Die Themen Biotechnologie / LifeSciences und Nano- / Mikrosystemtechnologie konnten sogar einen vorübergehenden Abwärtstrend (2010) ausgleichen und erfahren im aktuellen Vergleich einen deutlichen Aufschwung.

2004	2006	2010	2013
I&K	Nachhaltigkeit und Umwelt	Energie	Energie
Elektronik	I&K	Nachhaltigkeit und Umwelt	Biotechnologie / Life Sciences
Materialtechnik	Biotechnologie / Life Sciences	Gesundheit, Medizintechnik, Ernährung	Gesundheit, Medizintechnik, Ernährung
Biotechnologie / Life Sciences	Gesundheit, Medizintechnik, Ernährung	I&K	Nano- und Mikrosystemtechnologie
Gesundheit, Medizintechnik, Ernährung	Energie	Transport und Verkehr / Logistik	I&K
Produktions- und Prozesstechnik	Produktions- und Prozesstechnik	Biotechnologie / Life Sciences	Produktions- und Prozesstechnik
Energie	Materialtechnik	Verteidigung und Sicherheit	Nachhaltigkeit und Umwelt
Nano- und Mikrosystemtechnologie	Nano- und Mikrosystemtechnologie	Bauen und Wohnen	Materialtechnik
Transport und Verkehr, Logistik	Transport und Verkehr, Logistik	Produktions- und Prozesstechnik	Elektronik
Verteidigung und Sicherheit	Luft- und Raumfahrt	Materialtechnik	Verteidigung und Sicherheit
Nachhaltigkeit und Umwelt	Bauen und Wohnen	Nano- und Mikrosystemtechnologie	Luft- und Raumfahrt
Luft- und Raumfahrt	Verteidigung und Sicherheit	Luft- und Raumfahrt	Transport und Verkehr, Logistik
Meerestechnik und Schifffahrt	Elektronik	Meerestechnik und Schifffahrt	Optische Technologien
Dienstleistungen	Optische Technologien	Optische Technologien	Meerestechnik und Schifffahrt
Optische Technologien	Dienstleistungen	Dienstleistungen	Dienstleistungen
Bauen und Wohnen	Meerestechnik und Schifffahrt	Elektronik	Bauen und Wohnen

Abbildung 6.3: Zeitliche Entwicklung der Themenfelder, die in der Vergleichsstudie 2013 am intensivsten diskutiert wurden. Je häufiger ein Thema behandelt wurde, desto weiter oben erscheint es in der Themensäule.

Diese Analyse gibt einen Überblick über die wesentlichen Inhalte und Schwerpunkte bedeutender Technologieprognosen aus dem Ausland und bietet damit eine qualitative Einordnung der 16 betrachteten Themenfel-

der – immer bezogen auf die dezidiert betrachtete Studie eines Landes zu einem bestimmten Zeitpunkt.

Zur Erinnerung: Die vorliegende Studie gibt keine quantitative Bewertung der Bedeutung von Technologiethemen, bzw. der forschungspolitischen Prioritäten eines Staates. Auch ist es nicht möglich, im Rahmen der vorliegenden Studie einen Vergleich der politisch-strategischen Wirkung von Technologieprognosen zu unternehmen.

Die miteinander verglichenen Technologieprognosen unterscheiden sich im Hinblick auf Zielsetzung, Detaillierungsgrad, berücksichtigte Technologiefelder und abgedeckte sozioökonomische Aspekte ebenso wie hinsichtlich des Zeithorizontes.

Trotz der Unterschiedlichkeit der analysierten Studien und der Unterschiedlichkeit der jeweils darin verwendeten Begriffssysteme hat sich gezeigt, dass das hier verwendete Analyseraster dem Gegenstand angemessen ist. Das heißt, fast ausnahmslos³⁹⁵ ließen sich die wesentlichen Aussagen der analysierten Studien jeweils einem oder zwei der sechzehn Themenfelder des Analyserasters zuordnen. An dieser Grundeinschätzung der Eignung des Analyserasters hat sich – über die inzwischen vier Vergleichsstudien hinweg gesehen – nichts geändert.

6.2 Dekadenvergleich

Die nachfolgende Tabelle 6.5 stellt die zeitliche Veränderung der Themen in Technologieprognosen über fast eine Dekade dar. Sie zeigt die relative Veränderung der Bedeutung der Themen in der aktuell untersuchten Technologieprognose im Vergleich zu deren Bedeutung vor etwa 10 Jahren (Vergleichsstudie 2004³⁹⁶) als Aufwärtspfeil, Abwärtspfeil oder Konstantpfeil.

³⁹⁵ Nicht klassifizierbar waren folgende Themengebiete der 9. Japanischen Technikprognose: Stärkung des Managements möglich/erforderlich durch den wissenschaftlich-technischen Fortschritt; Infrastrukturtechnologien zur Unterstützung der täglichen Lebensgrundlagen und der industriellen Basis; Beobachtung, Monitoring, Simulation und Prognose, Bewertung, Konsensbildung.

³⁹⁶ Seiler, P. et al. (2004).

Tabelle 6.5: Zeitliche Veränderung der Themen in Technologieprognosen: Relative Veränderung der Bedeutung der verschiedenen Themen der aktuell untersuchten Technologieprognosen im Vergleich zu deren Bedeutung vor fast 10 Jahren.

Thema	2004 → 2013
Energie	↗
Biotechnologien und Life Sciences	↗
Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung	↗
Nano- und Mikrosystemtechnologie	↗
Nachhaltigkeit und Umwelt	↗
Optische Technologien	↗
Luft- und Raumfahrt	↗
Produktions- und Prozesstechnik	→
Bauen und Wohnen	→
Verteidigung und Sicherheit	→
Materialtechnik	↘
Elektronik	↘
Transport und Verkehr, Logistik	↘
Meerestechnik und Schifffahrt	↘
Dienstleistungen	↘
Informations- und Kommunikationstechnologien	↘

Dabei wird deutlich, dass die Themen Energie; Biotechnologien/Life Sciences; Gesundheit/Medizintechnik/Ernährung; Nano-/Mikrosystemtechnologie; Nachhaltigkeit und Umwelt; Optische Technologien sowie Luft- und Raumfahrt, in Bezug zur Vergleichsstudie vor fast einer Dekade wieder häufiger diskutiert werden (wenngleich sich teilweise zwischenzeitlich Abwärtsentwicklungen ergeben haben können).

Umgekehrt haben die Themenbereiche Materialtechnik; Elektronik; Transport / Verkehr/ Logistik; Meerestechnik / Schifffahrt; Dienstleistungen; sowie Informations- und Kommunikationstechnologien in nationalen Technologieprognosen innerhalb fast einer Dekade an Auseinandersetzungintensität verloren.

Vergleichsweise konstant blieb die relative Untersuchungshäufigkeit der Themen Produktions- und Prozesstechnik Bauen und Wohnen; und Verteidigung und Sicherheit.

Aufwärtstrend für die Themenfelder Energie, Gesundheit, Nano-, Bio-, optische Technologien, Umwelt und Raumfahrt

Abwärtstrend für die Themenfelder IuK, Materialtechnik; Elektronik

6.3 Fazit des Dekadenvergleichs

Trotz der Unterschiedlichkeit der Technologiestudien lässt sich eine deutliche inhaltliche Schwerpunktsetzung in der vorliegenden Vergleichsstudie 2013 identifizieren: Alle aktuell analysierten Studien setzen sich ausführlich mit den Themen Energie; Gesundheit / Medizintechnik / Ernährung, Biotechnologien / Life Sciences und Nano- / Mikrosystemtechnologie aber auch mit Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK) und Elektronik; Produktions-, Prozess- und Materialtechnik; Umwelt; Verteidigung und Raumfahrt auseinander.

Dabei hat die Diskussion um die Themenbereiche Energie, Gesundheit, Nano-, Bio-, optische Technologien, Umwelt und Raumfahrt über fast eine Dekade an Intensität gewonnen, während IuK, Materialtechnik; Elektronik; Transport, Meerestechnik- und Dienstleistungen einen Interessesverlust im Dekadenvergleich verzeichnen.

Der Bereich Nachhaltigkeit und Umwelt hat zwar innerhalb einer Dekade an Untersuchungshäufigkeit zugelegt, verlor diese aber gegenüber der Vergleichsstudie 2010. Dieser relative Abwärtstrend sollte jedoch nicht als Bedeutungsverlust interpretiert werden, denn Nachhaltigkeits- und Umweltthemen werden oft hinsichtlich des Aspektes Ressourcenknappheit quer zu allen anderen Technologiebereichen behandelt. Hierbei liegt der Fokus bei den Anwendungstechnologien im Bereich Wasserumwelt / Wasserökologie; Luftaufbereitung; Sanierung von Böden; Abfallentsorgung und -aufbereitung und Schaffung einer nachhaltigen Gesellschaft.

Während in der Vergleichsstudie 2004 die aufkommende Diskussion über die Konvergenz von Technologiefeldern (Biotechnologie, Nanotechnologie, Materialien und IuK) Ergebnis der Analyse war, kristallisierte sich in der Vergleichsstudie 2006 der Themenkomplex Nachhaltigkeit / Umwelt als bedarfsorientiertes Leitthema heraus. Hinzu kam in der Analyse von 2010 das Thema Energie als Leitthema von Technologieprognosen.

Die Besonderheit der vorliegenden Vergleichsstudie 2013 ist zum einen die Erkenntnis, dass mit den *sichtbaren Leitthemen* Energie & Gesundheit einerseits und Bio- & Nanotechnologien andererseits jeweils zwei Bedarfs- und zwei Technologiefelder als Topthemen gelten.

Darüber hinaus ist festzustellen, dass die Themenfelder Nachhaltigkeit und Umwelt sowie Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK) *unsichtbare Leitthemen* sind. Diese beiden Themenfelder werden in den analysierten Technologieprognosen – anders als in früheren Technologieprognosen – oft nicht als eigenständige Bereiche betrachtet, sondern deren Anwendung quer zu anderen Bereichen beschrieben.

Das Themenfeld „Nachhaltigkeit und Umwelt“ findet hinsichtlich des Aspektes Ressourcenknappheit quer zu allen anderen Technologiebereichen seine Betrachtung; der Bereich IuK gilt für viele andere Technolo-

giebereiche als „enabling technology“ und es wird in den analysierten Technologieprognosen häufig auf die Konvergenz zwischen IuK und anderen Disziplinen hingewiesen (z. B. Transport, Verkehr, Logistik).

Somit gilt für beide Themenfelder, „Nachhaltigkeit und Umwelt“ sowie „Informations- und Kommunikationstechnologien“, dass deren Weiterentwicklung oft eine Voraussetzung für Fortschritte in anderen Bereichen darstellt.

LITERATURVERZEICHNIS

- Auswärtiges Amt (2012), „Beziehungen zwischen der Volksrepublik China und Deutschland“. http://www.auswaertiges-amt.de/DE/Aussenpolitik/Laender/Laenderinfos/China/Bilateral_node.html, abgerufen am: 27.03.2013.
- BMBF (2009a) Bundesministerium für Bildung und Forschung, „Kooperation International“ (2009): Ministerien und Gremien für Bildung und Forschung: China. <http://www.kooperation-international.de/buf/china/bildungs-forschungspolitik/ministerien-und-gremien.html>, abgerufen am: 24.07.2013.
- BMBF (2009b) Bundesministerium für Bildung und Forschung, „Kooperation International“ (2009): Politische Zielsetzungen für Bildung und Forschung: China. <http://www.kooperation-international.de/buf/china/bildungs-forschungspolitik/politische-zielsetzungen.html>, abgerufen am: 24.07.2013.
- BMBF (2009c) Bundesministerium für Bildung und Forschung, „Kooperation International“ (2009): Forschungslandschaft: China. <http://www.kooperation-international.de/buf/china/bildungs-forschungs-und-innovationslandschaft/forschungs-und-innovationslandschaft.html>, abgerufen am: 24.07.2013.
- BMBF (2009d) Bundesministerium für Bildung und Forschung, „Kooperation International“ (2009): Grundlagen der Kooperation: China. <http://www.kooperation-international.de/buf/china/kooperationen/grundlagen.html>, abgerufen am: 24.07.2013.
- BMBF (2011) Bundesministerium für Bildung und Forschung, „Zusammenarbeit mit anderen Ländern – Großbritannien“. <http://www.bmbf.de/de/7110.php>, abgerufen am: 18.03.2013.
- BMBF (2012a) Bundesministerium für Bildung und Forschung, „China – intensive Forschungszusammenarbeit mit neuen Themen“. <http://www.bmbf.de/de/818.php>, abgerufen am: 18.02.2013.
- BMBF (2012b) Bundesministerium für Bildung und Forschung, „Kooperation International“ (2012): Länderbericht Japan. <http://www.kooperation-international.de/buf/japan/laenderbericht.html#countryHeader-2>, abgerufen am: 15.02.12.
- BMBF (2012c) Bundesministerium für Bildung und Forschung, „EFR – Europäischer Forschungsraum über Grenzen hinweg“. <http://www.bmbf.de/de/956.php>, abgerufen am: 27.03.2013.
- BMBF (2013) Bundesministerium für Bildung und Forschung, „Deutschland und Frankreich: Forschung für die Zukunft Europas“. <http://www.bmbf.de/de/4710.php>, abgerufen am: 27.03.2013.
- Braun A., Scheiermann, A., Zweck A. (2011), „Technologiestandort Deutschland 2020: Status Quo und Entwicklungsperspektiven für Ingenieure“. VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.), ZTC Band 91, Düsseldorf.

- Carey, D., C. Hill and B. Kahin (2012), "Strengthening Innovation in the United States", OECD Economics Department Working Papers, No. 1001, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/5k8zl62hxm6-en>, abgerufen am: 18.02.2013.
- CAS (2009) Centre d'Analyse Stratégique, „France 2025“. <http://www.strategie.gouv.fr/content/sortie-des-rapports-thematiques-france-2025-0>, abgerufen am: 08.01.2013.
- CAS (2011a) Centre d'Analyse Stratégique, „Rapport – Trajectoires 2020-2050 vers une économie sobre en carbone“. <http://www.strategie.gouv.fr/content/trajectoires-2020-2050-vers-une-economie-sobre-en-carbone-rapport>, abgerufen am: 08.01.2013.
- CAS (2011b) Centre d'Analyse Stratégique, „Rapport – La voiture de demain : carburants et électricité“. <http://www.strategie.gouv.fr/content/rapport-la-voiture-de-demain-carburants-et-electricite-0>, abgerufen am: 08.01.2013.
- CAS (2011c) Centre d'Analyse Stratégique, „Rapport – Le travail et l'emploi dans vingt ans : 5 questions, 2 scénarios, 4 propositions“. <http://www.strategie.gouv.fr/content/rapport-le-travail-et-lemploi-dans-vingt-ans-5-questions-2-scenarios-4-propositions>, abgerufen am: 08.01.2013.
- CAW (2012) Centre d'Analyse Stratégique, „Les impacts du basculement de l'économie mondiale vers l'Asie“. <http://www.strategie.gouv.fr/content/prospective>, abgerufen am: 08.01.2013.
- CAW (2010a) Chinesische Akademie der Wissenschaften, „General Report – Science & Technology in China: A Roadmap to 2050“. ISBN 978-3-642-04822-7.
- CAW (2010b) Chinesische Akademie der Wissenschaften, „Advanced Materials Science & Technology in China: A Roadmap to 2050“. ISBN 978-3-642-05317-7.
- CAW (2010c) Chinesische Akademie der Wissenschaften, „Energy Science & Technology in China: A Roadmap to 2050“. ISBN 978-3-642-05319-1.
- CAW (2010d) Chinesische Akademie der Wissenschaften, „Marine Science & Technology in China: A Roadmap to 2050“. ISBN 978-3-642-05345-0.
- CAW (2010e) Chinesische Akademie der Wissenschaften, „Science & Technology of Public Health in China: A Roadmap to 2050“. ISBN 978-3-642-05337-5.
- CAW (2010f) Chinesische Akademie der Wissenschaften, „Science & Technology of Bio-hylic and Biomass Resources in China: A Roadmap to 2050“. ISBN 978-3-642-05339-9.
- CAW (2011a) Chinesische Akademie der Wissenschaften, „Agricultural Science and Technology in China: A Roadmap to 2050“. ISBN 978-3-642-19127-5.

- CAW (2011b) Chinesische Akademie der Wissenschaften, „Information Science and Technology in China: A Roadmap to 2050“. ISBN 978-3-642-19070-4.
- CAW (2011c) Chinesische Akademie der Wissenschaften, „Large Research Infrastructures Development in China: A Roadmap to 2050“. ISBN 978-3-642-19367-5.
- CAW (2011d) Chinesische Akademie der Wissenschaften, „Oil and Gas Resources in China: A Roadmap to 2050“. ISBN 978-3-642-13903-1.
- CAW (2011e) Chinesische Akademie der Wissenschaften, „Regional Development Research in China: A Roadmap to 2050“. ISBN 978-3-642-13994-9.
- CAW (2011f) Chinesische Akademie der Wissenschaften, „Ecological and Environmental Science & Technology in China: A Roadmap to 2050“. ISBN 978-3-642-12714-4.
- CAW (2011g) Chinesische Akademie der Wissenschaften, „Mineral Resources Science and Technology in China: A Roadmap to 2050“. ISBN 978-3-642-05343-6.
- CAW (2011h) Chinesische Akademie der Wissenschaften, „Space Science & Technology in China: A Roadmap to 2050“. ISBN 978-3-642-05341-2.
- CAW (2012a) Chinesische Akademie der Wissenschaften, „Advanced Manufacturing Technology in China: A Roadmap to 2050“. ISBN 978-3-642-13854-6.
- CAW (2012b) Chinesische Akademie der Wissenschaften, „Water Science & Technology in China: A Roadmap to 2050“. ISBN 978-3-642-23631-0.
- Cuhls, K. (2008) „Foresight in Japan“, Beitrag zur 3. iFQ-Jahrestagung „Foresight between science and fiction“, Bonn, 11.-12. Dezember 2008.
http://www.forschungsinfo.de/Archiv/iFQ_Jahrestagung_08/beitraege/cuhls.pdf, abgerufen am: 20.03.2013.
- Cunningham, P., Sveinsdottir, T., Gok, A., (2013) „ERAWATCH Country Reports 2011: United Kingdom“, European Commission, Joint Research Center IPTS.
http://erawatch.jrc.ec.europa.eu/erawatch/export/sites/default/galleries/generic_files/file_0248.pdf, abgerufen am: 22.03.2013.
- DGCIS (2011) Direction Générale de la Compétitivité, de l'Industrie et des Services, „Technologies-Clés 2015“. http://www.dgcis.redressement-productif.gouv.fr/files/files/directions_services/politique-et-enjeux/innovation/tc2015/technologies-cles-2015.pdf, abgerufen am: 26.03.2013.
- DGCIS (2013) Direction Générale de la Compétitivité, de l'Industrie et des Services, „Les missions de la DGCIS“. <http://www.dgcis.redressement-productif.gouv.fr/la-dgcis/missions>, abgerufen am: 12.03.2013.

- EC (2002) Europäische Kommission (Hrsg.), „Future directions of innovation policy in Europe“. EUR 17055.
- EC (2005a) Europäische Kommission, „A Vision for Photovoltaic Technology“. <http://www.eupvplatform.org/publications/other-publications.html#c2625>, abgerufen am: 20.02.13.
- EC (2005b) Europäische Kommission, „Challenging and Changing Europe's Built Environment: A vision for a sustainable and competitive construction sector by 2030“. <http://www.ectp.org/documentation/ECTP-Vision2030-25Feb2005.pdf>, abgerufen am: 20.02.13.
- EC (2006a) Europäische Kommission; „Biofuels in the European Union: A vision for 2030 and beyond“. http://www.biofuelstp.eu/downloads/biofuels_vision_2030_en.pdf, abgerufen am: 20.02.13.
- EC (2006b) Europäische Kommission, „European Steel Technology Platform – from a Strategic Research Agenda to Implementation: A vision for the future of the steel sector“. ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/estep/docs/sra_en.pdf, abgerufen am: 20.02.13.
- EC (2007) Europäische Kommission, „The Sustainable Nuclear Energy-Technology Platform: A Vision report“. http://www.snetp.eu/www/snetp/images/stories/Docs-VisionReport/sne-tp_vision_report_eur22842_en.pdf, abgerufen am: 20.02.13.
- EC (2009a) Europäische Kommission, Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:de:PDE>, abgerufen am: 07.03.2013.
- EC (2009b) Europäische Kommission, „Current situation of key enabling technologies in Europe“. SEK(2009) 1257 http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/files/staff_working_document_sec512_key_enabling_technologies_en.pdf, abgerufen am: 15.02.13.
- EC (2009c) Europäische Kommission, „Europäische Strategie zur Entwicklung von Schlüsseltechnologien“. Brüssel. http://europa.eu/legislation_summaries/research_innovation/research_in_support_of_other_policies/et0002_de.htm, abgerufen am: 15.02.13.
- EC (2009d) Europäische Kommission, „Industrielle Innovation“. Brüssel. http://ec.europa.eu/enterprise/policies/innovation/support/index_de.htm, abgerufen am: 15.01.13.
- EC (2009e) Europäische Kommission, „Preparing for our future: Developing a common strategy for key enabling technologies in the EU“. KOM(2009)512 http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/files/communication_key_enabling_technologies_en.pdf, abgerufen am: 17.01.2012.

- EC (2009f) Europäische Kommission, „Überarbeitung der Innovationspolitik der Gemeinschaft in einer Welt im Wandel“, KOM(2009) 442, Brüssel. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52009DC0442:DE:NOT>, abgerufen am: 15.01.13.
- EC (2010a) Europäische Kommission, High Level Group on Key Enabling Technologies, „The-Micro/Nanoelectronics Sherpa Team: Interim Thematic Report“ Brüssel. http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/files/kets/1_micro_and_nano_thematic_report_nov_15_final_final_en.pdf, abgerufen am: 14.02.13.
- EC (2010b) Europäische Kommission, High Level Group on Key Enabling Technologies: Working Group on Advanced Materials Technologies. http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/files/kets/2_hlg-materials-report_en.pdf, abgerufen am: 14.02.13.
- EC (2010c) Europäische Kommission, High Level Group on Key Enabling Technologies: Working Group on industrial biotechnology in Europe. http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/files/kets/4_industrial_biotechnology-final_report_en.pdf, abgerufen am: 14.02.13.
- EC (2010d) Europäische Kommission, „Eine Digitale Agenda für Europa“. Brüssel.
- EC (2010e) Europäische Kommission, „Eine integrierte Industriepolitik für das Zeitalter der Globalisierung – Vorrang für Wettbewerbsfähigkeit und Nachhaltigkeit“, Brüssel.
- EC (2010f) Europäische Kommission, High Level Group on Key Enabling Technologies: Thematic Report by the Working Team on Advanced Manufacturing Systems. Brüssel. http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/files/kets/6_advanced_manufacturing_report_en.pdf, abgerufen am: 15.02.13.
- EC (2010g) Europäische Kommission, High Level Group on Key Enabling Technologies, „Nanotechnology: a sustainable basis for competitiveness and growth in Europe“, Brüssel. http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/files/kets/3_nanotechnology_final_report_en.pdf, abgerufen am: 15.02.13.
- EC (2010h) Europäische Kommission, „Leitinitiative der Strategie Europa 2020“, Innovationsunion, Brüssel.
- EC (2010i) Europäische Kommission, „Die EU als Innovationsunion“ – neues Programm im Rahmen der Strategie Europa 2020, Brüssel. http://ec.europa.eu/commission_2010-2014/tajani/hot-topics/innovation-union/index_de.htm, abgerufen am: 15.01.13.
- EC (2011a) European Commission, „Innovation Union Scoreboard 2011“. http://ec.europa.eu/enterprise/policies/innovation/files/ius-2011_en.pdf. Abgerufen am: 10.01.2013.
- EC (2011b) Europäische Kommission, „ERA Watch Country Report Japan 2011“. http://erawatch.jrc.ec.europa.eu/erawatch/export/sites/default/galleries/generic_files/file_0134.pdf, abgerufen am: 17.02.12.

- EC (2011c) Europäische Kommission, High Level Expert Group, „Key Enabling Technologies – Final Report“. Brüssel http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/files/kets/hlg_report_final_en.pdf, abgerufen am: 15.02.13.
- EC (2011d) Europäische Kommission, High Level Group on Key Enabling Technologies: „Photonics: Interim Thematic Report-Photonics – a key enabling technology for Europe“. Brüssel http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/files/kets/photonics_final_en.pdf, abgerufen am: 14.02.13.
- EC (2011e) Europäische Kommission, High-Level Expert Group on Key Enabling Technologies: „Information and communication technologies“. Brüssel http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/key_technologies/kets_high_level_group_en.htm, abgerufen am: 14.02.13.
- EC (2011f) Europäische Kommission, „Cross-sectoral Analysis of the Impact of International industrial Policy on Key Enabling Technologies“. http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/files/kets/ket-report_en.pdf, abgerufen am: 15.02.13.
- EC (2011g) Europäische Kommission, High Level Group on Key Enabling Technologies – Working Group 5 of the KET Sherpa team: „Report on Globally Competitive Manufacturing Facilities“ Brüssel. http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/files/kets/wg_5_-_competitive_manufacturing_-_final_working_group_5_report_en.pdf, abgerufen am: 15.02.13.
- EC (2011h) Europäische Kommission (2011), „Innovationsstatistik“ Brüssel. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Innovation_statistics/de, abgerufen am: 14.01.13.
- EC (2011i) Europäische Kommission, „Neuer Leistungsanzeiger der Innovationsunion: Trotz Fortschritten in vielen Mitgliedstaaten liegen die Hauptwettbewerber vor der EU“, Brüssel. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-11-114_de.htm, abgerufen am: 14.02.13.
- EC (2011j) Europäische Kommission, „Städte von morgen – Herausforderungen, Visionen, Wege nach vorn“. Brüssel (KOM(2010) 546 http://ec.europa.eu/europe2020/index_de.htm, abgerufen am: 14.01.13.
- EC (2011k) Europäische Kommission, „Industrielle Innovation. Industrielle Innovation, Zahlen, Fakten und Analyse“. Webseiteninhalt, Brüssel http://ec.europa.eu/enterprise/policies/innovation/facts-figures-analysis/index_de.htm, abgerufen am: 14.01.13.
- EC (2012a) Europäische Kommission, „Preparing for our future: Developing a common strategy for key enabling technologies“.
- EC (2012b) Europäische Kommission, „Eine europäische Strategie für Schlüsseltechnologien – Eine Brücke zu Wachstum und Beschäftigung“. Brüssel, COM(2012) 341 final <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0341:FIN:DE:PDF>, abgerufen am: 14.02.13.

- EC (2012c) Europäische Kommission: „Information and communication technologies“. Webseiteninhalt, Brüssel, http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/key_technologies/index_en.htm, zuletzt aufgerufen am 15.02.13.
- EC (2012d) Europäische Kommission, „Europäischer Innovationsanzeiger 2011“. http://ec.europa.eu/enterprise/policies/innovation/facts-figures-analysis/innovation-scoreboard/index_en.htm, abgerufen am: 15.01.2013.
- EC (2012e) Europäische Kommission, „PRO INNO Europe® – 6 years of developing better innovation policies“. Brüssel. <http://www.proinno-europe.eu/metrics>, abgerufen am: 14.02.13.
- EC (2013a) Innovation Union Scoreboard 2013. http://ec.europa.eu/enterprise/policies/innovation/files/ius-2013_en.pdf, abgerufen am: 24.06.2013.
- EC (2013b) Europäische Kommission, „Europa 2020“. Webseiteninhalte http://ec.europa.eu/europe2020/index_de.htm, abgerufen am: 14.01.13.
- EP (2010) Europaparlament, „Innovations- und Industriepolitik“, Brüssel. <http://www.europarl.europa.eu/document/activities/cont/201106/20110629ATT22891/20110629ATT22891DE.pdf>, abgerufen am: 15.01.13.
- Eparvier, P., Mallet, O., Rivoire, L. (2012) , „ERAWATCH Country Reports 2011: France“. http://erawatch.jrc.ec.europa.eu/erawatch/export/sites/default/galleries/generic_files/file_0165.pdf, abgerufen am: 10.01.2013.
- ETPSMR (2005) European Technology Platform on Sustainable Mineral Re-sources, „Vision 2030“. http://www.etpsmr.org/media/files/ETP%20SMR_Vision_document_March_2005.pdf, abgerufen am: 20.02.13.
- EWETP (2006) European Wind Energy Technology Platform, „Wind Energy: A Vision for Europe in 2030“. http://www.windplatform.eu/fileadmin/ewetp_docs/Structure/061003_Vision_final.pdf, abgerufen am: 20.02.13.
- Französische Botschaft in Deutschland (2012a), „Wissenschaftsportal – Zahlen und Fakten im Vergleich“. <http://www.wissenschaft-frankreich.de/de/forschung-in-frankreich/forschungsorganisation-2/zahlen-fakten/>, abgerufen am: 12.03.2013.
- Französische Botschaft in Deutschland (2012b), „Wissenschaftsportal – Zukunftsinvestitionen“. <http://www.wissenschaft-frankreich.de/de/forschung-in-frankreich/forschungsreformen/zukunftsinvestitionen/>, abgerufen am: 12.03.2013.
- Godet, M.; Durance, P., Gerber, A. (2008) „Strategic Foresight – La Prospective – Use and Misuse of Scenario Building“. LIPSOR Research Working Paper #10. http://innovbfa.viabloga.com/files/LIPSOR_Strategic_Foresight.pdf, abgerufen am: 18.12.2012.

- Holtmannspötter, D., Rijkers-Defrasne, S., Glauner, C., Korte, S., Zweck, A. (2006), „Aktuelle Technologieprognosen im internationalen Vergleich. Übersichtsstudie.“ VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.), ZTC-Band 58, Düsseldorf.
- Holtmannspötter, D., Rijkers-Defrasne, S., Ploetz, C., Thaller-Honold, S., Zweck, A. (2010), „Technologieprognosen – Internationaler Vergleich 2010“. VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.), ZTC-Band 88, Düsseldorf.
- IEA (2010) Internationale Energieagentur, „Energy and Technology Perspectives – Scenarios and Strategies to 2050“. <http://www.iea.org/media/etp2010.pdf>, abgerufen am: 11.03.2013.
- IMTI (2000) Integrated Manufacturing Technology Initiative, „Integrated Manufacturing Technology Roadmapping Project – Modeling & Simulation“, <http://www.imti21.org/> abgerufen am: 08.02.2013.
- Internationales Büro des BMBF (2009), „Ministerien und Gremien für Bildung und Forschung: USA“. <http://www.kooperation-international.de/buf/usa/bildungs-forschungspolitik/ministerien-und-gremien.html>, abgerufen am: 26.03.2013.
- Internationales Büro des BMBF (2012a) „Ministerien und Gremien für Bildung und Forschung: Großbritannien“. <http://www.kooperation-international.de/buf/grossbritannien/bildungs-forschungspolitik/ministerien-und-gremien.html>, abgerufen am: 22.03.2013.
- Internationales Büro des BMBF (2012b) Forschungslandschaft: Großbritannien. <http://www.kooperation-international.de/buf/grossbritannien/bildungs-forschungslandschaft/forschungslandschaft.html>, abgerufen am: 22.03.2013.
- Internationales Büro des BMBF (2012c), „China“. <http://www.internationales-buero.de/de/1279.php>, abgerufen am: 18.02.2013.
- Internationales Büro des BMBF (2012d), „Forschungslandschaft: Frankreich“. <http://www.kooperation-international.de/buf/frankreich/bildungs-forschungslandschaft/forschungslandschaft.html>, abgerufen am: 12.03.2013.
- Internationales Büro des BMBF (2012e), „Politische Zielsetzungen für Bildung und Forschung: Frankreich“. <http://www.kooperation-international.de/buf/frankreich/bildungs-forschungspolitik/politische-zielsetzungen.html>, abgerufen am: 12.03.2013.
- Internationales Büro des BMBF (2012f), „Länderbericht: Frankreich“. <http://www.kooperation-international.de/buf/frankreich/laenderbericht.html>, abgerufen am: 12.03.2013.
- Internationales Büro des BMBF (2012f), „Länderbericht: Japan“. <http://www.kooperation-international.de/buf/japan/laenderbericht.html>, abgerufen am: 12.03.2013.

- JSPC (2011) Japan Society for the Promotion Science, „Japan’s Fourth Science and Technology Basic Plan“. <http://www.jsps.go.jp/english/e-quart/38/JSPS38-H.pdf>, abgerufen am: 16.02.12.
- Manach, J.-M. (2006), „Que sont devenues les technologies-clés de l’an 2000 de 2005 et comment nous mène-t-on vers 2010?“. Internet AC-TU.net, <http://www.internetactu.net/2006/09/27/que-sont-devenues-les-technologies-clés-de-lan-2000-de-2005-et-comment-nous-mène-t-on-vers-2010/>, abgerufen am: 08.01.2013.
- MESR (2007) Ministère de l’enseignement supérieur et de la recherche, „CIR : procédures et formulaires de déclaration“. <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid20358/cir-procedures-et-formulaires-de-declaration.html>, abgerufen am 18.01.2013.
- MESR (2009) Ministère de l’enseignement supérieur et de la recherche, „Direction générale pour la recherche et l’innovation“. <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid24148/direction-generale-pour-la-recherche-et-l-innovation-d.g.r.i.html>, abgerufen am: 12.03.2013.
- MESR (2011) Ministère de l’enseignement supérieur et de la recherche, „Énergie“. <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid56102/energie.html>, abgerufen am: 09.01.2013.
- MESR (2012a) Ministère de l’enseignement supérieur et de la recherche, „Organisation du système de recherche et d’innovation“. <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid56382/organisation-du-systeme-de-recherche-et-d-innovation.html>, abgerufen am: 12.03.2013.
- MESR (2012b) Ministère de l’enseignement supérieur et de la recherche, „Stratégie nationale de recherche et d’innovation: exercice de prospective scientifique“. <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid56143/strategie-nationale-de-recherche-et-d-innovation-exercice-de-prospective-scientifique.html>, abgerufen am: 12.03.2013.
- MESR (2012c) Ministère de l’enseignement supérieur et de la recherche, „Comprendre le programme Investissements d’Avenir“. <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid55892/comprendre-le-programme-investissements-d-avenir.html>, abgerufen am: 12.03.2013.
- MESR (2012d) Ministère de l’enseignement supérieur et de la recherche, „La Mission interministérielle Recherche et Enseignement supérieur (MIREs)“. <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid61606/la-mission-interministerielle-recherche-et-enseignement-superieur-mires.html>, abgerufen am: 12.03.2014.
- MESR (2012f) Ministère de l’enseignement supérieur et de la recherche, „Budget 2013 : + 2,2% pour l’enseignement supérieur et la recherche“. <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid61635/budget-2013-2-2-pour-l-enseignement-superieur-et-la-recherche.html>, abgerufen am: 18.01.2013.

- MESR (2013) Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, „Recherche“. <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/pid24888/recherche.html>, abgerufen am: 12.03.2013.
- MEXT (2012) Ministerium für Bildung, Kultur, Sport, Wissenschaft und Technologie, „The 4th Science and Technology Basic Plan of Japan.“ http://www.mext.go.jp/component/english/_icsFiles/afieldfile/2012/02/22/1316511_01.pdf, abgerufen am: 15.02.12.
- MINEFI (2006) Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie, „Technologies Clés 2010“. <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/064000771/index.shtml>, abgerufen am: 11.03.2012.
- Ministère de la Défense (2010), „Études prospectives et stratégiques“. <http://www.defense.gouv.fr/dga/innovation2/prospective/etudes-prospectives-et-strategiques>, abgerufen am: 09.01.2013.
- MIRES (2012) „Recherche et enseignement supérieur – Annexe au projet de loi de finances pour 2013“. http://www.performance-publique.budget.gouv.fr/farandole/2013/pap/pdf/PAP2013_BG_Recherche_enseignement_superieur.pdf, abgerufen am: 10.01.2013.
- Moll, P. H. (1991) „Länderbericht: Zukunftsforschung in Frankreich“. In: „Zukunftsforschung und Politik in Deutschland, Frankreich, Schweden und der Schweiz“, R. Kreibich, W. Canzler, K. Burmeister. Beltz Verlag, Basel.
- MRP (2012) Ministère du redressement productif, „Missions“. <http://www.redressement-productif.gouv.fr/le-ministere/missions>, abgerufen am: 12.03.2014.
- NISTEP (2010a) Japan Science and Technology Foresight Center and National Institute of Science and Technology Policy, „The 9th Science and Technology Foresight Contribution of Science and Technology to Future Society – The 9th Delphi Survey 2010“. Report No. 140. <http://www.nistep.go.jp/achiev/sum/eng/rep140e/pdf/rep140se.pdf>, abgerufen am: 15.02.12.
- NISTEP (2010b) Japan Science and Technology Foresight Center and National Institute of Science and Technology Policy, „The 9th Science and Technology Foresight Contribution of Science and Technology to Future Society – Future Scenarios Opened up by Science and Technology 2010“. Report No. 141. <http://www.nistep.go.jp/achiev/sum/eng/rep141e/pdf/rep141se.pdf>, abgerufen am: 15.02.12.
- NISTEP (2010c) Japan Science and Technology Foresight Center and National Institute of Science and Technology Policy, „The 9th Science and Technology Foresight – Contribution of Science and Technology to Future Society – Capability of Local Regions for the Green Innovation 2010“. Report No. 142. <http://www.nistep.go.jp/achiev/sum/eng/rep142e/pdf/rep142se.pdf>, abgerufen am: 15.02.12.
- NISTEP (2010d) Japan Science and Technology Foresight Center and National Institute of Science and Technology Policy, „Contribution of Science and Technology to Future Society“, Report No. 145.

- NSTC (2011) National Science and Technology Council, „National Nanotechnology Initiative Strategic Plan“
http://www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/2011_strategic_plan.pdf, abgerufen am: 15.03.2013.
- OECD (2009) „Information Technology Outlook 2008“.
<http://www.oecd.org/internet/interneteconomy/41895578.pdf>, abgerufen am: 15.02.13.
- OECD (2012) „Science, Technology and Industry Outlook 2012“. ISBN: 978-92-64-17039-1, Paris, <http://www.oecd.org/sti/oecdscience-technologyandindustryoutlook.htm>, abgerufen am: 10.01.2013.
- Offenberg, D. (2012) „Hyperspektrale Bildgebung“, Europäische Sicherheit & Technik : ES & T 61. Nr.5, S.65. ISSN: 2193-746X.
<http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-203954.html>, abgerufen am: 06.02.2013.
- PCAST (2010a) President's Council of Advisors on Science and Technology, „Realizing the Full Potential of Health Information Technology to Improve Healthcare for Americans: The Path Forward“.
<http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-health-it-report.pdf>, abgerufen am: 13.03.2013.
- PCAST (2010b) President's Council of Advisors on Science and Technology, „Report to the President on Accelerating the Pace of Change in Energy Technologies Through an Integrated Federal Energy Policy“.
<http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-energy-tech-report.pdf>, abgerufen am: 15.03.2013.
- PCAST (2010c) President's Council of Advisors on Science and Technology, „Designing a Digital Future: Federally Funded Research and Development Networking and Information Technology“.
<http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-nitrd-report-2010.pdf>, abgerufen am: 15.03.2013.
- PCAST (2012a) President's Council of Advisors on Science and Technology, „Report to the President on Capturing Domestic Competitive Advantage in Advanced Manufacturing“.
http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast_a-mp_steering_committee_report_final_july_27_2012.pdf, abgerufen am: 14.03.2013.
- PCAST (2012b) President's Council of Advisors on Science and Technology, „Report to the President on Capturing Domestic Competitive Advantage in Advanced Manufacturing – Annex 1: Technology Development Workstream Report“.
http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/amp_final_report_annex_1_technology_development_july_update.pdf, abgerufen am: 15.03.2013.
- PCAST (2012c) President's Council of Advisors on Science and Technology, „Report to the President and Congress on the Fourth Assessment of the National Nanotechnology Initiative“.
http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/PCAST_2012_Nanotechnology_FINAL.pdf, abgerufen am: 15.03.2013.

- Portail du gouvernement (2013), „La troisième phase des pôles de compétitivité“. <http://www.gouvernement.fr/gouvernement/la-troisieme-phase-des-poles-de-competitivite>, abgerufen am: 10.01.2013.
- Sagisaka K. (2010), „Science and Technology Policy in Japan“, <http://www.frp.nrw.de/frp2/dld/va/v477/Sagisaka.pdf>, abgerufen am: 17.02.12.
- SCJ (2005) Science Council of Japan, „Japan Vision 2050: Principles of Strategic Science and Technology Policy toward 2020“. <http://www.scj.go.jp/en/vision2050.pdf>, abgerufen am: 15.02.12.
- Seiler, P., Holtmannspötter, D., Albertshauer, U. (2004) „Internationale Technologieprognosen im Vergleich. Übersichtsstudie“. VDI Technologie-zentrum GmbH (Hrsg.), ZTC-Band 52, Düsseldorf.
- Tang, L. (2011) „ERAWATCH Country Reports 2010: China“. http://erawatch.jrc.ec.europa.eu/erawatch/opencms/information/reports/countries/cn/report_0001, abgerufen am: 18.02.2013.
- UK BIS (2010) Department for Business, Innovation and Skills, „Technology and Innovation Futures: UK Growth Opportunities for the 2020s“. <http://www.bis.gov.uk/assets/foresight/docs/general-publications/10-1252-technology-and-innovation-futures.pdf>, abgerufen am: 06.03.2013.
- UK BIS (2012) Department for Business, Innovation and Skills, „Technology and Innovation Futures: UK Growth Opportunities for the 2020s– 2012 Refresh“. <http://www.bis.gov.uk/assets/foresight/docs/horizon-scanning-centre/12-1157-technology-innovation-futures-uk-growth-opportunities-2012-refresh.pdf>, abgerufen am: 06.03.2013.
- UK Government (2009) „The UK Low Carbon Transition Plan – National strategy for climate and energy“, Presented to Parliament pursuant to Sections 12 and 14 of the Climate Change Act 2008, 15.07.2009. <http://www.official-documents.gov.uk/document/other/9780108508394/9780108508394.pdf>, abgerufen am: 12.04.2013.
- UK Government (2010) „Low Carbon Construction Innovation & Growth Team – Emerging Findings“. http://www.ccinw.com/uploads/documents/sustainable_construction/key_documents/low_carbon_construction.pdf, abgerufen am: 29.01.2013.
- vfa.de (2007) „Das ‚Omik‘-Zeitalter: Genomik, Proteomik und jetzt Metabolomik und Epigenomik?“. <http://www.vfa-bio.de/vb-de/aktuelle-themen/forschung/metabolomik.html>, abgerufen am: 14.02.2013.
- WSSTP (2005) Water supply and sanitation Technology Platform, „Water Euro-pean vision for water supply and sanitation in 2030“. <http://www.wsstp.eu/files/WSSTPX0001/Communication%20Tools/Vision%202030%2007-10-05.pdf>, abgerufen am: 20.02.13.

-
- Youtie, J. (2011) „ERAWATCH Country Reports 2010: United States of America“.
http://erawatch.jrc.ec.europa.eu/erawatch/export/sites/default/galleries/generic_files/file_0139.pdf, abgerufen am: 26.03.2013.
- Zaparucha, E., Muths, A.-G. (2011) „Mini Country Report / France – under Specific Contract for the Integration of INNO Policy Trend-Chart with ERAWATCH (2011-2012)“. http://www.proinno-euro-pe.eu/sites/default/files/repository_files/12/03/France_TC_final.pdf, abgerufen am: 10.01.2013.

ANHANG A: SCHLÜSSELTECHNOLOGIEN AUS DER FRANZÖSISCHEN STUDIE „TECHNOLOGIES-CLÉS 2015“

Die folgende Tabelle listet die in der Studie „Technologies-Clés 2015“³⁹⁷ identifizierten Schlüsseltechnologien auf und stellt die Einschätzung deren Diffusionsgrads, allgemein und speziell in Frankreich, deren Reifegrads sowie von Frankreichs Position und Potenzial dar.

Legende:

Allgemeiner Diffusionsgrad der Technologie	
zunehmend	++
verbreitet	+
schwach	-
Diffusionsgrad der Technologie in Frankreich	
zunehmend	++
verbreitet	+
schwach	-
Reifegrad der Technologie	
Wachstum	XXX
Reife	XX
Entstehung	X
Frankreichs Position	
führend	+
im Mittelfeld	+/-
im Rückstand	-
Akteurspotenzial in Frankreich	
stark	+
durchschnittlich	+/-
schwach	-

³⁹⁷ DGCIS (2011).

Tabelle A. 1: Schlüsseltechnologien aus der Studie „Technologies-Clés 2015“ und deren Einschätzung.

Technologies-Clés		Schlüsseltechnologien ³⁹⁸	Allgemeiner Diffusionsgrad	Diffusionsgrad in Frankreich	Reifegrad	Frankreichs Position	Akteurs-potenzial in Frankreich
Chimie – Matériaux – Procédés		Chemie – Materialien – Verfahren					
1	Nanomatériaux	Nanomaterialien	++	++	XXX	+/-	+/-
2	Simulation moléculaire	Molekulare Simulation	++	-	X	+/-	+/-
3	Biotechnologies blanches	Weißer Biotechnologien (oder industrielle Biotechnologien)	++	++	XX	+/-	+/-
4	Microstructuration	Mikroapparate und mikrostrukturierte Apparate für die chemische Verfahrenstechnik	++	++	XXX	+/-	+
5	Catalyse	Katalyseverfahren	+	+	XX	+/-	+/-
6	Dépôt de couche mince	Dünnschichttechnik	+	+	XX	+/-	+
7	Matériaux fonctionnels, intelligents et de performance	Funktionale und smarte Materialien	++	++	XXX	++	+
8	Capteurs	Sensoren	+	++	XXX	+/-	-
9	Procédés membranaires	Membrantechnik	++	++	XXX	-	-
10	Fabrication rapide	Rapid Prototyping	++	++	XX	+/-	+/-
11	Élaboration de composites – Assemblages multimatériaux	Verbundwerkstoffe	++	++	XX	++	+/-
12	Contrôle non destructif	Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung	+	+	XX	+/-	+/-
Technologies de l'information et de la communication		Informations- und Kommunikationstechnologien					
13	Robotique	Robotik	++	++	X	+/-	+
14	Technologies réseaux sans fil	Drahtlose Netzwerktechnologien	+	+	XX	++	+/-
15	Réseaux haut débit optiques	Optische Breitbandnetze	-	++	XX	+/-	+/-
16	Objets communicants	Internet der Dinge	++	++	XX	+/-	+
17	Technologies 3D	3D-Technologien – 3D-Videotechnologie, virtuelle Realität	++	++	XX	++	+
18	Interfaces homme-machine	Mensch-Maschine-Schnittstelle	++	++	XX	+/-	+
19	Ingénierie de systèmes complexes et systèmes de systèmes	Complex Systems Engineering	-	++	XXX	+/-	+
20	Calcul intensif	Hochleistungsrechnen	-	-	XXX	+/-	+/-
21	Progressive/Intelligent Manufacturing	Progressive/Intelligent Manufacturing	-	++	X	++	+

³⁹⁸ Übersetzung der Technologiebezeichnungen durch VDI TZ GmbH-ZTC.

22	Optoélectronique	Photonik	++	++	XXX	+-	+
23	Nanoélectronique	Nanoelektronik	+	+	XX	+-	+
24	Technologies de numérisation de contenus	Digitalisierungstechnologien	-	++	XX	++	+
25	Sécurité holistique	IT-Sicherheitssysteme	++	++	XXX	+-	+-
26	Virtualisation et informatique en nuages	Cloud Computing	+	+	XXX	+-	+
27	Logiciel embarqué et processeurs associés	Steuerungssoftwares und dazugehörende Prozessoren	++	++	XX	++	+
28	Valorisation et intelligence des données	Intelligente Datenverarbeitungstechnologien: Business Intelligence, Datenbanken, Semantische Technologien	-	+	XXX	++	+
29	Portail, collaboration et communications unifiées	Kommunikationsportale und -werkzeuge	+	+	XXX	+-	-
Environnement		Umwelt					
30	Technologies pour la captation maîtrisée et le traitement des sédiments pollués	Sedimenten-Abtragung und -Aufbereitung	-	-	XXX	+-	+-
31	Capteurs pour l'acquisition de données	Sensoren und Sensorennetzwerke	++	++	XXX	-	+
32	Technologies pour le dessalement de l'eau à faible charge énergétique	Energiearme Entsalzungstechnologien	++	-	XXX	++	+
33	Technologies pour le traitement des polluants émergents de l'eau	Wasseraufbereitungstechnologien	++	-	XXX	++	+
34	Technologies pour le traitement de l'air	Luftaufbereitungstechnologien	++	++	XXX	+-	+-
35	Technologies pour la dépollution in situ des sols et des sites pollués	In-situ-Bodensanierungsverfahren	++	++	XXX	+-	+
36	Technologies pour la gestion des ressources en eau	Technologien für ein nachhaltiges Wasserressourcen-Management	++	++	XX	++	+
37	Technologies pour le recyclage des matériaux rares et leur valorisation	Technologien zum Recycling und zur Aufbereitung seltener Materialien	-	-	X	+-	+-
38	Technologies de tri automatique des déchets	Technologien zur automatisierten Abfalltrennung	++	-	XXX	+-	+-
39	Valorisation matière des déchets organiques	Technologien zur Aufbereitung organischer Abfälle	++	-	XXX	-	+-
40	Éco-conception	Umweltfreundliches Produzieren	-	-	XXX	+-	+
Énergie		Energie					
41	Carburants de synthèse issus de la biomasse	Biokraftstoffe	k.A.	k.A.	XXX	+-	+-
42	Solaire thermodynamique	Thermodynamische Solarenergie	k.A.	k.A.	XXX	+-	+-

43	Énergies marines	Erneuerbare Energien aus d. Meer	k.A.	k.A.	X	+-	-
44	Piles à combustible	Brennstoffzellen	k.A.	k.A.	XXX	-	+-
45	Technologies de l'hydrogène	Energiequelle Wasserstoff	k.A.	k.A.	XXX	++	+-
46	Captage, stockage et valorisation du CO2	CO2-Abscheidung, -Speicherung und -Verwertung	k.A.	k.A.	XXX	+-	+-
47	Énergie nucléaire	Kernenergie	++	+	X XXX XX	++	+
48	Solaire photovoltaïque	Photovoltaik	++	++	XXX	+-	+-
49	Énergie éolienne en mer	Offshore-Windenergie	++	+	XXX	-	+-
50	Géothermie	Technologien zur Nutzung der Erdwärme	++	++	XXX	+-	+-
51	Stockage stationnaire d'électricité	Technologien zur stationären Energiespeicherung	++	++	XXX	+-	+-
52	Réseaux électriques intelligents	Intelligente Stromnetze	++	++	XXX	++	+
53	Technologies d'exploration et de production d'hydrocarbures	Öl- und Gaskerkundung und -förderung	+	k.A.	XXX	+-	+-
54	Technologies de raffinage des hydrocarbures	Raffinationstechniken	+	+	XXX	+-	-
55	Technologies pour l'exploration, l'extraction et les traitements des ressources minérales	Technologien zur Erschließung und Förderung von Bodenschätzen	-	-	XXX	-	+-
56	Carburants de synthèse issus de ressources fossiles	Synthetische Kraftstoffe aus fossilen Rohstoffen	-	-	XXX	+-	+-
57	Biomasse et déchets : valorisation énergétique	Energetische Aufbereitung von Biomasse und Abfällen	+	+	XX	+-	+-
Transports		Transport					
58	Moteurs à combustion interne	Verbrennungsmotoren	+	+	XX	++	+
59	Moteurs électrique	Elektromotoren	++	++	XX	+-	+-
60	Nouvelles technologies de turbomachine	Neue Technologien bei Strahltriebwerken	+	+	XX	+-	+
61	Interaction homme-machine, ergonomie	Mensch-Maschine-Interaktion (für Assistenzsysteme) & Ergonomie	+	+	XXX XX	+-	+
62	Optimisation de la chaîne logistique	Optimierung der Logistikkette	++	++	XX	+-	+
63	Technologies de stockage et de gestion à bord de l'énergie électrique	Batterien und Batteriemanagementsysteme	++	++	XXX	+-	+
64	Électronique de puissance	Leistungselektronik	++	++	XX	+-	+
65	Mécatronique	Mechatronik	++	++	XXX	++	+

66	Communications et données	Kommunikation und Daten im Transportbereich	++	++	XX	+ -	+
67	Démarche d'optimisation de l'ingénierie et de la production	Lean Manufacturing / Management	++	++	XX	+ -	+ -
68	Matériaux et technologie d'assemblage pour l'allègement	Materialien und Montagetechnologien zur Gewichtsreduzierung	+	++	XX	+ -	+ -
69	Outils et méthode de conception et de validation	Systemengineering, Modellierungs- und Simulationsverfahren	-	-	XX	+ -	+
Bâtiment		Bauwesen					
70	Systèmes d'enveloppe du bâtiment	Energieeffiziente und smarte Gebäudehüllsysteme	++	++	XX	+ -	+
71	Systèmes constructifs	Fertigbausysteme für ökologisches Bauen	++	-	XXX	+ -	+ -
72	Matériaux biosourcés, composites et recyclés	Biomaterialien und -verbundwerkstoffe, Recycling-Materialien	++	-	XXX	-	+
73	Maquette numérique	Gebäudedatenmodellierung (engl. „Building Information Modeling“)	++	-	XXX	++	+
74	Comptage intelligent	Intelligente Zähler-Systeme	++	-	XX	+ -	+
75	Technologies d'intégration et de mutualisation des ENR dans le bâtiment	Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien in Gebäuden und gebäudeübergreifende Energiemanagementsysteme	++	-	XX	+ -	+
Santé, Agriculture et Agroalimentaire		Gesundheit, Landwirtschaft und Lebensmittelindustrie					
76	Ingénierie cellulaire et tissulaire	Zell- und Gewebetechnik	++	++	X	+ -	+
77	Ingénierie génomique	Genomik	++	++	X	+ -	+ -
78	Ingénierie du système immunitaire	Verfahren zur Optimierung des Immunsystems	++	++	X	++	+
79	Technologies pour la biologie de synthèse	Synthetische Biologie	-	-	X	-	+
80	Systèmes bio-embarqués	Bioimplantate	++	++	XXX	+ -	+
81	Technologies pour la maîtrise des écosystèmes microbiens	Technologien zur Steuerung mikrobieller Ökosysteme	-	-	XXX	++	+
82	Capteurs pour le suivi en temps réel	Echtzeit-Sensoren	+	++	XXX	+ -	+ -
83	Technologies de diagnostic rapide	Techniken zur Schnelldiagnostik	++	++	XXX	+ -	+ -
84	Technologies pour l'imagerie du vivant	Bildgebende Verfahren in der Biologie	+	+	XXX	-	+
85	Technologies douces d'assainissement	Sanierungs- und Konservierungstechniken in der Lebensmittelkette	++	++	XXX	+ -	+

Quelle: DGCIS (2011). Übersetzung durch VDI TZ GmbH-ZTC.

ANHANG B: WEITERE TECHNOLOGIEPROGNOSEN

National Forward Looking Activities

Albanien

Institution / Autor	Titel / Referenz
Ministerrat	National Strategy of Science, Technology and Innovation 2009-2015 http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001871/187164e.pdf

Australien

Institution / Autor	Titel / Referenz
Department of Immigration and Multicultural and Indigenous Affairs	Future Dilemmas: Options for 2050 for Australia's population, technology, resources and environment http://www.cse.csiro.au/publications/2002/fulldilemmasreport02-01.pdf http://www.cse.csiro.au/publications/2002/fulldilemmasreport02-01.pdf
Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO)	Fuel for Thought – the Future of Transport Fuels: Challenges and Opportunities, Timehorizon 2050 http://www.csiro.au/files/files/plm4.pdf

Belgien

Institution / Autor	Titel / Referenz
Flämisches Parlament Vivta, an autonomous institute associated with the Flemish Parliament.	Energy Foresight Flanders 2050 – Toekomstverkenning energiesystemen – Vlaanderen 2050 http://www.samenlevingentechnologie.be/ists/nl/pdf/rapporten/toekomstverkenning_energiesystemen_vlaanderen_2050.pdf

Dänemark

Institution / Autor	Titel / Referenz
National Laboratory for Sustainable Energy (Risoe)	Nordic Hydrogen Energy Foresight 2030 http://www.risoe.dk/rispubl/NEI/nei-dk-4432.pdf http://www.risoe.dtu.dk/rispubl/SYS/svspdf/sys_9_2005.pdf
Ministry of Science, Technology and Innovation Steering Group for the Strategic Foresight on the ageing society 2030 Danish Research Agency	The Ageing Society 2030 http://en.fi.dk/publications/2006/the-ageing-society-2030/the-ageing-society-2030.pdf RESEARCH2020 http://en.fi.dk/research/research2020/about-research2020 http://en.fivu.dk/press/2012/research2020-catalogue-to-create-strategic-basis-for-danish-research
Danish Society of Engineers (IDA)	The Danish Society of Engineers' Energy Plan 2030 http://ida.dk/sites/climate/introduction/Documents/Energyplan2030.pdf

Deutschland

Institution / Autor	Titel / Referenz
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)	Foresight-Prozess http://www.bmbf.de/de/12673.php
Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi)	Technologie und Innovationspolitik – Neue Initiativen für ein technologiefreundliches Deutschland. Ein Sonderheft aus der Reihe „Schlaglichter der Wirtschaftspolitik“ des Bundeswirtschaftsministeriums http://www.wuerzburg.ihk.de/fileadmin/user_upload/pdf/Innovation_Umwelt/Innovation_Technologie/bmw-technologie-und-innovationspolitik_Juli_2012.pdf

Frankreich

Institution / Autor	Titel / Referenz
Ministry of transportation/ Conseil General des Ponts et Chausses	Démarche Prospective Transport 2050 http://www.etcproceedings.org/paper/download/1801
Centre d'analyse straté- gique	Perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2020-2050 http://www.strategie.gouv.fr/content/les-perspectives-energetiques-de-la-france-l%E2%80%99horizon-2020-2050-0
Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie	Démarche prospective Transports 2050 http://portail.documentation.developpement-durable.gouv.fr/cgedd/document.xsp?id=Cgpc-OUV00000454 http://portail.documentation.developpement-durable.gouv.fr/documents/cgedd/2006-0036-01.pdf
Institut d'Evaluation des Stratégies sur l'Energie et l'Environnement	La Demande d'énergie en 2050 http://lesrapports.ladocumentationfrancaise.fr/BRP/984000168/0000.pdf
Délégation interministé- rielle à l'aménagement et à la compétitivité des terri- toires (DIACT)	Territoires et cyberspace en 2030 http://www.ladocumentationfrancaise.fr/catalogue/9782110071330/index.shtml
Futuribles	An exercise in scenario-building for pensions in France up to 2040 http://www.ageing.ox.ac.uk/files/workingpaper_302.pdf

Finnland

Institution / Autor	Titel / Referenz
Finland VTT Technical Research Centre	Technology pathways 2050 http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2008/T2433.pdf
Ministry of Education and Culture	Research and Innovation Policy Guidelines for 2011–2015 http://www.minedu.fi/export/sites/default/OPM/Tiede/tutkimus-ja_innovaationeuosto/julkaisut/Review2011-2015.pdf

Grossbritannien

Institution / Autor	Titel / Referenz
Office of the Deputy Prime Minister, The Department for Transport	England's Regions 2030 http://www.southwest-ra.gov.uk/media/SWRA/RSS%20Documents/Technical%20Documents/Regional_Futures_Report.pdf
Tyndall Centre for Climate Change	UK Hydrogen Futures 2050 http://www.tyndall.ac.uk/sites/default/files/wp46.pdf Electricity Scenarios for 2050 http://www.tyndall.ac.uk/content/uk-electricity-scenarios-2050

Indien

Institution / Autor	Titel / Referenz
Office of the Principal Sci- entific Adviser to the Gov- ernment of India	National Energy Map for India – Technology Vision 2030 http://psa.gov.in/writereaddata/11913293531_NEMI2030.pdf

Irland

Institution / Autor	Titel / Referenz
Teagasc Agriculture and Food Development Authority	Towards 2030; Teagasc's Role in Transforming Ireland's Agri-Food Sector and the Wider Bioeconomy http://www.teagasc.ie/publications/2008/20080609/ForesightReportVol1.pdf http://www.teagasc.ie/publications/2008/20080609/ForesightReportVol2.pdf

Japan

Institution / Autor	Titel / Referenz
Ministry of Economy, Trade and Industry & National Institute for Environmental Studies	Cool Earth-Innovative Energy Technology Program Roadmap on Energy Horizon 2050 http://www.nies.go.jp/index.html http://www.iae.or.jp/research/project/Cool_Earth08_e/CoolEarth_RM.pdf http://www.iae.or.jp/research/project/Cool_Earth08_e/CE_RoadMap.ppt Project „2050 Japan Low-Carbon Society” http://2050.nies.go.jp/index.html

Korea

Institution / Autor	Titel / Referenz
Korea Institute of Sci. & Tech. Evaluation and Planning (KISTEP)	Korea 2030 http://www foresight-network.eu/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=36

Luxembourg

Institution / Autor	Titel / Referenz
Ministry of the Economy and Foreign Trade	Strategie 2020 http://www.odc.public.lu/publications/pnr/2011_NRP_Luxembourg_2020_april_2011.pdf

Niederlande

Institution / Autor	Titel / Referenz
Energy Research Centre of the Netherlands	The flexible future of micro combined heat and power. An analysis of the social embedding of micro CHP in Dutch households in 2030 http://www.ecn.nl/publications/PdfFetch.aspx?nr=ECN-E--08-038
Energy Research Centre of the Netherlands	A sustainable energy system in 2050: Promise or possibility? http://www.ecn.nl/publications/PdfFetch.aspx?nr=ECN-E--07-082
Ministerie van Infrastructuur en Milieu	Environmental Images for Dutch industry in 2030 – A national study on environmental performance levels in 2030 and comparison of cost of available solutions http://www.rijksoverheid.nl/bestanden/documenten-en-publicaties/rapporten/2007/03/01/environmental-images-for-dutch-industry-in-2030/w941.pdf

Österreich

Institution / Autor	Titel / Referenz
Bundesregierung	Strategie 2020 , Strategie der Bundesregierung für Forschung, Technologie und Innovation http://www.rat-fte.at/tl_files/uploads/Strategie/090824_FINALE%20VERSION_FT1-Strategie2020.pdf http://www.rat-fte.at/tl_files/uploads/Strategie/Broschuere%20FTI%20fuer%20WEB.pdf

Schweden

Institution / Autor	Titel / Referenz
Swedish National Energy Administration STEM / Swedish Research Council	Goteborg 2050 http://www.goteborg2050.se/

Taiwan

Institution / Autor	Titel / Referenz
Council of Agriculture, Taiwan	Agricultural Technology Foresight 2025 http://www.foresight-platform.eu/wp-content/uploads/2012/11/EFP-Brief-No.-229_Taiwan-Agricultural-Technology-Foresight-2025.pdf http://agritech-foresight.coa.gov.tw/

USA

Institution / Autor	Titel / Referenz
Department of Energy (DOE)	The US Hydrogen Roadmap 2040, The Hydrogen Posture Plan http://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/hydrogen_posture_plan_dec06.pdf

International Forward Looking Activities

Institution / Autor	Titel / Referenz
APEC Asia Pacific Center for Technology Foresight National Science, Technology and Innovation Policy Office	The Futures of Low-Carbon Society: An Asia-Pacific Vision Beyond 2050 project is officially completed in August 2010 http://www.lcs2050.com
Food and Agricultural Organization (FAO)	How to Feed the World in 2050 http://www.fao.org/wsfs/forum2050/wsfs-forum/en/ World agriculture towards 2030/2050: The 2012 Revision http://www.fao.org/docrep/016/ap106e/ap106e.pdf
United Nations (UN)-Population Division	World Population Ageing http://www.un.org/esa/population/publications/worldageing19502050/pdf/62executivesummary_english.pdf
United Nations (UN)	The Millennium Project: Millennium 3000 Scenarios – Excerpt from the State of the Future at the Millennium http://www.millennium-project.org/millennium/m3000-scenarios.html
United Nations Industrial Development Organization (UNIDO)	Unido Technology Foresight http://www.unido.org/index.php?id=o5216
Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)	International Futures Programme http://www.oecd.org/department/0,2688,en_2649_33707_1_1_1_1_1_00.html http://www.oecd.org/sti/futures/42332642.pdf OECD Environmental Outlook to 2050 http://www.oecd.org/environment/environmentalindicatorsmodellingandoutlooks/49082173.pdf
World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)	Biotechnology Scenarios 2000 – 2050 http://www.wbcsd.org/pages/edocument/edocumentdetails.aspx?id=219&nosearchcontextkey=true http://www.wbcsd.org/vision2050.aspx

International Network for Sustainable Energy (INFORSE)	Sustainable Energy Vision 2050 , http://www.inforse.org/europe/Vision2050.htm
The International Food Policy Research Institute's (IFPRI's)	New Risks and Opportunities for Food Security – Scenarios for 2015 and 2050 http://www.ifpri.org/2020/dp/dp39/2020dp39.pdf
International Energy Agency (IEA)	World Energy Outlook http://www.worldenergyoutlook.org/

European Forward Looking Activities

Institution / Autor	Titel / Referenz
European Commission DG Research – Socio-economic Sciences and Humanities Programme (SSH)	The World in 2025 http://ec.europa.eu/research/social-sciences/pdf/the-world-in-2025-report_en.pdf http://ec.europa.eu/research/social-sciences/pdf/report-the-world-in-2025_en.pdf
European Commission DG Research – Socio-economic Sciences and Humanities Programme (SSH) „Blue sky research on Emerging Issues affecting European Science and Technology“	Security and defence (SANDERA) www.sandera.net Science, technology and innovation (SESTI) www.sesti.info CIVISTI www.civisti.org INFU http://www.innovation-futures.org/ Wild cards (IKNOW) www.iknowfutures.eu EU 'Science in Society' (SiS) research programme http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/sis-project-synopses-2007-2008_en.pdf
European Commission DG Research – Environment-Sustainable Development Unit 12	MODELS project http://www.ecmodels.eu/
European Commission DG Research – Climate Change and Environmental Risks Unit	ADAM project http://adamproject.info/index.php/Download-document/456-Adam-Final-Report-revised-June-2009.html http://www.tyndall.ac.uk/adamproject/about
European Commission DG Research	HYWAYS http://www.hyways.de/
European Commission DG ECFIN and the Economic Policy Committee (AWG)	The 2009 Ageing Report http://ec.europa.eu/economy_finance/publications/publication13782_en.pdf http://ec.europa.eu/economy_finance/publications/publication_summary13784_en.htm
European Commission DG Energy	WETO project http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/weto-h2_en.pdf
European Commission DG Environment	EU Transport GHG: Routes to 2050? Project http://www.eutransportghg2050.eu/cms/assets/EU-Transport-GHG-2050-Task-3-Paper-ISIS-EU-Transport-Trends-and-Drivers-September-2009.pdf
EU Commission Standing Committee on Agricultural Research (SCAR)	Foresight in EU Agricultural research The 2nd SCAR Foresight Exercise http://ec.europa.eu/research/agriculture/scar/index_en.cfm?p=3_for_esign http://ec.europa.eu/research/agriculture/scar/pdf/scar_2nd_foresight_exercise_en.pdf http://ec.europa.eu/research/agriculture/scar/index_en.cfm?p=3_foresight

European Policy Center (EPC)	Well-being 2030 http://www.epc.eu/en/p.asp?TYP=TEWN&LV=187&see=y&PG=TEWN/EN/wb1&l=14
European Parliament Committee on Industry, Research and Energy	(ITRE)Future Energy Systems for the EU25 for 2030 http://www foresight-network.eu/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=345
Clingendael European Studies Programme	EU Policy Seminar: The European Union in 2030: Geopolitical realities and considerations for EU policy strategies http://www.clingendael.nl/cesp/events/20091007/20091007_cesp_final_report.pdf

Forward Looking Activities beyond 2030 within Technology Platforms

	<p>European Biofuels Technology Platform (EBTP) Biofuels in the European Union, a vision for 2030 and beyond: Bis zum Jahr 2030 deckt die Europäische Union ein Viertel der Kraftstoff für den Straßenverkehr durch saubere und CO₂-effiziente Biokraftstoffe. Ein wesentlicher Teil der Biokraftstoffe werden aus nachhaltigen und innovativen Technologien durch eine wettbewerbsfähige europäische Industrie zur Verfügung gestellt. Dies verringert erheblich die EU Einfuhren von fossilen Brennstoffen.</p>
	<p>European Construction Technology Platform (ECTP) Challenging and Changing Europe's Built Environment. A vision for a sustainable and competitive construction sector by 2030: Im Jahr 2030 wird Europas Bauwirtschaft und -technologie den gestiegenen Bedürfnissen der Gesellschaft und der Verantwortung für Mensch und Umwelt gerecht werden.</p>
	<p>European Steel Technology Platform (ESTEP) From a Strategic Research Agenda to implementation Vision 2030: Angesichts der starken Entwicklung in anderen Teilen der Welt, insbesondere in Asien, ist der Ehrgeiz der europäischen Stahlindustrie die Erhaltung und Stärkung einer globalen Führungsrolle, die sowohl nachhaltig als auch wettbewerbsfähig ist.</p>
	<p>Forest-based sector Technology Platform (FTP) Innovative and sustainable use of forest resources Vision 2030: Die Europäische Forst- und Holzwirtschaft wird in 2030 eine wichtige Rolle in einer nachhaltigen Gesellschaft spielen. Als wettbewerbsfähige, wissensbasierte Branche wird sie die verstärkte Nutzung von erneuerbaren Waldressourcen fördern und sich bemühen, ihren gesellschaftlichen Beitrag im Rahmen einer bio-basierten, kundenorientierten und international wettbewerbsfähigen europäischen Wirtschaft zu gewährleisten.</p>
	<p>European Photovoltaic Technology Platform A vision for photovoltaic technology Photovoltaik wird bis zum Jahr 2030 ein tragfähiger Stromversorger darstellen. Der Markt für PV wird rasant weiter wachsen.</p>
	<p>European Platform on Sustainable Mineral Resources (ETP SMR) Vision 2030 Sicherung der künftigen Versorgung mit / Zugang zu europäischen Rohstoffen; Wiederbelebung der Erforschung der europäischen mineralischen Bodenschätze; Entwicklung innovativer und nachhaltiger Produktionstechnologien; Implementierung von Best Practices; Wiederverwendung, Wiederverwertung und Recycling sowie neue Produkt-Applikationen; Berücksichtigung der Bedeutung der Rolle von Rohstoffen in entwicklungspolitischen Verhandlungen.</p>
	<p>Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (SNE-TP) Vision 2030: Erhaltung und Stärkung des Europäischen Technologieführerschaft der Atomindustrie durch eine starke und langfristige Forschung und Entwicklung von Reaktorsystemen der Generation II, III und IV Typen; Verbesserung der wissenschaftlichen und technischen Fertigkeiten, um mit entsprechenden Nachfrage Schritt zu halten: Technologische Durchbrüche, ein hohes Maß an Sicherheit, Umweltbeitrag durch nachhaltige nukleare Technologien (nicht Treibhausgasverursacher); Beitrag zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen.</p>
	<p>European Wind Energy Technology Platform (TPWind) Windenergy: A vision for Europe in 2030 TPWind will bis zum Jahr 2030 die Erfahrungen mit Windenergie in den EU-Raum streuen und die Zusammenarbeit der Regierungen der Mitgliedstaaten forcieren, Forschungsbudgets für die Windenergie erweitern, und mehr Mittel aus der Privatwirtschaft gewinnen.</p>
	<p>Water Supply and Sanitation European Technology Platform (WSSTP) Water – safe, strong, sustainable European vision for water supply and sanitation 2030: Integriertes Management von Wasserressourcen und Wasser-Infrastruktur; Sparsamer Wasserverbrauch und Erhaltung des aquatischen und terrestrischen Ökosystem; Recycling und Wiederverwendung von Wasser; Reduzierte schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit von Wasser-Emissionen; Überwachung der Wasserqualität; Risikomanagement des Wasser-Zyklus'.</p>

ist eine Beratungseinheit der VDI Technologiezentrum GmbH mit Sitz in Düsseldorf.

Zukünftige Technologien Consulting (ZTC) verbindet technologisches, zukunftsorientiertes und sozioökonomisches Know-how mit langjähriger Erfahrung in der Beratung von Entscheidungsträgern aus politischer Administration, Industrie, Finanzwelt sowie Verbänden, Vereinen und Organisationen.



Das interdisziplinär ausgerichtete Team von ZTC deckt dabei ein breites Themen- und Methodenspektrum ab. Mit Unterstützung eigener Softwareinstrumente werden kundenspezifisch strategische Themen identifiziert, neue Technologien und Trends bewertet, Ideen entwickelt sowie praxisnahe Lösungen umgesetzt.

Produkte

- Newsmonitoring
- Innovationsscreening und Innovationsmonitoring
- Studien und Analysen
- Szenarien und Prospektionen
- Prozessberatung

Weitere Informationen erhalten Sie unter www.zt-consulting.de



Zukünftige Technologien Consulting
VDI Technologiezentrum GmbH
Airport City
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

Telefon: + 49 (0) 211 62 14 - 5 36
Telefax: + 49 (0) 211 62 14 - 1 39
E-Mail: zfc@vdi.de
www.zf-consulting.de