

Umweltrechtliche Studien  
Studies on Environmental Law

60

Sarah Bartholomé

# Computermodelle vor Gericht

Die rechtliche Bewertung computergestützter Modellierungen  
zur Prognose von Umweltauswirkungen  
Am Beispiel der Ausbauten der Flüsse Elbe und Weser



**Nomos**

Umweltrechtliche Studien  
Studies on Environmental Law

Herausgegeben von / edited by  
Professor Dr. Sabine Schlacke  
Professor Dr. Claudio Franzius

Band 60  
Volume 60

Sarah Bartholomé

# Computermodelle vor Gericht

Die rechtliche Bewertung computergestützter Modellierungen  
zur Prognose von Umweltauswirkungen

Am Beispiel der Ausbauten der Flüsse Elbe und Weser



**Nomos**



Onlineversion  
Nomos eLibrary

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

Zugl.: Bremen, Univ., Diss., 2023

u.d.T.: Titel der Dissertation (sofern abweichend): Computermodelle vor Gericht – Die rechtliche Bewertung computergestützter Modellierungen zur Prognose von Umweltauswirkungen am Beispiel der Ausbauten der Flüsse Elbe und Weser

ISBN 978-3-7560-0885-8 (Print)

ISBN 978-3-7489-1627-7 (ePDF)

1. Auflage 2024

© Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden 2024. Gesamtverantwortung für Druck und Herstellung bei der Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG. Alle Rechte, auch die des Nachdrucks von Auszügen, der fotomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung, vorbehalten. Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>9</b>
<b>Einleitung</b>	<b>17</b>
<b>Erstes Kapitel: Ziel, Methodik und Struktur der Arbeit</b>	<b>23</b>
<b>Zweites Kapitel: Erkenntnismethoden in Naturwissenschaften und Recht</b>	<b>25</b>
§ 1 Methoden der Naturwissenschaften	26
§ 2 Wissenschaftstheorie und computergestützte Modellierungen	28
§ 3 Methoden des Rechts	31
<b>Drittes Kapitel: Computergestützte Modellierungen zur Prognose von Umweltauswirkungen</b>	<b>39</b>
§ 1 Historische und theoretische Einordnung des Modellbegriffs	40
§ 2 Kommunikation: Pragmatischer Realismus vs. Instrumentalismus	44
§ 3 Beispiele	45
§ 4 Modellkategorien	47
§ 5 Modellierungsprozess	51
I. Formulierung eines konzeptionellen Modells und Entwicklung eines Modellsystems (Programmierung)	53
II. Aufbau eines ortsspezifischen Modells für ein bestimmtes Gebiet (Modellaufbau)	54
III. Validierung und Anwendung des Modells (Simulation)	56
IV. Interpretation der Modellergebnisse (Analyse)	56
§ 6 Diskurs	57
I. Unsicherheit	58
II. Transparenz	61
III. Kommunikation	65

IV. Fehlverwendung	69
§ 7 Leitlinien	70
<b>Viertes Kapitel: Umgang mit sachverständiger Expertise im Umweltrecht</b>	<b>77</b>
§ 1 Allgemeine Bedeutung extrajuridischen Wissens im Umweltrecht	77
§ 2 Beweisrecht im Verwaltungsrecht	82
I. Untersuchungsgrundsatz im Verwaltungsverfahren	83
II. Untersuchungsgrundsatz im Verwaltungsgerichtsverfahren	87
III. Grundsatz der freien Beweiswürdigung	92
IV. Beweismaß	94
V. Beweislast	98
VI. Beweisantrag	100
VII. Zusammenfassung	102
§ 3 Sachverständige	103
§ 4 Abgrenzung Sachverständige – RichterIn	106
§ 5 Prognosen im Verwaltungsrecht	110
I. Gefahrenabwehr und Risikovorsorge	111
II. Verkehrsprognosen	114
1. Prognosebasis	115
2. Prognosemethode	115
3. Begründung	117
§ 6 Kontrolldichte der Verwaltungsgerichte – normkonkretisierende Verwaltungsvorschriften	117
§ 7 Wertung wissenschaftlicher Streitfragen	121
I. Immissionsschutzrecht	122
II. Atomrecht	123
III. Recht der Umweltprüfungen	131
IV. Naturschutzrecht	136
§ 8 Zusammenfassung des vierten Kapitels	143

<b>Fünftes Kapitel: Verwendung computergestützter Modellierungen zur Prognose von Umweltauswirkungen in der rechtlichen Praxis</b>	<b>147</b>
§ 1 Flussausbauten – Elbe und Weser	148
I. Hintergrund	148
II. Verfahrensgang	149
1. Weser	149
2. Elbe	151
§ 2 Bewertungskriterien der Planfeststellungsbehörden	153
§ 3 Bewertungskriterien des Bundesverwaltungsgerichts	160
§ 4 Diskurs	169
I. Ressourcenintensität	176
II. Machtasymmetrie	177
III. Verfahrensabhängigkeit der Modellierungsergebnisse	180
IV. Funktion von Modellierung und Prognose	181
V. Unsicherheiten und Intransparenz	181
VI. Nachvollziehbarkeit	184
§ 5 Zusammenfassung des fünften Kapitels	185
<b>Sechstes Kapitel: Kriterien zur rechtlichen Bewertung von angewandten computergestützten Modellierungen zur Prognose von Umweltauswirkungen</b>	<b>187</b>
§ 1 Rechtlicher Status	187
I. Verwaltungsverfahren	188
1. UVP-Bericht	188
2. Wissenschaftliche Basis Gutachten	191
3. Anhörungsverfahren	193
4. Planfeststellungsbeschluss	193
II. Verwaltungsgerichtsverfahren	194
III. Öffnung des institutionellen Rahmens	197
§ 2 Rechtliche Bewertungskriterien	202
I. Kriterien für äußeres Verfahren	202
1. Komplexität des Systems	202
2. Angemessenheit	203

3. Asymmetrie der Ermittlungsressourcen	204
4. Qualifikation der Fachgutachterinnen	205
5. Interessenkonflikte	205
6. Dokumentation	206
7. Unsicherheit	208
8. Nachvollziehbarkeit	209
9. Falsche Prognosen in der Vergangenheit	211
10. Alterungsprozess	212
II. Kriterien für inneres Verfahren	212
1. Modellfunktion	213
2. Annahmen	214
3. Qualität und Quantität der Daten	214
4. Worst-Case-Betrachtungen	215
5. Peer-Review	216
6. Verifikation – Übertragung mit ausreichender Genauigkeit	216
7. Kalibrierung	217
8. Validierung	218
9. Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalysen	218
10. Nachvollziehbarkeit	219
§ 3 Zusammenfassung des sechsten Kapitels	220
<b>Fazit und Ausblick</b>	<b>223</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>225</b>

## Vorwort

Zu Beginn meiner Arbeit an dieser Dissertation nahm ich an einer Konferenz zum Thema *“Lost in Translation – from Science to Regulation”* teil. Während eines Vortrages wurde eine Gerichtsentscheidung des Supreme Court der Vereinigten Staaten aus den 40er Jahren vorgestellt, die mir, während der Auseinandersetzung mit meinem Forschungsthema, immer wieder in den Sinn kam:

Der Fall handelt von einem verheirateten Offizier der Handelsmarine, der am 24. April 1944 in See stach und am 4. Januar 1945 wieder an seinen Heimatort, Norfolk in den Vereinigten Staaten, zurückkehrte. Bei seiner Rückkehr war seine Frau hoch schwanger. Sie brachte am 14. April 1945 ein Kind zur Welt. Ihr Ehemann beschuldigte sie des Ehebruchs. Seine Ehefrau insistierte hingegen, dass das Kind von ihm stamme. Der Ehemann zog vor Gericht und klagte auf Scheidung. Er begründete seine Klage damit, dass er nicht der Vater des Kindes sein könne, da eine Schwangerschaft nicht 355 Tage andauere. Beweise, dass seine Frau einen Liebhaber hatte, brachte er nicht vor.<sup>1</sup>

Das Gericht berief einige Experten<sup>2</sup> als Zeugen ein, um die Frage zu beantworten, wie lange eine Schwangerschaft aus wissenschaftlicher Sicht längstens dauern könne. Grundsätzlich gelte es als wissenschaftliche Tatsache, dass eine Schwangerschaft ungefähr 270 Tage dauere. Ein Gynäkologe berichtete jedoch von nicht bestätigten Fällen, in denen eine Schwangerschaft bis zu 320 Tagen gedauert habe. Ein von der Beklagten als Zeuge einberufener Arzt berichtete von Fällen, in denen eine Schwangerschaft sogar bis zu 344 Tage angedauert habe. Das Gericht wies die Klage schließlich mit der Begründung ab, dass keine tatsächlichen Beweise für das Verhalten der Beschuldigten vorlagen und der Kläger daher seiner Beweispflicht nicht nachgekommen sei. Das Gericht könne daher nicht schlussfolgern, dass sich die Beklagte des Ehebruchs schuldig gemacht hatte.

---

1 *U. S. Supreme Court, Lockwood v. Lockwood*, – Misc. -, 62 N. Y. S. (2d) 910 (Sup. Ct. 1946), abgedruckt in *St. John’s Law Review*, Volume 21, 1946, Number 1, Article 13 (90).

2 Zur besseren Lesbarkeit und geschlechtergerechten Formulierung des Textes verwende ich die weibliche und männliche Form alternierend. Anderweitige Geschlechteridentitäten werden dabei ausdrücklich mitgemeint, soweit es für die Aussage erforderlich ist.

Die Vermutung, dass das Kind, welches aus einer Ehe hervorgeht, auch tatsächlich das Kind des Ehemannes sei, war also so stark, dass allein eine wissenschaftlich sehr unwahrscheinliche Länge einer Schwangerschaft diese nicht widerlegen konnte. Nach Ansicht des U. S. Supreme Courts sei kein Rechtsgrundsatz fester begründet, als dass jedes ehelich geborene Kind als ehelich zu vermuten sei. Die Vermutung dieser Tatsache sei eine der stärksten, die dem Gesetz bekannt sei und könne nur durch stärkere Beweise widerlegt werden.

Der Schutz des Kindes vor gesellschaftlicher Ächtung wog also stärker, als dass er durch die unwahrscheinlich lange Schwangerschaft hätte erschüttert werden können.

Warum fasziniert mich dieser Fall? Sicherlich ist zunächst kein direkter Bezug zu meinem Forschungsthema erkennbar. Dennoch geht es im dargestellten Fall, wie auch in dieser Arbeit im Grunde nach um den Einfluss von naturwissenschaftlichem Wissen auf die Rechtsfindung.

Das Gericht entschied im Sinne des Kindeswohls und seines gesellschaftlichen Status und gegen die wissenschaftliche Wahrscheinlichkeit. Der Fall soll als anschauliches Beispiel dafür dienen, dass Rechtsprinzipien in der rechtlichen Entscheidungsfindung mitunter schwerer wiegen können als fundierte wissenschaftliche Erkenntnisse. Rechtsfindung basiert nicht immer auf rein wissenschaftlichen Tatsachen, sondern auch auf gesellschaftlich entwickelten Werten, welche sich in Rechtsprinzipien niederschlagen. Rechtswissenschaft ist ein sozialer Prozess und kein reines Streben nach Erkenntnis.<sup>3</sup>

Nähern wir uns meinem Forschungsfeld. Kaum ein anderes Rechtsgebiet ist derart stark von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen geprägt wie das Umweltrecht:<sup>4</sup>

*„Das Umweltrecht wird von den Naturwissenschaften, insbesondere der Biologie und Chemie, geprägt. Auch einflussreich sind mathematische und statistische Studien wegen der Quantifizierung von Daten. Große Bedeutung haben auch die Ingenieurwissenschaften durch die Entwicklung und Anwendung wissenschaftlicher Methoden, wie beispielsweise numerischer*

---

3 Lüdemann, in: Funke/Krüper/Lüdemann, Konjunkturen in der öffentlich-rechtlichen Grundlagenforschung, S. 1 (10).

4 Zur besseren Lesbarkeit der Arbeit wurden Zitate aus englischen Aufsätzen von mir übersetzt.

*Modellierungen. Evidenzbasierte Politikgestaltung erfordert fundierte Wissenschaft.*<sup>5</sup>

Das hat zur Folge, dass dabei nicht nur die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse an sich, sondern auch das diesen Erkenntnissen zugrunde liegende Verständnis von Natur das Umweltrecht beeinflusst und hauptsächlich prägt. Das Bild der Natur in den Naturwissenschaften beeinflusst das Bild der Natur im Recht.<sup>6</sup>

Dieses Bild der Natur in den Naturwissenschaften hat sich insbesondere im 16. und 17. Jahrhundert stark gewandelt; Carolyn Merchant beschreibt diesen Wandel in ihrem Buch „The Death of Nature – Women, Ecology and the Scientific Revolution“ mit den Worten:

*„Zwischen dem sechzehnten und siebzehnten Jahrhundert wich das Bild eines organischen Kosmos, mit einer lebendigen weiblichen Erde in seinem Zentrum, einem mechanistischen Weltbild. In diesem wurde die Natur als tot und passiv rekonstruiert, um für den Menschen beherrschbar und kontrollierbar zu sein.“*<sup>7</sup>

Geprägt wird das naturwissenschaftliche Weltbild bis heute von Galileos Äußerung, das Buch der Natur sei in der Sprache der Mathematik geschrieben und lautete im Originalton in Saggiatore 1623 Abschnitt 6:

*„Die Philosophie ist geschrieben in jenem großen Buche, das immer vor unseren Augen liegt; aber wir können es nicht verstehen, wenn wir nicht zuerst die Sprache und die Zeichen lernen, in denen es geschrieben ist. Diese Sprache ist Mathematik, und die Zeichen sind Dreiecke, Kreise und andere geometrische Figuren, ohne die es dem Menschen unmöglich ist, ein einziges Wort davon zu verstehen; ohne diese irrt man in einem dunklen Labyrinth herum.“*

Das hat zur Folge, dass, pointiert formuliert, etwas, was nicht gemessen werden kann, nicht existiert. Mathematische Modelle können als Speerspitze dieser Entwicklung gesehen werden, welche mit der wissenschaftlichen Revolution im 16. Jahrhundert begann:

*„Die Vorstellung, dass „das große Buch der Natur in mathematischer Sprache geschrieben ist“, eine verblüffende Proklamation von Galileo im*

---

5 McEldowney/McEldowney, Environmental Law Review 2011, 169 (173).

6 Zu Ansichten von Natur im Recht: Winter, GAIA 2000, 196.

7 Merchant, The death of nature, Preface: 1990, xvi.

*16. Jahrhundert, scheint nun fest in unser modernes Weltbild eingebettet zu sein. Wir verlassen uns auf mathematische Modelle, um die Welt zu erklären.*<sup>8</sup>

Diese Überzeugung, dass natürliche Phänomene in mathematischer Form ausgedrückt werden können, ist eine Grundannahme des modernen Umweltschutzes. „Nicht mess- und beobachtbare“ Phänomene spielen folglich auch für die umweltrechtliche Entscheidungsfindung keine Rolle.<sup>9</sup> Das ist insofern interessant, als doch der erste Zugang des Menschen zu seiner Umwelt über die Sinne erfolgt; wir hören, riechen, schmecken, sehen und fühlen unsere Umwelt, doch relevant für rechtliche Entscheidungen werden diese Wahrnehmungen erst, wenn sie zahlenmäßig ausgedrückt, messbar und wissenschaftlich nachweisbar sind. Begründbar ist dies mit dem aus dem Rechtsstaatsprinzip entspringenden Anspruch an die Rationalität staatlicher Entscheidungen. Rationalität soll als Garant für willkürfreie nachvollziehbare und widerspruchsfreie Entscheidungen stehen. Demgegenüber soll staatliche Tätigkeit nicht auf Spekulationen, Metaphysik oder Religionen basieren.<sup>10</sup> In Zahlen ausdrückbare Umweltphänomene gelten als objektiv vorhanden, nachweisbar und rational erklärbar. Nicht umweltrechtlich verwertbar ist die sinnliche Einbettung des Menschen in seine Umwelt. Das Umweltrecht sehnt sich also nach exakten Zahlen und Berechnungen und sicher belegten wissenschaftlichen Erkenntnissen, auf welche seine Entscheidungen gestützt werden können. Mathematische Modellierungen sind ihm daher ein willkommenes Werkzeug, da sie diese Exaktheit suggerieren und mit numerisch ausgedrückten Ergebnissen überzeugen.

Allerdings stellt sich die Frage, ob dieses den Naturwissenschaften immanente und auf das Umweltrecht ausstrahlende mechanistische Weltbild, die damit einhergehende Macht der Zahlen und dass in dieses gelegte Vertrauen nicht auch teilweise Grund für die ökologische Krise sind. In diese Richtung argumentiert auch Merchant:

*„Indem wir die Wurzeln unseres gegenwärtigen Umweltdilemmas und seine Verbindungen zu Wissenschaft, Technologie und Wirtschaft untersuchen, müssen wir die Entstehung einer Weltanschauung und Wissenschaft neu untersuchen, die durch die Neukonzeptualisierung der Realität*

---

8 Pascual, Inside EPA's Risk Policy Report 2004, 29.

9 BVerwGE 158, I, Rn. 533.

10 Voßkuhle, in: Isensee/Kirchhof, Handbuch des Staatsrechts, S. 425 (Rn. 1).

*als eine Maschine und nicht als einen lebenden Organismus die Herrschaft der Natur sanktionierte.*<sup>11</sup>

Oder in drastischen Worten, auch von Merchant:

*„Der Meteorologe, der uns sagt, was Mutter Natur an diesem Wochenende für uns bereithält, und Rechtssysteme, die die Sexualität einer Frau als Eigentum ihres Mannes behandeln, machen sich gleichermaßen schuldig daran, ein repressives System sowohl für die Frau als auch für die Natur, aufrechtzuerhalten.“*<sup>12</sup>

Zumindest kann festgesellt werden, dass weder die ausgeprägte Entwicklung des Umweltrechts in den letzten Jahrzehnten<sup>13</sup> noch das durch die Naturwissenschaften gewonnene immer detailliertere Wissen über die Natur die ökologische Krise der heutigen Zeit verhindern konnten.

Merchant prognostizierte allerdings bereits 1990, dass sich eine der wissenschaftlichen Revolution ähnliche Transformation anbahne, welche das Naturverständnis der westlichen Welt auf die Probe stelle und die Menschheit im 21. Jahrhundert zu einem ökologischen und nachhaltigen Lebensstil führe. Dafür spreche ihrer Meinung nach unter anderem das Aufkommen der Chaostheorie:

*„Das jüngste Aufkommen der Chaostheorie in der Mathematik legt nahe, dass deterministische, lineare Vorhersagegleichungen, die die Grundlage des Mechanismus bilden, eher auf ungewöhnliche als auf gewöhnliche Situationen angewendet werden können. (...) Die meisten Umwelt- und biologischen Systeme (...) können von nichtlinearen chaotischen Beziehungen beherrscht werden. (...) Das mechanistische Gerüst, welches die industrielle Revolution mit ihren Nebeneffekten der Ressourcenverknappung und Umweltverschmutzung legitimierte, verliert möglicherweise seine Wirksamkeit.“*<sup>14</sup>

Allerdings deutet die zunehmende Verwendung mathematischen Modellierungen zur Prognose von der Veränderung von Umweltprozessen, wie beispielsweise der Ausbreitung von Schadstoffen im Grundwasser, der Anstieg des Meeresspiegels durch den Klimawandel, oder die Auswirkungen auf die Umwelt durch ein Infrastrukturprojekt in eine andere Richtung.

---

11 Merchant, *The death of nature*, S. xxi.

12 Merchant, *The death of nature*, S. xxi.

13 Winter, *ZUR* 2017, 267 (268).

14 Merchant, *The death of nature*, S. xviii.

*„[...] man glaubte, dass quantitative mathematische Modelle eine Brücke zu einer besseren, sichereren Zukunft in der Beziehung zwischen Menschen und Umwelt bilden würden. Genaue Vorhersagen wurden nicht nur bald zu einer Erwartung der Öffentlichkeit, sondern mathematische Modellierung wurde in den Köpfen der Menschen zum Inbegriff des aktuellen Standes der Technik in weiten Teilen der Wissenschaft und der Politik.“<sup>15</sup>*

Über das Phänomen, dass sich Verhandlung über Politik und Herrschaftsausübung aus dem *„Medium der Sprache in das Reich der Zahlen verschiebt und (...) einen Bedeutungsverlust des öffentlichen Rechts nach sich ziehen kann“*,<sup>16</sup> diskutiert auch die deutsche Rechtswissenschaft und mahnt zur aufmerksamen Beobachtung.

Warum beginne ich mit diesen Gedanken meine Dissertation?

Indem ich mit dieser Arbeit der Frage nachgehe, auf welche Art und Weise angewandte computergestützte numerische Prognosemodelle rechtlich bewertet werden können, bin ich grundsätzlich der Annahme, dass die Verwendung dieser Modellierungen in rechtlichen Verfahren sinnvoll, geeignet und wichtig ist, und zu einer guten Entscheidungsfindung beitragen kann.

Der verfolgte Ansatz in dieser Arbeit ist also pragmatisch: *„anwendungs-, handlungs-, sachbezogen; sachlich auf Tatsachen bezogen.“*<sup>17</sup> Pragmatismus im Sinne eines Verhaltens, das sich nach situativen Gegebenheiten richtet, wodurch das praktische Handeln über die theoretische Vernunft gestellt wird.<sup>18</sup>

Dennoch ist diese Arbeit von einem grundsätzlichen Zweifel geprägt, dass allein mehr und exaktere Wissenschaft, in diesem Falle die Ergebnisse computergestützter Modellierungen zur Prognose von Umweltauswirkungen, umweltrechtlichen Entscheidungen dienlich sind. Daher möchte ich mich dem Ruf einiger Autorinnen nach größerer Bescheidenheit hinsichtlich des wissenschaftlichen Möglichen anschließen:

*„Unser zunehmendes Vertrauen in die Wissenschaft, um absolute Antworten zu beweisen, könnte ein Produkt des Computerzeitalters und des weit verbreiteten, aber oft unangebrachten Vertrauens sein, dass quantitative mathematische Modelle die Antwort liefern werden. (...) Demut ist erforderlich: Demut seitens der Wissenschaftler, die die Grenzen wissenschaft-*

---

15 Pilkey-Jarvis/Pilkey, Public Administration Review 2008, 469 (470).

16 Röhl, in: VVDStRL 74, S. 7 (31 f.).

17 Dudenredaktion, Duden - Das Fremdwörterbuch, Schlagwort Pragmatisch.

18 Schubert, Pragmatismus zur Einführung, S. 10 - 11.

*licher Erkenntnisse kennen müssen, und Demut seitens der Planer und politischen Entscheidungsträger, die aufhören müssen, sich für Antworten an die Wissenschaft und mathematische Modelle zu wenden. Stattdessen sollten diese ihre eigenen Lösungen, unterstützt durch wissenschaftliche Beobachtungen, entwickeln.<sup>19</sup>*

---

19 *Pilkey-Jarvis/Pilkey*, *Public Administration Review* 2008, 469 (470).



## Einleitung

„Prognosen sind schwierig, insbesondere wenn sie die Zukunft betreffen.“<sup>20</sup>

Welche geschützten Tierarten könnten durch den Bau von Windrädern gestört werden? Welche Beeinträchtigungen drohen der Natur durch den Bau einer Autobahn? Welche Auswirkungen hat der Bau und der Betrieb einer Industrieanlage auf die Luftqualität der näheren Umgebung? Wie verändert sich die Beschaffenheit des Wassers durch den Ausbau eines Flusses?

Kaum eine umweltrechtliche Entscheidung kann getroffen werden, ohne dass dabei ein Blick in die Zukunft geworfen werden muss. Insbesondere bei Infrastrukturvorhaben sind Prognosen von den Auswirkungen des Vorhabens auf bestimmte Teile der Umwelt essenzieller Bestandteil jeder Planung.

Grundsatz der Umweltprüfung nach § 3 des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) umfasst beispielsweise die Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der *erheblichen Auswirkungen* eines Vorhabens oder eines Plans oder Programms auf die Schutzgüter. Sie dienen einer wirksamen Umweltvorsorge nach Maßgabe der geltenden Gesetze und werden nach einheitlichen Grundsätzen sowie unter Beteiligung der Öffentlichkeit durchgeführt.

In § 34 Abs. 1 und Abs. 2 BNatSchG ist der Begriff der *erheblichen Beeinträchtigung* eines FFH-Gebietes durch einen Plan oder Projekt normiert. Gewässer sind nach § 27 Abs. 1 WHG so zu bewirtschaften, dass eine  *Verschlechterung* ihres ökologischen und ihres chemischen Zustands *vermieden* wird und ein guter ökologischer und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden. Eine Prognose ist daher unerlässlich und das Ergebnis dieser Prognosen bestimmt oft über die Zulassung und Genehmigungsfähigkeit eines Projekts.

Doch mit welcher Methode wird der Blick in die Zukunft gewagt? Der Wunsch des Menschen in die Zukunft blicken zu können ist wahrscheinlich so alt wie die Menschheit selbst. So verbindet die Überzeugung, durch genaues Beobachten des Gegenwärtigen Ausschluss über das Kommende

---

20 Die Herkunft dieses bekannten Zitates ist unklar. Es wird unter anderem Karl Valentin, Niels Bohr oder auch Winston Churchill zugeschrieben.

zu erlangen, die Menschen über Zeitalter und Kulturen hinweg. Geändert haben sich die Methoden und Verfahren, mit denen die Prognosen in die Zukunft gewagt werden: Sie reichen vom Orakel von Delphi, über die Schau von Schildkrötenpanzern während der Shang Dynastie bis hin zur Astrologie und Astronomie.<sup>21</sup>

Prägend für unsere Zeit sind Prognosen und Zukunftsszenarien, welche auf mathematischen Modellen basieren, auch numerische Modellierungen, Rechenmodelle, Computermodelle oder Computersimulationen genannt.<sup>22</sup> Der Einfluss mathematischer Modelle auf Wissenschaft und Politik hat in den letzten Jahren stetig zugenommen.<sup>23</sup> Aufgrund immer größerer Rechenleistung durch Computer und entsprechende Gewinne in algorithmischer Geschwindigkeit und Genauigkeit hat sich nicht nur die Simulationszeit verringert, vor allem können dadurch komplexere und bis dato unlösbare Probleme simuliert werden.<sup>24</sup>

In fast allen Wissenschaftszweigen werden mathematische Modelle verwendet. Sind mathematische Modelle in den Naturwissenschaften bereits seit Jahrhunderten eine einschlägige Methode des Erkenntnisgewinns, werden sie zunehmend auch in den Sozialwissenschaften eingesetzt.

Auch politische Entscheidungsträger lassen ihr Handeln immer stärker von den Berechnungen und Prognosen mathematischer Modellierungen beeinflussen. Öffentlich sichtbar wurde dies insbesondere bei den jüngsten Versuchen der Krisenbewältigung, sei es in der Klimapolitik, zur Eindämmung der Covid-19 Pandemie<sup>25</sup> oder um die wirtschaftlichen Auswirkungen eines Importstopps russischer Energie auf Deutschland abzusehen.<sup>26</sup>

Auch Prognosen zu Umweltauswirkungen von Infrastrukturvorhaben basieren auf mathematischen Modellen. Diese sind ein grundlegendes Instrument in den Umwelt- und Ingenieurwissenschaften. Diese Art der Modellierungen können als vereinfachte Darstellungen eines Ausschnitts der Umwelt bezüglich ausgewählter physikalischer oder biologischer Eigenschaften und Vorgänge definiert werden. Dabei treten sie meist in computerbasierter Form auf, und nutzen die mathematische Formsprache zur

---

21 *Labisch*, in: *Labisch*, Kann Wissenschaft in die Zukunft sehen?, S. 7.

22 *Scheer*, Computersimulationen in politischen Entscheidungsprozessen, S. 76.

23 *Markus*, ZUR 2023, 667.

24 *Swinhart*, Texas Law Review 2008, 1281 (1284).

25 *Mitteldeutscher Rundfunk Online*, Modellsimulation: Kommende Maßnahmen entscheiden über Hunderttausende Menschenleben, 19.11.2021.

26 *Bachmann/Kuhn/et al.*, Was wäre, wenn...? Die wirtschaftlichen Auswirkungen eines Importstopps russischer Energie auf Deutschland, März 2022.

Beschreibung von Wirkungsbeziehungen und zur Prognose künftiger Entwicklungen.<sup>27</sup>

Die Ergebnisse der Modellierungen fließen in Form von Fachgutachten in das juristische Verwaltungs- und Verwaltungsgerichtsverfahren ein. Die insbesondere in der vorliegenden Arbeit thematisierten und analysierten hydronumerischen Modellierungen der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) bilden beispielsweise in vielen wasserbaulichen Verfahren die Grundlage für die Umweltverträglichkeitsprüfung als auch für weitere naturschutzfachliche Untersuchungen. Anwendungsbereiche von numerischen Modellen im Küsteningenieurwesen sind beispielsweise die hydrodynamische Simulation von Ozeanen, Ästuaren und Flussabschnitten. Fragestellungen zu Auswirkungen einer geplanten Flussbaumaßnahme auf die Hydrodynamik eines Flusses oder auch klimabedingte Änderung von Wasserspiegel, Strömungsgeschwindigkeit und Salzgehalt in einem Ästuar, können durch numerische Modellierungen wissenschaftlich bearbeitet werden.

Sie dienen somit als wesentliche Hilfestellung im Rahmen der Sachverhaltsaufklärung und der Bewertung von Umweltauswirkungen für die Verantwortlichen in umweltrechtlichen Entscheidungsprozessen, sei es in der Verwaltung oder vor Gericht. Allerdings sind die in das Verfahren eingebrachten Rechenmodelle regelmäßig technisch hoch komplex sowie der Modellierungsprozess als auch die aus dem Modell abgeleiteten Ergebnisse für Nichtexperten schwer nachvollziehbar und vermittelbar.

Die juristische Verwertung von Berechnungsmodellen und der darauf basierenden Prognose bringt daher besondere Herausforderungen mit sich. Zu untersuchen ist, welche Maßstäbe und Kriterien das rechtliche Bewertungssystem für Prognosen und deren Grundlagen vorsieht und wie diese in der Infrastrukturplanung Anwendung finden.

Zwei materielle Hauptprinzipien<sup>28</sup> des internationalen, europäischen und deutschen Umweltrechts, der Vorbeugungsgrundsatz (prevention principle) und das Vorsorgeprinzip (precautionary principle) stehen dabei dem prozessualen Prinzip der freien Beweiswürdigung gegenüber. Das Vorbeugungsprinzip besagt, dass bereits die Entstehung von Umweltgefahren und Umweltschäden durch Planungen und Maßnahmen so weit wie möglich

---

27 Scheer, Computersimulationen in politischen Entscheidungsprozessen, S. 76; *Committee on Models in the Regulatory Decision Process/National Research Council, Models in Environmental Regulatory Decision Making*, S. 31.

28 Von prinzipieller Bedeutungsgleichheit spricht *Appel*, in: Koch/Hofmann/Reese, Handbuch Umweltrecht, S. 43 (Rn. 32).

vermieden werden müssen, im Sinne von „*Schadensvermeidung ist besser als Schadensbeseitigung*“.<sup>29</sup> Die Kausalität zwischen einem Ereignis und dem Schaden ist dabei wissenschaftlich erwiesen, die Risiken können als sicher qualifiziert werden und die Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts kann errechnet werden. Das Vorsorgeprinzip hingegen bezieht sich auf das Ungewissheitsproblem bezüglich der Kausalität von Ereignis und Schaden. Das heißt, Risiken werden lediglich vermutet oder befürchtet. Diese wissenschaftliche Unsicherheit stellt jedoch keine Rechtfertigung für das Unterlassen von Schutzmaßnahmen zugunsten der Umwelt dar. Beide Prinzipien sind eng miteinander verzahnt. Als Trennlinie kann nach de Sadeeler gelten: „*Prävention ist die Auseinandersetzung mit konkreten Risiken, während die Vorsorge sich mit wissenschaftlicher Ungewissheit befasst*“.<sup>30</sup>

Das Gericht allerdings entscheidet im Sinne der freien Beweiswürdigung nach seiner freien, aus dem Gesamtergebnis des Verfahrens gewonnenen Überzeugung. Hier lässt das Recht ein weites Terrain für offene Sachverhalte, deren Würdigung neuer generalisierbarer materieller und prozeduraler Kriterien bedarf.

Relevant für die Entwicklung von Bewertungskriterien sind technischer, politischer und juristischer Sachverstand. So ist es Aufgabe des Gesetzgebers, das Vorsorgeniveau zu bestimmen, das heißt welches Risiko rechtlich zu unterbinden ist. Dabei betrifft die Prävention gegenüber Risiken, die Risikovorsorge, in Abgrenzung zum allgemeinen Recht der Gefahrenabwehr, die bloße Schadensmöglichkeit. Begrifflich<sup>31</sup> unterschieden werden kann im deutschen Umweltrecht zwischen

*„Gefahren vor denen geschützt werden muss, Risiken, die nach Möglichkeit zu vermeiden sind, und Restrisiken, die sich nicht sinnvoll vermeiden lassen“*.<sup>32</sup>

*„Eine exakte Abgrenzung zwischen Risiken, Ungewissheiten und Restrisiken ist dabei kaum möglich; vielmehr sind theoretische Kenntnisse, praktische Erfahrungen, Prognosen, Modellbildungen und Simulationen, schließlich subjektive Einschätzungen ineinander verschränkt. Die Wertungen des*

---

29 Appel, in: Koch/Hofmann/Reese, Handbuch Umweltrecht, S. 43 (Rn. 32).

30 Sadeeler, in: Fitzmaurice/Brus/Merkouris/Rydberg, Research Handbook on International Environmental Law, S. 152.

31 Näher wird in Kapitel 4 § 5 I. auf die Begriffe eingegangen.

32 Ramsauer, in: Koch, Umweltrecht, S. 114 (S. 130).

*Gesetzgebers sind dabei in besonderer Weise auf technik- und naturwissenschaftlichen Sachverstand angewiesen.*<sup>33</sup>

Dieser technik- und naturwissenschaftliche Sachverstand muss aber an politische und rechtliche Normbildung rückgebunden werden. Denn aus wissenschaftlicher Expertise folgt nicht zwingend die richtige Entscheidung. *„Zur Bildung konkreter Bewertungsmaßstäbe gehört immer zugleich technischer Sachverstand als auch normativer Gestaltungswille.“*<sup>34</sup>

Mit dieser Dissertation wird versucht, die beschriebene Lücke zu verkleinern mit dem Ziel, die außerjuristischen Einflüsse in Form der Prognoseergebnisse von computergestützten Modellierungen auf die behördliche und gerichtliche Entscheidung sichtbar und kontrollierbar zu machen. Als Untersuchungsbeispiel dienen dabei die verwaltungs- und verwaltungsgerichtlichen Verfahren zu den Flussausbauten der Elbe und der Weser. In dieser Arbeit werden prozedurale und materielle Kriterien entwickelt, um Umweltprognosen juristisch zu bewerten, welche auf angewandten computergestützten Modellierungen basieren.

---

33 *Schulze-Fielitz*, in: Schulte/Schröder, Handbuch des Technikrechts, S. 455 (476).

34 *Dilling/Markus*, in: Dilling/Markus, Ex Rerum Natura Ius? - Sachzwang und Problemwahrnehmung im Umweltrecht, S. 23 (26).



## Erstes Kapitel: Ziel, Methodik und Struktur der Arbeit

Inwieweit sind die Ergebnisse von mathematischen Modellierungen in rechtlichen Zusammenhängen verwertbar? Welche rechtlichen Kriterien können als Importregeln für angewandte computergestützte Modellierungen für Umweltprognosen, etwa bei der Planung von Infrastrukturvorhaben, herangezogen werden?

Ziel ist es, Maßstäbe mittlerer Abstraktheit zu erarbeiten, welche im Zwischenraum von rechtlich begründetem und wissenschaftlichem Standard angesiedelt sind. Diese sollen durch das Hin- und Herwandern des Blickes<sup>35</sup> von der Wissenschaft zum Recht und vom Recht zur Wissenschaft entwickelt werden. Die Maßstäbe sollen möglichst kongruent sein, unter Berücksichtigung der Tatsache, dass Rechtsanwendung immer ein Entscheidungsverfahren ist und anderen Prinzipien folgt als der Erkenntnisgewinn in den Wissenschaften.

Konkret bedeutet dies, dass diese Arbeit einen interdisziplinären Ansatz<sup>36</sup> in dem Sinn verfolgt, dass versucht wird, die Herangehensweise einer anderen Fachrichtung miteinzubinden und zu nutzen. Das heißt, dass sich der Frage der juristischen Verwertung von Modellen von verschiedenen Perspektiven genähert wird.<sup>37</sup>

In Kapitel 2 werden zunächst die verschiedenen Erkenntnismethoden in Naturwissenschaften und Recht gegenübergestellt. Besondere Berücksichtigung erfahren dabei computergestützte Modellierungen und wie diese wissenschaftstheoretisch eingeordnet werden können.

Kapitel 3 widmet sich insbesondere dem Modellierungsprozess von angewandten computergestützten Modellierungen zur Prognose von Umweltauswirkungen. Dabei sollen Kriterien und Leitlinien herausgearbeitet werden, welche sich aus den Modellierungswissenschaften selbst ergeben.

---

35 Diese Formel, bezogen auf Norm und Lebenssachverhalt stammt von *Engisch*, Logische Studien zur Gesetzesanwendung, S. 15; auch *Kriele*, Theorie der Rechtsgewinnung, S. 197; *Gassner/Winkelbrandt/Bernotat*, UVP und strategische Umweltprüfung, S. 30.

36 Zu vielfältigen Definitionspraxen von Interdisziplinarität siehe *Hamann*, Interdisziplinarität ist eigentlich verständlich und unmöglich, S. 44.

37 Eine ähnliche Vorgehensweise wählen *Winter/Struß*, in: Breckling/Schmidt/Schröder, GeneRisk, S. 151 (152 ff.).