

Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU)

Prof. Dr.-Ing. Martin Faulstich (Vorsitzender),
Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Straubing

Prof. Dr. med. dent. Heidi Foth (stellvertretende Vorsitzende),
Martin Luther Universität Halle/Wittenberg

Prof. Dr. iur. Christian Calliess, Freie Universität Berlin

Prof. Dr. rer. pol. Olav Hohmeyer, Universität Flensburg

Prof. Dr. rer. oec. Karin Holm-Müller,
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Prof. Dr. rer. nat. Manfred Niekisch, Goethe-Universität Frankfurt,
Zoologischer Garten Frankfurt/Main

Prof. Dr. phil. Miranda Schreurs, Freie Universität Berlin

Dieses Sondergutachten beruht auch auf der sachkundigen und engagierten Arbeit der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des SRU. Zum wissenschaftlichen Stab des Umweltrates gehörten während der Arbeiten an diesem Gutachten:

DirProf. Dr. phil. Christian Hey (Generalsekretär), M.A. Christian Simon (stellvertretender Generalsekretär), Dr.-Ing. Mechthild Baron, Dipl.-Wi.-Ing. Sönke Bohm (Flensburg), Dipl.-Ing. agr., MSc Johanna Budde (Bonn), Dr. rer. nat. Henriette Dahms (Frankfurt/Main), Dr. rer. nat. Ulrike Doyle, Ass. iur. Miriam Dross LL. M., Dr. rer. nat. Felix Glahn (Halle/Saale), Dipl.-Pol. Julia Hertin, Dipl.-Wi.-Ing. Holger Höfling, Dipl.-Biol. MES Anna Leipprand (Berlin), Dr. phil. Dörte Ohlhorst (Berlin), Dr. rer. nat. Markus Salomon, Dr. rer. nat. Susanne Schick (Frankfurt/Main), Dr. rer. nat. Elisabeth Schmid, Dipl. iur. Heidi Stockhaus (Berlin), MPP, MA Michael Weber.

Zu den ständigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Geschäftsstelle gehörten bei Abschluss des Gutachtens: Petra Busch, Susanne Junker, Rainer Kintzel, Wilma Klippel, Pascale Lischka, Susanne Winkler und Sabine Wuttke.

Anschrift: Geschäftsstelle des Sachverständigenrates für Umweltfragen (SRU)

Luisenstraße 46, 10117 Berlin

Tel.: (030) 26 36 96-0, Fax: (030) 26 36 96-109

E-Mail: info@umweltrat.de, Internet: <http://www.umweltrat.de>

(Redaktionsschluss: März 2011)

Danksagung

Der SRU dankt den Vertreter(inne)n der Ministerien und Ämter des Bundes und der Länder sowie den Vertreter(inne)n von Wissenschaft und von Interessenverbänden, die er konsultiert hat und ohne deren Kenntnisse, Forschung oder Erfahrungen das vorliegende Gutachten nicht möglich gewesen wäre:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): UAL MinR Alexander Nies, MinR'in Dr. Anke Jesse, MinR Dr. Christian Meineke, RDir'in Dr. Sabine Gärtner, RDir Dr. Jörg Mayer-Ries, Dr. André Radde, Corinna Enders, Cornelia Leuschner, Florian Raecke , Friederike Sabiel

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV): UAL MinDir Dr. Walter Töpner, Katharina Adler

Umweltbundesamt (UBA): DirProf Dr. Klaus Steinhäuser, DirProf Dr. Christiane Markard, Dr. Wolfgang Heger, Dr. Christoph Schulte, Dr. Kathrin Schwirn, Inga Beer, Lars Tietjen

Bundesinstitut für Risikobewertung: PD Dr. Gaby-Fleur Böhl, Prof. Dr. Dr. Alfonso Lampen, PD Dr. Dr. Luch, PD Dr. Gerhard Heinemeyer, Dr. Ulrike Bernauer, Dr. Astrid Epp, Dr. Mario Götz, Dr. Axel Hahn, Dr. Frank Herzberg, Dr. Karsten Kneuer, Dr. Mark Lohmann, Dr. Jutta Tentschert

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL): Dr. Oliver Frandrup-Kuhr

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM): Dr. Harald Bresch, Dr. Alexandre Manton, Dr. Asmus Meyer-Plath, RegDir Dr. Werner Österle, ORR Dr. Volker Wachtendorf

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND): Patricia Cameron, Katja Vaupel, Jurek Vengels,

Öko-Institut: LL.M. Andreas Hermann

Verband der Chemischen Industrie (VCI): Dr. Hans-Jürgen Klockner

BASF: Dr. Karin Wiench

MERCK: Dr. Volker Hilarius

Verbraucherzentrale NRW: Dr. Rolf Buschmann

Die folgenden Reviewer haben einzelne Kapitel des Sondergutachtens kritisch geprüft und viele wertvolle Hinweise gegeben: Prof. Dr. Martin Führ, Prof. Dr. Thomas Gebel, Prof. Dr. Armin Grunwald, PD Dr. Dr. Andreas Luch, UAL MinDir Dr. Walter Töpner, Dr. Silvia Diabaté, Dr. Robert Falkner, Dr. Kerstin Hund-Rinke, Dr. René Zimmer, Torsten Fleischer und Nico Jaspers .

Mitglieder des Sachverständigenrates und der Geschäftsstelle haben in den letzten Jahren an zahlreichen Veranstaltungen und Gesprächen wie zum Beispiel Anhörungen und an Expertengesprächen teilgenommen und dabei vielfach auch Vorträge gehalten. Aus diesen Veranstaltungen erhält der SRU wichtige Anregungen und Kontakte für die Gutachtenarbeit sowie die Gelegenheit, seine Arbeit auf dem jeweils aktuellsten Diskussionstand zu halten. Eine vollständige Dokumentation aller Veranstaltungen würde den Rahmen dieser Danksagung sprengen. Hervorzuheben ist aber die Teilnahme von Prof. Dr. Christian Calliess an der NanoKommission der Bundesregierung und als Sprecher deren Themengruppe „Regulierung“.

Im Laufe des Jahres 2010 und 2011 fanden Vorabkonsultationen und Gespräche mit der zuständigen Abteilung des BMU statt.

Die volle Verantwortung für das vorliegende Sondergutachten übernimmt der SRU.

(Redaktionsschluss: März 2011)

Inhalt

	Seite
Abbildungsverzeichnis	16
Tabellenverzeichnis	17
Glossar und verwendete Abkürzungen	18
0 Kurzfassung für Entscheidungsträger	27
1 Problemstellung und Zielsetzung des Sondergutachtens	33
1.1 Neue Technologien: Chancen und Risiken	33
1.2 Nanotechnologien	34
1.2.1 Herausforderungen für Risikoforschung und -regulierung	35
1.2.2 Der Zeitpunkt des Sondergutachtens	36
1.3 Ziel und Aufbau des Sondergutachtens	37
2 Risikovorsorge bei neuen Technologien	39
2.1 Zum Begriff des Risikos	39
2.2 Herausforderungen an Strategien der Risikovorsorge	40
2.2.1 Entscheidung unter Unsicherheit	40
2.2.2 Risikoregulierung im Spannungsfeld von naturwissenschaftlicher Methode und gesellschaftlichem Diskurs	41
2.3 Vorgaben des Vorsorgeprinzips	41
2.3.1 Problemaufriss	41
2.3.2 Anerkennung des Vorsorgeprinzips als Rechtsprinzip	42
2.3.2.1 Zum Begriff der Vorsorge im Umweltrecht	42
2.3.2.2 Vorsorge als gestaltendes Rechtsprinzip des Umweltrechts	43
2.3.3 Legitimation staatlichen Handelns zur Umweltvorsorge	45
2.3.3.1 Vorgaben des Artikels 20a Grundgesetz	45
2.3.3.2 Vorgaben der Grundrechte	47
2.3.3.3 Ergebnis	49
2.3.4 Inhaltliche Vorgaben des Vorsorgeprinzips für die Risikovorsorge	49
2.3.4.1 Vorsorgeanlass	49
2.3.4.1.1 Begriff des Vorsorgeanlasses	49
2.3.4.1.2 Feststellung des Vorsorgeanlasses	50
2.3.4.1.3 Die Ermittlung und Bewertung des Vorsorgeanlasses	50

	Seite	
2.3.4.2	Die Möglichkeit einer vorsorgeorientierten „Beweislast- umkehr“	54
2.3.4.3	Vorsorgemaßnahme	57
2.3.4.4	Vorsorgeadressat	58
2.3.5	Vorgaben des Vorsorgeprinzips für den Umgang mit den Chancen neuer Technologien	59
2.4	Grenzen des Vorsorgeprinzips	59
2.4.1	Problemaufriss	59
2.4.2	Nationale Grenzen – Verfassung	59
2.4.3	Unionsrechtliche Grenzen	60
2.4.4	Grenzen im internationalen Recht	60
2.4.4.1	Die Europäische Konvention für Menschenrechte	60
2.4.4.2	Allgemeines Zoll- und Handelsabkommen (GATT)	60
2.5	Zusammenfassendes Ergebnis	61
3	Nanomaterialien und Nanoprodukte: Naturwissenschaftliche Grundlagen, Anwendungsbereiche und Marktpotenziale ...	63
3.1	Einleitung	63
3.2	Nanomaterialien	63
3.2.1	Nanoobjekte und nanostrukturierte Materialien	63
3.2.2	Nanospezifische Eigenschaften	65
3.2.3	Herstellungsverfahren	67
3.3	Definition von Nanomaterialien	70
3.4	Nanoprodukte	72
3.4.1	Auf dem Markt erhältliche Nanoprodukte	72
3.4.1.1	Nanotechnologische Produkte, die keine Nanoobjekte mehr enthalten	74
3.4.1.2	Produkte mit nanoskaligen Bestandteilen	75
3.4.2	Zukünftige Entwicklungen	76
3.4.3	Potenziale für den Umweltschutz	80
3.5	Marktpotenziale für Nanotechnologien	81
3.6	Zusammenfassung	84
4	Risikoermittlung	87
4.1	Grundlagen der Risikoermittlung	87

	Seite	
4.2	Umwelt- und Gesundheitsrisiken durch Nanomaterialien	87
4.2.1	Risikorelevante Eigenschaften von Nanomaterialien	87
4.2.2	Freisetzung und Expositionen bei der Herstellung und Nutzung	88
4.2.3	Umwelteinträge bei der Entsorgung von Nanoprodukten	89
4.2.3.1	Abwasser	89
4.2.3.2	Behandlung fester Abfälle	90
4.2.4	Verhalten von Nanopartikeln und Nanofasern in der Umwelt . . .	91
4.2.5	Analytik und Monitoring von Nanopartikeln und Nanofasern . . .	93
4.2.6	Aufnahme und Wirkungen von Nanopartikeln und Nanofasern bzw. ultrafeinen Partikeln und Fasern beim Menschen	93
4.2.7	Ökotoxizität von Nanopartikeln und Nanofasern	99
4.2.8	Zusammenfassung	100
4.3	Vorläufige naturwissenschaftliche Risikoabschätzung ausgewählter Nanopartikel und Nanofasern	102
4.3.1	Titandioxid-Nanopartikel	102
4.3.1.1	Eigenschaften	102
4.3.1.2	Anwendungen	103
4.3.1.3	Aufnahme und Verhalten im Organismus	103
4.3.1.4	Humantoxizität	104
4.3.1.5	Ökotoxizität	108
4.3.1.6	Exposition und Umweltverhalten	109
4.3.1.7	Zusammenfassende naturwissenschaftliche Risikobewertung . . .	110
4.3.2	Zinkoxid-Nanopartikel	112
4.3.2.1	Eigenschaften	112
4.3.2.2	Anwendungen	112
4.3.2.3	Aufnahme und Verteilung im Organismus	112
4.3.2.4	Humantoxizität	112
4.3.2.5	Ökotoxizität	113
4.3.2.6	Exposition und Verhalten in der Umwelt	114
4.3.2.7	Zusammenfassende naturwissenschaftliche Risikobewertung . . .	114
4.3.3	Aluminium- und Aluminiumoxid-Nanopartikel	116
4.3.3.1	Eigenschaften	116
4.3.3.2	Anwendungen	116
4.3.3.3	Aufnahme und Verhalten im Organismus	116
4.3.3.4	Humantoxizität	116
4.3.3.5	Ökotoxizität	117
4.3.3.6	Exposition und Umweltverhalten	118
4.3.3.7	Zusammenfassende naturwissenschaftliche Risikobewertung . . .	118

	Seite
4.3.4 Eisen- und Eisenoxid-Nanopartikel	120
4.3.4.1 Eigenschaften	120
4.3.4.2 Anwendungen	120
4.3.4.3 Aufnahme und Verhalten im Organismus	120
4.3.4.4 Humantoxizität	120
4.3.4.5 Ökotoxizität	121
4.3.4.6 Exposition und Umweltverhalten	121
4.3.4.7 Zusammenfassende naturwissenschaftliche Risikobewertung ...	122
4.3.5 Siliciumdioxid-Nanopartikel	123
4.3.5.1 Eigenschaften	123
4.3.5.2 Anwendungen	123
4.3.5.3 Humantoxizität	124
4.3.5.4 Ökotoxizität	127
4.3.5.5 Exposition und Umweltverhalten	127
4.3.5.6 Zusammenfassende naturwissenschaftliche Risikobewertung ...	129
4.3.6 Gold-Nanopartikel	130
4.3.6.1 Eigenschaften	130
4.3.6.2 Anwendungen	131
4.3.6.3 Humantoxizität	131
4.3.6.5 Ökotoxizität	137
4.3.6.6 Exposition	137
4.3.6.7 Zusammenfassende naturwissenschaftliche Risikobewertung ...	138
4.3.7 Silber-Nanopartikel	140
4.3.7.1 Anwendung und Eigenschaften	140
4.3.7.2 Humantoxizität	140
4.3.7.3 Ökotoxizität	144
4.3.7.4 Exposition und Umweltverhalten	145
4.3.7.5 Zusammenfassende naturwissenschaftliche Risikobewertung ...	146
4.3.8 Nanopartikel und Nanofasern aus Kohlenstoffverbindungen ...	149
4.3.8.1 Industrieruß (amorphe Kohlenstoffpartikel)	149
4.3.8.1.1 Eigenschaften	149
4.3.8.1.2 Anwendungen	149
4.3.8.1.3 Humantoxizität	149
4.3.8.1.4 Ökotoxizität	150
4.3.8.1.5 Exposition und Umweltverhalten	150
4.3.8.1.6 Zusammenfassende naturwissenschaftliche Risikobewertung ...	151
4.3.8.2 Kohlenstoff-Nanoröhren	152
4.3.8.2.1 Eigenschaften	152
4.3.8.2.2 Anwendungen	152
4.3.8.2.3 Aufnahme und Verhalten im Organismus	153
4.3.8.2.4 Humantoxizität	153

	Seite
4.3.8.2.5 Ökotoxizität	159
4.3.8.2.6 Exposition und Umweltverhalten	160
4.3.8.2.7 Zusammenfassende naturwissenschaftliche Risikobewertung ...	162
4.3.8.3 Fullerene	163
4.3.8.3.1 Eigenschaften	163
4.3.8.3.2 Anwendungen	163
4.3.8.3.3 Aufnahme und Verhalten im Organismus	164
4.3.8.3.4 Humantoxizität	164
4.3.8.3.5 Ökotoxizität	165
4.3.8.3.6 Exposition und Umweltverhalten	168
4.3.8.3.7 Zusammenfassende naturwissenschaftliche Risikobewertung ...	169
4.3.9 Schlussfolgerungen für die Risikobewertung von Nano- materialien	170
4.4 Naturwissenschaftliche nanospezifische Risikoeinschätzung einiger ausgewählter Produkte	175
4.5 Nanomaterial- und produktbezogene Kriterien für eine vorläufige Risikoabschätzung	180
4.5.1 Verschiedene Modellvorschläge	180
4.5.2 Kriterien	183
4.5.3 SRU-Vorschlag	184
5 Verfahrensanforderungen und Kriterien für Entscheidungen über Nanomaterialien	189
5.1 Konkretisierung des Vorsorgeprinzips durch Kriterien und Verfahren	189
5.2 Vorsorgeorientierte Risikoentscheidungen bei Nanomaterialien: ein Prozessmodell	190
5.3 Materielle Entscheidungskriterien	194
5.4 Verfahrensanforderungen	194
6 Vorsorgeorientiertes Risikomanagement von Nano- materialien: Analyse und Empfehlungen	199
6.1 Einleitung	199
6.2 Analyse des Regulierungsrahmens und Vorschläge zu dessen Anpassung und Ergänzung	199
6.2.1 Stoffrecht	201
6.2.1.1 REACH-Verordnung	201
6.2.1.1.1 Anwendungsbereich	202
6.2.1.1.2 Anknüpfungspunkt	202
6.2.1.1.3 Registrierungspflicht	203

	Seite
6.2.1.1.4 Aktualisierungspflicht	205
6.2.1.1.5 Anmeldepflicht	205
6.2.1.1.6 Informationspflicht	206
6.2.1.1.7 Dossierbewertung	206
6.2.1.1.8 Stoffbewertung	206
6.2.1.1.9 Zulassungsvorbehalt	207
6.2.1.1.10 Beschränkungen	208
6.2.1.1.11 Öffentlich zugängliches Register	210
6.2.1.1.12 Zusammenfassende Bewertung der REACH-Verordnung	210
6.2.1.1.13 Empfehlungen für eine Anpassung der REACH-Verordnung ...	211
6.2.1.2 CLP-Verordnung	214
6.2.1.2.1 Anwendungsbereich	214
6.2.1.2.2 Gefahreneinstufung	214
6.2.1.2.3 Kennzeichnung	215
6.2.1.2.4 Verpackung	216
6.2.1.2.5 Meldepflicht und Einstufungs- und Kennzeichnungsverzeichnis	216
6.2.1.2.6 Zusammenfassende Bewertung der CLP-Verordnung	216
6.2.1.2.7 Empfehlungen für die Anpassung der CLP-Verordnung	217
6.2.1.3 Zusammenfassende Bewertung des Stoffrechts	217
6.2.2 Produktrecht	217
6.2.2.1 Lebensmittelrecht	219
6.2.2.1.1 Allgemeine rechtliche Vorgaben für Lebensmittel	219
6.2.2.1.2 Lebensmittelzusatzstoffe	220
6.2.2.1.3 Neuartige Lebensmittel	222
6.2.2.1.4 Nahrungsergänzungsmittel	224
6.2.2.1.5 Zusammenfassende Bewertung des Lebensmittelrechts	224
6.2.2.1.6 Empfehlungen für die Anpassung des Lebensmittelrechts	226
6.2.2.2 Regulierung von Lebensmittelbedarfsgegenständen	226
6.2.2.2.1 Produktverantwortung der Hersteller	227
6.2.2.2.2 Generelle Zulassung über Positivlisten	227
6.2.2.2.3 Informationsweitergabe in der Lieferkette und Rückverfolg- barkeit	228
6.2.2.2.4 Verbraucherinformation	228
6.2.2.2.5 Überwachung	228
6.2.2.2.6 Zusammenfassende Bewertung der Vorgaben für Lebensmittel- bedarfsgegenstände	228
6.2.2.2.7 Empfehlungen für die Anpassung der Vorgaben für Lebens- mittelbedarfsgegenstände	229
6.2.2.3 Kosmetikrecht	230
6.2.2.3.1 Instrumente für alle kosmetischen Mittel	230
6.2.2.3.2 Besonderheiten und Instrumente für kosmetische Mittel mit Nanomaterialien	231
6.2.2.3.3 Zusammenfassende Bewertung des Kosmetikrechts	232
6.2.2.3.4 Anpassung der Vorgaben für kosmetische Mittel	233
6.2.2.4 Biozidregulierung	234

	Seite
6.2.2.4.1 Anwendungsbereich	234
6.2.2.4.2 Inverkehrbringen von Biozidprodukten	235
6.2.2.4.3 Überprüfung, Aufhebung und Änderung von Wirkstoff- oder Biozidproduktzulassungen	237
6.2.2.4.4 Inverkehrbringen von behandelten Gegenständen und Materialien	237
6.2.2.4.5 Verbraucherinformation	237
6.2.2.4.6 Sicherheitsdatenblätter	237
6.2.2.4.7 Register	237
6.2.2.4.8 Verhältnis zur REACH-Verordnung	238
6.2.2.4.9 Zusammenfassende Bewertung der Biozid-Regulierung	238
6.2.2.4.10 Anpassung der Vorgaben für Biozide	239
6.2.2.5 Regulierung von Bedarfsgegenständen	239
6.2.2.6 Allgemeine Vorgaben für Produkte	240
6.2.2.6.1 Geräte- und Produktsicherheitsgesetz	240
6.2.2.6.2 Produkthaftungsrecht	243
6.2.2.6.3 Ansätze zur Produktregulierung im Stoffrecht	245
6.2.2.6.4 Zusammenfassende Bewertung der allgemeinen Vorgaben für Produkte	245
6.2.2.6.5 Empfehlungen für die allgemeine Regulierung von Nano- materialien in Produkten	245
6.2.2.7 Zusammenfassende Bewertung des Produktrechts	247
6.2.3 Umweltrecht	247
6.2.3.1 Immissionsschutzrecht	247
6.2.3.1.1 Anlagenbezogener Immissionsschutz	248
6.2.3.1.1.1 Anlagengenehmigung	248
6.2.3.1.1.2 Betreiberpflichten	248
6.2.3.1.1.3 Nachträgliche Entscheidungen	250
6.2.3.1.1.4 Anlagenüberwachung	250
6.2.3.1.1.5 Besonderheiten bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen ...	250
6.2.3.1.2 Gebietsbezogener Immissionsschutz	251
6.2.3.1.3 Zusammenfassende Bewertung der immissionsschutzrechtlichen Vorgaben	251
6.2.3.1.4 Empfehlungen für die Anpassung des Immissionsschutzrechts ..	252
6.2.3.2 Wasserrecht	252
6.2.3.2.1 Vorbehalt einer behördlichen Entscheidung	253
6.2.3.2.1.1 Vorbehalt für die Benutzung von Gewässern	253
6.2.3.2.1.2 Vorbehalt für Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	254
6.2.3.2.1.3 Vorbehalt für Abwasseranlagen	255
6.2.3.2.1.4 Ergebnis	255
6.2.3.2.2 Wasserwirtschaftliche Planung	255
6.2.3.2.3 Gewässerüberwachung	256
6.2.3.2.4 Umzusetzendes Richtlinienrecht	256
6.2.3.2.5 Zusammenfassende Bewertung der wasserrechtlichen Vorgaben	256

	Seite
6.2.3.2.6 Empfehlungen für die Anpassung des Wasserrechts	257
6.2.3.3 Abfallrecht	257
6.2.3.3.1 Anwendungsbereich des Kreislaufwirtschaftsgesetzes	258
6.2.3.3.2 Vermeidung von Abfällen	258
6.2.3.3.2.1 Anforderungen an Errichtung und Betrieb von Anlagen	258
6.2.3.3.2.2 Anforderungen an die Gestaltung von Produkten	258
6.2.3.3.3 Vorbereitung zur Wiederverwendung	259
6.2.3.3.4 Recycling	259
6.2.3.3.5 Sonstige Verwertung	260
6.2.3.3.6 Beseitigung von Abfällen	260
6.2.3.3.7 Abfallrechtliche Überwachung	260
6.2.3.3.8 Zusammenfassende Bewertung des Abfallrechts	261
6.2.3.3.9 Empfehlungen für die Anpassung des Abfallrechts	261
6.2.3.4 Zusammenfassende Bewertung des Umweltrechts	262
6.2.4 Prüfanforderungen für Nanomaterialien	263
6.2.5 Entscheidungsverfahren	267
6.2.5.1 Verfahren zur Entscheidung über Risiken von Nanomaterialien	267
6.2.5.2 Entscheidungsverfahren im Stoffrecht	267
6.2.5.3 Entscheidungsverfahren bei Lebensmittelzusatzstoffen	269
6.2.5.4 Entscheidungsverfahren bei Bedarfsgegenständen	270
6.2.5.5 Bewertung: Sind die Verfahren der Risikoentscheidung vorsorgeorientiert?	271
6.2.6 Schlussfolgerungen für die Regulierung von Nanomaterialien ..	272
6.3 Ansätze zur Verbesserung der Governance von Nano- technologien	273
6.3.1 Einleitung	273
6.3.2 Förderung des gesellschaftlichen Risikodialogs	274
6.3.3 Technikfolgenabschätzung und gesellschaftliche Technik- gestaltung	276
6.3.4 Freiwillige Produkt- und Stoffinformation	278
6.3.5 Weitere freiwillige Maßnahmen der Industrie	278
6.3.6 Gesamtbewertung der Ansätze zur Nano-Governance	279
6.4 Von anderen lernen? Zum Stand der Diskussion in ausgewählten Ländern	279
6.4.1 Einleitung	279
6.4.2 USA	279
6.4.3 Kanada	281
6.4.4 Großbritannien	281
6.4.5 Frankreich	282

	Seite
6.4.6	Niederlande 283
6.4.7	Schlussfolgerung 284
7	Schlussfolgerungen und Empfehlungen 285
7.1	Das Vorsorgeprinzip als Leitprinzip für den Umgang mit Nano- materialien 285
7.1.1	Ungewissheit und Unsicherheit im Kontext neuer Technologien 285
7.1.2	Allgemeine Vorgaben des Vorsorgeprinzips 285
7.1.3	Nanomaterialien als Anwendungsfall für das Vorsorgeprinzip .. 286
7.1.3.1	Nanotechnologien und Nanomaterialien 286
7.1.3.2	Chancen und Risiken der Nanotechnologie 286
7.1.3.3	Erkenntnisse aus der Risikoforschung zu Nanomaterialien 287
7.1.4	Handlungsbedarf aus Sicht des SRU 289
7.1.5	Handlungsinstrumente auf Grundlage des Vorsorgeprinzips 290
7.2	Empfehlungen für einen vorsorgenden Umgang mit Nano- materialien 292
7.2.1	Wissen verbessern 292
7.2.2	Naturwissenschaftliche Kriterien für eine vorläufige Risiko- abschätzung entwickeln und anwenden 293
7.2.3	Regulierungslücken schließen und vorsorgende Risiko- minimierung verstärken 294
7.2.3.1	Regulierung von Nanomaterialien gestalten 294
7.2.3.2	Nanospezifische Regulierungslücken schließen 295
7.2.3.3	Vorsorgeorientierten Umwelt- und Gesundheitsschutz stärken .. 298
7.2.4	Information und Ausstattung der Behörden verbessern 299
7.2.5	Gesellschaftlichen Dialog fortführen 300
7.2.6	Transparenz und Wahlfreiheit für Verbraucher gewährleisten .. 301
7.2.7	Eigenverantwortung von Unternehmen stärken 302
7.3	Jenseits der Nanotechnologie: Wie können Politik, Recht und Gesellschaft vorsorgender mit Risiken umgehen? 303
	Literaturverzeichnis 307
	Rechtsquellenverzeichnis 345
	Einrichtungserlass 349
	Publikationsverzeichnis 351

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 0-1 Entscheidungsbaum für eine Risikokategorisierung von Nanopartikeln oder Nanofasern (NPF)	30
Abbildung 3-1 Nanomaterialien nach ISO-Normen	63
Abbildung 3-2 Die Nanotechnologie-Wertschöpfungskette	81
Abbildung 3-3 Wachstumspotenziale in verschiedenen Marktsegmenten	82
Abbildung 4-1 Verhältnis von aerodynamischem Partikeldurchmesser und Deposition in der Lunge	92
Abbildung 4-2 Entscheidungsbaum für eine Risikokategorisierung von Nanopartikeln oder Nanofasern (NPF)	183
Abbildung 4-3 Priorisierung von Nanoprodukten anhand von Expositionskriterien	185
Abbildung 5-1 Bestimmung von Handlungsbedarf und Vorsorgemaßnahmen	186
Abbildung 5-2 Nanomaterialien: Modell zur Identifizierung von angemessenen staatlichen Vorsorgemaßnahmen	189
Abbildung 5-3 Nanoprodukte: Modell zur Identifizierung von angemessenen staatlichen Vorsorgemaßnahmen	190
Abbildung 6-1 Mechanismus der REACH-VO	197
Abbildung 7-1 Modell zur Identifizierung von staatlichen Vorsorgemaßnahmen	287
Abbildung 7-2 Entscheidungsbaum für eine Risikokategorisierung von Nanopartikeln oder Nanofasern (NPF)	289

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 3-1	Beispiele für Nanomaterialien 64
Tabelle 3-2	Beispiele für verbesserte und neue Eigenschaften durch den Einsatz von Nanomaterialien bei marktgängigen Produkten 66
Tabelle 3-3	Beispiele für Verfahren zur Herstellung von Nanomaterialien 67
Tabelle 3-4	Definitionen bzw. Vorschläge für eine Definition des Begriffs Nanomaterial 68
Tabelle 3-5	Beispiele für (in Europa) bereits auf dem Markt erhältliche Nanoprodukte 72
Tabelle 3-6	Am häufigsten genannte Nanomaterialien in Verbraucherprodukten 78
Tabelle 4-1	Untersuchungen am Tiermodell zur Wirkung von TiO ₂ -Nanopartikeln 104
Tabelle 4-2	Untersuchungen am Tiermodell zur Wirkung von CNT 152
Tabelle 4-3	Kurzzeittests zur Toxizität von Fullerenen(-derivaten) an Fischen 164
Tabelle 4-4	Risikoeinschätzung von Nanopartikeln und Nanofasern in bereits auf dem Markt angebotenen Produkten 175
Tabelle 4-5	Liste mit Kriterien für die Ersteinschätzung von Nanomaterialien der NanoKommission 180
Tabelle 4-6	Entscheidungsmatrix für eine Risikokategorisierung von Nanopartikeln und Nanofasern 184
Tabelle 6-1	Bewältigung der Herausforderungen der Nanomaterialien im Recht 196
Tabelle 6-2	Unterscheidung von Nanomaterialien 198
Tabelle 6-3	Kriterien für die Entscheidung über Zulassungspflicht und Zulassung 204
Tabelle 6-4	Unterscheidung zwischen Zulassung und Beschränkung 205
Tabelle 6-5	Umsetzung des Vorsorgeprinzips in der REACH-VO für Nanomaterialien 207
Tabelle 6-6	Unterscheidung innerhalb der Gruppe der Nanomaterialien 208
Tabelle 6-7	Überblick über die Regelungen des Produktrechts 214
Tabelle 6-8	Empfehlungen für die Regulierung von Nanomaterialien in Lebensmitteln 221
Tabelle 6-9	Nanospezifische Regelungen im Kosmetikrecht 229
Tabelle 6-10	Register im Bereich der Biozidregulierung 234
Tabelle 6-11	Beispiele für zusätzliche Prüfanforderungen zur Bestimmung der chemisch-physikalischen Eigenschaften von Nanomaterialien 260
Tabelle 6-12	Vorschlag für einen Basisdatensatz für Nanomaterialien 262