

Inhaltsverzeichnis

1	Ergebnisübersicht	1
1.1	Begriffe und Grundlagen	1
1.2	Forschung und Entwicklung im internationalen Vergleich ...	2
1.3	Überblick über wichtige Anwendungsfelder	3
1.3.1	Oberflächenfunktionalisierung und -veredelung.....	4
1.3.2	Katalyse, Chemie und Werkstoffsynthese.....	4
1.3.4	Energieumwandlung und -nutzung	5
1.3.5	Konstruktion	5
1.3.6	Nanosensoren und Aktuatoren	6
1.3.7	Informationsverarbeitung und -übermittlung	6
1.3.8	Lebenswissenschaften	7
1.3.9	Sicherheit und Rüstung	8
1.4	Vertiefung: Anwendungen in ausgewählten Industriebranchen	8
1.4.1	Automobilindustrie.....	9
1.4.2	Luft- und Raumfahrtindustrie.....	9
1.4.3	Bauwesen.....	10
1.4.4	Textilindustrie.....	10
1.4.5	Energiewirtschaft.....	11
1.4.6	Chemische Industrie	11
1.5	Vertiefung: Anwendungen in der Informations- und Kommunikationstechnik	11
1.6	Vertiefung: Anwendungen in den Lebenswissenschaften	14
1.6.1	Diagnostik.....	15
1.6.2	Wirkstoffe	16
1.6.3	Verfahren, Materialien und Instrumente	17
1.6.4	Weitere Anwendungen der Nanotechnologie in den Lebenswissenschaften	17
1.6.5	FuE-Aktivitäten	18
1.7	Visionen	19
1.8	Chancen und Risiken der Nanotechnologie	20
1.8.1	Wirtschaftliche Aspekte.....	20
1.8.2	Positive Folgen für Gesundheit und Umwelt	21
1.8.3	Mögliche negative Folgen für Gesundheit und Umwelt	22
1.8.4	Ethische und gesellschaftliche Aspekte	23
1.9	Handlungsbedarf.....	24

2	Begriffe und Grundlagen	27
2.1	Was ist Nanotechnologie?	27
2.1.1	Abgrenzung des Feldes, Definition	28
2.1.2	Erwartungen an die Nanotechnologie	30
2.1.3	Grundlegende Strategien	31
2.1.4	Neuartige Effekte.....	32
2.1.5	Interdisziplinarität.....	34
2.2	Aktivitätsfelder der Nanotechnologie.....	34
2.2.1	Nanoskalige Basisstrukturen	34
2.2.1.1	Punktförmige Strukturen.....	35
2.2.1.2	Linienförmige Strukturen.....	37
2.2.1.3	Schichtstrukturen.....	39
2.2.1.4	Porenstrukturen	40
2.2.1.5	Komplexe Strukturen	41
2.2.2	Verfahren und Werkzeuge der Nanotechnologie.....	43
2.2.2.1	Nanoanalytik	43
2.2.2.2	Rastersondenverfahren	44
2.2.2.3	Andere nanoanalytische Verfahren.....	46
2.2.2.4	Prozesstechnologien	47
2.2.2.5	Idealtypisches Top-down-Verfahren.....	47
2.2.2.6	Idealtypisches Bottom-up-Verfahren	48
2.2.2.7	Andere Verfahren zur Erzeugung von nanoskaligen Basisstrukturen	49
3	Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten Deutschlands im Bereich der Nanotechnologie im internationalen Vergleich	51
3.1	Internationaler Vergleich anhand bibliometrischer Daten	51
3.2	Internationaler Vergleich anhand von Patentanmeldungen	55
3.3	Förderung der Nanotechnologie	57
3.3.1	Deutschland	57
3.3.2	Europäische Union	60
3.3.3	USA	61
4	Überblick über wichtige Anwendungsfelder der Nanotechnologie	65
4.1	Neuartige Eigenschaften von nanotechnologischen Produkten und Verfahren	65
4.1.1	Mechanische Funktionalitäten.....	65
4.1.2	Geometrische Besonderheiten.....	66
4.1.3	Elektrische Funktionalitäten.....	66
4.1.4	Magnetische Funktionalitäten	67
4.1.5	Optische Funktionalitäten.....	68
4.1.6	Chemische Funktionalitäten	69
4.1.7	Biologische Funktionalitäten.....	69

4.2	Anwendungsfelder nanotechnologiebasierter Produkte und Verfahren.....	70
4.2.1	Oberflächenfunktionalisierung und -veredelung.....	70
4.2.1.1	Verbesserte mechanische Eigenschaften und tribologische Schutzschichten.....	70
4.2.1.2	Thermische und chemische Schutzschichten.....	72
4.2.1.3	Benetzungsverhalten	73
4.2.1.4	Biozide Beschichtungen.....	74
4.2.1.5	Optisch-funktionale Oberflächen.....	75
4.2.1.6	Oberflächen mit besonderen elektrischen Eigenschaften.....	75
4.2.1.7	Lacke und Kleber	76
4.2.2	Katalyse, Chemie und Werkstoffsynthese.....	77
4.2.2.1	Katalytisch wirksame Nanopartikel.....	77
4.2.2.2	Sonstige neue und weiterentwickelte Katalysatoren.....	78
4.2.2.3	Nanoskalige Katalysatorträger	80
4.2.2.4	Membranen und nanoporöse Filter	81
4.2.2.5	Nanoreaktoren	82
4.2.2.6	Adsorptionsmittel	84
4.2.3	Energieumwandlung und -nutzung	85
4.2.3.1	Photovoltaik.....	85
4.2.3.2	Brennstoffzellen	87
4.2.3.3	Wasserstoffspeicherung.....	88
4.2.3.4	Batterien/Akkumulatoren und Superkondensatoren	89
4.2.3.5	Stromtransport und -speicherung.....	90
4.2.3.6	Festtreibstoffe.....	91
4.2.4	Konstruktion	91
4.2.4.1	Nanostrukturierte Keramiken.....	91
4.2.4.2	Kunststoffe mit Nanofüllstoffen.....	92
4.2.4.3	Metallverbindungen	93
4.2.4.4	Bindebaustoffe.....	93
4.2.5	Nanosensoren und Aktuatoren	94
4.2.5.1	Sensoren	94
4.2.5.2	Aktuatoren	99
4.2.6	Informationsverarbeitung und -übermittlung	100
4.2.6.1	Elektronische Bauelemente.....	101
4.2.6.2	Sonstige IuK-Komponenten.....	103
4.2.6.3	Neue Architekturen	103
4.2.7	Lebenswissenschaften	103
4.2.7.1	Diagnostik und Analytik	104

4.2.7.2	Transport und Dosierung.....	105
4.2.7.3	Zerstörung biologischen Gewebes	105
4.2.7.4	Implantate und Beschichtungen	105
4.2.7.5	Biomimetik.....	106
4.2.7.6	Anwendungen in anderen Bereichen	106
4.2.8	Sicherheit und Rüstung	107
4.2.8.1	Militärische Plattformen und Trägersysteme .	108
4.2.8.2	Aufklärung.....	109
4.2.8.3	Waffen und Munition	109
4.2.8.4	Personen	110
4.2.9	Übersicht zum Entwicklungsstand.....	111
5	Vertiefungsthema: Anwendungen der Nanotechnologie in ausgewählten Industriebranchen	113
5.1	Automobilindustrie	114
5.1.1	Nanotechnologiebasierte Automobil-Komponenten und -Subsysteme.....	116
5.1.2	Nanobasierte Konstruktionswerkstoffe	121
5.1.3	Nanobasierte Werkstoffe für Antriebe und Energieversorgung.....	124
5.1.4	Nanobasierte funktionale Schichten auf kunden- relevanten Flächen.....	128
5.2	Luft- und Raumfahrt.....	132
5.2.1	Strukturwerkstoffe	133
5.2.2	Energieerzeugung und -speicherung	135
5.2.3	Informations- und Kommunikationstechnik	135
5.2.4	Sensorik	136
5.2.5	Thermalschutz/Thermalkontrolle	137
5.3	Bauwesen	138
5.3.1	Baustoffe.....	138
5.3.2	Wärmedämmung/Wärmeschutz	139
5.3.3	Außenflächen.....	140
5.3.4	Innenbereich	142
5.4	Textilindustrie	142
5.5	Energiewirtschaft	147
5.5.1	Solarzellen	148
5.5.2	Energiespeicher	148
5.5.3	Energiewandler	149
5.5.4	Energietransport	150
5.6	Chemische Industrie	150
5.6.1	Katalyse	151
5.6.2	Füllstoffe.....	151

5.6.3	Pigmente/Beschichtungen/Schmierstoffe	152
5.6.4	Mikro-/Nanoreaktionstechnik.....	153
5.6.5	Membranen und Filter	153
5.6.6	Pharma.....	153
6	Vertiefungsthema: Anwendungen der Nanotechnologie in der Informations- und Kommunikationstechnik.....	155
6.1	Status-quo und Grenzen der Top-down-Strategie.....	156
6.1.1	Konventionelle Halbleitertechnik und Top-down-Nanotechnologie	156
6.1.2	Entwicklungen und Grenzen von Bauelementen und Fertigungsverfahren in der „klassischen“ Halbleiterelektronik	159
6.2	Neue Bauelemente-Konzepte	162
6.2.1	Logikbausteine	163
6.2.1.1	Resonanz-Tunnel-Elemente	163
6.2.1.2	Einzel-Elektronen-Transistoren.....	164
6.2.1.3	Einzelflussquanten-Logik (RSFQ).....	166
6.2.1.4	Feldeffekttransistoren aus Kohlenstoff-Nanoröhren	167
6.2.1.5	Magnetoelektronische Bauelemente – Spintronik	167
6.2.1.6	Molekulare Elektronik	168
6.2.2	Speicherbauelemente	173
6.2.2.1	Magnetische Speicherchips (MRAM)	173
6.2.2.2	Phasenwechselspeicher (OUM)	175
6.2.2.3	Weitere Speichertechniken	176
6.3	Optoelektronik	178
6.3.1	Quantenpunkte und darauf basierende Bauelemente ..	178
6.3.2	Photonische Kristalle.....	179
6.4	Displaytechniken	180
6.4.1	Organische Leuchtdioden (OLED)	180
6.4.2	Feldemissionsdisplays aus Nanoröhren	183
6.5	Nanotechnologiebasierte Systeme und neue Architekturen ..	184
6.5.1	DNA-Computing	185
6.5.2	Quanten-Computing	189
6.6	Anwendungsbeispiel: Allgegenwärtige informations- technische Systeme	195
6.6.1	Beiträge der Nanotechnologie zur technischen Basis allgegenwärtiger informationstechnischer Systeme....	196
6.6.2	Anwendungsbeispiele für allgegenwärtige informationstechnische Systeme	198
6.6.3	Bewertung.....	201

7	Vertiefungsthema: Anwendungen der Nanotechnologie im Bereich der Lebenswissenschaften.....	033
7.1	Nanotechnologie und Lebenswissenschaften	203
7.1.1	Wechselwirkungen.....	204
7.1.2	Nanobiotechnologie.....	205
7.1.3	Biologische und technische Nano-Systeme	206
7.1.4	Nano2Bio und Bio2Nano	208
7.2	Stand und Perspektiven.....	209
7.2.1	Biologische Strukturen und Prozesse.....	210
7.2.1.1	Nanoskalige Mikroskopie	211
7.2.1.2	Diagnostik und Analyse biologischer Systeme	213
7.2.2	Biologische Wirkstoffe.....	217
7.2.2.1	Transport biologischer Wirkstoffe.....	217
7.2.2.2	Dosierung biologischer Wirkstoffe	218
7.2.3	Medizinische Verfahren und Instrumente.....	220
7.2.3.1	Biomedizinische Nanomaschinen	220
7.2.3.2	Medizinische Materialien und Implantate	222
7.2.3.3	Behandlung von Zellen und Geweben	225
7.2.4	Nahrungsmittel	227
7.2.5	Kosmetik.....	229
7.2.6	Biomimetik	231
7.2.7	Bioinformatik und molekulare Computer	233
7.2.8	Erwartungen und Prognosen	236
7.3	Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im internationalen Vergleich	241
7.3.1	Bibliometrische Daten.....	242
7.3.2	Patentanmeldungen.....	247
7.3.3	Fördermaßnahmen	252
7.3.3.1	Deutschland.....	252
7.3.3.2	USA	253
7.3.3.3	Großbritannien	254
7.3.3.4	Europäische Union	255
8	Visionen zur Nanotechnologie	257
8.1	Visionäre Diskurse zur Nanotechnologie	258
8.2	Forschungspolitik, Wissenschaft und Visionen in den USA	260
8.3	Futuristische Visionen und Science Fiction.....	268
9	Chancen und Risiken der Nanotechnologie	275
9.1	Wirtschaftliche Aspekte	275
9.1.1	Halbleiter und optoelektronische Systeme.....	277

9.1.2	Chemie und Katalysatoren	278
9.1.3	Filter und Membranen	279
9.1.4	Medizin, Bio- und Gentechnologie, Pharmazie	280
9.2	Gesundheit und Umwelt	282
9.2.1	Positive Folgen für Gesundheit und Umwelt	282
9.2.1.1	Gesundheit	282
9.2.1.2	Umwelt	285
9.2.2	Mögliche negative Folgen für Gesundheit und Umwelt	286
9.2.2.1	Gesundheit	286
9.2.2.2	Umwelt	290
9.2.3	Ausgewählte Fallbeispiele	292
9.2.3.1	Photovoltaik	292
9.2.3.2	Autoabgaskatalysatoren	294
9.3	Ethische und gesellschaftliche Aspekte	295
9.3.1	Eingriffe in den menschlichen Körper	296
9.3.1.1	Visionen zur Nanotechnologie und das Verhältnis von Natur und Technik	297
9.3.1.2	Visionen in der Kritik	299
9.3.1.3	Eingriffstiefe beim menschlichen Körper	300
9.3.1.4	Der menschliche Körper als reparatur- bedürftige biologische Maschine	303
9.3.1.5	Molekulare Maschinentechologie	303
9.3.1.6	Neurotechnologie	305
9.3.1.7	Künstliche Gehirne	306
9.3.1.8	Entwicklungstendenzen im Anwendungs- gebiet Gesundheit	307
9.3.2	Verteilungsgerechtigkeit und Selbstbestimmung	307
9.3.2.1	Chancen-Verteilung	308
9.3.2.2	Schadensvermeidung	308
9.3.2.3	Autonomie und Selbstbestimmung	309
9.3.3	Sicherheitspolitische Implikationen	310
10	Handlungsbedarf	313
10.1	Forschung und Entwicklung im Bereich der Nanotechnologie	313
10.2	Forschung zu Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt ...	314
10.3	Ethische und gesellschaftliche Aspekte	316
10.4	Information der Öffentlichkeit und Diskurse	318
10.5	Ausbildung und Nachwuchsförderung	319
10.6	Militärische Sicherheit	321
10.7	Regulierungsbedarf	322
	Literatur	327