

LIV JAECKEL

Gefahrenabwehrrecht und Risikodogmatik

Jus Publicum

189

Mohr Siebeck

JUS PUBLICUM
Beiträge zum Öffentlichen Recht

Band 189



Liv Jaeckel

Gefahrenabwehrrecht und Risikodogmatik

Moderne Technologien
im Spiegel des Verwaltungsrechts

Mohr Siebeck

Liv Jaeckel, geboren 1969; Studium der Rechtswissenschaft und Philosophie in Münster und Leipzig; 2000 Promotion; 2008 Habilitation; seit 2007 Vertretung eines Lehrstuhls für Öffentliches Recht an der Technischen Universität Dresden.

e-ISBN PDF 978-3-16-151270-4
ISBN 978-3-16-150065-7
ISSN 0941-0503 (Jus Publicum)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2010 Mohr Siebeck Tübingen.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Das Buch wurde von Gulde-Druck in Tübingen aus der Garamond Antiqua gesetzt und auf alterungsbeständiges Werkdruckpapier gedruckt und von der Buchbinderei Spinner in Ottersweier gebunden.

*Für Cara Sophie,
Eva Kristin
und Fritz*

Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde im Sommersemester 2008 von der Juristenfakultät der Universität Leipzig als Habilitationsschrift angenommen. Das Manuskript wurde für die Veröffentlichung, soweit als möglich, aktualisiert und befindet sich auf dem Stand von August 2009.

Zum erfolgreichen Abschluß des Habilitationsvorhabens haben verschiedene Personen beigetragen. Mein besonderer und herzlicher Dank gilt meinem akademischen Lehrer Herrn Professor Dr. Helmut Goerlich, der die Arbeit nicht nur betreut, sondern in der ihm eigenen menschlichen Großzügigkeit auch die wissenschaftliche Unterstützung und den wissenschaftlichen Freiraum gewährt hat, durch die sie entstehen konnte. Danken möchte ich auch Herrn Professor Dr. Christoph Degenhart, der, wie schon bei meiner Dissertationsschrift, die Mühen des Zweitgutachtens auf sich genommen hat. Herr Professor Dr. Thorsten Kingreen, Juristische Fakultät der Universität Regensburg, war so freundlich, das in Sachsen obligatorische auswärtige Drittgutachten zu erstellen. Für wertvolle Hinweise sei beiden auch an dieser Stelle nochmals gedankt.

Bei dem ehemaligen Leiter der Zweigstelle Rechtswissenschaft der Universitätsbibliothek Leipzig, Herrn Andreas Knobelsdorf, und der Leiterin der Zweigbibliothek der Sächsischen Staats- und Universitätsbibliothek Dresden, Frau Christine Brandenburger, bedanke ich mich für freundliche und vielfältige Unterstützung. Dank für ihren Beistand bei der Vorbereitung und Fertigstellung der Drucklegung der Arbeit schulde ich auch Frau Beate Herber und Herrn Michael Trauzettel. Sie sind bzw. waren an dem Lehrstuhl für Öffentliches Recht unter besonderer Berücksichtigung von Verwaltungsrecht an der Juristischen Fakultät der Technischen Universität Dresden tätig, an der ich seit dem Wintersemester 2007/08 vertreten darf.

Gewidmet ist diese Arbeit meinem Ehemann Dr. Fritz Jaeckel und unseren Töchtern Cara Sophie und Eva Kristin – sie werden wissen weshalb.

Dresden, im September 2009

Liv Jaeckel

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
Erster Teil: Zur Ausgangslage	
§ 1 <i>Neue Herausforderungen für das Recht:</i>	
<i>Der naturwissenschaftliche und technische Hintergrund</i>	5
A. Der Paradigmenwechsel in den Naturwissenschaften	6
I. Die Quantenmechanik als Absage an den naturgesetzlichen Determinismus im mikrokosmischen Bereich	10
II. Die Chaostheorie als Absage an die Berechenbarkeit von Ereignissen im makrokosmischen Bereich	13
B. Die Generierung von Ungewißheit durch moderne Technologien	16
I. Das Beispiel der Kernenergie: Bleibende Herausforderung trotz Ausstieg	17
II. Das Beispiel Gentechnik: Neue Chancen und Unsicher- heiten durch gezielte Veränderung des Erbmaterials	24
III. Das Beispiel Nanotechnologie: Die unbekannt Auswirkungen winzigster Teilchen	33
C. Folgerungen	46
§ 2 <i>Theoretische Fundierungen: Zum dogmatischen Bestand des Risikorechts.</i>	49
A. Zur Unterscheidung von Gefahr und Risiko – Soziologische Deutungen	50
I. Risiko als gesellschaftlich gezähmte Gefahr	51
II. Die Unterscheidung von Gefahr und Risiko als Zurechnungsdifferenz	53
B. Die juristische Perspektive: Zum Problem der Differenzier- barkeit.	57
I. Gefahr – Risiko – Restrisiko: das klassische Dreistufen- modell und der Kommissionsentwurf zum Umweltgesetzbuch	59
1. Die klassische Dreiteilung	59

2. Der Kommissionsentwurf zum Umweltgesetzbuch	61
3. Das Dreistufenmodell in der praktischen Anwendung	62
II. Risiko als übergeordneter Begriff: Ansätze zu einem zweistufig geprägten Verständnis in Literatur und Rechtsprechung sowie im Professorenentwurf zu einem Umweltgesetzbuch	64
1. Die Zusammenschau von Gefahr und Risiko in der Rechtsprechung zu atomrechtlichen Genehmigungs- verfahren	65
2. Der Aufstieg des Risikos zum Oberbegriff – der Vorschlag von Murswiek	66
3. Modifizierung und Ausbau des dualistischen Konzepts im Professorenentwurf zum Umweltgesetzbuch	67
4. Die Brücke zum Dreistufenmodell: der Vorschlag einer sachbereichsspezifischen Differenzierung	68
5. Prüfende Überlegungen zu den zweistufig geprägten Ansätzen	69
III. Die Erweiterung des Risikoverständnisses in der neueren Literatur – zu den Ansätzen von Di Fabio und Ladeur	71
1. Die verwaltungsrechtliche Analyse Di Fabios	72
2. Die rechtstheoretischen Überlegungen Ladeurs	73
3. Vorgeschlagene Strategien zur Risikobewältigung	77
4. Würdigung	78
C. Zwischenergebnis	84

Zweiter Teil:

Gefahr und Risiko: Eine Grundlegung

§ 3 <i>Die Gefahr im Sinne des klassischen Polizeirechts</i>	87
A. Grundlegende Begriffsbestimmung	88
B. Objektivität oder Subjektivität des Gefahrbegriffs.	90
I. Das herrschende normativ-subjektive Verständnis des Gefahrbegriffs.	91
1. Die Argumentation	91
a) Rechtspolitische und verfassungsrechtliche Begründung.	92
b) Wahrscheinlichkeitstheoretische Argumente	94
c) Die Rückkehr zum objektiven Gefahrbegriff auf der sekundären Ebene	97
2. Kritische Würdigung	99
a) Effektivität als hinreichendes Argument?	101

b) Zur Reichweite des verfassungsrechtlichen Schutzauftrags	104
c) Die Bedeutung der Wahrscheinlichkeitstheorien für den juristischen Gefahrbegriff	106
II. Die Fortentwicklung des objektiven Gefahrbegriffs	110
1. Zum Rückzug des überkommenen objektiven Gefahr- verständnisses	110
2. Ein neuerer Ansatz zur Rekonstruktion	114
a) Die Abhängigkeit des Wissens von zeitlicher, personeller und sachlicher Perspektive	114
b) Konsequenzen für die Bewertung der gefahr- abwehrenden Maßnahme	116
c) Die Verantwortlichkeit der Gefahrenabwehrorgane	118
3. Erste Stellungnahmen des Schrifttums	121
4. Würdigung	123
a) Die maßgebliche Differenzierung: Zur Bedeutung unterschiedlicher Wissenshorizonte	123
aa) Zum Begriff der Objektivität in wissenschafts- theoretischer und rechtlicher Bedeutung	125
bb) Zur Veränderung des Wissens in der Zeit	127
b) Zur sekundären Ebene: Entschädigung und Kostensersatz	130
c) Die tertiäre Ebene: Zur verfahrensrechtlichen Beweismaßreduktion.	131
aa) Die Differenzierung der Wahrscheinlichkeits- urteile anhand unterschiedlicher Wissens- horizonte	132
bb) Die Reduzierung des Beweismaßes	136
cc) Zum Vorrang und Vorbehalt des Gesetzes	137
dd) Steuerungspolitische Bedeutung	143
III. Zusammenfassung	145
C. Ausblick.	147
§ 4 <i>Risiko als rechtlich subjektivierter Begriff: Strukturelle Ansätze zu einer rechtlichen Bewältigung</i>	148
A. Die Notwendigkeit einer Neuorientierung	148
B. Das dogmatische System der rechtlichen Risikobewältigung	152
C. Das subjektive Verständnis des Risikobegriffs	154
I. Risikowissen in der perspektivisch-personellen Dimension	156
1. Die begrenzte Leistungsfähigkeit des objektiven Wissenshorizontes.	156
2. Ansätze für einen Perspektivenwechsel	158

II. Die zeitliche Dimension	161
III. Die sachliche Dimension	164
D. Ergebnis und Ausblick	166
§ 5 <i>Verwaltungsrechtliche Handlungsmuster im Angesicht der naturwissenschaftlich-technischen Herausforderungen</i>	167
A. Die Umgrenzung durch vertraute Regelungstechniken	169
I. Die Auferlegung von Verhaltenspflichten durch abstrakt-generelle Rechtssätze	170
II. Die Eröffnungskontrolle	171
1. Anzeige- und Anmeldepflichten	171
2. Genehmigungsvorbehalte.	172
3. Planfeststellungsbeschluß.	174
III. Die Techniküberwachung	175
B. Zwischenergebnis: Schwerpunktverlagerungen im verwaltungsrechtlichen Gefüge.	176
§ 6 <i>Die Verlagerung von Entscheidungen hin zur Exekutive</i>	177
A. Zu den Schwierigkeiten des Gesetzgebers bei der Bewältigung der naturwissenschaftlich-technischen Herausforderungen	178
B. Der Gestaltungsauftrag der Verwaltung	179
I. Unbestimmte Rechtsbegriffe und Beurteilungsspielräume.	180
1. Zur Charakteristik naturwissenschaftlich-technisch geprägter Beurteilungsspielräume	185
2. Die verfassungsrechtliche Einbettung.	188
3. Beurteilungsspielräume als Ausdruck einer auf die Verwaltung verlagerten Entscheidungslast	193
II. Rechtsverordnungen und Verwaltungsvorschriften.	195
1. Die große rechtspraktische Bedeutung der Rechtsverordnung	196
a) Zur Funktion der Rechtsverordnung zwischen gesetzlicher Regelung und Einzelfallentscheidung	197
b) Die Konkretisierungsaufgabe der Exekutive	201
2. Die Normkategorie der Verwaltungsvorschrift als dogmatische Herausforderung	204
a) Zum gegenwärtigen Verständnis der Verwaltungsvorschrift in Rechtsprechung und Schrifttum.	206
b) Verwaltungsvorschriften als Instrument rechtlicher Risikobewältigung	215
C. Zwischenergebnis: Die Verantwortung der Verwaltung.	217

§ 7 <i>Naturwissenschaft, Technik und Recht: Sachverständigenwissen als einflußreicher Faktor im staatlichen Entscheidungsprozeß.</i>	220
A. Die kognitive Abhängigkeit des Staates von naturwissenschaftlich-technischem Spezialwissen	221
B. Elemente einer verwaltungsrechtlichen Rezeption.	225
I. Die normative Verweisung auf technische Regelwerke	228
1. Verfassungsrechtliche Anforderungen an eine wirksame Verweisung.	229
2. Die Bezugnahme auf technische Regelwerke als Ausdruck rechtlicher Risikobewältigung	234
II. Das faktische Gewicht sachverständiger Aussagen	237
1. Die Bedeutung des naturwissenschaftlich-technischen Fachwissens	238
2. Der wertende Gehalt sachverständiger Äußerungen.	243
3. Rechtliche Wege aus dem Legitimationsparadoxon	250
4. Bemühungen um eine strukturierte Einbindung des Sachverständigenwissens	255
5. Fachlicher Sachverstand und rechtlicher Risikobegriff	260
C. Zwischenergebnis: Der Zwang zur Transdisziplinarität und die Notwendigkeit ihrer prozeduralen Strukturierung	263
§ 8 <i>Verlagerungen im Verhältnis von staatlicher Gewährleistungsverantwortung und unternehmerischer Eigenverantwortung.</i>	265
A. Die unternehmerische Mitwirkung an der Eröffnungskontrolle	266
B. Pflichten der Unternehmen im Rahmen der weiteren Überwachung	269
C. Rechtfertigung und Grenzen der unternehmerischen Einbindung.	271
D. Zwischenergebnis: Unternehmerische Eigenverantwortung im Rahmen des behördlichen Verwaltungsvollzugs	274
§ 9 <i>Vorsorgendes Handeln als Antwort auf die naturwissenschaftlich-technischen Herausforderungen</i>	277
A. Das Vorsorgeprinzip in seiner Deutung durch Rechtsprechung und Schrifttum.	278
B. Vorsorge als materielles Leitbild im Umgang mit einem normativ-subjektiv geprägten Risikobegriff	284
I. Der herkömmliche Gebrauch der Begriffe ‚Gefahrenabwehr‘ und ‚Risikovorsorge‘ und das Verhältnis zum Gefahrenverdacht	285
II. Vorsorge und normativ-subjektiver Risikobegriff.	287
1. Gefahr und Risiko, Gefahrenverdacht und Risikoverdacht	287
2. Ungewißheit als charakteristisches Moment	289

3. Vorsorgendes Handeln als Reaktion auf die naturwissenschaftlich-technische Ungewißheit	292
4. Der hinreichende Vorsorgeanlaß unter Beachtung der Darlegungs- und Beweislast	294
5. Die Konkretisierung des Vorsorgeprinzips unter Berücksichtigung zwei- und dreistufiger Modelle der Risikobewältigung.	301
6. Grenzen des Vorsorgeprinzips und Drittschutz	305
C. Zwischenergebnis: Der Vorsorgegedanke vor dem Hintergrund eines normativ- subjektiven Risikoverständnisses	314
Dritter Teil: Ergebnis	
§ 10 Die Gegenüberstellung von objektivem Gefahrbegriff und subjektivem Risikobegriff.	317
A. Objektivität und Subjektivität als Konsequenz ausdifferenzierter Wissenshorizonte	318
I. Die Situation des klassischen Gefahrenabwehrrechts.	318
II. Die rechtliche Risikobewältigung als Antwort auf die naturwissenschaftlich-technischen Herausforderungen	319
1. Strukturelle Veränderungen in Naturwissenschaft und Technik	320
2. Die Subjektivierung des Risikobegriffs als Folge der begrenzten Aussagekraft des objektiven Wissenshorizontes	321
3. Die Ausgestaltung des subjektiven Risikobegriffs in verwaltungsrechtsdogmatischer Sicht	322
4. Die prozedurale Einbindung	324
5. Wirkungsgrad und Radius des normativ-subjektiven Risikobegriffs	325
6. Die europarechtliche Kompatibilität des Ansatzes.	326
B. Die Leistungsfähigkeit des normativ-subjektiven Risikoverständnisses	327
Literaturverzeichnis	329

Einleitung

Recht vollzieht sich in einem andauernden Spannungsverhältnis von Statik und Dynamik. Seine Aufgabe besteht zum einen darin, konkrete Rechtsfragen unter Rückgriff auf das bewährte, vorhandene System zu ordnen und zu entscheiden und auf diese Weise dem konservierenden Anspruch an Beständigkeit und Rechtssicherheit zu genügen. Zum anderen wird das Recht durch die Veränderungskraft, die Vielschichtigkeit und die Unschärfebeziehungen der außerrechtlichen Regelungs- und Entscheidungsmaterie fortlaufend neu herausgefordert. In einigen Fällen handelt es sich nur um kleinere Änderungen und geringfügige Modifizierungen, die in die vorhandene Systematik als Regel- oder Ausnahmetatbestand eingeordnet werden können.¹ Andere Entwicklungen reichen in ihrer Richtung, Tiefe und faktitiven Kraft wesentlich weiter und können über den einzelnen Anwendungsfall hinaus eine Umgestaltung der systematischen Standards notwendig machen. Aber auch und gerade in diesen Fällen muß das Recht gemäß seiner Verpflichtung auf Rationalität und Systembildung² nach übergreifenden Lösungen suchen, die als Leitlinien für die Bewältigung der neuartigen Anforderungen zur Verfügung stehen können.³

Ein außerrechtliches Substrat, das das Recht besonders nachhaltig herausfordert, bilden die naturwissenschaftlichen Erkenntnisfortschritte und technischen Realisierungsmöglichkeiten des 20. und 21. Jahrhunderts. Sie sind Ausdruck einer grundlegenden Revision der klassischen wissenschaftlichen Weltbeschreibung, die durch die Überzeugung ursächlicher Wirkungszusammenhänge und der exakten Berechenbarkeit von Prozessen und Systemen gekennzeichnet war. Mit der Erforschung komplexer Systeme, dem Vordringen in den Kosmos und den subatomaren Bereich ist die Erkenntnis gewachsen, daß die klassischen Prinzipien erfahrungsbasierter und kausaler Relationen für einige enge Bereiche des Makrokosmos ihre Gültigkeit behalten. Darüber hinaus aber existieren weite Gebiete, die sich den Strukturen von Linearität, Kausalität

¹ Näher zur Funktion der verwaltungsrechtlichen Systematik und der Funktion der Dogmatik *Schmidt-Aßmann*, Das allgemeine Verwaltungsrecht als Ordnungsidee, 1. Kap. Rz. 3ff.

² Vgl. zur „Rationalisierung des öffentlichen Gesamtzustandes“ als Ziel des Rechtsstaates näher *Hesse*, Der Rechtsstaat im Verfassungssystem des Grundgesetzes, in: FG für Smend, S. 71, 83.

³ Auf diese Weise gestaltet sich die Systembildung „deduktiv und induktiv zugleich“, vgl. *Schmidt-Aßmann*, Das allgemeine Verwaltungsrecht als Ordnungsidee, 1. Kap. Rz. 12.

und Wiederholbarkeit entziehen.⁴ Das Nichtwissen kehrt in neuer, elementarer Form auf die Bühne der menschlichen Weltbetrachtung zurück. Es entfaltet sich nicht nur im Sinne eines noch zu erobernden Neulands, sondern es bildet die begleitende, eher wachsende als schrumpfende Silhouette eines jeden Erkenntnisgewinns.

Zugleich ist das Recht durch die Fortschritte in der Technik vor neue Aufgaben gestellt. Mit der modernen Chemie, der Kernkraft, der Gen- und Nanotechnologie erschließen sich neuartige Verfahren, Anwendungen und Produkte, auf die das Recht mit Blick auf die sich eröffnenden Chancen und Risiken angemessen reagieren muß. Aufgrund der Rückanbindung an die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse ist aber auch die technische Entwicklung von dem Paradigmenwechsel in den Naturwissenschaften, der Abschwächung des Kausalitätsmodells und der Anerkennung von Probabilität und Irreversibilität nicht unberührt geblieben. Das Verhalten komplexer technischer Systeme und ihre möglichen Folgewirkungen lassen sich nicht mehr in allen Einzelheiten vorher-sagen; ein erfahrungsbasiertes Vorgehen nach dem Prinzip von Versuch und Irrtum kommt angesichts der zum Teil enormen oder nicht reversiblen Konsequenzen nicht in Betracht. Damit wächst die Schwierigkeit, neue innovative Technologien rechtlich bewerten zu müssen, während gleichzeitig die überkommenen, an Kausalität, Regelmäßigkeit und Wiederholbarkeit von Geschehensabläufen orientierten Aussagen der Naturwissenschaft nicht mehr in der vertrauten Weise zur Verfügung stehen.

Welche Folgerungen ergeben sich aus diesen Entwicklungen für das Recht? Wie lassen sich die neuartigen Herausforderungen, die die Signaturen der Ungewißheit, Unsicherheit und Unbestimmtheit tragen,⁵ verwaltungsrechtlich bewältigen? Ein resignierendes Gedulden in der Hoffnung auf künftige Erkenntnisse kommt nicht in Betracht. Wir können nicht Platons Troglodyten gleich auf die Schatten des Quantenflimmerns an den Wänden unserer Höhle blicken und abwarten, was sie bedeuten.⁶ Dem Recht ist es – seiner Aufgabe und seinem Anspruch gemäß – nicht möglich, in der Zeit zu verharren. Eine Nicht-Entscheidung bliebe nicht folgenfrei und entzöge dem Verfließen der Zeit nicht ihr Substrat.⁷ Vielmehr dürfte jedes Abwarten faktisch auf kaum mehr als ein vollständiges Verbot oder eine vollständige Freigabe hinauslaufen – zwei Varianten,

⁴ Ausführlich zum Paradigmenwechsel in den Naturwissenschaften in § 1.

⁵ Zur Deutung der Welt anhand der Formel der Unbestimmtheit vgl. auch *Gamm/Hetzel*, Unbestimmtheitssignaturen der Technik mit Beiträgen zum heutigen Verständnis der Technik und ihren Beziehungen zu gesellschaftlichen Entwicklungen.

⁶ So das Zwischenfazit *Horgans*, Quanten-Philosophie, in: Neuser, Quantenphilosophie, S. 130, 139.

⁷ Zur antiken und mittelalterlichen Vorstellung, daß objektive Zeit nicht ohne reales Substrat vergehen könne, vgl. nur *Aristoteles*, Philosophische Schriften, Physik, IV., 10, 218 b (s. 103), und 11, 219 a (S. 104 ff.); *Augustinus*, Gottesstaat, XI. Buch, 6.

die als grundsätzliche Lösungskonzepte weder rechtspolitisch noch verfassungsrechtlich überzeugen.

Das Recht ist damit auf seine eigenen Strukturen zurückgeworfen. Es kann die Veränderungen in der außerrechtlichen, naturwissenschaftlich-technischen Regelungsmaterie nur von dem vorhandenen verwaltungsrechtlichen System aus erfassen, dessen Leistungsfähigkeit mit Blick auf die neuen Gegebenheiten überprüfen und gegebenenfalls Nuancierungen oder Ergänzungen vornehmen, um den spezifischen neuartigen Anforderungen gerecht zu werden. Hierzu existieren bereits eine Reihe hervorragender Arbeiten mit rechtstheoretischen oder verwaltungsrechtsdogmatischen Schwerpunktsetzungen wie auch einige grundlegende Entscheidungen der Judikative.⁸ Die vorliegende Untersuchung ist nicht etwa auf eine grundlegende Revision oder Umgestaltung dieser Vorschläge ausgerichtet. Vielmehr zielt die Arbeit darauf, die vorhandenen, mitunter aber doch etwas isoliert nebeneinanderstehenden Ansätze und Modelle aufzugreifen und mit einer verbindenden Konzeption zu unterlegen. Ziel ist es, eine Systematik bereitzustellen, die die rechtstheoretischen Beobachtungen und die verwaltungsrechtsdogmatischen Entwicklungen zusammenführt und auf diese Weise gleichzeitig als strukturelle Leitlinie für die Beurteilung von Einzelfällen dienen kann.

Zu diesem Zweck wird sich die Arbeit der Problematik zunächst aus unterschiedlichen Blickwinkeln nähern. Zur Erfassung der Ausgangslage dient eine nähere Betrachtung der naturwissenschaftlich-technischen Regelungsmaterie, auf deren Ergebnisse im Verlauf der weiteren Arbeit immer wieder zurückgegriffen werden wird, sowie eine Darstellung der vorhandenen Ansätze zur verwaltungsrechtlichen Risikobewältigung. Vor diesem Hintergrund soll in einem zweiten Teil eine vertiefende Auseinandersetzung mit den Begriffen Gefahr und Risiko, ihrer Leistungsfähigkeit und aufscheinenden Besonderheiten im verwaltungsrechtlichen Instrumentarium entfaltet werden. Dabei mögen die einzelnen Kapitel anfänglich noch als gleichsam ungemischte Farbtupfer erscheinen, die erst allmählich zueinander in Beziehung treten und sich schließlich, wenn das Ganze in den Blick genommen wird, optisch mischen und zu einem geschlossenen Bild fügen können. Es wird erkennen lassen, ob die Technik tatsächlich, wie zuweilen behauptet wird,⁹ ohne Gegenspieler dasteht oder ob sie sich mit der strukturierenden Kraft des Verwaltungsrechts zumindest angemessen erfassen und bändigen läßt, kurz: ob es einen Unterschied macht oder nicht.

⁸ Näher hierzu in § 2, S. 49 ff.

⁹ *Gamm*, Unbestimmtheitssignaturen der Technik, in: *Gamm/Hetzel*, Unbestimmtheitssignaturen der Technik, S. 17, 18.

Erster Teil

Zur Ausgangslage

§ 1 Neue Herausforderungen für das Recht: Der naturwissenschaftliche und technische Hintergrund

„God (...) has afforded us only the twilight of probabilities; suitable, I presume, to the state of mediocrity and probationer-ship he has been pleased to place us in here.“¹

Recht zielt, seinem normativen Anspruch gemäß, auf die Entwicklung und Bereitstellung von Verhaltensregeln. Um dieser Gestaltungsaufgabe gerecht zu werden, eine materielle Ordnung schaffen und das gesellschaftliche Zusammenleben beeinflussen zu können,² ist das Recht auf Kenntnisse von der Wirklichkeit angewiesen. Nur eine Auseinandersetzung mit den tatsächlichen Verhältnissen garantiert eine sachangemessene Regelung und kann einem Auseinanderfallen von Recht und zu regelnder Wirklichkeit vorbeugen.³

Da Gegenstand der rechtlichen Bewältigung die naturwissenschaftliche und technische Materie selbst ist, darf sich das Recht nicht auf eine soziologische Aufbereitung aus zweiter Hand beschränken,⁴ sondern muß bei den naturwissenschaftlichen und technischen Entwicklungen selbst ansetzen. Nähere Kenntnisse von der Sachmaterie sind unverzichtbar, wenn der Anspruch aufrecht erhalten bleiben soll, auch im interdisziplinären Bereich Wissen von bloßem Meinen unterscheiden zu können.⁵ Je spezieller die rechtliche Regelung ausgerichtet ist, um so genauere Kenntnisse des einzelnen naturwissenschaftli-

¹ John Locke, *An Essay Concerning Human Understanding*, Book IV – Chapt. XIV, p. 1.

² Schmidt-Aßmann, *Das allgemeine Verwaltungsrecht als Ordnungsidee*, 1. Kap. Rz. 38.

³ Vgl. auch Murswiek, *Staatliche Verantwortung*, S. 20; Roßnagel, *Rechtswissenschaftliche Technikfolgenforschung*, S. 22.

⁴ Damit soll der Beitrag der Sozialwissenschaften in der Diskussion des naturwissenschaftlich-technischen Prozesses und seiner gesellschaftlichen Auswirkungen nicht geschmä- lert werden. Zweifelsohne wird gerade auch die Frage der gesellschaftlichen Akzeptanz, Ein- ordnung und Bewertung eines naturwissenschaftlichen oder technischen Phänomens von Bedeutung für die Gestaltung der Rechtsordnung sein. Sie kann einer Auseinandersetzung mit der naturwissenschaftlichen und technischen Sachmaterie selbst und den ihr innewoh- nenden Chancen und dem möglichen Gefährdungspotential aber nicht vorgreifen oder diese gar ersetzen.

⁵ Vgl. auch Schmidt/Grundwald, *Inter- und Transdisziplinarität. Einführung*, in: *Technikfolgenabschätzung*, S. 4, 9.

chen oder technischen Vorgangs, des verwendeten Stoffes oder Produkts sind erforderlich. Da die vorliegende Arbeit aber weniger auf spezielle Einzelmaterien zielt, sondern die verwaltungsrechtsdogmatischen Strukturen in den Blick nimmt, soll an dieser Stelle eine Darstellung des grundlegenden Gefüges genügen, das die gegenwärtigen komplexen naturwissenschaftlichen Entwicklungen und Technologien prägt. Die Bedeutung darf gleichwohl nicht unterschätzt werden. Um die Reichweite und Leistungsfähigkeit des überkommenen Gefahrenabwehrrechts beurteilen und die Notwendigkeit einer eigenständigen Risikodogmatik begründen zu können, wird im Verlauf der weiteren Arbeit immer wieder auf die zugrunde liegenden naturwissenschaftlich-technischen Strukturen zurückgegriffen werden müssen. Wie eng das überkommene polizeirechtliche Gefahrverständnis mit einer bestimmten Sichtweise der Welt und ihren Zusammenhängen verbunden ist, zeigt sich, wenn diese Vorstellung nun aufgrund neuer naturwissenschaftlicher Erkenntnisse zu erodieren beginnt.⁶

A. Der Paradigmenwechsel in den Naturwissenschaften

Prägend für das klassische naturwissenschaftliche Weltbild⁷ war eine Sichtweise, die die Welt zumindest im Bereich der Natur als vollständig kausalen Gesetzen gehorchend und damit determiniert verstand. Die naturwissenschaftlichen Grundlagen beruhten maßgeblich auf der Leistung *Isaac Newtons*, der aufgezeigt hatte, daß sich eine Vielzahl unterschiedlicher Phänomene auf die Wirksamkeit nur einiger weniger Kräfte, etwa der Gravitation, zurückführen ließen. Auch wenn noch nicht alle Zusammenhänge bekannt waren, entsprach es doch der damaligen Vorstellung, daß sie sich in das System einfügen lassen würden,⁸ daß *Newton* entwickelt und das andere Wissenschaftler wie etwa *d’Alembert*, *Euler*, *Lagrange* und *Laplace* noch erweitert und verfeinert hatten.⁹ Eine prinzipielle Unvorhersagbarkeit oder die Existenz echter Zufälle fand in diesem Verständnis keinen Raum, vielmehr wurde der Eintritt eines nicht vorhergese-

⁶ Vgl. auch *Ladewig*, UTR 5 (1988), 305, 306.

⁷ An dieser Stelle kann nur ein – zwangsläufig vereinfachender – Überblick mit einer Schwerpunktsetzung auf den jeweils herrschenden Zeitströmungen und den ersten Schritten in Richtung der neuen grundlegenden Veränderung gegeben werden. Wie für wissenschaftliches Denken im Sinne eines Austausches und der Auseinandersetzung mit verschiedenen Erkenntnissen und Meinungen typisch, gab es immer auch überlappende Episoden, noch rückwärts gewandte Stimmen sowie einzelne Bereiche, die schneller voranschritten; vgl. auch näher die interdisziplinäre Darstellung von *Gigerenzer* u. a., *Reich des Zufalls*.

⁸ Vgl. noch *Heinrich Hertz*, *Die Prinzipien der Mechanik*, S. 197.

⁹ Zur Tradition, in der auch diese Wissenschaftler bereits standen, sei nur auf *Galileo Galilei* und *Johannes Kepler* hingewiesen. Die Natur wurde auch von ihnen schon als ein aufgeschlagenes Buch verstanden, das in der Sprache der Mathematik lesbar sei. So heißt es bei *Kepler*: „Ubi materia, ibi geometria.“ – wo Materie ist, da ist Mathematik, vgl. *Kepler*, *De fundamentis astrologiae certioribus*, Thesis XX, in: *Opera Omnia*, Bd. 1, S. 423.

henen Ereignisses allein der menschlichen Unwissenheit über die tieferliegenden Zusammenhänge zugeschrieben.¹⁰ So stellt auch der bescheidene Skeptizismus John Lockes, eines Zeitgenossen Newtons, in dem einleitenden Zitat diese Zusammenhänge nicht etwa in Frage, sondern gibt gerade der Begrenztheit des menschlichen Wissens Ausdruck.¹¹ Diese grundlegende, durch die Physik *Newtons* geprägte und durch seine Nachfolger über die Jahrhunderte hinweg vertiefte und weiterentwickelte Auffassung von den naturwissenschaftlichen Kausalgesetzen sollte bis in die Anfänge des 20. Jahrhunderts hinein wirksam bleiben.¹²

¹⁰ Einen einflußreichen Höhepunkt fand diese Auffassung insbesondere in den Schriften von *Pierre Simon de Laplace*, vgl. insb., *Philosophischer Versuch über die Wahrscheinlichkeit* (1814), S. 1: „Alle Ereignisse, selbst jene, welche wegen ihrer Geringfügigkeit scheinbar nichts mit den großen Naturgesetzen zu tun haben, folgen aus diesen mit derselben Notwendigkeit wie die Umläufe der Sonne. In Unkenntnis ihres Zusammenhangs mit dem Weltganzen ließ man sie (...) vom Zufall abhängen; aber diese vermeintlichen Ursachen wurden in dem Maße zurückgedrängt, wie die Schranken unserer Kenntnis sich erweiterten, und sie verschwinden völlig vor der gesunden Philosophie, welche in ihnen nichts als den Ausdruck unserer Unkenntnis der wahren Ursachen sieht“; s. ferner auch *Jakob Bernoulli*, *Wahrscheinlichkeitsrechnung*, vgl. insb. Teil IV i.

¹¹ S. Zitat oben bei Fn. 1.

Vgl. aber auch schon damals *David Hume* in seiner Kritik an dem Begriff der Kausalität, die er lediglich als bloße menschliche Vorstellung, als Erfahrung, begreift. Dementsprechend erfasst er Wissen über Naturvorgänge nicht als Wissen im strengen Sinn, sondern lediglich als durch einen Vergleich von Vorstellungen gewonnene Überzeugung, die freilich durch gewisse Beobachtungen gerechtfertigt wird. Auf dieser Grundlage spricht *Hume* den Aussagen der Naturwissenschaft daher nicht die Gewißheit der Mathematik, wohl aber einen hohen Grad von *Wahrscheinlichkeit* zu, vgl. *Hume*, *Traktat über die menschliche Natur*, Buch 1, *Untersuchung über den menschlichen Verstand*, 3. Teil, *Über Wissen und Wahrscheinlichkeit*, S. 94ff., 116ff., 134ff., 171ff. Störig, *Weltgeschichte der Philosophie*, S. 358, weist zutreffend darauf hin, dass der Gedanke, die strenge Kausalität durch Wahrscheinlichkeit zu ersetzen, in der Naturwissenschaft der Gegenwart eine von Hume nicht vorauszusehende Auferstehung erlebt hat, s. zu dieser Entwicklung auch im folgenden Text.

¹² An dieser Stelle nur angemerkt sei, daß in der Philosophie neben Anschauungen, die auf diesem naturwissenschaftlichen Weltbild aufbauten, zum Teil auch ganz andersgeartete Wege beschritten wurden, so etwa im Bereich des deutschen Idealismus, dessen Verfechter die Welt, den Weltprozeß und die Natur als schöpferische Entfaltung der Vorstellung, des Geistes, ansahen. Jedoch hatte sich gegen Ende des 18., zu Anfang des 19. Jahrhunderts der enge Zusammenhang zwischen Mathematik und Philosophie schon zu lockern begonnen. Wichtige Vertreter der idealistischen Denkrichtung, etwa *Fichte* und *Hegel*, waren nicht gleichzeitig auch Mathematiker oder Naturwissenschaftler und ihre philosophischen Werke gründeten nicht in einer Auseinandersetzung oder gar Widerlegung des herrschenden *naturwissenschaftlichen* Weltbildes, sondern standen gewissermaßen neben diesem.

Anderes galt, auch dies sei hier nur angemerkt, etwa für *Immanuel Kant*, der mit dem naturwissenschaftlichen Kenntnisstand seiner Zeit gut vertraut war und selbst auf der Grundlage der Physik *Newtons* eine Theorie der Entstehung des Planetensystems aus rotierenden gasförmigen Massen entwickelt hatte (*Kant-Laplacesche* Theorie), vgl. *Kant*, *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels*. In seiner Kritik der reinen Vernunft geht *Kant* noch einen bedeutenden Schritt weiter und weist der gesetzmäßigen Ordnung, dem Kausalitätsprinzip, eine unbedingte Notwendigkeit und strengste Allgemeinheit zu. Auf diese Weise versteht er das Kausalitätsprinzip als einen Satz apriorischen Ursprungs, der im Verstand

Eine Loslösung von diesen deterministischen Naturvorstellungen begann erst ganz allmählich¹³ aufgrund einzelner wissenschaftlicher Ergebnisse und drang noch weit später in das allgemeine Bewußtsein ein, das stark von dem Glauben an die fortschreitenden Erkenntnismöglichkeiten im Bereich der Naturwissenschaften geprägt war.¹⁴ Jedoch waren die Wissenschaftler schon seit etwa der Mitte des 19. Jahrhunderts auf Phänomene gestoßen, die sich mit den klassischen, auf kausalen Zusammenhängen beruhenden Gesetzen der Mechanik nicht mehr ohne weiteres erklären ließen.¹⁵ So war die Gerichtetheit der Zeit, die die Thermodynamik formuliert, mit der Reversibilität der Zeit nach der hergebrachten Mechanik nicht vereinbar. Auch die in dieser Epoche entwickelte biologische Evolutionslehre *Charles Darwins* beruhte entscheidend auf der Bedeutung von Abweichungen, von Variationen. Die Wissenschaft reagierte auf diese Befunde zunächst jedoch nicht mit einer Revision ihres im Grundsatz deterministischen Standpunktes, sondern war bemüht, die neuen Ergebnisse mit den konventionellen Grundsätzen zu versöhnen. So arbeitete etwa *Ludwig Boltzmann*, einer der Begründer der Thermophysik, intensiv daran, seine Ent-

verankert sei, vgl. *Kant*, Kritik der reinen Vernunft, S. 132 (A 90 ff./B 123 f.), und S. 241 f. (B 233 f.).

¹³ Das 19. Jahrhundert hatte zwar durch die verstärkte Nutzbarmachung von Statistiken den Begriff der Wahrscheinlichkeit von der Fokussierung auf die subjektive Unwissenheit abgelöst und verwandte ihn (auch) in einem frequentistischen Sinn für die ermittelten Häufigkeitsverteilungen, die Annahme der Kausalität natürlicher Abläufe wurde hierdurch aber noch nicht berührt; vgl. insbesondere *John Stuart Mill*, *A System of Logic* (1843), Book III., ch. IV und V; *Ellis*, *On the Foundations of the Theory of Probabilities*. Transactions of the Philosophical Society of Cambridge 8, 1 ff. (1842); *Cournot*, *Exposition de la théorie des chances et des probabilités*, 1843; *Fries*, *Versuch einer Kritik der Principien der Wahrscheinlichkeitsrechnung*, 1842. Dies galt auch für die (naturwissenschaftlichen) Bemühungen, die Freiheit des menschlichen Geistes und damit einen diesbezüglichen Indeterminismus zu begründen, vgl. etwa die Überlegungen *James Clerk Maxwells* von 1873 zum Verhältnis von Naturwissenschaft und Willensfreiheit, *Maxwell*, *Science and Free Will*, in: Campbell and Garnett, 1882, 434 ff.; s. ferner auch *Charles Bernard Renouvier*, *Essais de critique générale*, Bd. 1 S. 329; Bd. 2 S. 146 und 341, 1854–64, sowie zur Verteidigung des freien Willens schon mit Blick auf die Ergebnisse der Thermodynamik, die sich in die Reversibilitätsgrundsätze der klassischen Mechanik nicht mehr ohne weiteres einordnen ließen, *Joseph Delboeuf*, *Revue philosophique de la France et de l'étranger* 1882, 13, 453–480, 608–638 und 14, 156–189. Den Determinismus in der Natur, ihre Unterworfenheit unter die Kausalgesetze, stellten diese Ansätze noch nicht grundlegend in Frage, vielmehr nahm man an, daß die psychischen Phänomene den physischen ganz unähnlich seien.

¹⁴ Vgl. noch 1930 v. *Müller*, *RVBl.* und *PrVBl.* 51 (1930), S. 92 f.: „Die heutige Menschheit legt ihrer Betrachtung der Welt die ‚Einheit der Natur unter Gesetzen‘ zugrunde. (...) An Zufälle oder gar Wunder glauben wir nicht mehr.“

¹⁵ Vgl. *Gigerenzer u. a.*, *Reich des Zufalls*, S. 210 zu Fluktuationsphänomenen, S. 202–204 zur Strahlung, S. 199 f. zum Planckschen Wirkungsquantum, s. ferner auch S. 195 zur von Maxwell aufgestellten Behauptung, die Bildung eines Moleküls sei „ein Ereignis, das nicht zu der Ordnung der Natur gehört, unter der wir jetzt leben.“, *Maxwell*, *Molecules* (1873), und *Atom* (1875), beide abgedr. in: W. D. Niven, (Hrsg.), *Scientific Papers*, 1890, Bd. 2, S. 361 ff. und 415 ff., 482.

deckungen in Übereinstimmung mit der klassischen Mechanik zu bringen,¹⁶ und *Darwin* beharrte darauf, daß die Variation nicht wirklich ein Zufallsprodukt sei, sondern lediglich ihre Ursachen bislang noch nicht bekannt seien.¹⁷

Dennoch erodierten die Fundamente der klassischen naturwissenschaftlichen Annahmen und damit auch der streng deterministischen Naturauffassung insgesamt zunehmend. Mit dem Eindringen in die Ebene der Elementarteilchen wurde immer deutlicher, daß das klassische Instrumentarium, wie es für makroskopische Eigenschaften (beispielsweise für Volumen, Druck oder Temperatur eines Gases) entwickelt worden war, für die Beobachtung der Mikrozustände (etwa des komplexen Verhaltens der ungefähr 10^{23} Moleküle in einem Liter eines solchen Gas) unbrauchbar war. Zu dem Problem der zeitlichen Umkehrbarkeit bestimmter molekularer Prozesse, vor das bereits die Thermophysik gestellt war, trat mit der Erforschung der Wechselwirkung von Materie

¹⁶ *Boltzmann* erfaßte „die Probleme der mechanischen Wärmetheorie“ zwar als „Probleme der Wahrscheinlichkeitsrechnung“, vgl. *Boltzmann*, Analytischer Beweis des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie; ferner *ders.*, Weitere Studien über das Wärmegleichgewicht unter Gasmolekülen, beide in: Hasenöhr (Hrsg.), Wissenschaftliche Abhandlungen, Bd. 1, S. 288 ff. (295) und S. 316 ff. (317), meinte aber dennoch, das Entropiegesetz „streng“, d. h. mit einem analytischen Beweis, frei von allen Hypothesen, bewiesen und damit die Thermophysik auf die Mechanik reduziert zu haben, vgl. *Boltzmann*, Weitere Studien über das Wärmegleichgewicht unter Gasmolekülen, a.a.O., Bd. 1 S. 345. Später mußte er jedoch auf Einwände, die als Reversibilitätsparadoxon (Loschmidt) und Wiederkehrerwand (Zermelo) bekannt geworden sind, eingestehen, daß sein Beweis nur für mechanische Systeme mit normalem Verhalten Gültigkeit habe. Er wies in diesem Zusammenhang darauf hin, daß sich die Mehrzahl der Systeme in diesem – wahrscheinlichen – Zustand befänden und seine Argumentation somit mit sehr hoher *Wahrscheinlichkeit* wahr sei, vgl. *Boltzmann*, Über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung respektive den Sätzen über das Wärmegleichgewicht, a.a.O., Bd. 2, S. 164 ff., 165; ferner auch *ders.*, Entgegnung auf die wärmetheoretischen Betrachtungen des Hrn. E. Zermelo, Annalen der Physik 57 (1896), S. 773–784. Warum aber ein System einen ‚wahrscheinlichen‘ Zustand einnimmt, konnte *Boltzmann* letztlich nicht schlüssig erklären. Spätere Darstellungen dieses Problems der irreversiblen Prozesse sehen sich genötigt, zumindest bestimmte statistische Elemente zur Begründung heranzuziehen, wenn auch einige Aspekte immer noch umstritten sind, vgl. etwa *Prigogine*, Non-Equilibrium Statistical Mechanics, S. 1 ff., 6; zur Einordnung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik als Wahrscheinlichkeitssatz auch *Planck*, Kausalgesetz und Willensfreiheit, in: v. Meyenn, Quantenmechanik und Weimarer Republik, S. 241, 263 f.; ausführlich zum Ganzen die Darstellung bei *Gigerenzer* u. a., Reich des Zufalls, S. 197, 211 m. w. N.

¹⁷ Vgl. etwa *Darwin*, Brief an J. D. Hooker v. 12. 4. 1859, in *ders.*, „Nichts ist beständiger als der Wandel“, Briefe, S. 357: „Ich würde Dir raten, vorsichtig zu sein mit der allgemeinen Äußerung, daß Spezies sich *viele* Generationen lang nicht wandeln und sich dann *plötzlich* verändern (...) Ich glaube, man könnte eine andere und überzeugende Erklärung für die gängigen theoretischen Vorstellungen geben, nämlich daß Veränderungen häufig nicht beachtet werden, da sie erst augenscheinlich werden, wenn sie sich angesammelt haben.“ (Hervorhebung im Original); vgl. auch *Darwin*, die Abstammung des Menschen, 2. Kapitel, S. 36.

Entsprechend beklagte *Huxley* 1861, daß *Darwin*, „weil noch kein Gesetz ausgemacht wurde, (...) von der Variation so reden muß, als sei sie spontan oder eine Sache des Zufalls.“, *Leonard Huxley*, Life and Letters of *Thomas H. Huxley*, 1901, Bd. 1 S. 245; zit. nach *Gigerenzer*, Reich des Zufalls, S. 88.

und Strahlung die Entdeckung neuer diskontinuierlicher Phänomene, wie des radioaktiven Zerfalls von Atomen,¹⁸ hinzu. Kurz: Die Materie selbst, die man lange Zeit für das letzte und einfachste Element des Seienden gehalten hatte, warf völlig neuartige Fragestellungen auf. Die Naturwissenschaften waren in einen Bereich vorgedrungen, der einen grundlegend neuen Erklärungsbedarf auslöste.

Die Theorien, die zur Deutung der beobachteten Phänomene entwickelt wurden, haben weitreichende Konsequenzen für die naturwissenschaftliche Betrachtung der Welt. Mit der Entwicklung der Quantenmechanik in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde die prinzipiellen Begreifbarkeit aller physikalisch-naturwissenschaftlichen Vorgänge hinterfragt, als deutlich wurde, daß der Mikrokosmos nicht exakt beschreibbar ist. In der zweiten Hälfte des Jahrhunderts wurde mit der Chaostheorie der Anspruch auf exakte Berechenbarkeit und Vorhersagbarkeit auch im Bereich des Makrokosmos brüchig.¹⁹

I. Die Quantenmechanik als Absage an den naturgesetzlichen Determinismus im mikrokosmischen Bereich

Die Quantenmechanik²⁰ verbindet Materie und Energie definitorisch in neuartiger Weise mit der Folge, daß die subatomaren Bausteine der Welt nicht mehr

¹⁸ So wurde die Beobachtung, daß bei einer Probe von einer radioaktiven Substanz nach einer charakteristischen Halbwertszeit etwa die Hälfte der Atome zerfallen ist, von Rutherford durch eine sogenannte *spontane Desaggregation* erklärt, deren primäre Ursache im Innern der Atome selbst liege (vgl. *Rutherford*, Die Radioaktivität, S. Rz. 136 (S. 245), Rz. 270 (S. 501) und Rz. 272 (S. 513)), so daß jedes radioaktive Atom für sich und unabhängig von anderen eine inhärente *Zerfallswahrscheinlichkeit* habe. Ähnliche Probleme warfen auch die Strahlung schwarzer Körper, der photoelektronische Effekt und atomare und molekulare Spektren auf, vgl. zum Ganzen *Gigerenzer*, Reich des Zufalls, S. 196.

¹⁹ Als dritte, neben Quantenmechanik und Chaostheorie grundlegende physikalische Theorie des 20. Jahrhunderts sei auf die Relativitätstheorie hingewiesen, die mit der Anerkennung der Relativität von Raum und Zeit einen weiteren tragenden Pfeiler der klassischen Physik – die Auffassung von deren Absolutheit – zum Einsturz brachte, vgl. *Einstein*, Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie. Ungeachtet der revolutionären Leistungen dieser Theorie ist sie für den vorliegenden Zusammenhang nicht so zentral, als daß eine nähere Darstellung weiterführend wäre.

²⁰ Die Entwicklung der Quantenmechanik baut auf einer Reihe grundlegender physikalischer Arbeiten auf, von denen insbesondere zu nennen sind: *Max Planck*, Zur Theorie des Gesetzes der Energieverteilung im Normalspectrum (1900), Deutsche Physikalische Gesellschaft, Verhandlungen, 1900, 2. S. 202 und 237; *Albert Einstein*, Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt (1905), Annalen der Physik 6 (322), 132; *ders.*, Zur Quantentheorie der Strahlung, Physikalische Zeitschrift 18 (1917), S. 121; *Bohr/Kramers/Slater* The Quantum Theory of Radiation (1924), Philosophical Magazine 47 (1924), 785, übers. von *Kramers*, Zeitschrift für Physik 24 (1924), 69; *Louis de Broglie*, A Tentative Theory of Light Quanta (1924), Nachdruck in: Philosophical Magazine Letters 7 (86), July 2006, 411; *Erwin Schrödinger*, Quantisierung als Eigenwertproblem (1926), Annalen der Physik 4 (384), S. 361; 6 (384), S. 489; 13 (385), S. 437; 18 (386), S. 109; *Heisenberg*, Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Bezie-

nur als rein körperliche Bestandteile erfaßt werden können. Unter bestimmten Bedingungen erscheint etwa ein Elektron als etwas Punktförmiges, an einem bestimmten Ort im Raum Befindliches, während es sich unter anderen Bedingungen wie eine Welle mit räumlicher Ausdehnung verhält. Dementsprechend können den Elementarteilchen nicht mehr getrennte, genau festlegbare Positionen und Geschwindigkeiten zugesprochen werden. Die Teilchen sind vielmehr nach einer frühen quantenmechanischen Beschreibung „verschmiert“; ein Ort, an dem sie sich aufhalten, kann prinzipiell nicht präzise angegeben werden. Durch Umgebungseinflüsse, wie sie bei Kontrolloperationen und Messungen entstehen, kommt es zu einer Beeinflussung des Systems selbst: die sogenannte Wellenfunktion kollabiert und an einem bestimmten Messpunkt läßt sich ein Elementarteilchen nachweisen oder aber nicht auffinden.²¹ Nur indirekt läßt sich darauf schließen, welchen Zustand das gemessene Teilchen vor der Messung eingenommen hatte. Erfahrungen mit dem vollständigen Zustand des atomaren Gegenstandes sind nicht möglich und das einzelne Messergebnis ist nicht reproduzierbar. Für wissenschaftliche Beobachtungen sagt die Quantenmechanik daher nicht mehr ein bestimmtes Ergebnis, sondern nur eine Reihe verschiedener möglicher Resultate voraus und gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit jedes von ihnen eintreffen kann. Einer solchen statistischen Analyse kann aber aus wissenschaftstheoretischer Sicht keine volle Beweiskraft zukommen.²²

Die Folgen der Quantenmechanik, die mit dem Verzicht auf kausale Parameter und der Einführung probabilistischer Elemente in die Wissenschaft einhergehen, sind daher gravierend:²³ Die im Rahmen der klassischen Mechanik erarbeiteten und präzise definierten Begriffe führen bei einer Übertragung auf den mikrokosmischen Bereich zu Widersprüchen. Kausalität und Lokalität in der überkommenen strengen Allgemeingültigkeit von a priori-Begriffen sind in der

hungen (1925), *Zeitschrift für Physik* 33, 879; *Born*, *Zur Quantenmechanik der Stoßvorgänge* (1926), *Zeitschrift für Physik* 37 (1926), 863.

²¹ Quantenmechanische Phänomene lassen sich nicht direkt beobachten, sondern bedürfen eines atomaren Eingriffs, etwa des Beschusses mit einem Lichtquantum. Durch die Interaktion zwischen dem zu messenden Objekt und dem detektierenden Objekt kommt es zu einer Störung des ursprünglichen Zustandes, aus der dann auf das zu untersuchende Objekt selbst geschlossen werden kann. Dieses Phänomen wird in der jüngeren Physik unter dem Begriff der Dekohärenz erörtert, der sich zunehmend gegenüber der älteren auf der Bedeutung der Beobachtung selbst beruhenden Interpretation (sog. Kopenhagener Deutung) durchsetzt und mit dessen Hilfe erklärbar wird, warum sich makrokosmische Körper nicht in gleicher Weise in quantenmechanischen Überlagerungszuständen befinden, vgl. nur die Beiträge in *Giulini* u. a., *Decoherence and the Appearance of a Classical World in the Quantum Theory*. Außerdem wird in jüngerer Zeit daran gearbeitet, nach der Messung eines quantenmechanischen Zustandes, die zu einer Zerstörung der wellenähnlichen Eigenschaften führt, diese Eigenschaften wiederherzustellen, indem man die erhaltene Information gleichsam löscht, vgl. *Horgan*, *Quanten-Philosophie*, in: Neuser, *Quantenphilosophie*, S. 130, 133 f.

²² Vgl. nur *H. Schneider*, *Hypothese, Experiment, Theorie*, S. 56.

²³ Vgl. zum Ganzen *Neuser*, *Einführung*, in: ders., *Quantenphilosophie*, S. 7, 9 f.

Quantenmechanik nicht mehr gültig. Vielmehr wird vertreten, daß im mikro-physikalischen Bereich strenge Kausalität durch statistische Wahrscheinlichkeit ersetzt werden müsse.²⁴ Damit geht für diesen Bereich aber gleichzeitig eine Absage an den überkommenen mechanistischen Determinismus einher.²⁵ Auch gelten wichtige Grundregeln der formalen Logik, insbesondere das klassische „Tertium non datur“, nach dem eine Aussage entweder wahr oder nicht wahr ist, in der Quantenmechanik nicht mehr uneingeschränkt. Die Zustände der Materie bilden nicht immer echte Alternativen, sondern sie können miteinander verschränkt sein und werden gleichsam in ein Kontinuum zwischen Alternativen hinein interpretiert.²⁶ Der quantenmechanische Bereich wird als ein System verstanden, in dem keine zeitlos gültigen, sondern nur kontingente Aussagen möglich sind.²⁷

²⁴ Vgl. *Kinnebrok*, Theorien des 20. Jahrhunderts, S. 103 f.; *Neuser*, Einführung, in ders., *Quantenphilosophie*, S. 7, 9; zu Überlegungen, die Kant'sche a priori-Kategorie der Kausalität im Sinne einer schwächeren ontologischen Bestimmung als Kausalität im Sinne des Determinismus zu deuten, vgl. *Heisenberg*, Der Teil und das Ganze, *Quantenmechanik und Kant'sche Philosophie*, in: ders., *Gesammelte Werke*, Abt. C, Bd. III, S. 163 ff., 172 f.; *Strohmeyer*, *Quantentheorie und Transzendentalphilosophie*, S. 151 ff. und 160 ff.

²⁵ Vgl. auch *Gigerenzer*, *Reich des Zufalls*, S. 301 ff., 307, der zutreffend zwischen verschiedenen Spielarten des Determinismus in metaphysischer, epistemologischer, wissenschaftlicher, methodologischer und effektiver Hinsicht differenziert. Selbstverständlich sind nicht alle Varianten in gleicher Weise betroffen.

²⁶ Vgl. zur Entwicklung einer eigenen Quantenlogik für inkommensurable Eigenschaften *Mittelstaedt*, *Philosophische Probleme der modernen Physik*, S. 181 ff., 192 ff.; s. ferner *Jammer*, *The Philosophy of Quantum Mechanics*; *Planck*, *Kausalgesetz und Willensfreiheit*, in: v. Meyenn, *Quantenmechanik und Weimarer Republik*, S. 263 f.

²⁷ Vgl. auch *C. F. v. Weizsäcker*, *Der Aufbau der Physik*, S. 47 ff., 100 ff., 119 ff., 300 ff., der die Quantenlogik als eine Temporallogik versteht.

Wie sehr die Quantenmechanik die tiefstehenden Denkgewohnheiten revolutionierte, zeigt sich nicht zuletzt auch daran, daß die an der Entwicklung beteiligten Forscher sich über die philosophische Reichweite ihrer Theorien durchaus bewußt waren und mitunter selbst ein Unbehagen gegenüber ihren eigenen Ergebnissen empfanden, vgl. etwa *Heisenberg*, *Der Teil und das Ganze*, in: ders., *Gesammelte Werke*, Abt. C, Bd. III, S. 90 ff., über seine Diskussionen mit Albert Einstein im Jahr 1926. Gerade zu Anfang des 20. Jahrhunderts standen einige bedeutende Physiker wie insbesondere *Albert Einstein* der Quantenmechanik kritisch gegenüber, vgl. hierzu und zum sogenannten Einstein-Podolski-Rosen-Paradoxon nur *Kinnebrok*, *Theorien des 20. Jahrhunderts*, S. 91 ff. Berühmt geworden ist der Einsteinsche Ausspruch, Gott würfeln nicht, dem *Bohr* entgegenhielt, es sei nicht Aufgabe der Wissenschaftler, Gott vorzuschreiben, wie er die Welt regieren solle, vgl. hierzu *Horgan*, *Quanten-Philosophie*, in: *Neuser*, *Quantenphilosophie*, S. 130. Auch später hat es immer wieder Ansätze gegeben, zu einer deterministischen Interpretation zurückzukehren, vgl. zu einer von *David Bohm* erarbeiteten streng deterministischen Interpretation der Quantenmechanik *Albert*, *David Bohms Quantentheorie*, in: *Neuser*, *Quantenphilosophie*, S. 150 ff.; in jüngerer Zeit mit deterministischem Ansatz unter Eliminierung der Funktion der Zeit auch *Kiefer*, *Der Quantenkosmos*.

Viele Probleme, die die Quantenmechanik aufwirft, konnten bis heute noch nicht abschließend geklärt werden. Dennoch entspricht es der heute herrschenden Auffassung in der Physik, daß sich die Richtigkeit der Quantenmechanik und damit die Absage an einen strikten Determinismus im mikrokosmischen Bereich gegenüber dem traditionellen naturwissenschaftlichen Weltbild experimentell bewährt und durchgesetzt hat, *Kinnebrok*, *Theorien des*

Die traditionelle Exaktheit, die naturwissenschaftlichen Aussagen gern auch aus der Sicht anderer Disziplinen zugesprochen wurde, muß damit zumindest für diesen Bereich aufgegeben werden. Mit diesem naturwissenschaftlichen Verzicht auf Erklärung und Erklärbarkeit muß sich auch das Recht, sofern es auf naturwissenschaftliche Aussagen als Grundlage rechtlicher Entscheidungen zugreifen will, auseinandersetzen. Dies gilt um so mehr, als die Quantenmechanik heute nicht nur weiten Zweigen der modernen Naturwissenschaften zugrunde liegt, sondern zugleich auch bedeutende moderne Technologien im Bereich der Atomphysik, der modernen Chemie und Biologie sowie auch im Bereich der noch sehr jungen Nanotechnologie auf ihr beruhen.²⁸

II. Die Chaostheorie als Absage an die Berechenbarkeit von Ereignissen im makrokosmischen Bereich

Die zunehmende Anerkennung eines echten objektiven Zufalls, der Spontanität von Veränderungen, revidierte schließlich das naturwissenschaftliche Weltbild grundlegend und führte jedenfalls im Bereich der Wissenschaft von den Elementarprozessen zu einer Abkehr von deterministischen Anschauungen. Das allgemeine Bewußtsein, den Alltag, berührte sie noch weniger,²⁹ denn an der Umsetzung der wissenschaftlichen Erkenntnisse in technologische Prozesse wurde zunächst noch gearbeitet. Der Allgemeinheit wurde der wissenschaftliche Umbruch vor allem erst anhand seiner Umsetzungen und Folgen deutlich. Nachhaltige gesellschaftspsychologische Wirkung hatten der erste Abwurf einer Atombombe, später traten die Nutzung der Atomtechnologie zur Energiegewinnung und noch etwas später der Ausbau der Gentechnologie hinzu.³⁰ Es ist letztlich wohl auch nicht die theoretische Quantenphysik gewesen, obwohl sie als die erste irreduzibel probabilistische und damit indeterministische Theorie die eigentliche Revolution im Bereich der Naturwissenschaften darstellte,

20. Jahrhunderts, S. 97; *D'Espagnat*, Quantentheorie und Realität, in: *Neuser*, Quantenphilosophie, S. 57, 65 ff. Zur neueren, längst nicht abgeschlossenen Diskussion vgl. *Horgan*, a.a.O.; ferner auch die Beiträge in: *Giulini* u. a., Decoherence and the Appearance of a Classical World in the Quantum Theory.

²⁸ Vgl. Arbeitsbericht Nr. 92 „Nanotechnologie“ des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), Enderbericht Juli 2003, vorgestellt durch den Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestags, BT-Drs. 15/2713, S. 7. S. auch näher im folgenden unter B. III., S. 33 ff.

²⁹ So stützte sich *v. Müller* in seinem juristischen Aufsatz von 1930 (RVBl. und PrVBl. 51 (1930), S. 92 f.) noch auf den unerschütterten Glauben an die Naturgesetze, während sich die naturwissenschaftliche Welt schon im Umbruch befand, vgl. etwa die Stellungnahme des Mathematikers *v. Mises*, Wahrscheinlichkeit, Statistik und Wahrheit, 1928: „Diese Problemgruppe (der physikalischen Statistik) nimmt heute unser Interesse in stärkstem Maß in Anspruch, da mit ihr eine Umwälzung des gesamten naturwissenschaftlichen Weltbildes verknüpft ist.“ zit. nach der 3. Aufl., S. 261 f.

³⁰ Vgl. zur Kernkraft näher auch sogleich unter B. I., S. 17 ff., zur Gentechnologie unter B. II., S. 24 ff.

die das im allgemeinen Bewußtsein verankerte klassische *Newton'sche* Weltbild erschüttert hat. Nachhaltig gelang dies eher der jüngeren, der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts entstammenden Theorie zu komplexen und chaotischen Systemen.

Schon die klassische Physik hatte bei wissenschaftlichen Experimenten gewisse Abweichungen der Ergebnisse von den Vorhersagen beobachtet. Solche kleineren Diskrepanzen wurden jedoch weniger als eigenständiges physikalisches Phänomen betrachtet, sondern Fehlern im Versuchsaufbau oder Vereinfachungen in der Berechnung zugeschrieben und als solche vernachlässigt. Ohnehin ließen sich naturwissenschaftliche Systeme ohne die Hilfe von Computern nicht sehr weit in die Zukunft vorausberechnen. Erst mit dem Aufkommen der modernen Informationstechnologie konnte sich die Wissenschaft komplexeren und längerfristigen Berechnungen zuwenden, die wegen des ungeheuren mathematischen Aufwandes zuvor nicht bewältigt werden konnten. Mit einem Mal wurde deutlich, daß die Computerberechnungen bei nur leicht veränderten Ausgangsbedingungen, etwa leicht gerundeten Zahlen, ein gänzlich anderes Systemverhalten prognostizierten als bei einer nicht gerundeten Eingabe der Ausgangsdaten.³¹ Eine erneute Überprüfung von verschiedenen zeitabhängigen Berechnungen, deren Ergebnisse bisher nicht interpretierbar waren, ließ auch hier eine hohe Sensitivität gegenüber den Anfangs- und Rahmenbedingungen erkennen. Die Wirksamkeit kleinster und unbestimmbarer Faktoren produzierte vielfältige und von einander abweichende Erscheinungen.³²

Zunehmend wurde deutlich, daß die theoretisch beherrschbaren, vorhersagbaren und regelbaren Phänomene, mit denen sich die klassischen Naturwissenschaften primär beschäftigt hatten und wie sie auch für die juristische Betrachtung gefahrrechtlicher Phänomene übernommen worden waren, die Ausnahme bilden. Die meisten Systeme, insbesondere die biologischen Systeme des Makrokosmos, aber auch die der Mathematik, der Wirtschaft, Soziologie und Politik erwiesen sich als zu komplex, um linearen und damit voraussehbaren

³¹ Eine der grundlegenden Arbeiten bildet der Beitrag von *Lorenz*, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1963, 130, der die Anfälligkeit von Wettervorhersagen gegenüber kleinsten Veränderungen der Ausgangsdaten beschreibt. Winzigste Abweichungen von einem Hundertstel Prozent, etwa einem leichten zusätzlichen Windhauch entsprechend, führen aufgrund ihrer exponentiellen Vergrößerung zu unterschiedlichen Vorhersagenkurven, die schließlich keinerlei Gemeinsamkeit mehr besitzen – ein Phänomen, das zur Metapher vom Flügelschlag eines Schmetterlings, der langfristig Stürme auf einem anderen Kontinent auslöst, geführt hat. Da auch umfangreiche Wetterdaten die exakte Wetterlage nie bis in das letzte Detail widerspiegeln, sind langfristige Vorhersagen prinzipiell unmöglich.

³² Vgl. zum Ganzen nur *Briggs/Peat*, *Die Entdeckung des Chaos*; *Casti*, *Complexification*; *Cramer*, *Chaos und Ordnung*; *Kaneko/Tsuda*, *Complex systems*; *Lewin*, *Die Komplexitätstheorie*; *Christensen/Moloney*, *Complexity and Criticality*; *Haake*, *Quantum signatures of chaos*; *Gutzwiller*, *Chaos in Classical and Quantum Mechanics*; für eine ausführliche Zusammenstellung wissenschaftlicher Abhandlungen, die die Entwicklung der Chaostheorie begründet haben, vgl. *Zhang*, *Bibliography on chaos*.

Grundmustern zu folgen. Zwar bleiben auch diese instabilen, mitunter als ‚deterministisch chaotisch‘ bezeichneten Systeme den Naturgesetzen unterworfen. Aufgrund ihrer hohen Empfindlichkeit gegenüber kleinsten Unwägbarkeiten, die sich exponentiell vergrößern, sind aber längerfristige Vorhersagen über das Systemverhalten nicht möglich.

Die bedeutsame Folge der Chaostheorie liegt darin, daß die Grundmuster der Kausalität, der Wiederholbarkeit von Experimenten und damit menschlicher Erfahrung auch im makrokosmischen Bereich erschüttert werden. In einem strengen Sinn besagt Kausalität, daß exakt gleiche Anfangsbedingungen auch gleiche Ergebnisse bewirken. Eng damit verwandt galt der etwas großzügiger gefaßte Grundsatz, daß auch ähnliche Ursachen ähnliche Wirkungen erzeugen. Die Gültigkeit dieses zweiten Axioms wird durch die Chaostheorie nunmehr grundlegend in Frage gestellt.³³ Das Kausalitätsprinzip im strengen Sinne, nach dem gleiche Anfangsbedingungen auch gleiche Ergebnisse bewirken, wird zwar nicht beeinträchtigt. Es entspricht aber eher einer nur metaphysischen Doktrin, deren Nutzen sehr gering ist in einer Welt, in der sich exakt gleiche Ursachen und Rahmenbedingungen niemals wieder herstellen lassen. Dementsprechend beruhten die Versuche aller Experimentalwissenschaften auf dem etwas weiter gefaßten Axiom, nach dem sich auch unter ähnlichen Bedingungen ein ähnliches Ergebnis erzeugen lasse, Experimente also jederzeit wiederholbar seien.³⁴ Gerade diese Prämisse muß für komplexe Systeme nun aufgegeben werden. Erfahrungen im Sinne eines Lernens aus der Vergangenheit für die Zukunft sind mit diesen sensitiven Systemen kaum möglich. Auch im makrokosmischen Bereich können Kausalität und Erfahrung daher nicht mehr als unangefochtenes Grundmuster wissenschaftlicher Argumentation betrachtet werden. Insgesamt läßt sich feststellen, daß sich ungeachtet des beeindruckenden qualitativen Erkenntnisfortschritts, den die Naturwissenschaften des 20. Jahrhunderts vollzogen haben, gänzlich neue Bereiche des Nichtwissens eröffnet haben. Sie überwiegen das vorhandene Wissen in einem solch hohen Maße, daß durch den gegebenen wissenschaftlichen Kenntnisstand erst die Oberfläche der komplexen Ganzheit der Welt berührt zu sein scheint.

Die Bedeutung dieses naturwissenschaftlichen Paradigmenwechsels für gefahrrechtliche Fragestellungen mag zunächst als nur gering oder indirekt anmuten. Naturwissenschaftliche Theorien in ihrer Reinheit erzeugen noch keine Situationen, auf die das Gefahrenabwehrrecht unmittelbar reagieren müßte. Erst bei der Umsetzung der Erkenntnisse, die vom einzelnen wissenschaftlichen Experiment bis zur breiten Anwendung einer neuen Technologie reichen kann, sind negative Begleiterscheinungen und Folgewirkungen möglich, die einen rechtlichen Regelungsbedarf schaffen können. Sollte sich also erweisen, daß

³³ Vgl. *Kinnebrok*, Theorien des 20. Jahrhunderts, S. 117ff.

³⁴ Vgl. zur Problematik schon *Poincaré*, Wissenschaft und Hypothese, S. 142ff.