



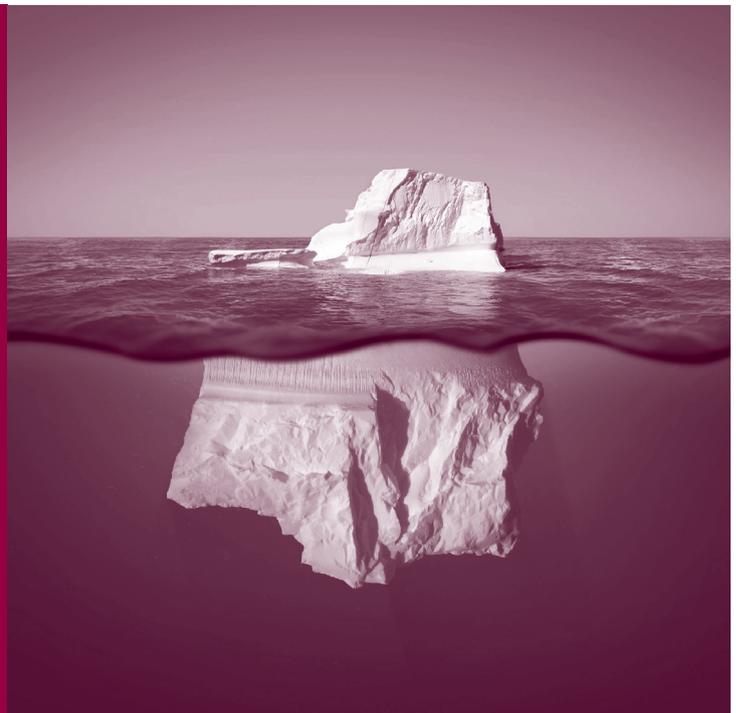
BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG  
BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG

Johannes Schiller  
Arnold Sauter

unter Mitarbeit von  
Silke Beck  
Bjørn-Oliver Magsig

# Der gesellschaftliche Umgang mit Nichtwissen bei wissenschaftlichen explorativen Experimenten

April 2022  
Hintergrundpapier Nr. 23







Johannes Schiller  
Arnold Sauter

unter Mitarbeit von  
Silke Beck  
Bjørn-Oliver Magsig

**Der gesellschaftliche  
Umgang mit Nichtwissen  
bei wissenschaftlichen  
explorativen Experimenten**



Büro für Technikfolgen-Abschätzung  
beim Deutschen Bundestag  
Neue Schönhauser Straße 10  
10178 Berlin

Telefon: +49 30 28491-0  
E-Mail: [buero@tab-beim-bundestag.de](mailto:buero@tab-beim-bundestag.de)  
Web: [www.tab-beim-bundestag.de](http://www.tab-beim-bundestag.de)

2022

Umschlagbild: [alonesdj@123rf.com](mailto:alonesdj@123rf.com)

ISSN-Internet: 2199-7136

Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) berät das Parlament und seine Ausschüsse in Fragen des wissenschaftlich-technischen Wandels. Das TAB wird seit 1990 vom Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) betrieben. Zur Erfüllung seiner Aufgaben kooperierte es von September 2013 bis August 2018 mit dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, dem IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH sowie der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH.



---

## Inhalt

---

Zusammenfassung	7
1 Einleitung	25
2 Zentrale Begriffe und Grundlagen: Experiment, Überraschung und Nichtwissen	31
2.1 Wissenschaft und gesellschaftliche Zweckorientierung	31
2.2 Das Experiment	32
2.2.1 Laborexperimente	33
2.2.2 Explorative Experimente – das »Labor in der Welt« bzw. »die Welt als Labor«	34
2.2.3 Realexperimente	36
2.3 Begriffe des Nichtwissens	37
2.3.1 Überraschung	38
2.3.2 Risiko und Unsicherheit	38
2.3.3 Formen des Nichtwissens und die Koproduktion von Wissen und Nichtwissen	41
2.4 Bewertung von Nichtwissen	45
2.4.1 Divergierende gesellschaftliche Bewertungen von Nichtwissen	45
2.4.2 Wissens- und Nichtwissenskulturen in den Wissenschaften	48
2.4.3 Nichtwissen in gesellschaftspolitischen Arenen	50
3 Grundsätzliche Reaktionsformen auf wissenschaftliches Nichtwissen	55
3.1 Verbote	56
3.2 Moratorien	57
3.3 Antizipation von Wirkungen über klassische (Risiko-)Forschung	57
3.4 Antizipation über Bildung von Gefährdungsindikatoren: Beispiel Chemikalien	59
3.5 Die Idee des rekursiven Lernens anhand von Realexperimenten	61



3.6	Haftungsrechtliche Anreize zur präventiven Reduktion von Gefährdungen aus Nichtwissen	63
3.7	Selbststeuerung der Wissenschaft: Codes of Conduct	63
<hr/>		
4	Vertiefung: Technikcharakterisierung und rekursives Lernen in Realexperimenten	65
4.1	Die Methode der Technikcharakterisierung	66
4.1.1	Interventions- und Wirkungsmodell	68
4.1.2	Analyse des Eingriffs: Technikcharakterisierung im engeren Sinn	71
4.1.3	Die Vulnerabilitätsanalyse	74
4.2	Das Konzept des rekursiven Lernens in Realexperimenten	77
4.2.1	Grundlegende Aspekte	78
4.2.2	Der Lernprozess bei Realexperimenten – aus Überraschungen lernen	79
4.2.3	Beobachtbarkeit und Überraschung	82
4.2.4	Institutionalisierung des rekursiven Lernens und Partizipation	83
4.2.5	Rekursives Lernen bei wissenschaftlichen explorativen Experimenten	85
4.2.6	Kritische Bewertung des Konzeptes des rekursiven Lernens in Realexperimenten	88
4.3	Fazit: zwei Ansätze zum Umgang mit Nichtwissen bei explorativen Experimenten	89
<hr/>		
5	Gesellschaftliche Partizipation	93
5.1	Partizipation an Wissenschaft und Technikentwicklung	93
5.2	Eingeladene Partizipation	95
5.3	Uneingeladene Partizipation	96
<hr/>		
6	Explorative Experimente im Bereich der Grünen Gentechnik	99
6.1	Einführung	99
6.2	Aspekte des Nichtwissens bei GVP: Ursachen und Dimensionen	102

6.3	Umgang mit Nichtwissen bei der Zulassung von Freisetzung und Inverkehrbringen von GVP: Risikoabschätzung, -bewertung und -management	109
6.3.1	Etablierung und Grundausrichtung der Risikoregulierung von GVP	109
6.3.2	Grundprinzipien der Risikoabschätzung und-bewertung	110
6.3.3	Maßnahmen des Risikomanagements	112
6.3.4	Der Rechtsrahmen für Freisetzung und Inverkehrbringen auf EU-Ebene	113
6.3.5	Zwischenfazit: offene Fragen und Kontroversen zur (Nicht-)Wissens- und Risikolage bei GVP	118
6.4	Zur Rolle der Technikcharakterisierung und des rekursiven Lernens bei Freisetzung und Inverkehrbringen von GVP	121
6.4.1	Technikcharakterisierung	121
6.4.2	Rekursives Lernen in Realexperimenten	127
6.5	Fazit: zum Umgang mit Nichtwissen bei Freisetzung und Inverkehrbringen von GVP	133
<hr/>		
7	Explorative Experimente im Bereich Fracking	137
7.1	Einführung	137
7.1.1	Wie funktioniert Fracking?	139
7.1.2	Frackingfluide	139
7.1.3	Diskussion um Fracking und Nichtwissen	141
7.2	Rechtliche Rahmenbedingungen	142
7.2.1	Rechtliche Regulierungen auf EU-Ebene	142
7.2.2	Nationales Recht	143
7.3	Nichtwissen bei explorativen Experimenten zum Fracking	149
7.3.1	Nichtwissen über den tieferen Untergrund - »vor der Hacke ist es schwarz«	149
7.3.2	Technikcharakterisierung im engeren Sinne	150
7.3.3	Vulnerabilitätsanalyse der betroffenen Systeme	153
7.3.4	Zwischenfazit	158
7.4	Partizipation beim Fracking	159
7.4.1	Uneingeladene Partizipation	160
7.4.2	Eingeladene Partizipation	162
7.4.3	Beispiel InfoDialog Fracking	163
7.5	Fazit: Fracking als Realexperiment	164



---

<b>8</b>	<b>Explorative Experimente im Bereich Meeresdüngung mit Eisen</b>	<b>169</b>
8.1	Einführung: die Hoffnung auf eine Lösung des Klimaproblems	169
8.2	Meeresdüngung als Climate-Engineering-Technologie	170
8.3	Meeresdüngung als exploratives Experiment	175
8.3.1	Die Praxis explorativer Meeresdüngungsexperimente	175
8.3.2	Aspekte des Nichtwissens bei Meeresdüngungsexperimenten	179
8.4	Rechtliche Rahmenbedingungen der Eisendüngungsexperimente	187
8.5	Exkurs: das deutsch-indische LOHAFEX-Experiment in der politischen Arena	193
8.6	Partizipation	196
8.6.1	Uneingeladene gesellschaftliche Partizipation bei Experimenten der Meeresdüngung	197
8.6.2	Oxford Principles und Internationale Konvention zur Bewertung neuer Technologien (ICENT)	200
8.7	Fazit: Regulierung und Nichtwissen bei explorativen Experimenten der Meeresdüngung mit Eisen	205
8.7.1	Regulierung im Rahmen des Londoner Protokolls	205
8.7.2	Technikcharakterisierung	207
8.7.3	Rekursives Lernen in Realexperimenten	209
<b>9</b>	<b>Resümee und Ausblick</b>	<b>213</b>
<b>10</b>	<b>Literatur</b>	<b>223</b>
10.1	In Auftrag gegebene Gutachten	223
10.2	Weitere Literatur	223
<b>11</b>	<b>Anhang</b>	<b>243</b>
11.1	Abbildungen	243
11.2	Tabellen	243
11.3	Abkürzungen	243

---



---

## Zusammenfassung

Wissen hat eine herausragende Bedeutung für moderne Gesellschaften – vor allem wissenschaftliches Wissen wird als unabdingbar angesehen, um den großen Herausforderungen unserer Zeit begegnen zu können. Gleichzeitig bilden die Grenzen des Wissens bzw. das Nichtwissen und der angemessene Umgang damit einen wichtigen Anstoß wissenschaftlichen Denkens und Handelns.

Laborexperimente sind ein zentrales Instrument der Wissenschaft, um Hypothesen zu überprüfen und Wissen zu produzieren. Insbesondere mit Blick auf die Erforschung der Wechselwirkungen von Innovationen mit Umwelt und Gesellschaft stoßen Laborexperimente an Grenzen, und der Schritt aus dem Labor hin zu explorativen Experimenten wird notwendig. Explorative Experimente werden insbesondere durchgeführt, um neue Technologien in einer natürlichen Umgebung bzw. an ihren zukünftigen Einsatzorten zu erproben und weiterzuentwickeln. Unsicheres Wissen bzw. Nichtwissen, das Ursache, Antrieb und inhärenter Teil aller wissenschaftlichen Forschung ist, erhält beim Übergang hinaus in die Welt (der explorativen Experimente) eine deutlich größere Tragweite, da negative Effekte viel schwieriger beherrschbar sind als im Labor. Das wirft die Frage eines guten gesellschaftlichen Umgangs mit dem Nichtwissen und den damit verbundenen Unsicherheiten über die möglichen Folgen der Experimente auf, die in diesem Hintergrundpapier behandelt wird.

Einerseits ist bestehendes Nichtwissen der Ausgangspunkt für explorative Experimente, andererseits wird durch den Vorgang des Experimentierens neues Nichtwissen über die Folgen des Experiments erzeugt. Für den Umgang mit diesem Spannungsfeld werden im vorliegenden Hintergrundpapier zwei Heuristiken – die Methode der Technikcharakterisierung und die Perspektive des rekursiven Lernens in Realexperimenten – vorgestellt und am Beispiel von drei Forschungsfeldern, der Grünen Gentechnik, des Frackings und der Meeresdüngung mit Eisen, illustriert. Die Beispiele zeigen, wie Nichtwissen analysiert und eingeschätzt werden kann und wie in einer demokratischen Gesellschaft verantwortlich mit den Herausforderungen durch auftretendes Nichtwissen umgegangen werden kann.

### Vom Labor- zum Realexperiment

Durch die wissenschaftliche Revolution im 17. Jahrhundert stieg das Experiment zum Königsweg der Erkenntnis auf. Experimente stellen ein Bindeglied zwischen Theorie und Praxis dar. Dabei kommt selbst in der hypothesengeleiteten experimentellen Forschung dem »trial and error« ein wichtiger Stellenwert zu: Überraschungen, d.h. unerwartete Ereignisse im Rahmen eines Experi-



ments, bilden einen wichtigen Ausgangspunkt für die Weiterentwicklung des wissenschaftlichen Wissens.

*Laborexperimente* gelten als das adäquate Mittel, um gesichertes wissenschaftliches Wissen hervorzubringen. Dabei ist entscheidend, dass der zu untersuchende Wirkungszusammenhang unter kontrollierten Bedingungen und möglichst störungsfrei beobachtet werden kann. Isolation, Intervention und Kontrolle sind Merkmale des Laborexperiments und sollen sicherstellen, dass Erkenntnisse überprüfbar und wiederholbar sind.

*Explorative Experimente* zielen darauf ab, durch wissenschaftliche Tätigkeit Hypothesen weiterzuentwickeln und praktische Erfahrungen zu gewinnen. Sie spielen in der Wissenschaft zunehmend eine wichtige Rolle auf dem Weg von der theoretischen Erkenntnis zur praktischen Anwendung. Mit dem Verlassen des Labors ist auch der Verlust der labortypischen, nahezu vollständigen Kontrolle der Randbedingungen des Experiments verbunden.

Häufig, so im vorliegenden Hintergrundpapier, werden auch (frühe) Technologieanwendungen im Bereich der Wirtschaft oder Gesellschaft als Experimente verstanden und als *Realexperimente* bezeichnet. In den dementsprechend räumlich und zeitlich nicht eingrenzenden Wirkungshorizonten sind die Kontrolle der Randbedingungen sowie die Erkennbarkeit und Beobachtbarkeit der wesentlichen Wirkungszusammenhänge nicht mehr notwendigerweise gegeben. Oft stellen sich unerwünschte Neben- und Folgewirkungen erst lange nach der Praxiseinführung ein. Die negativen Folgen sind eine spezifische Konsequenz des Nichtwissens, nicht intendiert und oft erst im Rückblick zu erkennen. Eine solche Situation erfordert besondere Formen der gesellschaftlichen und politischen Steuerung.

### **Risiko, Unsicherheit, Nichtwissen und Nichtwissenskulturen**

Der Begriff des *Risikos* ist vielschichtig und wird oftmals im Zusammenhang mit Gefährdungen verwendet. Im Bereich der Wirtschaftswissenschaften wird in einer klassischen Konzeption Risiko von *Unsicherheit* unterschieden, wobei Risiko eine Situation beschreibt, in der die möglicherweise eintretenden Ereignisse wie auch ihre Eintrittswahrscheinlichkeiten bekannt sind. Dadurch können Gefahrenmomente über Wahrscheinlichkeitsberechnungen eingegrenzt, taxiert und so in gewisser Weise kontrollierbar gemacht werden. Bei (vollständiger) Unsicherheit hingegen sind nur die möglichen Ereignisse bekannt, ohne deren Eintrittswahrscheinlichkeiten zu kennen. Demnach verweist Risiko auf Ereignisse, gegen die eine Versicherung abgeschlossen werden kann, was bei Unsicherheit nicht der Fall ist.

*Nichtwissen* ist ein allgemeinerer, nicht notwendigerweise mit der Thematisierung von Gefahren verknüpfter Begriff zur Beschreibung einer Erkenntnissituation mit begrenzter Voraussicht. Es tritt in unterschiedlichen Formen auf,



z. B. als identifizierte Wissenslücken, die Anlass zu weiterer Forschung geben (»known unknowns«), aber auch in komplexeren, spekulativeren Formen von unbekanntem Nichtwissen (»unknown unknowns«) sowie als das Nichtwissbare (»unknowables«). Bei wissenschaftlicher Forschung und ihrer technologischen Umsetzung wird mit Wissen zugleich auch (neues) Nichtwissen produziert. Dies geschieht häufig, ohne dass es explizit beabsichtigt oder den Beteiligten auch nur bewusst ist.

Nichtwissen ist kein leicht fassbares Objekt, das gestützt auf Fakten eindeutig und objektiv zu beschreiben ist. Es ist vielmehr ein Konstrukt, in das begründete Vermutungen über das Unbekannte, Befürchtungen, Hoffnungen oder auch Analogieschlüsse einfließen können. Das macht Nichtwissen interpretier- und angreifbar. Häufig bestehen konfligierende gesellschaftliche Wahrnehmungen und Bewertungen von (wissenschaftlichem) Nichtwissen. Dabei sind Ausmaß, Gründe, Relevanz und mögliche Konsequenzen von Nichtwissen häufig stärker umstritten, als dies bei Wissen der Fall ist. Zur genaueren Beschreibung der Wahrnehmungen von Nichtwissen ist es hilfreich, das Wissen um das Nichtwissen (Wie ahnungslos sind wir?), die Intentionalität des Nichtwissens (War etwas vorhersehbar und damit ggf. vermeidbar?) sowie die Zeitlichkeit des Nichtwissens (Wann kann man damit rechnen, etwas zu wissen?) zu differenzieren.

Es existieren unterschiedliche *Wissens-* bzw. *Nichtwissenskulturen* in Wissenschaft und Gesellschaft. Eine *kontrollorientierte* (Nicht-)Wissenskultur tendiert dazu, hinter unerwarteten Ergebnissen eine unzureichende Beherrschung des experimentellen Ablaufs zu sehen und die Rahmenbedingungen so lange zu verändern, bis sich die Ergebnisse auf der Basis etablierter Ansichten interpretieren lassen. Dabei bilden die Gründe für die Abweichungen keinen expliziten Fokus der Experimente, sodass sich die Frage stellt, ob Überraschungen innerhalb einer solchen Kultur überhaupt angemessen untersucht werden können. Eine *komplexitätsorientierte* (Nicht-)Wissenskultur hingegen begreift unerwartete Beobachtungen in der Regel als Ausdruck des eigenen begrenzten theoretischen Verständnisses des Forschungsgegenstands und rechnet daher stets mit Effekten jenseits des eigenen Wahrnehmungshorizonts. Eine *einzelfallorientierte* (Nicht-)Wissenskultur wiederum hat es definitionsgemäß mit singulären Fällen zu tun und rechnet Überraschungen primär den unvorhersehbaren und durch spezifische Methoden zu erschließenden Besonderheiten des jeweiligen Falls zu.

Die verschiedenen Nichtwissenskulturen lassen sich nicht generell als richtig oder falsch bzw. besser oder schlechter im Umgang mit dem Nichtgewussten klassifizieren. Dennoch treten in westlich-modernen Gesellschaften manchmal Hegemonieansprüche von kontrollorientierten (Nicht-)Wissenskulturen zu Tage, die ihren Umgang mit Nichtwissen als rational auszuzeichnen versuchen und Hinweise auf unbekanntes Nichtwissen oder das Nichtwissbare als spekulativ und irrational abwerten. Gesellschaftliche Akteure greifen in Auseinander-



setzungen um explorative Experimente oder technologische Entwicklungen argumentativ häufig auf Elemente unterschiedlicher wissenschaftlicher (Nicht-)Wissenskulturen zurück, wobei technologiekritische Gruppierungen eher die Sichtweisen komplexitäts- oder einzelfallorientierter Nichtwissenskulturen aufgreifen, während wirtschaftliche Akteure, aber auch politische und wissenschaftliche Institutionen dazu neigen, sich die Prämissen und Perspektiven kontrollorientierter epistemischer Kulturen zu eigen zu machen.

Nichtwissen ist bei kontroversen Themen, insbesondere bei großtechnologischen explorativen Experimenten, immer Gegenstand politischer Auseinandersetzungen; es wird besonders dann ins Feld geführt, wenn über die Zulassung und die Ausgestaltung von neuen Technologien gestritten wird. Es ist daher nicht verwunderlich, dass Nichtwissen in politischen Auseinandersetzungen oft instrumentalisiert wird. Umgekehrt ist der gesellschaftliche Umgang mit Nichtwissen selbst notwendigerweise ein politischer Prozess, der Fragen der Betroffenheit, Teilhabe, Partizipation, Mitentscheidung etc. aufwirft.

Jeder Versuch der Regulierung bzw. gute Governance von explorativen Experimenten unter Bedingungen des Nichtwissens steht vor der Aufgabe, forschungspolitische Entscheidungen auch dann sachlich zu begründen, wenn ihre Konsequenzen weitgehend unvorhersehbar sind und gleichzeitig unerwünschte Folgen vermieden werden sollen, die man nicht kennt.

---

## **Reaktionsformen auf wissenschaftliches Nichtwissen**

In der Vergangenheit ist eine Reihe von Strategien entwickelt und erprobt worden, um mit der Problematik wissenschaftlichen Nichtwissens bei explorativen Experimenten umzugehen. Neben dem fundamentalen Verzicht auf eine bestimmte Technologie gibt es mehrere Vorgehensweisen, um das auftretende Nichtwissen im Vorfeld einer Entscheidung entweder zu verringern oder zu charakterisieren und einzuschätzen. Daneben existieren Ansätze, die auf eine effektive Governance setzen, um so zu einem gesellschaftlich guten Umgang mit wissenschaftlichem Nichtwissen bei explorativen Experimenten beizutragen. Die angemessene Auswahl, Kombination und Ausgestaltung der Ansätze in Bezug auf ein konkretes Entscheidungsproblem sind von den Umständen des Einzelfalles abhängig.

### **Verbote und Moratorien**

Unter Veweis auf bestimmte möglicherweise auftretende, aber wenig antizipierbare und zugleich unter Umständen folgenschwere Effekte von Forschungen, Experimenten und Technikentwicklungen werden immer wieder dauerhafte Verbote gefordert, sie wurden aber bisher bis auf wenige Ausnahmen nicht umgesetzt. Moratorien als zeitlich befristete Verbote stellen demgegenüber eine



schwächere Reaktion auf die Problematik wissenschaftlichen Nichtwissens dar. Moratorien werden gelegentlich von den Wissenschaftlerinnen selbst ins Spiel gebracht, oder sie werden von politischen Instanzen, Regulierungsinstitutionen und zivilgesellschaftlichen Organisationen verlangt. Sie werden zumeist damit begründet, dass es vor der Durchführung explorativer Experimente notwendig sei, sich ein genaueres Bild von ihren möglichen gesellschaftlichen und ökologischen Konsequenzen zu machen. Häufig wird auch argumentiert, vor weiterer Forschung und Erprobung müsse erst ein geeigneter Regulierungsrahmen entwickelt und installiert werden.

### **Antizipation von Wirkungen durch klassische (Risiko-)Forschung**

Forschung, die auf die Antizipation von Wirkungen und Nebenfolgen vor der Anwendung, Erprobung oder Freisetzung wissenschaftsbasierter Technologien ausgerichtet ist, stellt ein zentrales Element im verantwortlichen Umgang mit wissenschaftlichem Nichtwissen dar. Nur wenn die Unbedenklichkeit von Folgen und Nebenfolgen eines explorativen Experiments zuvor so weit wie möglich überprüft worden ist, scheint die unter Umständen nicht mehr (vollständig) reversible Erprobung von Technologien unter Realbedingungen verantwortbar zu sein. Wichtige Beiträge zu einer derartigen Risikoanalyse und -abschätzung können theoretische Grundlagenforschung, Laborforschung, Modellierungen, Simulationen oder kontrollierte, räumlich und zeitlich kleinskalige Tests und Feldversuche leisten. Allerdings sind solche Verfahren und Methoden grundsätzlich nur begrenzt in der Lage, Effekte von Technologien außerhalb des Labors zu erfassen und vorherzusehen, weil sie aus systematischen Gründen gar nicht alle denkbaren Kontextfaktoren berücksichtigen können. Modellierungen, kontrollierte Tests oder Feldversuche können unter Umständen sogar ein Gefühl trügerischer Sicherheit erzeugen, wenn sie keine negativen Effekte der fraglichen Technologien erkennen lassen. Grundsätzlich gilt, dass die Antizipation von Wirkungen und Nebenwirkungen großmaßstäblicher explorativer Experimente (wie auch der Anwendung von wissenschaftsbasierten Technologien allgemein) mittels mehr konventioneller Forschung vor deren Durchführung begrenzt ist. Man wird in der Regel im Vorfeld des Experiments keine weitgehende Sicherheit über alle Folgen erlangen können, was im Übrigen ja auch den Sinn eines Experiments als solchem ad absurdum führen würde.

### **Antizipation durch Gefährdungsindikatoren: der Ansatz der Technikcharakterisierung**

Eine weitere wichtige Strategie des Umgangs mit wissenschaftlichem Nichtwissen stellt die Suche nach allgemeineren, übergeordneten Gefährdungsindikatoren dar. Diese Vorgehensweise wurde ursprünglich im Hinblick auf die Freisetzung von chemischen Substanzen in die Umwelt entwickelt. Als Entscheidungs-



grundlage soll dabei nicht länger das (im Allgemeinen sehr unvollständige) Wissen um konkrete, mehr oder weniger präzise spezifizierbare Risiken dienen, sondern das mutmaßliche Gefährdungspotenzial, das sich aus dem Charakter der Technologie und dem aufnehmenden Zielsystem ergibt. Statt davon auszugehen, es sei möglich, für jede einzelne Substanz umfassendes, wirkungsbezogenes Risikowissen zu gewinnen, fokussiert die Gefährdungsabschätzung bei diesem Ansatz vor allem auf die Bewertung von Art und Ausmaß der Exposition zur Einschätzung des damit verbundenen Nichtwissens.

Die Methode der *Technikcharakterisierung* ist ein komplexes Verfahren, das entwickelt wurde, um Nichtwissen unter anderem bei explorativen Experimenten zu analysieren und nachvollziehbare Hinweise zu identifizieren mit Blick auf mit dem Eingriff verbundene erwartbare problematische Expositionen und Wirkungen. Insbesondere geht es darum, auf der Basis des Vorsorgeprinzips solche Interventionen herauszufiltern, bei denen mit gravierenden *Gründen zur Besorgnis* zu rechnen ist, und darüber hinaus auf mögliche risikoärmere Alternativen hinzuweisen. Die Technikcharakterisierung sieht bereits den Fall, dass ein zur Disposition stehendes exploratives Experiment weitreichende Wirkungsketten in Raum und Zeit auszulösen vermag, als solch ein Indiz bzw. einen solchen Anlass zur Besorgnis an, insbesondere dann, wenn damit zu rechnen ist, dass beim tatsächlichen Eintreten adverser Effekte nicht mehr korrigierend eingegriffen werden kann. Entscheidend für den Zugang der Technikcharakterisierung zum Nichtwissensproblem ist die Anerkennung, dass Nichtwissen nicht einfach da ist, sondern dass durch den Einsatz der Technik bzw. die Durchführung des eingriffstiefen Experiments zusätzliches Nichtwissen erzeugt wird. Der Charakter des Experiments und damit auch seine Gestaltung entscheiden damit maßgeblich über das Ausmaß des mit der Durchführung verbundenen Nichtwissens über die möglichen Folgen.

In einem ersten Schritt wird der Eingriff selbst mithilfe von zwei Indikatoren – *Eingriffsintensität* und *Eingriffstiefe* – und, darauf aufbauend, mit der dadurch ausgelösten Wirkmächtigkeit analysiert. Dies wird Technikcharakterisierung im engeren Sinne genannt. Mittels der beiden Indikatoren wird das Potenzial von besonders weitreichenden Wirkungen – im Sinn von räumlich (bis in globale Dimensionen) und zeitlich (bis hin zur Irreversibilität) – identifiziert. Gründe zur Besorgnis treten insbesondere dann auf, wenn bei explorativen Experimenten Strukturen betroffen sind, die relevante physikalische, chemische und biologische Phänomene steuern oder hervorbringen, wie z. B. Eingriffe in Atom-, Molekül- oder Genstrukturen, oder wenn besonders weitreichende oder langandauernde Wirkungen zu erwarten sind, beispielsweise durch auftretende Kettenreaktionen, Selbstvermehrung oder persistente Substanzen.

Im zweiten Schritt wird die *Vulnerabilität* des betroffenen Zielsystems betrachtet, wobei zunächst das Zielsystem selbst (strukturelle Vulnerabilitätsanalyse) und danach auch die Reaktion des Zielsystems auf den potenziellen Ein-



griff (ereignisbezogene Vulnerabilitätsanalyse) analysiert wird. Die strukturelle Vulnerabilitätsanalyse beleuchtet dabei die grundsätzliche Verletzlichkeit der betroffenen Systeme unabhängig von konkreten externen Störimpulsen. Hierbei werden Schwachstellen identifiziert, an denen das System potenziell nachgeben wird, wenn es – egal aus welchem Grund – unter Stress geraten sollte. Die strukturelle Vulnerabilitätsanalyse lehnt sich an etablierte Methoden an, die im Maschinen- und Anlagenbau zur Ermittlung von Versagensmöglichkeiten und -folgen entwickelt wurden. Dieser Ansatz ist besonders wichtig, denn dadurch kann auch thematisiert werden, welches Zielsystem ausgewählt werden sollte – am besten ein möglichst resilientes – bzw. wie ein Zielsystem gestaltet werden kann. Ergänzt wird die strukturelle Vulnerabilitätsanalyse durch die Analyse der ereignisbezogenen Vulnerabilität. Hierbei muss eine Vorstellung davon bestehen, wie das Experiment auf das Zielsystem einwirkt, d. h., das Wirkungsmodell spielt hier eine wesentliche Rolle. Ein Zielsystem ist dann vulnerabel, wenn es der Intervention gegenüber exponiert und sensitiv ist und zugleich nur über eine unzureichende Anpassungs- bzw. Verarbeitungskapazität verfügt.

Mit dem Ansatz der Technikcharakterisierung können in einem frühen Stadium eines geplanten explorativen Experiments Hinweise gesammelt werden, um Anhaltspunkte zur Besorgnis zu identifizieren. Dabei geht der Ansatz explizit davon aus, dass durch den besonderen Charakter des Eingriffs in das Zielsystem neues Nichtwissen (bis hin zu echten Überraschungen) generiert wird, das nicht einfach im Vorfeld des Experiments wissenschaftlich auflösbar ist. Auf der Basis seines Grundkonzepts kann der Ansatz Hinweise identifizieren, wie ggf. Experiment oder Zielsysteme auszuwählen oder zu gestalten sind, um unangenehme Überraschungen zu begrenzen. Fragen der gesellschaftlichen Wahrnehmung und Akzeptanz bzw. der Governance und Regulierung stehen dagegen als solche nicht im Fokus.

### **Die Idee des rekursiven Lernens anhand von Realexperimenten**

Die Idee und Praxis explorativer Experimente geht von der Einsicht aus, dass antizipierende Labor- und Risikoforschung sowie räumlich und zeitlich begrenzte Feldversuche nicht in der Lage sind, alle möglichen und relevanten Effekte einer Technologieanwendung unter realen Bedingungen zu entdecken und vorherzusehen. Deshalb wird auf die experimentelle Exploration sowohl der Wirksamkeit einer Technologie als auch ihrer nichtintendierten Nebeneffekte in der tatsächlichen Anwendung unter realweltlichen Bedingungen gesetzt.

Das Konzept des rekursiven Lernens in Realexperimenten geht ausdrücklich davon aus, dass nicht nur das Wissen über mögliche Risiken zu Beginn eines explorativen Experiments oder einer Technikentwicklung unzureichend und unvollständig ist, sondern auch das relevante Nichtwissen nicht beschrieben werden kann. Überraschungen, also unerwartet eintretende Ereignisse, lassen



erst im Nachhinein erkennen, was man anfangs nicht gewusst und noch nicht einmal geahnt hatte.

Ausgehend vom erwartbaren Auftreten von Nichtwissen und Überraschungen im Verlauf des Experimentierprozesses fragt das Konzept des rekursiven, realexperimentellen Lernens danach, wie mit dieser Tatsache prozedural umgegangen werden kann, sodass einerseits gravierende negative Folgewirkungen möglichst frühzeitig identifiziert und minimiert werden können, andererseits aber aus den Folgewirkungen des Experiments ein gesellschaftlicher Lernprozess angestoßen werden kann. Aus der grundsätzlichen Unmöglichkeit, im Vorfeld eines Experiments sicheres Wissen über alle Folgen zu erlangen, wird die Schlussfolgerung gezogen, dass das wissenschaftliche Experiment mit einem demokratisch legitimierten, verantwortlichen und produktiven Lern- und Entscheidungsprozess kombiniert werden sollte. Weil die wissenschaftlichen Experimente außerhalb von Laboratorien in politische, soziale, ökologische und ökonomische Strukturen eingebettet sind, ist es wichtig, eine Vielzahl von Akteuren in den Gestaltungsprozess zu integrieren.

In lernbereiten, überraschungssensiblen Handlungskontexten können unerwartete Ereignisse für kontinuierliche Lernprozesse und die beständige Überprüfung, Revision und Erweiterung der bisherigen Wissensbasis genutzt werden, sofern die Überraschungen die Gesellschaften nicht vor zu große Probleme stellen. Ein angemessener Umgang mit Nichtwissen bei explorativen Experimenten erfordert laut dem Konzept des rekursiven Lernens also grundsätzlich, derartige lernbereite, überraschungssensible Handlungskontexte herzustellen, etwa durch wiederkehrende Anlässe für die Reevaluierung von Experimenten. Neben vorhandenem Risikowissen aller Art sollten dabei die Ergebnisse einer Technikcharakterisierung eine wichtige Rolle spielen

### **Haftungsrechtliche Anreize sowie Codes of Conduct**

Der Grundgedanke von haftungsrechtlichen Anreizen ist, dass die Entwickler technologischer Innovationen und die Initiatoren von Forschungsprojekten angesichts des damit unweigerlich verbundenen Nichtwissens vorsichtiger agieren, wenn sie für mögliche negative Folgen auch in dem Falle haftbar gemacht werden können, dass die Effekte ohne Verschulden im klassischen Sinn eintreten, also z. B. ohne Wissen über absehbare Folgen. In diesem Zusammenhang ist das Instrument der Gefährdungshaftung von Bedeutung. Es zielt darauf ab, die rechtliche Position von möglichen Geschädigten zu verbessern, Kompensationen einzufordern, und soll dadurch Anreize schaffen, solche Schäden gar nicht erst entstehen zu lassen, etwa durch die Gestaltung des geplanten Eingriffes in einer weniger wirkmächtigen Art.

Eine weitere Möglichkeit zum gesellschaftlichen Umgang mit wissenschaftlichem Nichtwissen bei Bestehen einer relevanten Risikovermutung stel-

len ethische Handlungsorientierungen (Codes of Conduct) dar, die im Rahmen der Wissenschaft selbst erarbeitet werden.

---

## Gesellschaftliche Partizipation

Ein angemessener Umgang mit Nichtwissen bei wissenschaftlichen explorativen Experimenten umfasst auch die Schaffung geeigneter prozessbegleitender Governancestrukturen. Dabei spielt Partizipation verschiedener gesellschaftlicher Gruppen von außerhalb der Wissenschaft eine wichtige Rolle. Erweiterte Formen gesellschaftlicher Partizipation jenseits der Institutionen (nationalstaatlicher) repräsentativer Demokratien können aus zwei Gründen sinnvoll erscheinen:

Zum einen können explorative Experimente – je nach Zuschnitt und Reichweite – dazu führen, dass sich auf lokaler, regionaler, nationaler oder transnationaler Ebene neue Gruppierungen formieren, die potenziell von den möglichen Folgen betroffen sind und daher berechtigterweise Mitspracherechte bei Entscheidungen über den Einstieg in und die Ausgestaltung der jeweiligen Experimente fordern. Zum anderen sollen Bürgerinnen und Bürger sowie zivilgesellschaftliche Gruppierungen nicht nur als potenziell Betroffene an der Gestaltung explorativer Experimente beteiligt sein, sondern gleichzeitig als wissenspolitische Akteure wichtige Beiträge zur Bewertung des vorliegenden Wissens wie auch des inhärenten Nichtwissens leisten.

Darüber hinaus ist es wichtig, bei Partizipation zwischen eingeladenener und uneingeladener Partizipation zu unterscheiden. Lange Zeit wurde gesellschaftliche Partizipation mit der Teilnahme von Bürgerinnen und Bürgern bzw. zivilgesellschaftlichen Gruppen an organisierten Beteiligungsverfahren wie Bürgerkonferenzen, Stakeholderdialogen, Mediationsverfahren etc. gleichgesetzt. Damit konnten Debatten angestoßen und Meinungen von Bürgerinnen und Bürgern in Entscheidungsprozesse eingebracht werden. Diese Formate eingeladenener gesellschaftlicher Partizipation sehen sich jedoch in den letzten Jahren wachsender Kritik ausgesetzt: Sie bleiben allzu häufig einfluss- und folgenlos und richten sich oft an unorganisierte, zuvor kaum mit dem Thema in Berührung gekommene Bürgerinnen und Bürger. Bestehendes politisches Interesse oder berufliche Vertrautheit mit der Thematik können sogar zum Ausschluss an der Teilnahme führen, was für Qualität, Produktivität und Wirksamkeit der Verfahren wenig förderlich ist.

In Fragen der Wissenschafts- und Technikentwicklung spielt mittlerweile die uneingeladene, selbstorganisierte und zielorientierte Einmischung von Bürgern und zivilgesellschaftlicher Gruppen (lokale Initiativen, Selbsthilfe- und Betroffenengruppen, Umwelt- und Verbraucherschutzorganisationen etc.) eine wesentliche Rolle. Die uneingeladene Partizipation umfasst Aktivitäten wie z. B. öffentlichen Protest und politische Interventionen, mit eigenen Mitteln ge-



förderte Forschungen und Technikentwicklungen, die Mobilisierung des lokalen oder Betroffenenwissens sowie eigenständige Expertise als Ergänzung des Expertenwissens. Sollen bei explorativen Experimenten unter Nichtwissensbedingungen sozial belastbare Verfahren der Partizipation und der partizipativen (Mit-)Gestaltung durchgeführt werden, sollten Formen selbstorganisierter, uneingeladener Partizipation nicht behindert, sondern positiv aufgenommen werden.

---

### **Explorative Experimente im Bereich der Grünen Gentechnik**

Die Grüne Gentechnik ist ein besonders markantes Beispiel für die Bedeutung, vor allem aber die Herausforderungen und Schwierigkeiten des gesellschaftlichen Umgangs mit Nichtwissen bei wissenschaftlichen explorativen Experimenten. Ein Charakteristikum der Gentechnik insgesamt ist, dass Forscher und Entwickler selbst – und zwar von Anfang an – das Nichtwissen bzw. ein daraus mögliches resultierendes Risiko thematisiert haben (Stichwort Asilomar). Anders als bei vielen Chemikalien, aber auch z. B. bei der Gentherapie, waren es nicht erst konkrete Folgeschäden, die zu einer vorsorgenden, vorsichtigen Ausgestaltung der explorativen Erforschung und Entwicklung von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP) geführt haben.

Dieser anfängliche Risikoverdacht wurde nach einigen Jahren für die Anwendung der Gentechnik an Pflanzen vonseiten der forschenden Wissenschaft, der Industrie sowie der (nordamerikanischen) Behörden stark zurückgenommen. Entwickler und Befürworter GVP betonen mittlerweile seit Langem den besonders großen Umfang des Wissens (vor allem gegenüber Pflanzensorten, die mit den bisherigen Mutageneseverfahren gezüchtet worden sind). Sie schätzen die Besorgnisgründe daher als vergleichbar zu anderen Züchtungsverfahren ein, fordern ein möglichst schlankes behördliches Zulassungsverfahren und sehen eigentlich keine Notwendigkeit, mit anderen Stakeholdern über verbleibende Unsicherheiten der gentechnisch veränderten Sorten in einen Austausch zu treten.

Vertreterinnen von Umweltverbänden, Anwohnerinitiativen bei Freisetzung, gentechnikkritische Gruppen und Wissenschaftler hingegen schätzen das bekannte und das unbekannte Nichtwissen zu GVP als sehr groß ein, fordern einerseits eine sehr umfangreiche (Technik-)Charakterisierung der Besorgnisgründe als Folge großer Eingriffstiefe sowie der Vulnerabilität und schwer zu kontrollierenden Exposition der aufnehmenden Ziel- bzw. Ökosysteme sowie andererseits eine breite Beteiligung aller Bevölkerungsgruppen an der Entscheidung über die Erprobung und die Nutzung von GVP.

Von den beiden im vorliegenden Hintergrundpapier beispielhaft behandelten Ansätzen zum systematischen Umgang mit Nichtwissen finden sich vor allem Elemente der Technikcharakterisierung in den Zulassungsverfahren für

GVP zumindest in der EU wieder. In den USA hingegen wird mittlerweile auf eine Technikcharakterisierung großenteils verzichtet, so lange nicht bestimmte Kriterien erfüllt sind.

Auch zentrale Elemente des Konzepts des rekursiven Lernens in Realexperimenten sind in Form des Nachzulassungsmonitorings in der EU wiederzufinden – allerdings ohne die entscheidenden, expliziten Diskurs- und Beteiligungskomponenten für alle betroffenen gesellschaftliche Gruppen. Die Beteiligungsveranstaltungen zur Grünen Gentechnik waren meist nicht explizit darauf gerichtet, mit dem Aspekt des Nichtwissens umzugehen. Sie sollten vielmehr dazu dienen, Kontroversen zu befrieden, Blockaden zu überwinden oder ggf. neue Sichtweisen (jenseits verkrusteter, interessenbasierter Positionen), z. B. von Normalbürgern, zu erfassen. Institutionalisierte Beteiligungsverfahren haben bislang wenig Einfluss auf die Gestaltung von explorativen Experimenten mit GVP gehabt.

Dennoch kann die Grüne Gentechnik als prägnantes Beispiel für Partizipation verstanden werden – zwar nicht für eine geordnete eingeladene, aber für eine sehr starke uneingeladene Partizipation in Form massiver Kampagnen von Kritikern bzw. Gegnern und einer dadurch mobilisierten Bevölkerung. Protest und ablehnende Haltung weiter Teile der Öffentlichkeit in Europa haben wesentlich zur Kennzeichnungspflicht und dem vergleichsweise differenzierten Zulassungsverfahren beigetragen. Die Einrichtung gentechnikfreier Regionen kann als eine Form zivilgesellschaftlicher Mitgestaltung verstanden werden.

Insgesamt betrachtet, ist es nicht so sehr das Nichtwissen (über gesundheitliche und ökologische Risiken), es sind vielmehr die mit dem Thema GVP verbundenen, beobachteten oder befürchteten sozioökonomischen Entwicklungen im Agrar- und Lebensmittelsektor (Konzentration, Patentierung, Monopolisierung, Ausbeutung etc.), die den stärksten Anlass zu Kritik und Ablehnung bieten. Dabei geht es weniger um Nichtwissen als vielmehr um Weltbilder, gesellschaftliche Zielstellungen, Gerechtigkeits- und andere Bewertungsfragen. Diese Aspekte sind erklärtermaßen nicht Gegenstand der natur- und ingenieurwissenschaftlich orientierten prospektiven Technikcharakterisierung.

---

### **Explorative Experimente im Bereich Fracking**

Fracking steht umgangssprachlich für »hydraulic fracturing« und bezeichnet die hydraulische Riss erzeugung in tiefen, festen Gesteinsformationen, um die Förderung von Ressourcen wie Erdgas, aber auch von geothermischer Energie zu verbessern bzw. zu ermöglichen.

Zur Erhöhung der Ausbeute von Rohstoffen aus konventionellen Lagerstätten ist die Frackingtechnik weltweit mittlerweile rund drei Millionen Mal angewendet worden. Für die Erkundung und Erschließung unkonventioneller Schiefergaslagerstätten wird Fracking vermehrt erst seit einigen Jahren eingesetzt



und hat in den USA zu einem starken Anstieg der Gasförderung geführt. In Europa ist diese Variante bisher nur selten angewendet worden; es handelt sich somit um einen Bereich des Frackings, für den in Deutschland bisher nur wenig Erfahrung vorliegt bzw. substanzielles Nichtwissen besteht.

Die beim Fracking verwendeten Frackingfluide stellen einen zentralen Aspekt der Technologie dar. Das betrifft nicht nur die technischen Charakteristika, sondern auch die Beurteilung von Umweltfolgen und ggf. Risiken. Umweltbedenken beziehen sich auf die großen Mengen und die Zusammensetzung der Frackingfluide, die eingesetzt werden und teilweise im Untergrund verbleiben bzw. umweltschonend wiederverwendet oder entsorgt werden müssen. Die Menge der jeweils eingesetzten Chemikalien und ihre Zusammensetzung hängen von verschiedenen Faktoren, insbesondere den geologischen Gegebenheiten vor Ort, ab.

Auftretendes Nichtwissen bei Fracking ist u.a. der Komplexität des geologischen Untergrunds mit den dort auftretenden physikalischen und chemischen Besonderheiten sowie einer nur unvollständigen Erkundung insbesondere tieferer Schichten geschuldet. Davon sind unter anderem mögliche unvorhergesehene Migrationen, Transformationen und der Verbleib von eingebrachten und aus dem Gestein gelösten Chemikalien sowie die Wirkungen der Chemikalien betroffen. Es können zudem seismische Phänomene ausgelöst werden.

Die Folgen von Frackingexperimenten haben, etwa im Gegensatz zu Experimenten des Climate Engineering, nur ein begrenztes räumliches Ausbreitungspotenzial und so gesehen vergleichsweise eingeschränkte Wirkungshorizonte. Der Rahmen, in dem solche Experimente in Deutschland durchgeführt werden können, ist engmaschig reguliert; Bergbau- und Wasserrecht spielen die zentrale Rolle. Außerhalb von wissenschaftlichen Experimenten ist Fracking an unkonventionellen Standorten derzeit in Deutschland grundsätzlich verboten, kann aber abweichend davon für bis zu vier Erprobungsmaßnahmen für Forschungszwecke erlaubt werden, wenn es zur wissenschaftlichen Erforschung der Auswirkungen derartiger Maßnahmen auf die Umwelt, insbesondere den Untergrund und den Wasserhaushalt, dient.

Die gewissen Freiräume, die wissenschaftlichen explorativen Experimenten zum unkonventionellen Fracking eingeräumt werden, dienen dazu, weiteres Wissen über die komplexen Bedingungen im Untergrund zu generieren. Empirische, durch Bohrungen erhobene Daten über mögliche Effekte von Fracking in unkonventionellen Lagerstätten sind in Deutschland bisher nur eingeschränkt vorhanden. Um den Datenlücken zu begegnen, werden bislang meist Vergleiche und Modellierungsergebnisse herangezogen.

Die Diskussion über die Technologie des Frackings ist bislang (nicht nur) in Deutschland äußerst kontrovers verlaufen. Befürworter sehen in der Anwendung des Frackings zur Gasförderung eine Chance, bei der Energieversorgung unabhängiger von Importen zu werden. Die Frage, wie problematisch der Ein-



satz dieser Technik für Umwelt und Gesundheit einzuschätzen sind, wird in Wissenschaft, Politik und Öffentlichkeit teilweise heftig diskutiert. Der Novelisierung der Gesetzgebung zum Fracking im Jahr 2016, mit der für unkonventionelles Fracking besondere Restriktionen eingeführt wurden, ging daher ein langer und kontroverser politischer Diskurs voraus. Er war gekennzeichnet von einem hohen Grad an uneingeladener Partizipation. Dabei richtete sich die Kritik an der Technologie nicht nur auf die Problematik von Wissen bzw. Nichtwissen hinsichtlich möglicher Risiken, sondern bezog in die Diskussion auch den energiepolitischen und wirtschaftlichen Kontext mit ein, insbesondere die Frage, wie notwendig bzw. sinnvoll die durch Fracking ermöglichte Gasförderung unter klimapolitischen Überlegungen überhaupt ist.

---

### **Explorative Experimente im Bereich Meeresdüngung mit Eisen**

Der Klimawandel ist eines der drängendsten Umweltprobleme unserer Zeit. Unter dem Oberbegriff des Climate Engineering (CE) werden deshalb technische Eingriffe in das Erde-Atmosphären-System gefasst, mit denen eine weitere Erderwärmung abgeschwächt oder verhindert werden soll. Eine dieser CE-Technologien, die insbesondere vor einigen Jahren lebhaft diskutiert wurde, ist die Meeresdüngung mit Eisen. Der Grundgedanke ist, die Produktivität von Phytoplankton durch Eiseneinträge in den Ozean zu steigern. Wenn Plankton wächst, wandelt es CO<sub>2</sub> in Biomasse um, die beim Absterben in die Tiefen der Ozeane absinken und so zu einem Kohlenstoffentzug aus der Atmosphäre führen soll.

Darüber, welche Wirkung die Meeresdüngung mit Eisen tatsächlich auf das Plankton und allgemeiner auf die Ökologie der Meere hat und in welchem Umfang CO<sub>2</sub> damit dauerhaft gebunden werden kann, gibt es jedoch noch nicht in hinreichendem Maße gesicherte Erkenntnisse. Um die Wirksamkeit von Meeresdüngung als CE-Technologie unter Realbedingungen und im großen Maßstab zu testen, wurden bis 2014 weltweit 13 öffentlich bekannte große Ozeaneisendüngungsexperimente durchgeführt. Dabei wurde üblicherweise Eisen(-II)-sulfat in mittelgroße, temporär stabile Ozeanwirbel eingebracht.

Aufgrund der technisch simplen Durchführung der Eisendüngung kann die Verlässlichkeit der Technik selbst als hoch eingeschätzt werden. Wissensdefizite betreffen vor allem das zu manipulierende System. Wachstumsdynamik und Sukzession der Planktongemeinschaften sind nur unvollständig verstanden, über die gegenseitige Beeinflussung verschiedener Arten und die Abhängigkeit von Umweltfaktoren sind nur Einzelheiten bekannt. Dass durch eine Düngung mit Eisen eine Blüte erzeugt wird, lässt sich vorhersagen, aber nicht aus welchen Arten diese zusammengesetzt sein wird. Dasselbe gilt für die gleichzeitig auftretende mikrobielle Blüte von verschiedenen Gruppen von Bakterien. Auch bei Durchführung am selben Ort und zur gleichen Jahreszeit zeigen sich erhebliche, schwer erklärbare Unterschiede in der Blüte.



Die Komplexität mariner Ökosysteme wirkt sich auch auf den Transport von Stoffen, verbunden mit Durchmischung, Absinken und Aufsteigen von Partikeln, über lange Distanzen und Zeiträume von Wochen und Monaten aus. Dementsprechend ist hier mit Nichtwissen zu rechnen. Lokale Auswirkungen auf maritime Lebensgemeinschaften könnten in eine langfristige Reduktion der biologischen Produktivität umschlagen, die potenziell negative Konsequenzen für die Fischerei besäße. Bei der Entstehung von toxischen Algen beispielsweise würde nicht nur die Fischerei in Mitleidenschaft gezogen, sondern auch Regionen, die eine touristisch geprägte Wirtschaftsstruktur aufweisen.

Weil die Meeresdüngung in der Regel in internationalen Gewässern durchgeführt wird, spielen internationale Regelungen für diese Experimente eine zentrale Rolle. Die bedeutendste Regelung stellen die Londoner Konvention und das Londoner Protokoll (LC/LP) zur »Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter« dar, die bereits 1972 ins Leben gerufen wurden, um Verschmutzungen der Meere insbesondere durch Müll oder sonstige schädliche Stoffe zu kontrollieren, die von Schiffen, Plattformen oder Flugzeugen aus ins Meer eingebracht werden. Die Konvention wurde im Jahr 2008 um eine Resolution zu Fragen der Meeresdüngung erweitert (LC-LP.1(2008) – IMO 2008). Dabei wurde die Unterscheidung in wissenschaftliche und kommerzielle Experimente vorgenommen. Kommerzielle Ozeaneisendüngungsexperimente unterliegen damit heute einem De-facto-Verbot. Wissenschaftliche Experimente müssen gemäß diesen Richtlinien einen nach festgelegten Kriterien durchgeführten fallbezogenen Entscheidungsprozess über ihre Genehmigung durchlaufen. Obwohl die Londoner Konvention ursprünglich zur Regulierung der Entsorgung von Stoffen auf hoher See und nicht im Hinblick auf die Ausbringung von Stoffen zum gezielten Erreichen eines Effektes verabschiedet wurde, gelten die entwickelten Bestimmungen als sehr erfolgreich und angemessen.

Eisendüngung wurde in der Öffentlichkeit kontrovers diskutiert. Die Diskussion in Deutschland entzündete sich besonders am deutsch-indischen LOHAFEX-Eisendüngungsexperiment. Aufgrund von Protesten wurde 2009 die Durchführung des Experiments angehalten und eine unabhängige Prüfung angeordnet. Im Ergebnis wurde die Durchführung genehmigt, jedoch mit Auflagen, die u.a. eine Änderung des geplanten Düngungsgebietes erforderten. Aspekte der Diskussion waren die Notwendigkeit von Grundlagenforschung und das Spannungsfeld zwischen Forschungsfreiheit und Umweltschutz. In den parlamentarischen Debatten in Deutschland standen völkerrechtliche Aspekte der Ozeandüngung im Vordergrund.

Nicht nur bei LOHAFEX spielte die (uneingeladene) Partizipation von Bürgern und zivilgesellschaftlichen Akteuren eine große Rolle in der gesellschaftlichen bzw. politischen Diskussion über die Experimente zur Eisendüngung. Die grundsätzlich besondere Brisanz von CE-Technologien als explorative Ex-



perimente erklärt sich daraus, dass es letztlich um eine Manipulation der Umwelt in einem potenziell globalen Maßstab geht und von Kritikern und von Befürwortern gleichermaßen betont wird, dass bisher bei Weitem kein hinreichendes Wissen über die Wirkungen, Nebeneffekte und Kosten von CE-Maßnahmen vorliegt. Dieses Nichtwissen wird von den verschiedenen Akteuren jedoch völlig konträr bewertet, als unerkanntes Nichtwissen und unauflösbares Nichtwissen-Können auf der einen Seite, als gewusstes oder zumindest wissbares und durch weitere Forschung aufzulösendes Noch-nicht-Wissen auf der anderen Seite.

Mit Blick auf den besonderen Charakter von CE-Experimenten sind in jüngster Zeit mehrere Governance- und Regulierungskonzepte vorgeschlagen worden, von denen die *Oxford Principles* besonders bekannt geworden sind. Trotz der geforderten Partizipation an Entscheidungsprozessen werden gesellschaftliche Gruppen darin eher als passive Betroffene von Maßnahmen des Climate Engineering denn als relevante, aktiv und engagiert an der Gestaltung von explorativen Experimenten wie auch an der Erarbeitung von Entscheidungsalternativen und geeigneten Bewertungsgrundlagen beteiligte Akteure dargestellt.

---

### **Aspekte guter Governance bei explorativen Experimenten**

Der Gegenstand Nichtwissen bleibt naturgemäß nur eingeschränkt spezifizierbar und ist bei kontroversen Themen, wie großtechnologischen explorativen Experimenten, immer Gegenstand politischer Auseinandersetzung. Es ist daher auch nicht verwunderlich, dass Nichtwissen in politischen Auseinandersetzungen oft instrumentalisiert wird. Fragen nach der Einschätzung von Nichtwissen in Bezug auf ein konkretes experimentelles Projekt sind also im Kern politische Fragen, und Entscheidungen darüber, ob und unter welchen Umständen ein großskaliges exploratives Experiment durchgeführt wird, sind ihrem Wesen nach politische Entscheidungen.

### **Elemente des Umgangs mit explorativen Experimenten**

Im Vorfeld eines Experiments muss neben grundsätzlicher Genehmigung (falls erforderlich) und Finanzierung über Design und Ausgestaltung in fachlicher Hinsicht und in der weiteren Prozessbegleitung entschieden werden. Dabei sind unter anderem folgende Punkte zu berücksichtigen:

- > Einbezug aller verfügbaren Risikoinformationen, ggf. weitere Vorstudien;
- > Ergänzung einer Analyse des Eingriffs durch eine strukturelle und eine ereignisbezogene Vulnerabilitätsanalyse (im Sinne der Technikcharakterisierung);
- > bei Experimenten mit hohem Anlass zur Besorgnis: gestuftes Vorgehen mit Upscaling der Versuchsstadien in Hinsichtl auf Raum und Zeit;



- › Berücksichtigung des potenziellen gesellschaftlichen Nutzens im Rahmen einer vergleichenden Risikoabschätzung;
- › Einplanung einer angemessenen gesellschaftlichen Partizipation.

Im Verlauf des Experimentierens treten weitere Aspekte hinzu, die antizipiert werden sollten, um ggf. einen Abbruch, ein Nachsteuern oder schadensbegrenzende Maßnahmen zu indizieren. Dies kann mittels folgender struktureller Maßnahmen geschehen:

- › Etablierung einer prozessbegleitenden, kontinuierlichen oder rekursiven Form der Begleitung und (Nach-)Steuerung, um auf neue Erkenntnislagen zu reagieren; wenn möglich vorab Definition von Abbruchkriterien;
- › angemessene Ausgestaltung der Monitoringmaßnahmen sowohl hinsichtlich der zielgerichteten Beobachtung spezieller Parameter als auch eines Breitbandscreening möglicher Überraschungen; Festlegung einer Mindestbeobachtungsdauer;
- › ausgewogene Besetzung der begleitenden Steuerungsgremien; Ermöglichung und Berücksichtigung uneingeladener Partizipationsformen;
- › Gewährleistung eines hohen Grades an Transparenz der gewonnenen Daten, Ergebnisse, Entscheidungskriterien und getroffenen Entscheidungen.

### **Kombination aus Ex-ante-Analyse und prozessbegleitendem Steuern**

Ein guter Umgang mit Nichtwissen bei explorativen Experimenten muss versuchen, zwei eigentlich unvereinbare Ziele miteinander in Einklang zu bringen: Nichtwissen einschließlich der »unknown unknowns« möglichst systematisch und abgeleitet in seinem Ausmaß auszuloten bzw. ex ante zu charakterisieren und darauf aufbauend ggf. Vorsorgemaßnahmen zu ergreifen, die von einem abgewandelten Design des Experiments bis hin zu einem Moratorium reichen können. Gleichzeitig aber sollen mit der Durchführung des Experiments Raum und Aufgeschlossenheit für neues Wissen und das Auftreten von Überraschungen geschaffen werden, sonst wäre das Experiment als solches nicht sinnvoll.

Die beiden im Hintergrundpapier vorgestellten Ansätze der Technikcharakterisierung und des rekursiven Lernens in Realexperimenten sind als Heuristiken zu betrachten, die aufeinanderfolgend eingesetzt werden und helfen können, zu guten Ergebnissen, d. h. Urteilen im zuvor genannten Sinne, zu gelangen.

Sie stehen für zwei komplementäre Herangehensweisen an das Problem des Umgangs mit Nichtwissen. Es ist sinnvoll, Risikowissen und Anhaltspunkte für Gründe zur Besorgnis bereits im Vorfeld möglichst umfassend zu sammeln – dies ist u. a. die Herangehensweise der Technikcharakterisierung – und nach einer (vorläufigen) Genehmigung zusätzlich einen kontinuierlichen Prozess des Monitorings und der Steuerung zu etablieren, um auf neu auftretende Erkennt-



nisse, neue Bewertungen und auch neu auftretendes Unwissen (hier allgemein Überraschungen) reagieren zu können – dies ist die Perspektive des rekursiven Lernens in Realexperimenten.

### **Monitoring und Zusammenführung von Daten und Wissen**

Eine entscheidende Voraussetzung dafür, dass bei und nach der Durchführung des Experiments neu auftretendes Nichtwissen und Überraschungen bemerkt und registriert werden, ist ein breit angelegtes und gegebenenfalls lang andauerndes Monitoring. Hierbei muss ein Ausgleich gefunden werden zwischen der Engführung der Beobachtung durch hypothesengeleitete Beobachtung einerseits und der Aufmerksamkeit für Überraschungen im Sinne eines breiten Monitorings andererseits. Neben der Vielfalt der beobachteten Parameter ist die Zeitdauer der Beobachtung entscheidend. Überraschungen können zeitlich (stark) verzögert eintreten. Auch hier ist eine schwierige Abwägung zwischen Aufwand bzw. Kosten und einer möglichst langen Beobachtungsdauer zu treffen.

Da nicht erwartet werden kann, durch wissenschaftliche Beobachtungsprogramme allein Überraschungen systematisch oder vollständig erfassen zu können, sind Offenheit und Aufmerksamkeit für Beobachtungen von unterschiedlichen, auch nichtwissenschaftlichen Akteuren wichtig. Eine solche Haltung kann z. B. dadurch umgesetzt werden, dass eine Stelle eingerichtet wird, bei der entsprechende Beobachtungen gesammelt und systematisiert werden (wie z. B. das Pharmakovigilanzsystem in der Medizin).

### **Vergleichende Einschätzung von Risiken und Nutzen**

Welches Maß an Risiken eine Gesellschaft zu tragen bereit ist, ist eine Frage, die immer wieder neu politisch und gesellschaftlich verhandelt wird. Dabei muss auch der erwartete Nutzen für die Gesellschaft in die Betrachtung mit einbezogen werden. Voraussetzung für eine fundierte Bewertung und Entscheidungsfindung sind wissenschaftlich nachvollziehbare Informationen über die aus guten Gründen erwartbaren Risiken und Nutzen.

### **Gesellschaftliche Partizipation**

Großmaßstäbliche explorative Experimente finden im gesellschaftlichen Raum statt. Entscheidend für die sinnvolle Ausgestaltung der Partizipation sind Fragen nach der Betroffenheit: Wer äußert sich, wer sollte legitimer Weise gehört werden, mitentscheiden etc.? Auch wenn es naheliegt, die Frage nach der Betroffenheit möglichst objektiv von der Reichweite der direkten (physischen) Folgen eines Experiments her zu beantworten, ist eine solche Vorgehensweise nicht hinreichend, weil die physischen, naturräumlichen Folgen aufgrund des Nichtwissens nur teilweise vorhersagbar sind und die ökonomischen und sozialen



Folgen einer neuen Technologie in einer komplexen, vernetzten Welt darüber hinaus entgrenzt sind. Die Frage der Betroffenheit ist somit eine gesellschaftlich-politische Frage. Es liegt daher nahe, beim Design von Prozessen der Partizipation darauf zu achten, dass Bürger/innen mitentscheiden können, ob sie sich als Betroffene fühlen, ähnlich wie im Fall der uneingeladenen Partizipation.

Uneingeladene Partizipation stellt einen wichtigen Baustein bei der Meinungsbildung und Entscheidungsfindung in demokratisch verfassten Staaten dar. Sie ist Ausdruck von wahrgenommener Bürgerverantwortung und kann dazu beitragen, Aspekte in die Diskussion einzubringen, die sonst nicht oder nur randständig betrachtet würden. Uneingeladene Partizipation kann daher grundsätzlich als ein gesellschaftlich positives Element einer lebendigen Demokratie angesehen und fruchtbar gemacht werden, z. B. durch das Transparentmachen der eingebrachten Positionen, Einschätzungen und Wissensbestände, und sollte nicht durch Geheimhaltung etc. behindert werden.



---

# 1 Einleitung

---

## Experimente, Wissen und Nichtwissen in der Wissenschaft

---

Wissen, genauer gesagt, der Produktion von immer mehr und neuem wissenschaftlichem Wissen wird eine große, wachsende Bedeutung für moderne Gesellschaften zugeschrieben. Das spiegelt sich in Begriffen wie wissensbasierte Technologien, Verwissenschaftlichung oder Wissenschaftsgesellschaft wider. Für Innovation, Fortschritt und Zukunftsfähigkeit werden die Wissenschaften und der von ihnen angestoßene technische Wandel verantwortlich gemacht. Wissenschaftliches Wissen wird als unabdingbar angesehen, um den großen Herausforderungen unserer Zeit begegnen zu können.

Viele dieser Herausforderungen sind allerdings erst durch die Produktion von Wissen und dessen Anwendung entstanden, beispielsweise im Bereich der Industrieproduktion, der Energiegewinnung oder der Landwirtschaft. Denn durch die Gewinnung von Wissen und dessen technologischer Umsetzung wird gleichzeitig immer wieder neues Nichtwissen generiert. Manche der unerwünschten Folgen unserer modernen Wirtschafts- und Lebensweise hätten u. U. vermieden oder gelindert werden können, hätte man früh genug das entsprechende Wissen um diese Folgen gehabt. Deshalb bildet auch Nichtwissen einen wichtigen Anstoß abendländischen Denkens und Handelns, seit Sokrates mit dem ihm zugeschriebenen »Ich weiß, dass ich nichts weiß« der westlichen Philosophie entscheidende Impulse gegeben hat. Dieses Wissen um die Grenzen des Wissens ruft oft Unbehagen hervor – das Gefühl, unter Umständen »im Dunkeln zu tapen«.

Ein Beispiel mag dies illustrieren: Heute weiß man, welche großen Umweltschäden durch die Freisetzung von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) in die Atmosphäre hervorgerufen wurden. Als in den 1920er Jahren Kühlmittel auf FCKW-Basis erforscht, entwickelt und auf den Markt gebracht wurden, war dies eine vielversprechende technologische Entwicklung. Das Wissen über ihre verheerenden Nebenwirkungen auf Natur und Gesundheit – die Bildung des Ozonlochs – stand jedoch damals noch nicht zur Verfügung (Farman 2001). Beispiele, wie das der FCKW, erzeugen in jedem Fall ein Gefühl von Unbehagen im Hinblick auf neue Technologien. Denn hinterher schlauer zu sein, kann in einem Zeitalter nicht zufriedenstellen, in dem Technik und Technologien so gewaltige Interventionen in Natur- und Erdsysteme erlauben, dass menschliches Handeln in seinen Wirkungen nicht mehr grundsätzlich hinter den Naturgewalten zurücksteht.

Das Wissen um die Grenzen des Wissens dienen jedoch zugleich als Ansporn, »Licht ins Dunkel zu bringen« und die Grenzen des Wissens zu erweitern. Im traditionellen Verständnis von Wissenschaft spornt Nichtwissen For-



scherrinnen und Forscher an, das Unentdeckte durch ihre Arbeit Schritt für Schritt aufzudecken und in gesichertes Wissen umzuwandeln (Janich et al. 2012). Nach diesem Verständnis müsste sich Nichtwissen stetig verringern. Diese Grundannahme wird jedoch in jüngerer Zeit mit einer gewissen Skepsis betrachtet. Aufgrund vieler historischer Erfahrungen wird vermehrt angenommen, dass auch das Nichtwissen anwächst, je mehr Wissen produziert wird (Kap. 2.3.3).

Wissenschaftliche Experimente sind ein zentrales Instrument der Wissenschaft, um Hypothesen zu überprüfen und abzusichern, also über empirische Erkenntnisgewinnung letztlich neues Wissen zu produzieren. In der Regel werden Experimente in kontrollierten Räumen (Laboren) durchgeführt. Aber sobald wissenschaftliche Erkenntnisse angewendet werden und zu gesellschaftlichen oder technischen Entwicklungen beitragen sollen, ist der Schritt aus dem Labor heraus zwingend. Ein grundsätzlicher Verzicht eines Landes wie der Bundesrepublik Deutschland auf entsprechende Experimente und Forschungsaktivitäten würde das Risiko bergen, auf internationale Entwicklungen nicht angemessen reagieren zu können und Anschluss an sowie Beeinflussungsmöglichkeiten auf internationale Entwicklungen zu verlieren. Den Schritt aus dem Labor heraus grundsätzlich nicht zu vollziehen, würde technologische Entwicklung und Innovation unweigerlich zum Stillstand bringen und ist daher de facto keine realistische Option.

Wissenschaftliche Experimente außerhalb des Labors werden in diesem Hintergrundpapier als explorative Experimente bezeichnet. Mit dem Schritt heraus aus dem Labor werden die Umwelt und die Gesellschaft Bestandteil des wissenschaftlichen Arbeitens bzw. Experiments. Ein solches exploratives Experiment kann mit unerwünschten direkten und indirekten Auswirkungen auf Natur und Gesellschaft verbunden sein. Dies gilt umso mehr, wenn es als Vorstufe einer großskaligen technologisch-gesellschaftlichen Entwicklung angelegt wird, deren Auswirkungen dann entsprechend umfangreicher ausfallen. Mit Blick auf die Tatsache, dass sich hier die Grenzen zwischen Wissensgewinnung und Wissensanwendung verwischen, werden solche technologisch-gesellschaftlichen Entwicklungen auch als Realexperimente bezeichnet (Kap. 2.2.3).

Nicht erst bei solchen Realexperimenten, sondern bereits bei den explorativen Experimenten der Wissenschaft, die im Fokus dieses Hintergrundpapiers stehen, stellt sich eine Reihe von Fragen zum verantwortungsbewussten Umgang mit Nichtwissen. Wie Steve Rayner (2014, S. 6 ff.) am Beispiel des Geoen지니어ings verdeutlicht hat, resultieren die Dynamik und Schärfe der Kontroversen um explorative Experimente zu einem erheblichen Teil aus kontrastierenden Wahrnehmungen und Bewertungen des solchen Experimenten inhärenten wissenschaftlichen Nichtwissens. Diese Bewertungen sind zwingend mit normativen Werturteilen verbunden. Daraus folgt, dass Entscheidungen über den Umgang mit Nichtwissen nicht allein auf einer objektivierbaren, wissen-



schaftlichen Faktengrundlage getroffen werden können, sondern immer auch durch normative, kulturelle und politische Perspektiven beeinflusst werden.

Nichtwissen ist nicht grundsätzlich zu vermeiden und es stellt ja gerade den Ausgangspunkt eines Experiments dar. Also muss man gut damit umgehen. Doch wie sehen die Möglichkeiten eines guten gesellschaftlichen Umgangs mit Nichtwissen bei explorativen Experimenten aus? Diese Frage ist Gegenstand dieses Hintergrundpapiers.

---

### Ziele und Vorgehen

Explorative Experimente werden durchgeführt, um neue Technologien außerhalb des Labors in natürlicher oder naturähnlicher Umgebung zu erproben und weiterzuentwickeln. Dabei soll neues Wissen geschaffen bzw. Nichtwissen in Wissen überführt werden. Bestehendes Nichtwissen ist also die Motivation, ein exploratives Experiment durchzuführen. Gleichzeitig wird bestehendes und im Verlauf des Experiments neu entstehendes Nichtwissen über die Folgen des Experiments als potenzielles Problem betrachtet. Das vorliegende Hintergrundpapier beschäftigt sich auf Anregung des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung mit der Frage, wie mit diesem Dilemma umgegangen werden kann – mit dem Dilemma, einerseits auf wissenschaftliche Experimente angewiesen zu sein, um Wissen zu generieren, Wissenslücken abzubauen und Veränderung und Innovation voranzubringen, und andererseits beim Experimentieren unweigerlich mit Nichtwissen über ggf. unerwünschte Folgewirkungen auf Natur und Gesellschaft konfrontiert zu sein.

---

### Zwei Heuristiken

Vorweg: Es gibt kein Patentrezept zur Auflösung dieses Dilemmas. Man kann jedoch versuchen, die vorhandene Wissensbasis über das bestehende Nichtwissen möglichst gut zu nutzen und gleichzeitig auf Überraschungen vorbereitet zu sein. Im vorliegenden Hintergrundpapier werden dazu zwei Ansätze vorgestellt, die als Heuristiken verstanden werden müssen – als Herangehensweisen, wie man mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem guten gesellschaftlichen Umgang mit Nichtwissen bei einem geplanten explorativen Experiment kommen kann: die Methode der Technikcharakterisierung und die Perspektive des rekursiven Lernens in Realexperimenten. Die beiden Ansätze unterscheiden sich deutlich darin, wie Aspekte des Nichtwissens analysiert und eingeschätzt werden und wie dadurch in der Gesellschaft besser mit den Herausforderungen verantwortlich umgegangen werden kann, die aus Forschung, Entwicklung und Innovation resultieren können.

Die Methode der Technikcharakterisierung orientiert sich am Risiko- und Gefahrenmanagement. Sie verknüpft eine ingenieur- und naturwissenschaftli-



che Perspektive mit dem Vorsorgeprinzip und fokussiert auf die Antizipation möglicher Gefährdungen, sogenannter Gründe zur Besorgnis. Die Perspektive des rekursiven Lernens in Realexperimenten folgt stärker einer sozialwissenschaftlichen Sichtweise des gesellschaftlichen Lernens. Sie geht davon aus, dass antizipierende Risikoforschung nicht in der Lage ist, alle relevanten möglichen Effekte von explorativen Experimenten vorherzusehen und setzt dementsprechend auf begleitendes Beobachten im Sinne eines institutionalisierten und möglichst frühzeitigen Lernens im Kontext der Wissensanwendung. Die Ansätze unterscheiden sich in ihrem Fokus und sind tendenziell komplementär, d. h., sie ergänzen sich und können kombiniert werden. Das vorliegende Hintergrundpapier ist keine Technikfolgenabschätzung im klassischen Sinn, da hier nicht die ggf. unsicheren bzw. mit Nichtwissen behafteten Folgen einer konkreten Technologie analysiert werden. Vielmehr handelt es sich um eine Betrachtung auf einer höheren Abstraktionsebene, deren Gegenstand das Nichtwissen selbst ist. Das explorative Experiment kann hierbei als – sehr abstrakte – Technologie zur Generierung von Wissen aufgefasst werden. Dementsprechend sind auch die Ergebnisse nicht konkret, sondern ebenfalls abstrakt. Um dennoch konkretes Anschauungsmaterial betrachten zu können, werden drei Fallstudien betrachtet, die verdeutlichen, was unter Nichtwissen verstanden wird, welche Herausforderungen damit verknüpft sind, wie die Gesellschaft damit in realen Situationen umgeht und welche Vorgehensweisen sich aus den beiden Heuristiken heraus in konkreten Situationen ergeben können:

- > Grüne Gentechnik,
- > Fracking und
- > Meeresdüngung.

Auch wenn keine umfassenden und eindeutigen Antworten auf alle Fragen erwartet werden können, die durch den Umgang mit Nichtwissen aufgeworfen werden, lohnt es sich, das Thema an den konkreten Forschungsfeldern zu untersuchen. Denn die Dynamik und mitunter Schärfe der wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Kontroversen um durchgeführte bzw. geplante, aber auch nicht durchgeführte explorative Experimente ist bemerkenswert und instruktiv. Sie erklärt sich zu einem Teil aus den bereits angesprochenen unterschiedlichen Wahrnehmungen und Bewertungen des Nichtwissens, die teilweise auf normativen Werturteilen beruhen und daher Gegenstand gesellschaftlicher Debatten und Aushandlungsprozesse sind. Bei der Betrachtung der Beispiele geht es, wie gesagt, explizit nicht darum, die Forschungsfelder oder Forschungspraktiken im Sinne einer Folgenabschätzung zu bewerten. Dessen ungeachtet können die dabei gewonnenen Einsichten für solche Bewertungen von Nutzen sein.

Der an den Beispielen beobachtete Umgang mit Nichtwissen bei explorativen Experimenten öffnet den Blick für neue, erweiterte Formen der gesellschaftlichen Partizipation und Entscheidungsfindung, wenn er diese nicht sogar



erfordert. Demokratische Regelungs- und Governancestrukturen unter Einbeziehung von Wissenschaft, Gesellschaft, Wirtschaft und Politik erscheinen notwendig. Es geht im vorliegenden Hintergrundpapier deshalb auch darum zu analysieren, welche Gründe angesichts der Bedingungen des Nichtwissens für eine erweiterte gesellschaftliche Partizipation sprechen und welchen Bedingungen problemadäquate Beteiligungsformen und -prozesse genügen sollten.

Die drei Forschungsfelder sind aus verschiedenen Gründen relevant. Sie repräsentieren wichtige wissenschaftlich-technologische Entwicklungen in unterschiedlichen Forschungs- und Anwendungsstadien, sie waren und sind politisch und gesellschaftlich heftig umstritten und decken ein breites Spektrum wichtiger Aspekte des Nichtwissens und des Umgangs damit ab. Das betrifft beispielsweise Fragen nach möglichen Auswirkungen, die sich hinsichtlich ihres räumlichen oder zeitlichen Auftretens stark unterscheiden. Die explorativen Experimente auf diesen drei Gebieten sind in unterschiedliche Regulierungsregime eingebettet, es finden sich verschiedene Formen wissenschaftlicher Forschungskultur wie auch gesellschaftlicher Betroffenheit. Trotz der Vielschichtigkeit bleiben die drei Felder exemplarisch und können nicht alle Aspekte auftretenden Nichtwissens abdecken.

---

### **Gutachten und Danksagung**

Im Rahmen des Projekts wurden zwei Gutachten zu spezifischen Themenbereichen erstellt, deren Ergebnisse neben den eigenen Recherchen, Literaturlauswertungen und Analysen in die Erstellung des TAB-Hintergrundpapiers eingeflossen sind:

- Umgang mit Nichtwissen bei explorativen Experimenten – eine vergleichende Studie. Prof. Dr. Arnim von Gleich, Dr. Bernd Giese, Dr. Sven Jensen, Stefan Koenigstein; aforetec GbR, Bremen
- Formen und Verfahren demokratischer, gesellschaftlicher Beteiligung an explorativen Experimenten unter Nichtwissens-Bedingungen. Dr. Peter Wehling unter Mitarbeit von Luigi Wenzl, Frankfurt a.M.

Diese Gutachten bilden eine zentrale Basis des vorliegenden Hintergrundpapiers. Die Entwürfe der einzelnen Kapitel wurden von verschiedenen Mitarbeitern des UFZ und des TAB in Berlin in mehreren Runden gelesen, kritisch kommentiert und überarbeitet. Der Entwurf der Gesamtfassung wurde von den Gutachtern durchgesehen, kommentiert und ergänzt, wofür Ihnen sehr herzlich gedankt wird. Für anregende Diskussionen und kritische Kommentare sind die Autoren Matthias Groß, Christoph Kehl, Wolfgang Köck, Bernd Klauer und Grit Ludwig zu großem Dank verpflichtet. Nicht zuletzt geht ein herzliches Dankeschön an Brigitta-Ulrike Goelsdorf, Tina Lehmann und Anne Wessner,



die in umsichtiger Weise die Formatierung und Aufbereitung der Abbildungen, der Tabellen und des Literaturverzeichnisses übernommen haben.

---

### **Aufbau des Hintergrundpapiers**

In Kapitel 2 werden zentrale Begriffe und Grundlagen eingeführt und verschiedene Ausprägungen wissenschaftlicher Experimente behandelt. Auf grundsätzliche Reaktionsformen auf wissenschaftliches Nichtwissen wird in Kapitel 3 eingegangen, bevor in Kapitel 4 die beiden Ansätze zum Umgang mit Nichtwissen bei explorativen Experimenten vorgestellt werden, die »Technikcharakterisierung« und die Perspektive des »rekursiven Lernens in Realexperimenten«. In Kapitel 5 wird ein kurzer, allgemeiner Blick auf verschiedene Formen gesellschaftlicher Partizipation geworfen. In den Kapiteln 6 bis 8 wird dann auf den konkreten Umgang mit Nichtwissen bei explorativen Experimenten in den drei Forschungsfeldern Grüne Gentechnik (Kap. 6), Fracking (Kap. 7) und Meeresdüngung (Kap. 8) eingegangen. In Kapitel 9 wird ein Resümee gezogen und Elemente einer guten Governance bei explorativen Experimenten zusammengefasst.

---

## 2      **Zentrale Begriffe und Grundlagen: Experiment, Überraschung und Nichtwissen**

---

### 2.1    **Wissenschaft und gesellschaftliche Zweckorientierung**

Im 18. Jahrhundert bildete sich das klassische Modell der modernen akademisch-disziplinären Wissenschaft und Forschung heraus, die in Grundlagen- und angewandte Forschung unterteilt wurde (Böschen/Wehling 2004). Diese disziplinäre Einteilung bildete sich unter dem dominanten Paradigma der Physik heraus, Naturbeobachtungen möglichst frei von subjektiven Eigenheiten, d. h. quasi objektiv durchführen zu können. Die wissenschaftliche Rationalität war damit fest in der Welt der Tatsachen verankert.

Diese Sicht änderte sich nach dem Zweiten Weltkrieg (Taubert/Krämer 2007). Neben der Ausrichtung auf Wahrheitssuche trat in den letzten 70 Jahren zunehmend die Frage nach Nützlichkeit und Verwendungsmöglichkeiten der wissenschaftlichen Wissensproduktion in den Vordergrund. Damit wurde die Wissenschaft immer stärker Ansprüchen der Gesellschaft unterworfen. Die Verwissenschaftlichung der unterschiedlichsten Lebensbereiche manifestierte sich in wissenschaftlich-technischen Innovationen. Damit sieht sich die Wissenschaft nicht nur tendenziell immer komplexeren Fragen gegenüber, sie wird auch immer stärker mit den möglichen Gefährdungen, Risiken und negativen Folgen ihres Tuns in Verbindung gebracht. Die gesellschaftliche Anerkennung der notwendigen Freiräume für wissenschaftliche Forschung (und entsprechende Experimente) wird zunehmend mit Fragen nach Verantwortung verknüpft. Die gesellschaftliche Erwartung an die Wissenschaften, nicht nur verantwortlich für Technikentwicklung, sondern auch für deren Folgen zu sein, nimmt zu. Damit einher geht die Verantwortung für die Produktion nicht allein von Wissen, sondern auch von Nichtwissen, wie auch die Verantwortlichkeit für etwaige Gefährdungen, die durch die Produktion von Wissen hervorgerufen und im Nichtwissen verborgen sein können (Böschen/Wehling 2004; Kap. 2.3.3).

Die Ausrichtung an der zukünftigen Nützlichkeit hatte auch Auswirkungen auf die Organisation der Wissensproduktion. Diese ist in weiten Bereichen immer weniger disziplinär organisiert, sondern erfolgt vielmehr in Projekten und wird für spezifische Fragen und Probleme interdisziplinär ausgerichtet. Diese neue Form der wissenschaftlichen Arbeit wurde als »Modus 2« beschrieben (Gibbons et al. 1994; Nowotny et al. 2004). Indem Wissenschaft disziplinäre Schranken durchbricht, weil andersartige Problemstellungen an sie herangetragen werden, werden auch die Methoden einschließlich der etablierten Bewertungskriterien und -maßstäbe, mit denen Problemlösungen entwickelt und

stabile Wissensbehauptungen mit Autorität aufgestellt und eingefordert werden können, weniger eindeutig. Grenzen, wie die zwischen Grundlagenforschung und anwendungsorientierter Technikentwicklung, lösen sich auf: »Verantwortlich für die Erosion vermeintlich stabiler Grundunterscheidungen (zwischen Fakten und Werten, Wissen und Nichtwissen, Experten und Laien, wissenschaftlichem und nichtwissenschaftlichem Wissen) ist somit in erster Linie die Entwicklungsdynamik der Wissenschaft selbst. Denn diese entfernt sich mehr und mehr vom Idealbild der im abgegrenzten Schutz- und Schonraum des Labors stattfindenden, zweckfreien Suche nach Wahrheit und wandelt sich zu einer systematisch auf Anwendungsbezüge ausgerichteten, eng mit Nutzungsinteressen verflochtenen und zugleich rapide beschleunigten Wissensproduktion.« (Böschen/Wehling 2004, S. 13 f.)

Die hier skizzierten dynamischen Entwicklungen haben die Anforderungen an die wissenschaftliche Wissensproduktion in den letzten Jahrzehnten verändert. Die Komplexität der wissenschaftlich zu beantwortenden Fragen nimmt zu. Der verstärkte Anwendungsbezug erhöht zudem die Erwartungen an die Wissenschaft. Vor diesem Hintergrund soll im Folgenden kurz auf unterschiedlichen Typen von Experimenten eingegangen werden, die eine zentrale Rolle bei der Gewinnung wissenschaftlichen Wissens spielen und auch im Mittelpunkt des vorliegenden Hintergrundpapiers stehen.

---

## 2.2 Das Experiment

Durch die wissenschaftliche Revolution im 17. Jahrhundert stieg das Experiment zum Königsweg der Erkenntnis auf. Davor waren vor allem Aristoteliker davon überzeugt, ernsthafte Erkenntnisse ließen sich nur deduktiv von »ersten Prinzipien« ableiten (Hacking 1996). Man suchte Erkenntnis in Beobachtung und Kontemplation. Die Arbeiten von Francis Bacon trugen wesentlich dazu bei, dass Wissenschaft und Forschung eine andere Ausprägung bekamen. Gewissheiten, die vorher oft religiös begründet worden waren, konnten nun durch »objektive« Fakten und Naturgesetze abgesichert werden (Groß 2014, S. 10). Dem Labor und dem Laborexperiment kommt dabei eine zentrale Bedeutung zu. Das Motto ist: »Begreifen der Natur durch Eingreifen in die Natur und vice versa Eingreifen durch Begreifen.« (Krohn 2007, S. 348) Wissenschaft beobachtet und beschreibt demnach nicht mehr nur, was gegeben ist und vorgefunden wird, sondern greift aktiv und gestaltend ein und deduziert so »Gesetze« von Natur und Technik. Durch die gezielte Gestaltung von Experimenten kann die Wissenschaft »Möglichkeitsräume« innerhalb der festgestellten Gesetze austesten (Krohn 2007). Insofern stellen Experimente ein Bindeglied zwischen Theorie und Praxis dar. Dabei fällt selbst in der hypothesengeleiteten experimentellen Forschung dem »trial and error« ein wichtiger Stellenwert zu: Überraschungen, d. h. unerwartete Ereignisse im Rahmen eines Experiments, bilden



einen wichtigen Ausgangspunkt für die Weiterentwicklung des wissenschaftlichen Wissens.

Die wissenschaftliche Revolution hat die Kultur der westlichen Gesellschaften geprägt. Indem im wissenschaftlichen Experiment Theorie und Praxis verbunden und »trial and error« zugelassen wurde, konnte die Wissensproduktion enorm beschleunigt werden. Experimente erfreuen sich großer Wertschätzung, was sich beispielsweise auch daran ablesen lässt, dass nicht nur in den Wissenschaften, sondern in fast allen gesellschaftlichen Bereichen, wie beispielsweise in Kunst, Kultur, Politik oder Ökonomie, mittlerweile »experimentiert« wird (Krohn 2007). Der Begriff hat dementsprechend verschiedene Ausweitungen erfahren. Im Rahmen dieses Hintergrundpapiers wird der Ausdruck Realexperiment eine wichtige Rolle spielen (Kap. 2.2.3, 3.5 u. 4.2).

---

### 2.2.1 Laborexperimente

Laborexperimente besitzen eine Sonderstellung, denn sie gelten als das adäquate Mittel, um gesichertes wissenschaftliches Wissen hervorzubringen. Entscheidend bei der hypothesengeleiteten Konzeption und Durchführung eines Laborexperiments ist, dass der zu untersuchende Wirkungszusammenhang unter kontrollierten Bedingungen und möglichst störungsfrei beobachtet werden kann. Idealtypisch können Laborexperimente folgendermaßen charakterisiert werden (Krohn 2007; Taubert/Krämer 2007):

- Isolation: Unkontrollierte Einflüsse auf das Experiment von außen sollen unterbunden werden, d. h., die Randbedingungen werden möglichst vollständig charakterisiert und ggf. kontrolliert. Isolation ist die Voraussetzung dafür, dass Experimente unter gleichartigen Bedingungen wiederholt werden können. Sie führt aber auch dazu, dass experimentelle Fehlschläge gestoppt werden können und somit ebenso wie etwaige Irrtümer weitgehend folgenlos bleiben.
- Intervention: Sie erlaubt Forschenden, den ausgewählten Systemparameter gezielt zu manipulieren und die Effekte zu beobachten und zu analysieren.
- Kontrolle: Eine möglichst vollständige Kontrolle von verlaufsbestimmenden Parametern wird angestrebt. Damit lassen sich Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge besser feststellen und belegen.

Diese Merkmale des Laborexperiments sollen sicherstellen, dass Erkenntnisse überprüfbar und verlässlich, d. h. wiederholbar und eben nicht zufällig sind.

Der Siegeszug des Laborexperiments hatte auch gesellschaftliche Folgen: Moderne Gesellschaften akzeptieren nicht nur, dass es bei den Experimenten zu Fehlschlägen kommen kann, sondern erkennen auch an, dass unerwartete Ereignisse beim Experimentieren dem Erkenntnisgewinn dienen. Heute werden daher weder Erfolg (Wahrheit) noch Irrtum in Bezug auf Laborexperimente mo-

^  
> 2 Zentrale Begriffe: Experiment, Überraschung und Nichtwissen  
v

ralisch gewertet. In dem Moment, in dem Experimente aus dem Labor in die Außenwelt, in die Natur verlagert werden, ändert sich dies jedoch.

---

### 2.2.2 Explorative Experimente – das »Labor in der Welt« bzw. »die Welt als Labor«

Im Unterschied zum klassischen Laborexperiment, bei dem der Hypothesentest in einer kontrollierten Umgebung im Mittelpunkt steht, zielt das explorative Experiment darauf ab, durch wissenschaftliche Tätigkeit Hypothesen weiterzuentwickeln und praktische Erfahrungen zu gewinnen. So konstatiert Steinle (2004), dass es beim explorativen Experimentieren nicht darum geht, Hypothesen nachträglich zu testen, sondern darum, Spekulation, Begriffsbildung und Versuch gemeinsam zu entwickeln. In ähnlicher Weise beschreibt Schiaffonati (2015) das explorative Experiment als ein nicht von Theorie geleitetes Experiment. Explorative Experimente spielen in der Wissenschaft zunehmend eine wichtige Rolle auf dem Weg von der theoretischen Erkenntnis zur praktischen Anwendung. Diese Entwicklung ist typischerweise mit dem Verlassen des Labors und damit auch dem Verlust der labortypischen, mehr oder weniger vollständigen Kontrolle der Randbedingungen des Experiments verbunden.

Der Weg der experimentellen Wissenschaft aus den kontrollierten Laborverhältnissen hinaus in die Welt kann unterschiedlich begründet sein und daher auch unterschiedlich gestaltet werden. Für bestimmte Fragestellungen sind die Objekte der Forschung schlicht zu groß und passen nicht mehr in kontrollierte Räume. Oder die für eine (labor)experimentelle Untersuchung notwendige Komplexitätsreduktion würde die zu untersuchenden Eigenschaften des Objekts verschwinden lassen. Wird das Labor zum Experimentieren verlassen, sind zwei der zuvor angeführten Merkmale des idealtypischen Laborexperiments nicht mehr erfüllt: Das Experiment läuft dann weder in Isolation noch unter vollständiger Kontrolle ab. Da das Experiment in der komplexen Realwelt stattfindet, die sich im Zeitverlauf permanent verändert, kann überdies nicht mehr zum Urzustand vor dem Experiment zurückgegangen werden. Damit kann das Experiment streng genommen nicht unter identischen Voraussetzungen wiederholt werden.

Im vorliegenden Hintergrundpapier ist dann von explorativen Experimenten die Rede, wenn es sich um Experimente handelt, die dem wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn dienen, und dieser Gewinn dadurch erzielt werden soll, dass im Rahmen des vorliegenden wissenschaftlichen Experiments Interventionen in komplexen Systemen außerhalb des Labors vorgenommen und analysiert werden.

Bei (reinen) Laborexperimenten und explorativen Experimenten handelt es sich um Idealtypen. In der Realität gibt es fließende Übergänge, also Zwischenformen, die sich unter anderem im Hinblick auf Kontrollier- und Revidierbar-



keit graduell unterscheiden. Zum Beispiel können bei meeresbiologischen Experimenten Laborversuche, die in geschlossenen Systemen völlig kontrollierbar sind, zu teilweise kontrollierten Experimenten in sogenannten Mesokosmen erweitert werden. Mesokosmen sind hier großvolumige Meerwasserproben (Behälter mit Durchmesser 1 bis 4 m, Tiefe bis etwa 15 m) inklusive der enthaltenen natürlichen Planktongemeinschaften, die außerhalb des Labors manipuliert werden (Kap. 8.7.2). In Mesokosmen lassen sich einige wichtige Parameter kontrollieren und zugleich unter realitätsnäheren Bedingungen als im Labor beobachten. Ein Abbruch des Experiments bzw. eine Wiederholbarkeit unter vergleichbaren Bedingungen sind möglich.

Unterschiedlich dimensionierte Experimente können eine Reihe mit abnehmendem Labor- und zunehmendem Explorationscharakter bilden, an deren Ende großmaßstäbliche explorative Experimente stehen. Hier sind dann die Randbedingungen kaum noch zu kontrollieren, und die Experimente sind weder revidier- noch unter identischen Bedingungen wiederholbar. Entlang der Reihe ist jeder Schritt mit einer Zunahme an Komplexität und einem höheren Grad an Nichtwissen verbunden. Dabei sind zwei Quellen für die Zunahme des Auftretens von Nichtwissen wichtig: zum einen die Zunahme der Komplexität des Forschungsgegenstandes durch Verlassen des Labors und zum anderen die Zunahme der Reichweite des experimentellen Eingriffs. Die Reichweite des experimentellen Eingriffs wird im Rahmen der Technikcharakterisierung durch die Begriffe der Eingriffstiefe und der Wirkmächtigkeit des experimentellen Eingriffs beschrieben (Kap. 4.1.2).

Nun ist auftretendes Nichtwissen hinsichtlich der Folgewirkungen eines Experiments zumindest potenziell auch ein Grund zur Besorgnis. Aber sollte daraus der Schluss gezogen werden, Experimente außerhalb des Labors ganz zu unterlassen? Ein Verzicht auf den Transfer vom Labor in die Wirklichkeit kann keine befriedigende Lösung sein. Denn dann dürften z. B. keine neuen Medikamente erforscht und zugelassen werden. Welche Hoffnungen mit Medikamenten verbunden sein können und unter welchem Druck zugleich Forschung und Entwicklung dabei ablaufen, haben im Sommer 2015 die großen Anstrengungen gezeigt, kurzfristig ein Ebola-Medikament bereitzustellen. Um Menschenleben zu retten, musste hier zwischen der langwierigen Absicherung von Wissen durch Laborexperimente, klinische Studien etc. und der kurzfristig lebensrettenden, aber riskanten Anwendung im Rahmen explorativer Experimente abgewogen werden.

Inspiziert von derartigen explorativen Experimenten wurde das Bild von der »Gesellschaft als Labor« gezeichnet (Dieter 1998; Krohn/Weyer 1989). Das veranlasste Ulrich Beck (1990), die Frage nach der Governance und Mitbestimmung zu stellen und mögliche politische Konsequenzen bezüglich der Freiheit der Forschung zu thematisieren. Wo Gesellschaft und Planet zum Labor werden, treten ethische Fragen nach Verantwortung und Vorsorge im Hinblick auf

^  
> 2 Zentrale Begriffe: Experiment, Überraschung und Nichtwissen  
v

mögliche soziale sowie Umwelteffekte auf. Zugleich fordern immer mehr gesellschaftliche Gruppen und einzelne Personen, an forschungs- und technologiepolitischen Entscheidungen beteiligt zu werden (Böschen/Wehling 2004).

---

### 2.2.3 Realexperimente

Wie bereits erwähnt, hat der Begriff des Experiments Ausweitungen erfahren. Beispielsweise können Technologieanwendungen im Bereich der Wirtschaft oder der Gesellschaft ebenfalls als Experimente im weiteren Sinn verstanden werden: Wissenschaftliche Erkenntnis hat immer wieder zu Technikentwicklungen und -anwendungen geführt, sei es in der Medizin (Hormonpräparate, Röntgenstrahlen; EEA 2001), der Chemie (enzymatische Waschmittel, PCB; EEA 2001), der Luftfahrttechnik (Triebwerke, Logistik; Krohn/Weyer 1989), der Landwirtschaft (Herbizide bzw. Pflanzenschutzmittel) oder in anderen Forschungsfeldern. Die Digitalisierung aller Lebensbereiche mit ihren Auswirkungen auf soziales Verhalten und den Effekten auf Privatsphäre, Freiheit und Kontrolle ist hierfür ebenfalls ein prominentes Beispiel. Diese Liste ließe sich weit fortsetzen. Es ist das Wesen solcher technologischen Neuerungen, dass sie zu Folgewirkungen in Wirtschaft und Gesellschaft führen, die bei Einführung der Neuerung unmöglich vollständig voraussagbar sind. Es besteht also eine Situation der Unsicherheit über die Folgen, und es kommt im weiteren Verlauf der Einführung zu neu auftretendem Nichtwissen und sogenannten Überraschungen (Kap. 2.3).

Die Idee des Experiments als Modus der kontrollierten Wissenserzeugung und -überprüfung ist in der westlich-modernen Kultur und Wissenschaft tief verwurzelt, es wird sogar der Wandel zu einer »experimentellen Gesellschaft« (Groß 2014, S. 165 ff.) propagiert, damit die gegenwärtigen Gesellschaften ihre zahlreichen Problemlagen bewältigen können. Bei allen Vorteilen, die experimentelles Handeln haben kann, sollte man aber dessen inhärente Grenzen und die dadurch aufgeworfenen erkenntnistheoretischen, politischen und normativen Probleme nicht aus den Augen verlieren (Sandkühler 2014c). Idealtypisch haben Experimente »die Funktion, durch gezielte Eingrenzung herrschender Randbedingungen auf eine überschaubare und kontrollierbare Anzahl und durch deren künstliche Variation die komplexe natürliche Situation zu vereinfachen und zu manipulieren. Dadurch sollen die funktionellen Verknüpfungen der Einzelfaktoren erkennbar, theoretisch erklärbar, praktisch nachvollziehbar und technisch nutzbar werden.« (Köchy 2008, S. 129) Schon im definierten Raum des Labors sind diese idealtypischen Eigenschaften oft nur eingeschränkt zu erreichen (Köchy 2008, S. 139 ff.), und dies gilt selbstverständlich in noch höherem Maße für Experimente in räumlich und zeitlich nicht eingrenzbaaren Wirkungshorizonten außerhalb des Labors. Besonders problematisch sind hier die



Annahmen der hinreichenden Kontrolle der Randbedingungen sowie der Erkennbarkeit und Beobachtbarkeit der wesentlichen Wirkungszusammenhänge.

Oft sind beispielsweise, lange nachdem Forschungsergebnisse in die Praxis umgesetzt worden sind, unerwünschte Neben- und Folgewirkungen aufgetreten. Solche negativen Folgen waren in der Regel im Nichtwissen verborgen, nicht intendiert und oft erst im Rückblick zu erkennen. Wichtige Beispiele können hier aus der synthetisch-organischen Chlorchemie angeführt werden, wie die unerwünschten Folgewirkungen von in die Umwelt eingetragenen DDT, FCKW oder PCB (für weitere Beispiele EEA 2001).

Daher kann eine derartige Situation als Experiment in weiterem Sinne aufgefasst werden, wobei nicht unbedingt ein Interesse an wissenschaftlichem Wissensgewinn besteht und dementsprechend in der Regel auch keine definierten Merkmale wie etwa bei Laborexperimenten (Kap. 2.2.1) vorherrschen. Derartige Experimente werden hier als Realexperimente bezeichnet. Nachfolgend wird deutlich, dass aus einer derartigen Perspektive auf die Einführung neuer Technologien auch für explorative Experimente Schlussfolgerungen gezogen werden können – z. B. im Hinblick darauf, wie mit dem auftretenden Nichtwissen umgegangen werden kann. Entsprechende Schlussfolgerungen werden z. B. im Rahmen des sozialwissenschaftlichen Ansatzes des rekursiven Lernens bei Realexperimenten formuliert (Kap. 4.2) und lassen sich grundsätzlich auf die im Rahmen dieses Hintergrundpapiers im Mittelpunkt stehenden (wissenschaftlichen) explorativen Experimente übertragen.

---

## 2.3 Begriffe des Nichtwissens

Seit den 1970er Jahren werden Unsicherheiten sowie mögliche negative Folgen der Einführung und Anwendung von Technologien im Rahmen von Risikodiskursen thematisiert. Der Soziologe Ulrich Beck (1986) prägte in diesem Zusammenhang den Begriff Risikogesellschaft. Der Begriff Risiko bzw. Unsicherheit wurde im Bereich der Ökonomie geprägt (Faber/Proops 1998; Knigt 1921). Er wurde von anderen Sozialwissenschaften erweitert, dann aber vor allem in der Soziologie zunehmend durch den Begriff Nichtwissen ersetzt, nicht zuletzt um Verwechslungen zwischen erweitertem und klassischem Risikobegriff zu vermeiden (Groß/Bleicher 2012). In diesem Hintergrundpapier wird entsprechend der Begriff Nichtwissen verwendet, der sich von den klassischen Risiko- und Unsicherheitsbegriffen unterscheidet bzw. diese ergänzt. Das ist notwendig, weil der klassische Risikobegriff eine Begrenztheit und Selektivität beinhaltet, die der komplexen Dynamik gesellschaftlich erzeugter Umweltgefährdungen sowie dem gesellschaftlichen Umgang mit dieser Herausforderung nicht in dem Maße gerecht wird, wie es der Begriff Nichtwissen erlaubt (Wehling 2011). Im Folgenden werden die Begriffe Überraschung, Risiko und Nichtwissen eingeführt und erläutert.

---

### 2.3.1 Überraschung

Wenn wir an zukünftige Ereignisse denken, z. B. in der Zukunft auftretende Folgen unseres Handelns, können wir dies ausschließlich ex ante tun, d. h., wir betrachten diese Ereignisse aus der Gegenwart heraus als in der Zukunft möglich oder unmöglich, wahrscheinlich oder unwahrscheinlich. Wir können diese zukünftigen Ereignisse jedoch nicht direkt erfahren. Es ist aber möglich, sich die Zukunft vorzustellen als in der Zukunft gegenwärtige Realisation bestimmter Ereignisse, deren Eintreten wir gegenwärtig erwarten. Erst wenn diese Zukunft wirklich eingetreten ist, können wir die dann tatsächlich eingetretenen Ereignisse mit denen vergleichen, deren Eintreten wir ex ante erwartet hatten.

Während im täglichen Leben viele Erwartungen an zukünftig eintretende Ereignisse erfüllt werden, können wir nicht davon ausgehen, dass die eintretendenzukünftigen Ereignisse vollständig unseren vorhergehenden Erwartungen entsprechen. Dies ist insbesondere in Situationen der Fall, die durch hohe Unsicherheit bezüglich der zukünftigen Ereignisse gekennzeichnet sind. Die Differenz zwischen ex ante erwarteten Ereignissen und ex post eingetretenen Ereignissen wird als Überraschung bezeichnet (Faber/Proops 1998, S. 112).

Überraschung ist eine alltägliche Erfahrung im Übergang von Zukunft und Gegenwart. Im Alltagsleben, in der Wissenschaft und auch beim Versuch, unsere soziale und natürliche Umwelt zu kontrollieren, werden wir immer wieder überrascht. Der mögliche Eintritt von Überraschungen spielt eine zentrale Rolle im Zusammenhang mit explorativen Experimenten, denn bei diesen geht es gerade darum zu erfahren, welche unter Umständen nicht vorhergesagten Folgen in der Zukunft eintreten werden.

---

### 2.3.2 Risiko und Unsicherheit

Der Begriff Risiko spielt in der Technikfolgenabschätzung und in vielen Verfahren der Gefährdungseinschätzung eine große Rolle, z. B. bei Zulassungsverfahren. Der Begriff ist vielschichtig. Oftmals wird er im Zusammenhang mit Gefährdungen verwendet. »Der Begriff der Gefahr ... beschreibt das Potenzial, Mensch und Umwelt zu gefährden, wohingegen Risiko die Wahrscheinlichkeit eines Schadens ausdrückt.« (Sellke/Renn 2011, S. 504) Risiko bezieht sich also auf ein meist als ungünstig bewertetes Ereignis, das mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eintritt. Zur numerischen Angabe des Risikos wird in der Regel das Ausmaß des (z. B. finanziellen) Schadens mit der Eintrittswahrscheinlichkeit multipliziert (Groß/Bleicher 2012).

Der klassische Risikobegriff wurde vom US-amerikanischen Wirtschaftswissenschaftler Frank Knight (1921) geprägt (Holton 2004; Wehling 2011), wobei Risiko von Unsicherheit unterschieden wird. Dabei bezeichnet Risiko eine Situation, in der die möglicherweise eintretenden Ereignisse bekannt sind und



auch deren Eintrittswahrscheinlichkeiten. Knight war der Meinung, dass sich Risiken objektiv bestimmen ließen, wohingegen Unsicherheit eher subjektiven Perspektiven zugeschrieben wurde, die eine objektive Kalkulierbarkeit erschweren. Zur Illustration der Unterscheidung wurde das Beispiel einer Box mit Kugeln zweier verschiedener Farben gewählt. Einer der Probanden wusste um das Verhältnis der Verteilung der Farben und konnte entsprechend ausrechnen, mit welcher Wahrscheinlichkeit beim Ziehen von Kugeln die eine oder andere Farbe erscheinen würde. Somit bestand für diesen Probanden eine Situation mit Risiko. Der andere Proband wusste nichts über die Verteilung und konnte in dieser Situation über die Wahrscheinlichkeiten lediglich spekulieren (Holton 2004, S. 19). Dies galt als Beispiel für Unsicherheit, die rational weniger gut zu bearbeiten war, denn über die Chance, eine bestimmte Farbe zu ziehen, konnte nur gemutmaßt werden. Hätte man den zweiten Probanden über die Verhältnisse aufgeklärt, hätte auch dieser die Wahrscheinlichkeit bzw. das Risiko rational berechnen können. Demnach verweist Risiko auf »outcomes that can be insured against, and ›uncertainty‹ to outcomes that cannot be insured against« (Brooke 2010, S. 222).

Die gewählte Versuchsanordnung ist jedoch eingeschränkt hinsichtlich der Modellierung einer (noch) stärkeren Form des Nichtwissens: Die vermeintlich nichtrationale Unsicherheit liegt hier innerhalb von kontrollierbaren Dimensionen, auch wenn die Situation gegenüber der Risikosituation unübersichtlicher ist. Denn der Proband wusste, dass es Kugeln in der Box gab und diese zwei unterschiedliche Farben aufwiesen. Der Grad des Nichtwissens wäre beispielsweise um ein Vielfaches höher gewesen, wenn es für den Probanden gar nicht klar gewesen wäre, ob sich überhaupt Kugeln in der Box befinden. In einem solchen Fall muss das Modell sinnvollerweise erweitert werden.

Zwei Gebiete, in denen Risikoanalysen gemacht werden, sollen illustrieren, wie Risiko in der Praxis bestimmt und wie es gehandhabt wird. In der Versicherungsmathematik berechnet sich das Risiko eines Schadensereignisses als Funktion der Eintrittswahrscheinlichkeit und der potenziellen Schadenshöhe. Das Risiko aus Sicht eines Versicherers kann also in zwei Situationen gleich hoch sein, in der einmal ein geringer Schaden häufig, d. h. mit hoher Eintrittswahrscheinlichkeit, vorkommt, oder ein andermal, wenn ein hoher Schaden nur selten eintritt. In der regulativen Toxikologie berechnet sich das Risiko für einen Schaden, der durch einen Gefahrstoff ausgelöst wird, als Funktion von einerseits der Gefährlichkeit bzw. Toxizität (allgemeiner des von ihm ausgehenden Gefährdungspotenzials) und andererseits der Exposition gegenüber diesem Stoff, d. h. dem Ausmaß, in dem Menschen dem gefährlichen Stoff voraussichtlich ausgesetzt sind. In beiden Beispielen impliziert die Verwendung des Risikobegriffs, dass die Risiken prinzipiell antizipierbar und auf einzelne Handlungen oder Entscheidungen zurückzuführen sind (Wehling 2011). Das Konzept »Risiko« geht also von der Möglichkeit aus, Gefahrenmomente über Wahrscheinlichkeitsbe-



## 2 Zentrale Begriffe: Experiment, Überraschung und Nichtwissen

rechnungen eingrenzen, einschätzen und taxieren zu können und so in gewisser Weise kontrollierbar zu machen. Die beiden Begriffe Risiko und Unsicherheit implizieren, dass sicheres Wissen grundsätzlich vorhanden oder herstellbar und damit für wissenschaftliche Rationalität zugänglich ist. In dieser Lesart kann es in einer spezifischen Situation zwar durchaus vorkommen, dass dieses potenziell herstellbare Wissen noch nicht vorhanden ist, also Nichtwissen vorliegt – dieses lässt sich aber prinzipiell in sicheres Wissen umwandeln.

Eine solche Sichtweise auf Nichtwissen wird analog den genannten Beispielen auch auf den Umgang mit Risiken im Hinblick auf komplexe, beispielsweise ökologische Systeme übertragen. Dies ist als problematisch anzusehen, da der klassische Risikobegriff bei komplexen Fragestellungen, wie beispielsweise wissenschaftlichen explorativen Experimenten, an Grenzen stößt.<sup>1</sup> Denn viele Einflussfaktoren und mögliche Folgewirkungen eines solchen Experiments sind vor seiner Durchführung unbekannt, und weder alle möglichen Ausprägungen noch deren Wahrscheinlichkeiten lassen sich vorab systematisch einschätzen.

Ortwin Renn (2007, S. 11) hat daher den hier zugespitzt skizzierten Risikobegriff erweitert und definiert Risiko als die »unsichere(n) Folge(n) einer Handlung oder eines Ereignisses auf einer Dimension, die Menschen wertschätzen«. Damit sollen verschiedene Zuschreibungen (z. B. positive wie negative Folgen) und unterschiedliche disziplinäre Erwartungen erfasst werden (Renn 2007, S. 11). Diese Definition macht den Begriff allerdings so vage, dass er nur noch schwer zu operationalisieren ist. Zugleich lässt sich nicht verhindern, dass der erweiterte Begriff mit dem klassischen Risikobegriff vermischt wird.

Um dies zu vermeiden, bietet sich als alternativer und allgemeinerer Begriff der Begriff Nichtwissen an. Im Folgenden wird untersucht, wie der Begriff Nichtwissen neue Zugänge zur Problematik der wissenschaftlichen Wissensgenerierung erlaubt. Und es wird gezeigt werden, dass Nichtwissen ein unvermeidlicher Begleiter von explorativen Experimenten ist und bei der Generierung von neuem (wissenschaftlichen) Wissen immer miterzeugt wird.

---

1 Dementsprechend ist von verschiedener Seite versucht worden, den Risikobegriff zu erweitern. Der Wissenschaftliche Beirat Globale Umweltveränderungen (WBGU 1999) hat beispielsweise Risikotypen vorgeschlagen. Diese Nachjustierung erlaubt es aus Sicht des WBGU, soziopolitische Aspekte, wie das gesellschaftliche Mobilisierungspotenzial, aber auch die Reflexivität stärker zu berücksichtigen, indem beispielsweise die Abschätzungssicherheit von Eintrittswahrscheinlichkeiten thematisiert wird. Mit den Risikotypen sollen Herausforderungen über die Gefahren und Folgen von komplexen Phänomenen besser einzuschätzen sein. Dazu zählen beispielsweise der sich aufschaukelnde Treibhauseffekt, die Instabilität west-antarktischer Eisschilde, die Freisetzung und das Inverkehrbringen transgener Pflanzen und weitere Anwendungen der Gentechnologie und schließlich Infektionen von BSE bzw. Creutzfeldt-Jakob-Krankheit.



---

### 2.3.3 Formen des Nichtwissens und die Koproduktion von Wissen und Nichtwissen<sup>2</sup>

Wissenschaftliche Forschung bringt immer mehr neues Wissen und oft auch neue technologische Anwendungsperspektiven hervor. Doch zugleich entstehen damit nicht nur Chancen, sondern auch Gefahren und Ungewissheiten. Mit jeder wissenschaftlichen Erkenntnis und jeder technologischen Neuerung ergeben sich neue Fragen. Neben einer Vermehrung des Wissens wird durch die Wissenschaft also gleichzeitig auch neues Nichtwissen produziert. Dieser (nur) auf den ersten Blick paradox erscheinende Zusammenhang wird in jüngerer Zeit gesellschaftlich, politisch und auch wissenschaftlich zunehmend klarer und differenzierter wahrgenommen.<sup>3</sup> Gravierende Beispielfälle, vor allem die Schädigung der stratosphärischen Ozonschicht durch FCKW sowie der Contergan-Skandal der 1950er und 1960er Jahre, bei denen wissenschaftliches Nichtwissen und seine negativen Konsequenzen erst spät und letztlich zu spät aufgedeckt wurden, haben in den letzten Jahrzehnten wesentlich zu dieser veränderten Wahrnehmung beigetragen (für weitere Beispiele EEA 2001). Hierbei ist anzumerken, dass über den allgemeinen Zusammenhang hinaus durch besonders eingriffstiefe Experimente (Kap. 4.1.2) die Koproduktion von Nichtwissen im Vergleich zu weniger eingriffstiefen Experimenten verstärkt wird.

Dabei ist deutlich geworden, dass wissenschaftliches Nichtwissen nicht nur und nicht primär als spezifiziertes Nichtwissen (Merton 1987) relevant wird, d. h. als identifizierte Wissenslücken, die Anlass zu weiterer Forschung geben. Neben solchen »known unknowns« spielt Nichtwissen in wesentlich komplexeren, spekulativeren Formen eine große Rolle: Zentral sind etwa das unbekannte Nichtwissen (»unknown unknowns«) sowie das Nichtwissbare (»unknowables«). Ein Beispiel für das Nichtwissbare bietet der Umstand, dass wir die möglichen Umweltwirkungen und Wechselwirkungen aller bisher in die Umwelt freigesetzten Chemikalien niemals vollständig werden kennen können, u. a., weil entsprechende Analyseprogramme mit der wachsenden Zahl von Substanzen bei Weitem nicht Schritt halten können (Müller-Herold/Scheringer 1999).

Das nach wie vor wohl prominenteste Beispiel für zunächst unbekanntes Nichtwissen (»unknown unknowns«) stellt das durch FCKW ausgelöste Ozonloch dar.<sup>4</sup> Als FCKW um 1930 industriell hergestellt und eingesetzt wurden, konnte weder die Wissenschaft noch die Öffentlichkeit ahnen, dass sie nicht wussten, welche fatalen Wirkungen diese Stoffe in der Stratosphäre haben wür-

---

2 Dieses Kapitel basiert weitgehend auf Wehling 2015a.

3 Vgl. u. a. Böschen/Wehling 2012; von Detten et al. 2013; Groß 2010 und 2014; Ibisch 2012; Uekötter/Lübken 2014; Wehling 2006 und 2011; sowie für frühere Thematisierungen Luhmann 1992; Ravetz 1986 und 1990; Wynne 1992.

4 Vgl. zu den Begriffen Nichtwissbares und unbekanntes Nichtwissen sowie zu den wichtigsten Unterscheidungsdimensionen von Nichtwissen Wehling 2006, S. 116 ff.



## 2 Zentrale Begriffe: Experiment, Überraschung und Nichtwissen

den. Die Erdatmosphäre als möglicher Wirkungsraum dieser chemischen Stoffe lag außerhalb des damaligen Wahrnehmungshorizonts der Wissenschaft (Böschen 2000; Farman 2001). Es dauerte rund 45 Jahre, bis Veränderungen der Ozonschicht überhaupt registriert wurden – und erst dann konnte eine entsprechende Wirkungshypothese formuliert werden. Besonders tragisch ist bei diesem Beispiel, dass gerade eine zunächst besonders positiv bewertete Eigenschaft der FCKW, ihre Stabilität unter normalen Bedingungen, zu ihrem Gefährdungspotenzial in der oberen Atmosphäre beitrug (Schiller 2002, S. 62 f.). Der empirische Nachweis der Ozonschädigung wurde nochmals 10 Jahre später, nämlich erst um die Mitte der 1980er Jahre, erbracht.

Der Fall illustriert, dass nicht lediglich einzelne Wirkungszusammenhänge, sondern auch der räumliche Bereich und der Zeithorizont, in dem Wirkungen eintreten (oder eintreten könnten), vorab unbekannt sind und deshalb Folgewirkungen zumindest zum Teil unbeobachtet bleiben (Faber/Proops 1998). Für eine umfassende Abschätzung der Gefährdungspotenziale müssten u. a. alle möglichen und (scheinbar unmöglichen) Ausbreitungswege und Wirkungshorizonte berücksichtigt werden. Das aber überfordert jede noch so aufwendige wissenschaftliche Risikoanalyse.<sup>5</sup> Daher ist auch bei den hier wichtigen Situationen eines explorativen Experiments zwangsläufig mit dem Auftreten von unbekanntem Nichtwissen und Nichtwissbarem zu rechnen.

Wie lassen sich die Mechanismen und Zusammenhänge einer Koproduktion von Wissen und Nichtwissen durch die Wissenschaft genauer erfassen und beschreiben? Vier miteinander in Wechselwirkungen stehende Faktoren sind dafür wesentlich: Selektivität der wissenschaftlichen Vorgehensweise, Dekontextualisierung, neue Kristallisationspunkte von Nichtwissen durch die Kreation wissenschaftlicher Objekte und Zwänge der Forschungspraxis (Wehling 2006 u. 2015b).

### **Selektivität der wissenschaftlichen Vorgehensweise**

Die in der Wissenschaft verwendeten Theorien, Denkmodelle, Methodologien, Metaphoriken und Semantiken strukturieren den Aufmerksamkeitshorizont der Forschung. Dadurch beschreiben sie die Erkenntnisgegenstände in einer spezifischen Weise und blenden alles, was nicht in diesen Horizont passt, notwendigerweise aus. Es bleibt daher unbeobachtet. Es handelt sich hierbei nicht um schlichtes Übersehen eigentlich sichtbarer Phänomene, vielmehr geht es um die jeweils spezifische theoretische Konstitution und Modellierung von epistemi-

---

<sup>5</sup> Dennoch hätte man beim Beispiel der FCKW durch eine Technikcharakterisierung schon frühzeitig zumindest Gründe der Besorgnis identifizieren können (Kap. 4.1.2).



schen Objekten<sup>6</sup>, wodurch andere Wege und Möglichkeiten der Erkenntnis eingengt, verdeckt oder ausgeschlossen werden (Kay 2001). Verschärfend tritt hinzu, was schon Ludwik Fleck (1993, S. 40) in den 1930er Jahren als die Beharrungstendenz etablierter Wissenssysteme bezeichnet hat. Er verstand darunter keineswegs eine nur passive Trägheit, sondern ein durchaus aktives Element, das darauf hinausläuft, unpassende Phänomene entweder nicht wahrzunehmen oder in einer Weise umzuinterpretieren, dass sie in das existierende Wissensgebäude integriert werden können. Ein markantes Beispiel ist die Entdeckung der Vererbungslehre durch Mendel, die zu seinen Lebzeiten nicht wahrgenommen wurde, weil sie sich nicht in die herrschenden Denkgebäude integrieren ließ (Howarth 2000). Auch bei der Entdeckung des Ozonlochs glaubten Wissenschaftler den empirischen Daten zunächst nicht und vermuteten im Gegenteil Fehler im Messverfahren.

### **Dekontextualisierung**

Die Dekontextualisierung (Bonß et al. 1993) oder Rekonfiguration (Knorr-Cetina 1995) der Forschungsgegenstände bei ihrem Eintritt in den experimentellen Laborkontext ist ein zweiter Faktor, der wesentlich zur Koproduktion von Wissen und Nichtwissen durch die Forschung selbst beiträgt. Damit ist gemeint, dass zur wissenschaftlichen Untersuchung ein Objekt aus seinem konkreten, singulären Situationszusammenhang herauspräpariert wird und definierte Rand- und Anfangsbedingungen geschaffen werden (Bonß et al. 1993, S. 181). Bei einem Laborexperiment wird dies beispielsweise mittels eines Versuchsaufbaus erreicht, durch den die Einflussfaktoren stark reduziert und definierte Rand- und Anfangsbedingungen geschaffen werden.

Dies wirft die Frage auf, inwieweit das an derartig manipulierten und kontrollierten Laborartefakten gewonnene Wissen auf Phänomene übertragbar ist, die sich in variablen, wenig kontrollierbaren und in ihrer Dynamik allenfalls begrenzt vorhersehbaren Wirkungszusammenhängen außerhalb des Labors befinden (von Gleich 1989, Köchy/Schiemann 2006; Tetens 2006). Muss man unter diesen Umständen nicht geradezu mit unerwarteten und möglicherweise auch schwer zu entdeckenden Effekten rechnen? Der Philosoph und Wissenschaftstheoretiker Holm Tetens bezeichnet das Labor vor diesem Hintergrund jedenfalls als Grenze der exakten Naturforschung und vermutet, dass gerade aufgrund der erfolgreichen Wissensgenerierung der experimentellen Laborwis-

---

6 Als epistemische Objekte bezeichnet man die Gegenstände wissenschaftlicher Forschung. Darauf richten sich wissens- und erkenntnisorientierte Aufmerksamkeit und Neugierde. Das können beispielsweise Elementarteilchen, Gene, Viren, mathematischen Knoten, Galaxien etc. sein. Über diese Objekte selbst bzw. ihre Rolle in unserem Welt- und Selbstverständnis möchte die Wissenschaft Näheres erfahren. Dabei spielen auch Fragen nach den Möglichkeiten und Grenzen des Wissens und Erkennens eine Rolle (Abel 2008; Rheinberger 1999).

^  
> 2 Zentrale Begriffe: Experiment, Überraschung und Nichtwissen  
v

senschaften »die Wissenslücken der Wissenschaften für Dinge außerhalb der Labore« sprunghaft zunehmen (Tetens 2006, S. 44).

### **Nichtwissen im Zusammenhang mit den Produkten der Forschung**

Durch Produkte von Wissenschaft und Technik, z. B. Nanopartikel oder synthetische Chemikalien, entstehen häufig gänzlich unerwartete und über lange Zeit nicht beobachtete neuartige Wirkungshorizonte und -zusammenhänge. Im Rahmen von experimenteller Laborforschung entwickelte Produkte können durch ihre spezifischen Eigenschaften dazu beitragen, weitreichendes zusätzliches Nichtwissen über mögliche Folgen bei ihrem technischen Einsatz zu erzeugen. Als Beispiel können wiederum die FCKW angeführt werden, deren Eigenschaften die obere Erdatmosphäre zu einem Wirkungsraum menschlichen, wissenschaftlich-technischen Handelns werden ließ, ohne dass dies zuvor auch nur annäherungsweise wissenschaftlich vorhergesehen worden wäre.

Hier wird ein grundsätzliches Problem deutlich, das sich auch in anderen Bereichen zeigt: Wie sich beispielsweise eine im Labor gentechnisch modifizierte Pflanze unter tatsächlichen, hochgradig variablen Umweltbedingungen verhält, wird man letztlich nur erfahren können, wenn man sie freisetzt. Man wird dabei im Voraus allerdings nicht oder nur begrenzt antizipieren können, wann, wo und in welcher Form sich mögliche Folgen der Freisetzung zeigen könnten.

Wie der FCKW-Fall verdeutlicht, können unerwartete Effekte sich unter Umständen sogar über längere Zeiträume hinweg der Beobachtung entziehen. Neben das im engeren Sinne kognitive Problem der begrenzten Antizipierbarkeit von räumlichen, zeitlichen und umweltmedialen Wirkungshorizonten treten überdies forschungspragmatisch begründete Einschränkungen des Beobachtens. Denn schon aus finanziellen Gründen (z. B. Kosten für Forschungsschiffe oder Messstationen) kann man nicht überall und nicht zeitlich unbegrenzt beobachten, weiß aber im Vorhinein nicht, wo, wann und wie lange man beobachten müsste, um die Effekte eines Umwelteingriffs erkennen zu können. Es kann daher nicht ausgeschlossen werden, dass eine Beobachtung zu früh abgebrochen wird oder gleichsam an der falschen Stelle nach Folgen gesucht wird.

Es wäre allerdings höchst einseitig, würde man solche unerwarteten Wirkungszusammenhänge ausschließlich in der natürlichen Umwelt verorten. Die Freisetzung von Forschung und Technikentwicklung kann vielmehr auch in sozialen und politischen Zusammenhängen erhebliche und kaum beherrschbare Effekte auslösen. Szerszynski et al. (2013) argumentieren beispielsweise, dass so weitreichende Technologien wie die technische Manipulation der Sonneneinstrahlung (Solar Radiation Management; Kasten Kap. 8.2) demokratische Institutionen vor enorme Herausforderungen stellen und eine Dynamik in Gang



setzen könnte, die zentralisierte, demokratisch nur schwach kontrollierte Entscheidungs- und Steuerungsinstanzen hervorbringen würde.

### **Zwänge der Forschungspraxis**

Chancen auf Drittmittel, gute Publikationsmöglichkeiten und schnelle, planbare akademische Karrieren hängen oft davon ab, welche Forschungsfragen die Wissenschaft aufgreift und wie diese priorisiert werden. Es wird bevorzugt untersucht, was mit den gängigen theoretischen Zugängen und methodischen Verfahren gut zu erforschen ist, nicht zuletzt auch, weil dies für einzelne Wissenschaftlerinnen bessere Karrierechancen verspricht (Sandkühler 2014c, S. 147 f.). Fragestellungen, deren Bearbeitung unorthodoxe, besonders aufwendige und möglicherweise umstrittene, riskante Methoden erfordert, stoßen demgegenüber auf deutlich weniger innerwissenschaftliche Aufmerksamkeit. Dies trägt zur Zunahme von blinden Flecken (»undone science«; Frickel et al. 2010) bei, also von Forschung, die unerledigt bleibt (Baralt 2015).

Zusammenfassend lässt sich festhalten: Aufgrund dieser Faktoren und ihrer Wechselwirkungen wird in der wissenschaftlichen Forschung und ihrer technologischen Umsetzung mit dem Wissen gleichzeitig auch Nichtwissen produziert. Dies geschieht zumeist, ohne dass es explizit beabsichtigt oder den Beteiligten auch nur bewusst ist. Dazu kommt, dass Laborforschung, die systematisch auf der mehr oder weniger umfassenden Ausblendung der spezifischen Kontexte der realen Bedingungen beruht, nur höchst begrenzt in der Lage ist, potenzielle Wirkungen ihrer Forschungsobjekte außerhalb des Labors zu erfassen und vorherzusehen.

---

## **2.4 Bewertung von Nichtwissen**

---

### **2.4.1 Divergierende gesellschaftliche Bewertungen von Nichtwissen**

Neben der Produktion von (Nicht-)Wissen muss die Problematik der unterschiedlichen, nicht selten miteinander in Konflikt stehenden, gesellschaftlichen Wahrnehmungen und Bewertungen von (wissenschaftlichem) Nichtwissen als eine weitere Differenzierung eingeführt und erläutert werden. Den Grund hierfür bildet der Umstand, dass Nichtwissen kein gegebenes Objekt darstellt, das gestützt auf Daten und Fakten eindeutig und objektiv zu beschreiben wäre. Nichtwissen lässt sich über Methoden der Verifikation oder Falsifikation nicht absichern. Nichtwissen ist vielmehr ein Konstrukt, in das begründete Vermutungen über das Unbekannte, Befürchtungen, Hoffnungen oder auch Analogieschlüsse einfließen können. Das macht das Konstrukt Nichtwissen diskutierbar und angreifbar.

^  
> 2 Zentrale Begriffe: Experiment, Überraschung und Nichtwissen  
v

Dabei sind Ausmaß, Gründe, Relevanz und mögliche Konsequenzen von Nichtwissen häufig stärker umstritten, als dies bei Wissen bzw. Wissensansprüchen der Fall ist. Um dennoch produktiv mit Nichtwissen umzugehen und besser zu verstehen, wie Nichtwissen unterschiedlich und teilweise gegensätzlich wahrgenommen werden kann, bieten folgende drei Unterscheidungsdimensionen wichtige Anhaltspunkte (Wehling 2006, S. 106 ff.):

- > das Wissen um Nichtwissen,
- > die Intentionalität des Nichtwissens sowie
- > die Zeitlichkeit des Nichtwissens.

Die Orientierung an diesen Unterscheidungsdimensionen hat den Vorteil, nicht nur vermeintlich klar abgegrenzte Idealtypen (z. B. gewusstes oder nicht gewusstes Nichtwissen), sondern auch Abstufungen und Zwischenformen erfassen und auf diese Weise den fließenden, unscharfen Wahrnehmungen und Definitionen des Nichtgewussten Rechnung tragen zu können.

### **Wissen um Nichtwissen**

Nichtwissen kann danach unterschieden werden, was und wie viel wir über unser Nichtwissen wissen oder zu wissen glauben: Man kann in bestimmten Situationen recht genau wissen, was man nicht weiß (z. B. den Ort eines Treffens mit Freunden). Man kann aber auch völlig ahnungslos hinsichtlich der eigenen Wissenslücken und blinden Flecken sein: Man weiß dann weder, was man nicht weiß, noch, dass man etwas nicht weiß. Zwischen diesen beiden Idealtypen eröffnet sich ein weites Spektrum von Zwischen- und Übergangsformen wie nur teilweise erkannte Wissenslücken oder bloß geahntes Nichtwissen. In zahlreichen Umwelt- oder Technologiekonflikten sind hinsichtlich dieser Dimension der Wahrnehmung von Nichtwissen starke Polarisierungen zwischen Kritikern und Befürwortern des konflikträchtigen Vorhabens zu beobachten: Hat man es beispielsweise bei Forschungen zur Erdgasförderung mittels Fracking oder bei Versuchen zur Eisendüngung von Meeren mit begrenzten, bereits erkannten und durch weitere Forschung rasch zu schließenden Wissenslücken zu tun? Oder muss man, wenn man beispielsweise explorative Experimente ausführt, auch mit nichtgewusstem Nichtwissen (»unknown unknowns«) rechnen, d. h. mit (ggf. schädlichen) Konsequenzen, deren Möglichkeit, Gestalt und Ausmaß wir heute noch nicht einmal erahnen können?

### **Intentionalität des Nichtwissens**

Nichtwissen kann auch danach differenziert werden, ob und bis zu welchem Grad es dem Handeln oder Unterlassen von Handlungen sozialer Akteure zugerechnet werden kann: Waren beispielsweise die fatalen Nebenwirkungen von Asbest nach bestem Wissen und Gewissen nicht vorhersehbar und insofern un-



vermeidbar? Oder hätte man sie mit intensiverer Forschung nicht doch antizipieren oder zumindest warnende Hinweise gewinnen können, ja gar müssen? (EEA 2001, S. 52 ff.; Kirk 1999) Idealtypisch kann hier zwischen gänzlich unbeabsichtigter, auch bei Ausschöpfen aller Erkenntnismöglichkeiten nicht vermeidbarer Unkenntnis möglicher Handlungskonsequenzen einerseits und dem vollkommen bewussten Verzicht auf bestimmte Wissensmöglichkeiten (im Sinne eines expliziten Nicht-wissen-Wollens) andererseits unterschieden werden. Die Bereitschaft, dem Nichtwissen zu begegnen, ist gleichwohl nicht auf eine ausdrückliche und willentliche Absicht beschränkt, dieses zu tun oder jenes zu unterlassen, sondern umfasst auch Aspekte wie Desinteresse, mangelnde Aufmerksamkeit, unzureichende Routinen oder vorschnell abgebrochene Erkenntnisbemühungen (hierzu auch Heidbrink 2013). Daher ist damit zu rechnen, dass die Frage, ob und inwieweit sozialen Akteuren die Verantwortung für mangelndes Wissen und unzureichende Folgenantizipation berechtigterweise zugewiesen werden kann, immer wieder Anlass zu Konflikten geben wird. Falls etwa ein Experiment des Climate Engineering unerwartete und unerwünschte Effekte haben sollte, werden vermutlich schnell Kontroversen darüber aufkommen, ob diese wirklich unvorhersehbar waren oder ob man sie den Initiatoren des Experiments rechtlich oder politisch zurechnen kann.

### **Zeitlichkeit des Nichtwissens**

Eine weitere Unterscheidungsmöglichkeit ist, ob und in welchen Zeiträumen und mit welchem Aufwand Nichtwissen (mutmaßlich) in mehr oder weniger verlässliches Wissen verwandelt werden kann. Zwischen den beiden Idealtypen, einem nur vorläufigen, temporären Noch-nicht-Wissen einerseits und einem prinzipiell unüberwindlichen, also zeitlich stabilen und dauerhaften Nicht-wissen-Können andererseits, existiert wiederum eine Vielzahl von Zwischenformen und Abstufungen, z. B. lange anhaltendes, aber nicht grundsätzlich unauflösbares Nichtwissen. Große Teile moderner Gesellschaften gehen von der Überwindbarkeit jeglichen Nichtwissens durch gezielte, methodisch kontrollierte Forschung aus, sodass die dominierende Wahrnehmung des Nichtwissens die des Noch-nicht-Wissens ist. Demgegenüber können Behauptungen einer grundsätzlichen Nichtwissbarkeit zunächst befremdlich und irrational wirken. Es lassen sich jedoch durchaus begründete Beispiele des Nicht-wissen-Könnens nennen, etwa die Unmöglichkeit, sämtliche denkbaren Wirkungen und Wechselwirkungen der bisher rund 100.000 industriell hergestellten und genutzten chemischen Substanzen zu untersuchen. Im Hinblick auf explorative Großexperimente ist auch in dieser Unterscheidungsdimension des Nichtwissens mit erheblichen Konflikten darüber zu rechnen, was man überhaupt wissen kann, in welchen Zeiträumen und mit welchem Aufwand man etwas wissen und beobachten kann und ob dies dann noch rechtzeitig sein könnte, um Entscheidun-

- ^  
> 2 Zentrale Begriffe: Experiment, Überraschung und Nichtwissen  
v

gen zu revidieren und das Eintreten schwerwiegender und möglicherweise irreversibler Konsequenzen zu verhindern.

---

#### 2.4.2 Wissens- und Nichtwissenskulturen in den Wissenschaften

Unterschiede in der Wahrnehmung und Bewertung des Nichtgewussten manifestieren sich nicht nur zwischen der Wissenschaft und (Teilen) der gesellschaftlichen Öffentlichkeit, sondern auch zwischen unterschiedlichen Disziplinen und Wissenskulturen innerhalb der Wissenschaft (zu Wissenskulturen Knorr-Cetina 2002; Sandkühler 2014a). Diese Kulturen unterscheiden sich nicht nur darin, wie sie Wissen erzeugen und bewerten, sondern ebenso darin, wie sie Nichtwissen wahrnehmen und damit umgehen. Wissenskulturen sind somit gleichzeitig auch Nichtwissenskulturen. Das heißt, jede dieser Kulturen umfasst spezifische Formen und Praktiken der Erzeugung, Definition, Bewertung, Bearbeitung und Kommunikation von Nichtwissen.<sup>7</sup>

In empirischen Untersuchungen zu den Risiko- und Nichtwissensdebatten über Mobilfunk und Grüne Gentechnik lassen sich drei (Ideal-)Typen wissenschaftlicher (Nicht-)Wissenskulturen identifizieren, die sich in ihrer Wahrnehmung und ihrem Umgang mit dem Nichtgewussten teilweise signifikant unterscheiden (Böschen et al. 2006 u. 2010; Kastenhofer 2015):

- > die kontrollorientierte,
- > die komplexitätsorientierte sowie
- > die einzelfall- oder erfahrungsorientierte (Nicht-)Wissenskultur.

Eine *kontrollorientierte* (Nicht-)Wissenskultur, wie sie etwa für die Molekularbiologie charakteristisch ist, tendiert dazu, hinter unerwarteten Laborergebnissen vor allem eine unzureichende Beherrschung des experimentellen Ablaufs zu sehen und die Rahmenbedingungen so lange zu variieren, bis sich Ergebnisse so interpretieren lassen, dass sie etablierte Ansichten bestätigen, ohne die Gründe für die vorangegangenen Überraschungen genauer zu untersuchen (Knorr-Cetina 2002). In Anbetracht der zuvor skizzierten selektierenden Denkstile (Kap. 2.3.3) stellt sich die Frage, ob Überraschungen innerhalb einer solchen Kultur überhaupt angemessen untersucht werden könnten.

Eine *komplexitätsorientierte* (Nicht-)Wissenskultur, wie etwa in der Ökologie vorherrschend, begreift unerwartete Beobachtungen und Ereignisse in der Regel als Ausdruck des eigenen, notwendigerweise begrenzten theoretischen Verständnisses der Forschungsgegenstände und rechnet daher stets mit Effekten jenseits des eigenen Wahrnehmungshorizonts. Forschende, die von dieser Denkweise geprägt sind, werden deshalb eher dazu neigen, theoretische oder

---

<sup>7</sup> Dazu sowie zum Konzept der Nichtwissenskulturen ausführlicher: Böschen et al. 2006 u. 2010; Kastenhofer 2015; Wehling 2012a u. 2015b.



methodische Grundsätze infrage zu stellen, statt die Versuchsanordnung so lange zu verändern, bis die theoretischen Vorannahmen bestätigt werden.

Eine *einzelfallorientierte* (Nicht-)Wissenskultur, wie sie z. B. in der praktischen Medizin weit verbreitet ist, hat es definitionsgemäß mit singulären Fällen zu tun und rechnet Überraschungen primär den unvorhersehbaren und durch spezifische Methoden zu erschließenden Besonderheiten des jeweiligen Falls zu.

Angesichts der Pluralität von wissenschaftlichen (Nicht-)Wissenskulturen sind zwei Schlussfolgerungen entscheidend:

Erstens lassen sich die verschiedenen Nichtwissenskulturen nicht generell und von vornherein im Sinne eines richtigen oder falschen, eines besseren oder schlechteren Umgangs mit dem Nichtgewussten hierarchisieren. Ausdrücklich anzuerkennen ist stattdessen sowohl die prinzipielle Gleichrangigkeit und Legitimität unterschiedlicher Nichtwissenskulturen als auch deren Eigenständigkeit und Fähigkeit, jeweils eigene fruchtbare Erkenntnisse zu produzieren und Diskussionen damit zu bereichern. Die Pluralität von Wissenskulturen, so formuliert Hans-Jörg Sandkühler (2014b, S. 60), »entspricht der Absage an Hegemonieansprüche allein einer epistemischen Kultur«. <sup>8</sup> Bisher sind solche Hegemonieansprüche in westlich-modernen Gesellschaften in erster Linie von kontrollorientierten (Nicht-)Wissenskulturen erhoben worden, die allein ihren spezifischen Umgang mit Nichtwissen und dessen Deutung als Noch-nicht-Wissen als rational auszuzeichnen versuchten. Gleichzeitig werden argumentative Hinweise auf unbekanntes Nichtwissen oder Nichtwissbares immer wieder als rein spekulativ und irrational abgewertet.

Fälle wie die FCKW-Problematik lassen jedoch keinen Zweifel, dass die Annahme höchst fragwürdig ist, wonach jenseits der bekannten und vermeintlich nur vorläufigen Wissenslücken der Wissenschaft keine relevanten Dimensionen des Nichtgewussten existieren. So war 1974 die Frage, welche Wirkungen FCKW in der Stratosphäre haben könnten, gar nicht als zu erforschende Wissenslücke präsent. Wer in dieser Zeit auf die Möglichkeit unerkannten Nichtwissens jenseits des bekannten Wissens verwiesen hätte, wäre vermutlich nicht ernst genommen worden (Farman 2001). Dass man die Wirkungen von FCKW in der Stratosphäre später empirisch beobachten und theoretisch erklären konnte, heißt nicht unbedingt, dass dies auch in allen möglichen künftigen Fällen gelingen wird und muss. So hängt es gleichermaßen vom jeweils gegebenen situativen Kontext und dessen gesellschaftlicher Deutung als auch von den vorrangig verfolgten Zielen ab, welche der unterschiedlichen (Nicht-)Wissenskulturen die angemessenere Wahrnehmung von Phänomenen bietet, um das

---

<sup>8</sup> Mit epistemischen Kulturen sind hier erkenntnistheoretische Prinzipien gemeint, die die Grundlage unterschiedlicher wissenschaftlicher Disziplinen bilden, sowie die Art und Weise, wie diese in der wissenschaftlichen Praxis umgesetzt werden.

^  
> 2 Zentrale Begriffe: Experiment, Überraschung und Nichtwissen  
v

Nichtgewusste und seine Relevanz zu bewerten und tragfähige Strategien für den Umgang damit zu entwickeln.

Zweitens greifen gesellschaftliche Akteure in Auseinandersetzungen um verschiedenartige wissenschaftliche Forschung, explorative Experimente oder technologische Entwicklungen argumentativ häufig auf Elemente jeweils unterschiedlicher wissenschaftlicher (Nicht-)Wissenskulturen zurück. Dabei lassen sich typische Muster erkennen, insofern technologiekritische Gruppierungen eher die Sichtweisen komplexitäts- oder einzelfallorientierter Nichtwissenskulturen aufgreifen, während wirtschaftliche Akteure, aber auch politische und wissenschaftliche Institutionen dazu neigen, sich die Prämissen und Perspektiven kontrollorientierter epistemischer Kulturen zu eigen zu machen. Es wäre jedoch verkehrt, ausschließlich die Sichtweise der etablierten wirtschaftlichen und politischen Akteure als wissenschaftlich fundiert zu charakterisieren und diejenigen zivilgesellschaftlichen Organisationen und Protestbewegungen von vornherein als unwissenschaftlich, ideologisch und rein strategisch motiviert abzuwerten. Alle diese Akteursgruppen beziehen und stützen sich auf (wenngleich unterschiedliche) wissenschaftliche Wissenskulturen, von denen keine beanspruchen kann, die einzig rationale Wahrnehmung des Nichtgewussten und den einzig richtigen Umgang mit ihm zu repräsentieren.

---

### 2.4.3 Nichtwissen in gesellschaftspolitischen Arenen

Gesellschaftliche Auseinandersetzungen und Konflikte um explorative Experimente oder neue Technologien münden in einer wachsenden Zahl von Fällen in Diskussionsprozesse, in denen Nichtwissen aus unterschiedlichen Perspektiven betrachtet (Pluralisierung) und häufig auch politisch kontrovers diskutiert wird (Wehling 2007a). Die Thematisierung und Akzentuierung von Nichtwissen kann dabei – nicht anders als die Kommunikation von tatsächlich oder vermeintlich sicherem Wissen – auch in politischen Auseinandersetzungen strategisch eingesetzt werden (Oreskes/Conway 2012).

Die Pluralisierung des Nichtwissens in gesellschaftlichen Diskussionsprozessen zeigt sich beispielsweise in einer großen Bandbreite von sprachlichen Varianten, in denen Nichtwissen benannt, klassifiziert, implizit oder explizit bewertet und in politische Arenen eingebracht wird (Wehling 2012a). Janich und Simmerling (2013, S. 76) zählen in diesem Kontext unterschiedliche Sprachformen auf, die beispielsweise

- > ausdrücken, dass mehr Wissen notwendig ist (Modalverben, Modalwörter, Konjunktiv etc.),
- > auf ein Noch-nicht-Wissen hinweisen – das kann rückblickend (z. B. im Sinne von noch nicht erforscht) oder vorausweisend (z. B. im Sinne von noch zu erforschen) geschehen,

## 2.4 Bewertung von Nichtwissen



- › sich auf geplante Forschung und damit ein Noch-nicht-Wissen beziehen (Verben wie planen, beabsichtigen, prüfen. Substantive wie Ziel, Aufgabe, Desiderat; ggf. Metaphern, Analogien etc.) oder
- › die Erkenntnisprozesse beschreiben oder bewerten (Verben wie fragen, vermuten, ahnen, spekulieren; zudem eventuell Metaphern, Analogien etc.).

Ihre gesellschaftliche Brisanz gewinnen die Pluralisierung und Politisierung der Wahrnehmung und Bewertungen von Nichtwissen auch daraus, dass die Wissenschaften nicht (mehr) in der Lage sind, entsprechende Deutungskonflikte mit der Autorität überlegenen Wissens zu beenden und Diskussionen abzuschließen: Denn anders als Wolfgang van den Daele (1993, S. 185), einer der Initiatoren eines der ersten deutschen Beteiligungsverfahren zur Grünen Gentechnik, noch in den 1990er Jahren vermutete, gelingt es den wissenschaftlichen Experten immer weniger, »nicht nur das verfügbare Wissen ihres Fachgebiets, sondern auch das Wissen über die relevanten Lücken und die Grenzen des Wissens« zu monopolisieren. Wie van den Daeles Formulierung schon andeutet, gilt diese Deutungshoheit der Wissenschaften allenfalls für das gewusste Nichtwissen (»known unknowns«) (von Gleich 1996). Doch auch hier sind erhebliche Einschränkungen zu machen.<sup>9</sup>

Kein Wissensmonopol und auch kein legitimes Deutungs- und Bewertungsmonopol haben die Wissenschaften hingegen für das ungewusste Nichtwissen, das definitionsgemäß jenseits des gesicherten und scheinbar vollständigen Wissens der Experten liegt. In Situationen, in denen das unbekannte Nichtwissen eine Rolle spielt, sind Wissenschaftler möglicherweise sogar befängener als Nichtwissenschaftler bei dem Versuch, Dimensionen des Nichtwissens einzuschätzen, da es ihnen unter Umständen schwerer als den Laien fällt, die Begrenztheit ihres Wissens wie auch ihres Wissens vom Nichtwissen anzuerkennen. Außerdem ist keineswegs gesichert, dass Wissenschaftlerinnen die Relevanz des jeweils Nichtgewussten zutreffend einschätzen. So wurde beispielsweise der simplen Frage, wo die in die Umwelt freigesetzten FCKW eigentlich verbleiben, lange Zeit keine Aufmerksamkeit geschenkt (Farman 2001).

Selbst dort, wo empirische Untersuchungen, beispielsweise über mögliche schädliche Folgen genetisch modifizierter Pflanzen, vorgenommen werden, bleibt es in politischen Auseinandersetzungen weitgehend offen, ob wir uns in einer Situation mehr oder weniger vollständigen und verlässlichen Wissens oder aber vor allem des unbekanntes Nichtwissens sehen. Wenn bei konkreten Forschungsprojekten und explorativen Experimenten keine konkreten Hinweise auf ökologische oder gesundheitliche Gefährdungen gefunden worden sind,

---

9 Wissenschaftlerinnen sind vermutlich vor allem mit den (bekannten) Wissenslücken vertraut, die im Rahmen des von ihnen bevorzugten theoretischen und methodischen Zugangs wahrgenommen werden können. Das Nichtwissen und die Ausblendungen, die durch diesen Zugang selbst erzeugt werden, aber aus anderen theoretischen oder methodischen Perspektiven durchaus gesehen und gewusst werden können, entgehen ihnen dagegen in der Regel.

^  
> 2 Zentrale Begriffe: Experiment, Überraschung und Nichtwissen  
v

wissen wir dann, dass beispielsweise die gentechnischen Eingriffe tatsächlich keinerlei unerwünschte Wirkungen haben? Oder bedeutet das Fehlen empirischer Indizien lediglich, dass wir ahnungslos sind und nicht wissen, wo, wann und in welcher Art wir suchen müssen bzw. sich negative Konsequenzen zeigen werden? Oder sind die negativen Konsequenzen an unerwarteter Stelle sogar schon eingetreten, konnten aber noch nicht entdeckt oder kausal zugeordnet werden?

Derartige Situationen negativer Evidenz (Kap. 3.3), bei denen Schlussfolgerungen aus dem Fehlen empirischer Hinweise gezogen werden müssen, sind dadurch gekennzeichnet, dass aus dem betriebenen Aufwand zur Erforschung möglicher Folgen Hinweise auf die Sicherheit der Ergebnisse gezogen werden müssen: Je umfangreicher die Suche war, desto eher können wir davon ausgehen, dass die Abwesenheit von negativen Folgeerscheinungen positives Wissen und nicht nur Ahnungslosigkeit darstellt. In vielen Fällen aber, in denen diese Suche nur mit mittlerem Aufwand betrieben wurde, können wir nicht sagen, ob wir ahnungslos sind oder nicht (Walton 1996, S. 140).

All das hat Folgen für politische Auseinandersetzungen. Vor allem für ökologische Folgewirkungen gilt, dass man sich aufgrund der Komplexität und Langfristigkeit der Zusammenhänge fast ausnahmslos in solchen mittleren Regionen zwischen Wissen und Nichtwissen bewegt, in denen es prinzipiell gleichermaßen begründet und rational ist, von hinreichendem Wissen auszugehen wie von unerkanntem Nichtwissen. Häufig wird es als irrational abgewertet, wenn Kritikerinnen bestimmter Forschungen und Technologien auf die Möglichkeit von noch unerkanntem Nichtwissen verweisen, ohne dass sie genauer angeben können, was nicht gewusst wird (Grove-White 2001). Es kann aber in Situationen hoher Ungewissheit bei weitreichenden Umwelteingriffen mindestens ebenso irrational sein, Nichtgewusstes nur dann als relevant anzuerkennen, wenn und sofern es als solches erkannt, eingegrenzt und spezifiziert werden kann.<sup>10</sup> Es hängt vor allem von den Charakteristika des jeweiligen Falls ab, etwa von der räumlichen und zeitlichen Reichweite der in Rede stehenden Technologie sowie dem Umfang und der Verlässlichkeit der bereits unternommenen Forschung über mögliche Folgen, inwieweit eine der beiden Interpretationen plausibler erscheint: Wissen, »that the thing does not exist« (Walton 1996), oder Unkenntnis der zu erwartenden oder schon eingetretenen Effekte. Häufig wird sich vermutlich kein eindeutiger und gesellschaftlich allgemein akzeptierter Vorrang für eine der kontrastierenden Bewertungen durchsetzen.

Jeder Versuch der Regulierung bzw. gute Governance von Wissenschaft und Technik unter Bedingungen des Nichtwissens steht damit vor einer doppelten und schwer lösbaren Aufgabe (Wehling 2011): Einerseits müssen (for-

---

10 Elster (1989, S. 17 ff.) bezeichnet eine solche Haltung als »hyperrational«. Darunter versteht Elster eine Form von Irrationalität, die in der Unfähigkeit oder Weigerung besteht, die Grenzen der Rationalität rational anzuerkennen.

## 2.4 Bewertung von Nichtwissen



schungs- und technologie)politische Entscheidungen auch dann sachlich begründet getroffen werden, wenn ihre Konsequenzen weitgehend unvorhersehbar sind und gleichzeitig unerwünschte Folgen vermieden werden sollen, die man gar nicht kennt und gegen die man sich daher nur begrenzt wappnen kann. Andererseits muss die Governance von Wissenschaft und Technik in einem demokratisch verfassten Staat zugleich den pluralen, kontrastierenden gesellschaftlichen Wahrnehmungen und Bewertungen des Nichtgewussten Rechnung tragen, ohne dass dabei ausschließlich auf eine wissenschaftlich autorisierte Deutung von Phänomenen oder offenen Fragen im Kontext von explorativen Experimenten zurückgegriffen werden könnte. Im nächsten Kapitel sollen Ansätze vorgestellt werden, mit denen diesen Herausforderungen begegnet werden kann.



---

### 3 Grundsätzliche Reaktionsformen auf wissenschaftliches Nichtwissen

In den seit einigen Jahren immer intensiver geführten Debatten über den Umgang mit wissenschaftlichem Nichtwissen ist eine Reihe von Strategien entwickelt und teilweise erprobt worden, um mit der Problematik umzugehen (dazu ausführlich Wehling 2006, S. 278 ff.). Diese Strategien können je nach den besonderen Umständen der betrachteten komplexen Einzelfälle kombiniert werden und sind entsprechend auszugestalten. Neben dem fundamentalen Verzicht auf eine bestimmte Technologie (Kap. 3.1) gibt es mehrere Vorgehensweisen, um das auftretende Nichtwissen im Vorfeld einer Entscheidung entweder zu verringern (Kap. 3.2 u. 3.3) oder zu charakterisieren und einzuschätzen (Kap. 3.4). Komplementär dazu existieren Strategien, die das Auftreten von Nichtwissen in allen, also auch späteren Stadien des experimentellen Prozesses antizipieren und Verfahrensweisen verfolgen, um aus auftretenden Überraschungen zu lernen (Kap. 3.5).

Daneben stehen Ansätze, die auf eine effektive Governance setzen, um so zu einem gesellschaftlich guten Umgang mit dem wissenschaftlichen Nichtwissen bei explorativen Experimenten beizutragen. Dazu gehören haftungsrechtliche Ansätze (Kap. 3.6) und der Ansatz der Selbstregulierung der Wissenschaft über Codes of Conduct (Kap. 3.7). Diese governanceorientierten Ansätze enthalten als Sachgehalt oft verschiedene Aspekte der vorgenannten Ansätze und liegen daher quer zu diesen. Ein weiterer wichtiger, ebenso quer liegender Aspekt der Governance liegt in der gesellschaftlichen Partizipation an Entscheidungen zu Wissenschaft – ihr ist ein eigenes Kapitel gewidmet (Kap. 5).

Die angemessene Auswahl, ggf. Kombination und Ausgestaltung dieser Ansätze in Bezug auf ein konkretes Entscheidungsproblem ist von den Umständen des Einzelfalles abhängig. Zum Beispiel spielen bei explorativen Experimenten verschiedene zeitliche und räumliche Reichweiten von Gefährdungspotenzialen eine wesentliche Rolle. Im nachfolgenden Kapitel 4 werden die zwei Strategien Technikcharakterisierung (Kap. 4.1) und rekursives Lernen in Realexperimenten (Kap. 4.2) genauer erläutert. Ebenso geht es darum, eine ausgewogene Kombination von präventiven und vorbeugenden Ansätzen (zur Abgrenzung zwischen Prävention und Vorbeugung siehe Kap. 4.1) zu entwickeln. Bei der Komplexität der sozioökologischen Systeme, in denen explorative Experimente durchgeführt werden, wird dies regelmäßig Anlass für Abwägungen und Verhandlungen sein. Dies entspricht auch den Ergebnissen aus den durchgeführten Analysen zum Umgang mit Nichtwissen bei den drei Forschungsfeldern (Kap. 6 bis 8).

^  
> 3 Grundsätzliche Reaktionsformen auf wissenschaftliches Nichtwissen  
v

Im Folgenden werden die genannten grundsätzlichen Möglichkeiten, politisch auf Nichtwissen bei explorativen Experimenten zu reagieren, kurz vorgestellt.

---

### 3.1 Verbote

In Situationen, in denen die Konsequenzen bestimmter wissenschaftlich-technischer Interventionen weitgehend unvorhersehbar sind oder für unvorhersehbar gehalten werden, wird immer wieder gefordert, diese Forschungen, Experimente und Technikentwicklungen grundsätzlich zu verbieten. Dies gilt in unterschiedlichem Ausmaß auch für die drei behandelten Forschungsfelder.

Auch wenn ein Verzicht auf Forschungen und Technikanwendungen prinzipiell gut begründbar ist, wenn deren mögliche Effekte nicht antizipierbar sind, aber unter Umständen folgenschwer sein könnten, sind solche Forderungen bisher nur selten erfolgreich gewesen. (Ein Beispiel für ein erfolgtes Verbot ist die verbrauchende Embryonenforschung.) Dafür gibt es eine Reihe von typischen Gründen bzw. Argumentationsmustern:

- > Möglicherweise gravierende, aber im Detail unbekannte und erst in der Zukunft eintretende Risiken werden gegenüber den heute sichergeglaubten wirtschaftlichen Vorteilen häufig weniger stark gewichtet und marginalisiert.
- > Es besteht häufig eine auf der (unausgesprochenen) Annahme beruhende optimistische Grundhaltung, Anzeichen für schädigende Effekte würden sich von selbst und rechtzeitig genug zeigen, um noch korrigierend eingreifen zu können (EEA 2001, S. 172), auch wenn diese Prämisse durch unterschiedliche Gegenbeispiele wie FCKW, Contergan oder Asbest widerlegt ist.
- > Es besteht vonseiten der Wissenschaft selbst ein starkes Eigeninteresse an der Weiterführung und Ausweitung von Forschungen, auch wenn sie gesellschaftlich umstritten sind; man denke nur an Gentechnik, Reproduktionsmedizin oder Synthetische Biologie. Dabei spielen Anreizmechanismen innerhalb des Wissenschaftssystems und die Konkurrenzsituation im internationalen Rahmen eine wesentliche Rolle.
- > Schließlich wird oft angeführt, explizite Forschungsverbote gefährdeten die Autonomie der Wissenschaft und damit eine bewährte Institution für Fortschritt und Wohlstand. Verbote seien zudem rechtlich problematisch oder gar unzulässig. Die rechtliche Situation ist allerdings deutlich komplexer als häufig angenommen wird, denn auch die Forschungsfreiheit unterliegt der Abwägung gegenüber anderen Rechtspositionen. Darauf kann hier nicht ausführlicher eingegangen werden.



---

## 3.2 Moratorien

Zeitlich befristete Verbote (Moratorien) für bestimmte Forschungen und Technikanwendungen stellen eine zweite, gegenüber expliziten Verboten schwächere Reaktion auf die Problematik wissenschaftlichen Nichtwissens dar. Moratorien werden gelegentlich von den Wissenschaftlerinnen selbst ins Spiel gebracht, wie beispielsweise bei der Asilomar-Konferenz zu den Gefahren der Genforschung im Jahr 1975 (Berg et al. 1975) oder zu Beginn der Debatte über die Anwendungen der neuen Genome-Editing-Verfahren beim Menschen (Leopoldina et al. 2015). Häufiger aber werden sie von politischen Instanzen, Regulierungsinstitutionen und zivilgesellschaftlichen Organisationen verlangt (zu Climate Engineering z. B. ETC Group 2010). Forderungen nach Moratorien werden zumeist damit begründet, dass es vor der Durchführung explorativer Experimente bzw. der Weiterentwicklung oder Anwendung der in Rede stehenden Technologie notwendig sei, sich ein genaueres Bild von ihrer Funktionsweise und ihren möglichen gesellschaftlichen und ökologischen Konsequenzen zu machen. Häufig wird auch argumentiert, vor weiterer Forschung und Erprobung müsse erst ein geeigneter politisch-rechtlicher Regulierungsrahmen entwickelt und installiert werden (Prinzip 5: Regulierung vor Verwendung; Kasten Kap. 8.6.2).

---

## 3.3 Antizipation von Wirkungen über klassische (Risiko-)Forschung

Die im vorherigen Kapitel behandelten Moratorien verweisen auf eine weitere, im Rahmen einer Wissensgesellschaft fast klassisch zu nennende Form des Umgangs mit wissenschaftlichem Nichtwissen: die Vertiefung und Intensivierung der Forschung *vor* einer möglichen Anwendung oder Freisetzung im Rahmen explorativer Experimente, um unerwünschte Effekte möglichst doch antizipieren und vermeiden zu können. Forschungen, die auf die Antizipation von Wirkungen und Nebenfolgen vor der Anwendung, Erprobung oder Freisetzung wissenschaftsbasierter Technologien ausgerichtet sind, stellen zweifellos ein zentrales Element im verantwortlichen Umgang mit wissenschaftlichem Nichtwissen dar. Denn nur wenn die Sicherheit von Forschungsergebnissen bzw. die Unbedenklichkeit von Folgen und Nebenfolgen eines explorativen Experiments zuvor so weit wie möglich überprüft worden ist, scheint die unter Umständen nicht mehr (vollständig) reversible Erprobung von Technologien unter Realbedingungen verantwortbar zu sein.

Wichtige Beiträge zu einer derartigen Risikoanalyse können theoretische Grundlagenforschung, Laborforschung, Modellierungen, Simulationen oder kontrollierte, räumlich und zeitlich kleinskalige Tests und Feldversuche leisten.

^  
> 3 Grundsätzliche Reaktionsformen auf wissenschaftliches Nichtwissen  
v

Doch wie in Kapitel 2.2 bereits ausgeführt, sind solche Verfahren und Methoden grundsätzlich nur begrenzt in der Lage, Effekte von Technologien außerhalb des Labors zu erfassen und vorherzusehen, weil sie aus systematischen Gründen gar nicht alle denkbaren Kontextfaktoren berücksichtigen können. Hier spielt eine Rolle, dass wissenschaftliche Forschung grundsätzlich neben neuem Wissen auch neues Nichtwissen produziert (Tetens 2006) (Kap. 2.3.3). In der Regel erfolgt die Einschätzung der Risiken im Paradigma der Risikoforschung durch wissenschaftliche Experten, denen die Kompetenz zugemessen wird, sich zu Grenzen und den relevanten Lücken des Wissens qualifiziert zu äußern (Wehling 2006, S.278 ff.).<sup>11</sup> Dadurch bleiben nichtwissenschaftliche Wissensformen und -bestände jedoch unberücksichtigt, deren Stellenwert auch für Risikoeinschätzungen zunehmend erkannt wird (Kap. 2.4).

Modellierungen, kontrollierte Tests oder Feldversuche können unter Umständen sogar ein Gefühl trügerischer Sicherheit erzeugen, wenn sie keine negativen Effekte der fraglichen Technologien erkennen lassen (Kap. 2.4). Illustrieren lässt sich dies am Beispiel von Medikamententests: Weil die Zahl der Teilnehmerinnen an klinischen Studien vor der Markteinführung eines Medikaments schon aus pragmatischen Gründen begrenzt ist, können unerwünschte Nebenwirkungen, die statistisch gesehen nur bei jeder zehntausendsten oder sogar hunderttausendsten Patientin auftreten, darin nicht vollständig erfasst werden und deshalb möglicherweise unerkannt bleiben. Die Abwesenheit des Auftretens von Nebenwirkungen bedeutet aber nicht, dass solche selteneren Schädigungen nicht dennoch möglich sind. Aufgrund der großen Zahl von Menschen, die bestimmte Arzneimittel später einnehmen, können derartige Wirkungen dann doch auftreten. Sichtbar können sie daher nur durch engmaschige Beobachtungen nach der Zulassung und Markteinführung eines Medikaments werden (Pharmakovigilanz).

Diese Überlegungen legen den Schluss nahe, dass die Antizipation von Wirkungen und Nebenwirkungen großformatiger explorativer Experimente (wie auch der Anwendung von wissenschaftsbasierten Technologien allgemein) mittels mehr konventioneller Forschung vor deren Durchführung begrenzt ist. Man wird in der Regel im Vorfeld des Experiments keine weitgehende Sicherheit über alle Folgen erlangen können, was im Übrigen ja auch den Sinn eines Experiments als solchem ad absurdum führen würde. Aus der expliziten Anerkennung der systematischen Grenzen antizipierender Risikoforschung speisen sich daher komplementäre Vorgehensweisen, die das unvermeidliche Nichtwissen zu charakterisieren suchen, z. B. über die Bildung bzw. Untersuchung von allgemeinen Gefährdungsindikatoren.

---

11 Beim Verfahren der »konsensuellen Präzisierung des Nichtwissens« (Wehling 2006, S.278 ff.) sollen diese Experten beispielsweise einen Konsens darüber erreichen, wie Wissenslücken einzuschätzen und wo und wie diese Lücken zu schließen sind.

---

### 3.4 Antizipation über Bildung von Gefährdungsindikatoren: Beispiel Chemikalien

Die Suche nach allgemeineren, übergeordneten Gefährdungsindikatoren wurde im Hinblick auf die Freisetzung von chemischen Substanzen in die Umwelt entwickelt und wird hier kurz vorgestellt. Die grundsätzliche Idee ist jedoch allgemeiner anwendbar und wird im vorliegenden Report unter der Bezeichnung Technikcharakterisierung in Bezug auf explorative Experimente modifiziert und weiterentwickelt (Kap. 4.1).

Den Hintergrund für die Entwicklung von Gefährdungsindikatoren in Bezug auf die Freisetzung von Substanzen bildete die Einsicht, dass es de facto unmöglich ist, alle denkbaren Wirkungen und Wechselwirkungen der ungefähr 100.000 in die Umwelt freigesetzten Chemikalien unter einer fast unendlichen Bandbreite variabler Umweltbedingungen vorab zu erforschen. In dieser Situation sieht das vor etwa 20 Jahren von Martin Scheringer und anderen (Scheringer 2002; Scheringer et al. 1998) entwickelte Reichweiten- oder Gefährdungskonzept in der Chemikalienbewertung Folgendes vor: Als Entscheidungsgrundlage in der Chemikalienpolitik sollte nach diesem Konzept nicht länger das (im Allgemeinen sehr unvollständige) Wissen um konkrete, mehr oder weniger präzise spezifizierbare Risiken dienen, sondern bereits das mutmaßliche Gefährdungspotenzial, das sich aus dem nicht im Vorfeld zu beseitigenden, d. h. unhintergehbaren Nichtwissen ergibt.<sup>12</sup> Hierbei wird explizit anerkannt, dass die einzelnen Gefährdungen selbst im Detail nicht umfassend antizipierbar sind. Die Gefährdungsabschätzung wird bei diesem Ansatz von der Fiktion, es sei möglich, für jede einzelne Substanz umfassendes, wirkungsbezogenes Risikowissen zu gewinnen, umgestellt auf die Bewertung von Art und Ausmaß der Exposition als Quelle des damit verbundenen Nichtwissens. Das Ziel ist es, »explizit das Faktum in die Vorgehensweise bei der Bewertung von Chemikalien einzubeziehen, dass das Wissen um mögliche Konsequenzen von Eingriffen in die Umwelt immer unvollständig ist« (Scheringer 2002, S. 212, eigene Übersetzung).

Zugleich wird ausdrücklich nach der normativen und politischen Verantwortbarkeit eines experimentellen und auf Lernprozesse (erst) während der Anwendung zielenden Umgangs mit dem Nichtgewussten bzw. vorab Nichtwissbaren gefragt: »Die Frage ist nicht, ob technische Entwicklungen blind unterstützt oder zurückgewiesen werden sollten, sondern ob Lernen aus der Erfah-

---

12 Im Kern geht es bei dem Ansatz der Reichweite darum, nicht (allein) die Gefährdungspotenziale in den Fokus zu nehmen, sondern vor allem auch die Expositionspotenziale. Das Reichweitenkonzept »stützt sich auf die Tatsache, dass ein in die Umwelt eingebrachter ›chemischer Impuls‹ ... mit umso größerer Wahrscheinlichkeit auf einen empfindlichen Rezeptor oder ein System von interagierenden Rezeptoren trifft, je weiter er sich räumlich verteilt und je länger er zeitlich präsent ist« (Scheringer et al. 1998, S. 230; auch Scheringer 1996).

^  
› 3 Grundsätzliche Reaktionsformen auf wissenschaftliches Nichtwissen  
v

rung, das Prinzip von Versuch und Irrtum ein angemessenes Verfahren ist, um großskalige Eingriffe in die Umwelt zu bewerten. Bis zu welcher Schwere der möglichen negativen Folgewirkungen der Handlung sind der Erfahrungszuwachs und die positiven Folgen der Handlung zu rechtfertigen?« (Scheringer 2002, S. 212, eigene Übersetzung)

Aus dieser Perspektive besitzen chemische Substanzen, die (wie beispielsweise FCKW oder DDT) lange Zeit in der Umwelt verbleiben und sich darin weiträumig verteilen, ein hohes, wenngleich im Detail unbekannt bleibendes Gefährdungspotenzial. Denn es muss mit einer Vielzahl unvorhersehbarer und (wie im FCKW-Fall) möglicherweise auch retrospektiv schwer erkennbarer Schadenseffekte gerechnet werden. Gefordert wird, solche Stoffe deshalb grundsätzlich nicht in die Umwelt freizusetzen, selbst wenn keine konkreten Risikohypothesen über Schädigungen der natürlichen Umwelt oder der menschlichen Gesundheit vorliegen. Damit wird ein weitreichender Paradigmenwechsel in der Chemikalienpolitik vorgenommen, denn weder hypothetisches, antizipierendes Risikowissen noch spezifiziertes Nichtwissen bilden die kognitive Grundlage der Chemikalienbewertung, sondern Indikatoren – wie räumliche Reichweite und zeitliche Persistenz – für die Wahrscheinlichkeit unerkannten Nichtwissens sowie unzureichender Beobachtbarkeit angesichts räumlich und zeitlich langer Wirkungsketten.

Vor diesem Hintergrund halten die Begründer des Gefährdungskonzepts in der Chemikalienbewertung die vielfach gehegte Erwartung bzw. Hoffnung, schädliche Folgen könnten nach ihrem Eintreten gegebenenfalls rechtzeitig wahrgenommen, kausal zugerechnet und revidiert werden, nicht generell für gerechtfertigt. Mit diesem Konzept, das auf die Entwicklung von »Nichtwissensindikatoren zweiter Ordnung« (Wehling 2006, S. 306) zielt und die Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) beeinflusst hat<sup>13</sup> sowie auch auf andere Technologiefelder wie die Grüne Gentechnik übertragen worden ist, liegt eine Form des Umgangs mit wissenschaftlichen Nichtwissen bei großräumigen Umweltinterventionen vor, die teilweise mit einem explorativ-experimentellen Zugang kombinierbar ist, teilweise aber auch im Kontrast dazu steht.

---

13 Böschen und Wehling (2012, S. 325) erläutern hierzu: »Mit der europäischen Reform der Chemikalienregulierung durch die Verordnung 1907/2006 REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) wurde eine Perspektive institutionalisiert, neben Hinweisen auf toxische, kanzerogene, mutagene und fortpflanzungsgefährdende Wirkung auch Indikatoren für das mögliche Expositionspotenzial gegenüber Chemikalien (ausgedrückt durch deren räumliche und zeitliche Ausbreitung) zu berücksichtigen (Scheringer 2002). Diese Indikatoren, Persistenz, Reichweite und Potenzial zur Bioakkumulation, stellen gleichsam Nichtwissensindikatoren zweiter Ordnung dar (Böschen et al. 2010). Deuten Nichtwissensindikatoren erster Ordnung auf mehr oder weniger konkret benennbare und eingrenzbar Wissenslücken zumeist in einzelnen wissenschaftlichen Disziplinen hin, signalisieren Nichtwissensindikatoren zweiter Ordnung solche Formen oder »Räume« möglichen Nichtwissens, die unerkannt sind und unter Umständen sogar unerkennbar bleiben.«

---

## 3.5 Die Idee des rekursiven Lernens anhand von Realexperimenten

Wie bereits erläutert (Kap. 2.2.2), gehen die Idee und Praxis explorativer Experimente von der Einsicht aus, dass antizipierende Labor- und Risikoforschung sowie räumlich und zeitlich begrenzte Feldversuche nicht in der Lage sind, alle möglichen und relevanten Effekte einer Technologieanwendung unter realen Bedingungen zu entdecken und vorherzusehen. Deshalb wird auf die experimentelle Exploration sowohl der Wirksamkeit einer Technologie als auch ihrer nichtintendierten Nebeneffekte in der tatsächlichen Anwendung unter realweltlichen Bedingungen gesetzt.<sup>14</sup> Darüber hinausgehend wird teilweise sogar der Wandel hin zu einer »experimentellen Gesellschaft« (Groß 2014, S. 165 ff.) propagiert, damit die gegenwärtigen Gesellschaften ihre zahlreichen Problemlagen bewältigen können. Jedoch tritt bei experimentellem Handeln außerhalb kontrollierter Laborbedingungen eine Reihe von Problemen auf, die insbesondere mit einer mangelnden Kontrolle der Randbedingungen sowie mangelnder Erkennbarkeit und Beobachtbarkeit der wesentlichen Wirkungszusammenhänge und Folgewirkungen zu tun haben (Kap. 2.2.2 u. 2.2.3).

Diese Problematik wird in dem von Wolfgang Krohn, Matthias Groß und anderen entworfenen Konzept des rekursiven Lernens in Realexperimenten aufgegriffen, das explizit auf die Frage nach dem Umgang mit Nichtwissen eingeht (Groß 2010; Groß et al. 2005; Krohn 1997 u. 2007). Es handelt sich dabei um einen grundsätzlichen Zugang zu Situationen gesellschaftlichen Handelns, in denen vermehrt Nichtwissen auftritt. Dieser Zugang spielt als komplementäres Element zu Strategien der Wissensgewinnung im Vorfeld eines Experiments, wie beispielsweise über die Bildung von Gefährdungsindikatoren (Kap. 3.4), eine besondere Rolle im Rahmen dieses Hintergrundpapiers, denn es führt zu Schlussfolgerungen über den langfristigen und begleitenden Umgang mit auftretenden Überraschungen und mit Nichtwissen. Während das Konzept hier kurz als eine von mehreren Strategien des Umgangs mit Nichtwissen eingeführt

---

14 Dabei ist die Grenzziehung zwischen einem wissenschaftlichen Erprobungsversuch unter möglichst noch kontrollierbaren Bedingungen (im vorliegenden Hintergrundpapier als exploratives Experiment bezeichnet) und der faktischen Anwendung unter »real-world conditions« (im vorliegenden Hintergrundpapier als Realexperiment bezeichnet; Kap. 2.2.3) allerdings gerade bei großtechnologischen Interventionen fließend und kann politisch oder wissenschaftlich höchst umstritten sein, wie beim Fracking und vor allem im Kontext des Geoengineering (ETC Group 2010; Macnaghten/Szerszynski 2013, S. 466). Bis zu welcher Größenordnung des Eingriffs kann man noch von einer begrenzten, beherrschbaren und daher ungefährlichen Erprobung sprechen, und ab wann muss man davon ausgehen, dass die Technologie bereits angewandt wird, nicht nur um weiteres Wissen zu gewinnen, sondern auch um ihre Machbarkeit zu demonstrieren oder sogar um die angestrebten Wirkungen zu erzielen? Eine eindeutige, objektiv begründete Grenze lässt sich hierbei nicht festlegen, vielmehr ist diese Frage selbst ein Teil der gesellschaftlichen Konfliktodynamik bei explorativen Experimenten (Kap. 6.3 u. 7.5).

^  
› 3 Grundsätzliche Reaktionsformen auf wissenschaftliches Nichtwissen  
v

wird, werden in Kapitel 4.2 Konzept und Schlussfolgerungen ausführlich behandelt.

Das Konzept des rekursiven Lernens in Realexperimenten geht ausdrücklich davon aus, dass nicht nur das Wissen über mögliche Risiken zu Beginn eines explorativen Experiments oder einer Technikentwicklung unzureichend und unvollständig ist, sondern auch das relevante Nichtwissen (noch) unerkannt bleibt. Krohn (1997, S. 84) formuliert: »Nichtwissen steht nicht am Anfang einer technologischen Erprobung, sondern wird im Verlauf der Implementation erarbeitet.« Man weiß also zu Beginn eines explorativen oder Realexperiments noch gar nicht, was man nicht weiß und mit welchen unvorhergesehenen Effekten man zu rechnen hat. Der Begriff Überraschung (Kap. 2.3.1) nimmt hierbei eine Schlüsselrolle ein, denn es sind Überraschungen, also unerwartet eintretende Ereignisse, die erkennen lassen, was man bisher nicht gewusst und noch nicht einmal geahnt hatte. Anfänglich unerkanntes Nichtwissen wird, dem Konzept zufolge, so zunächst in gewusstes Nichtwissen verwandelt und dann im Idealfall in erweitertes Wissen und vorläufige Problemlösungen überführt, wobei jedoch neues (ggf. unerkanntes) Nichtwissen erzeugt wird, das wiederum das Potenzial für neue Überraschungen birgt. In lernbereiten, gleichsam überraschungssensiblen Handlungskontexten können unerwartete Ereignisse mithin für kontinuierliche Lernprozesse und die beständige Überprüfung, Revision und Erweiterung der bisherigen Wissensbasis genutzt werden, sofern die Überraschungen die Gesellschaften nicht vor zu große Probleme stellen. Umgang mit Nichtwissen bei explorativen Experimenten bedeutet im Konzept des rekursiven Lernens also grundsätzlich, derartige lernbereite, überraschungssensible Handlungskontexte herzustellen, etwa durch wiederkehrende Anlässe für die Reevaluierung von Experimenten u.Ä.

Zudem haben solche Lernprozesse neben der erkenntnistheoretischen auch eine soziale und politische Dimension: Bedingt durch das Auftreten unvorhergesehener Ereignisse wird eine erneute Verständigung unter den beteiligten Akteuren erforderlich, ob sie auch unter den veränderten Bedingungen zu einer Fortführung des begonnenen experimentellen Prozesses bereit sind. Auf diese Weise soll nicht nur die erkenntnistheoretische, sondern auch die soziale Rationalität und Legitimität eines explorativen oder Realexperiments gesichert werden. Postuliert wird von den Autoren, ein solches Realexperiment könne »dem Umgang mit Unsicherheit und Nichtwissen Struktur geben« (Groß et al. 2005, S.210) und einen Mittelweg weisen zwischen dem leichtfertigen Vertrauen in Sicherheitsversprechen einerseits und der Absage an Veränderungen andererseits: »Lernbereitschaft durch Beobachtung und Verarbeitung der Handlungsfolgen ist das charakteristische Merkmal von Realexperimenten.« (Groß et al. 2005, S. 210)



---

### **3.6 Haftungsrechtliche Anreize zur präventiven Reduktion von Gefährdungen aus Nichtwissen**

Der Wissenschaftliche Beirat Globale Umweltveränderungen der Bundesregierung (WBGU) hat das Haftungsrecht als Möglichkeit in Diskussion gebracht, mit Nichtwissen umzugehen (WBGU 1999). Der Grundgedanke ist, dass Akteure technologische Innovationen oder Forschungsprojekte und das damit unweigerlich verbundene Nichtwissen vorsichtiger behandeln, wenn sie für mögliche negative Folgen auch in dem Falle haftbar gemacht werden können, dass diese Effekte ohne Verschulden im klassischen Sinn eintreten, also z. B. ohne Wissen über absehbare Folgen. Das Konzept der präventiven Reduzierung ist deshalb als Instrument der verschuldensunabhängigen Gefährdungshaftung zu sehen. Damit soll die rechtliche Position von möglichen Geschädigten verbessert werden, Kompensationen einzufordern, und gleichzeitig sollen Anreize geschaffen werden, solche Schäden erst gar nicht entstehen zu lassen, etwa durch die Gestaltung des geplanten Eingriffes in einer weniger wirkmächtigen Art (Kap. 4.1).

Nach dem bisher Gesagten stellt sich allerdings die Frage, ob und welche der möglichen Gefährdungen antizipiert werden können. Die Antwort auf diese Frage hat Auswirkungen darauf, ob tatsächlich Anreize für die Prävention geschaffen werden. Zudem bleibt es bei der gegebenen praktischen Rechtstradition grundsätzlich schwierig, jemanden in Haftung zu nehmen, der über die möglichen Folgen oder Risiken nichts wusste bzw. wissen konnte. So interessant der Ansatz auf den ersten Blick erscheint, Anreize dafür zu schaffen, bedacht und verantwortungsbewusst in Umwelt und Gesellschaft einzugreifen, so schwierig lässt sich die Haftung beim bestehenden Rechtssystem in der Praxis umsetzen.

---

### **3.7 Selbststeuerung der Wissenschaft: Codes of Conduct**

Eine weitere Möglichkeit zum gesellschaftlichen Umgang mit wissenschaftlichem Unwissen bei Bestehen einer relevanten Risikovermutung stellen ethische Handlungsorientierungen (Codes of Conduct) dar, die im Rahmen der Wissenschaft selbst erarbeitet werden.<sup>15</sup> Hier können die Asilomar-Richtlinien für gentechnische Experimente exemplarisch angeführt werden (Berg et al. 1975; Berg/Singer 1995). In Asilomar fand 1975 eine internationale wissenschaftliche Konferenz statt, auf der Richtlinien zur Produktion und Handhabung gentechnisch veränderter Organismen erarbeitet wurden. Eine Empfehlung der Selbst-

---

<sup>15</sup> Substanziell können derartige Regelwerke natürlich Elemente der hier angesprochenen Ansätze enthalten.

^  
> 3 Grundsätzliche Reaktionsformen auf wissenschaftliches Nichtwissen  
v

steuerung war beispielsweise, nur solche Organismen für das Einschleusen von Fremd-DNA zu verwenden, die aufgrund von Mutationen außerhalb des Labors nicht überlebensfähig sind.<sup>16</sup>

Für Forschungen im Bereich des Climate Engineering wurden die Oxford Principles entwickelt (Kasten Kap. 8.6.2). Sie sind unvollständig und rechtlich unverbindlich und reichen wohl alleine nicht aus, um zu gewährleisten, dass CE-Forschung verantwortlich durchgeführt wird (Rayner et al. 2013). Sie stellen aber einen wichtigen Ausgangspunkt für Diskussionen und die künftige Regulierung von CE dar (»soft law«). Die Prinzipien wurden beispielsweise bereits von der International Maritime Organization (IMO) aufgenommen und bei der Überarbeitung des Londoner Protokolls verwendet (Kap. 8.4.1), wobei das Thema Eisendüngung, eines der in diesem Hintergrundpapier genauer untersuchten Forschungsfelder, explizit erwähnt wird (IMO 2013).

---

16 Diese Empfehlung wurde dann sogar in verbindliche Richtlinien umgesetzt.

---

## 4 Vertiefung: Technikcharakterisierung und rekursives Lernen in Realexperimenten

Weitreichende Eingriffe in komplexe Systeme, wie z. B. die gesellschaftliche und natürliche Umwelt, sind notwendigerweise mit dem umfassenden Auftreten von Nichtwissen im Hinblick auf die Folgen verbunden. Dies stellt ein fundamentales Problem dar, wenn in Abwägung der positiv wie negativ bewerteten Folgewirkungen entschieden werden soll, ob und in welcher Ausgestaltung ein solcher Eingriff vorgenommen, bzw. genehmigt werden soll. Denn ein solches, auf der Abwägung von positiven und negativen Auswirkungen, also quasi auf Kosten und Nutzen beruhendes Verfahren geht idealerweise davon aus, dass die positiv und negativ bewerteten Folgewirkungen weitgehend bekannt sind, d. h. Nichtwissen im Vorfeld der Entscheidung möglichst minimiert wird. Dementsprechend zielen mehrere der in Kapitel 3 kurz vorgestellten Herangehensweisen darauf ab, auftretendes Nichtwissen im Vorfeld der Entscheidung in Noch-nicht-Wissen bzw. möglichst weitgehend in Wissen umzuwandeln.

Bezogen auf unterschiedliche Formen und Ausmaße des Nichtwissens sind dabei unterschiedliche Ansätze der Vorsorge und Risikominderung angemessen. So ist für die meisten Typen von Risiko die Risikoforschung, also der Weg der Verwandlung von Nichtwissen in Wissen mit Blick auf die Elemente der Risikokette, der angemessene Weg. Es geht um potenzielle Gefährdungen und Schadenshöhen sowie um potenzielle Expositionen bzw. Eintrittswahrscheinlichkeiten. Es geht um die systematische Aufarbeitung aller vergleichbaren bisherigen problematischen Erfahrungen, verbunden mit den entsprechenden Risikotests und Bewertungsverfahren für sozioökonomische, gesundheitliche und ökologische Risiken. Hierbei geht es um Noch-nicht-Wissen, welches z. B. durch verstärkte Risiko- oder Sicherheitsforschung in Wissen umgewandelt werden kann.

Dieser Vorgehensweise sind jedoch verschiedene Grenzen gesetzt – sowohl mit Blick auf die zur Verfügung stehenden Ressourcen (Zeit, Geld, Manpower) als auch mit Blick auf die zur Verfügung stehenden Methoden (z. B. toxikologische Tests, Ökobilanzen, Umweltverträglichkeitsprüfungen, Fehlerbaumanalysen usw.). Insbesondere stoßen diese Methoden an Grenzen, wenn es um die Vorbereitung auf die starken Formen des Nichtwissens, insbesondere um echte Überraschungen geht. Die in diesem Hintergrundpapier im Mittelpunkt der Betrachtung stehenden (wissenschaftlichen) explorativen Experimente dienen jedoch gerade dem Zweck, im Zuge eines Eingriffs auftretende Folgewirkungen empirisch zu untersuchen. Dass dabei Überraschungen auftreten können, die sich im Vorfeld des Experiments nicht vorhersagen lassen, liegt in der Natur des Experiments.

^  
› 4 Technikcharakterisierung und rekursives Lernen in Realexperimenten  
v

Daher sind in Bezug auf die Entscheidungsfindung über explorative Experimente gerade die beiden in Kapitel 3 vorgestellten Ansätze aussichtsreich, die das Auftreten von Nichtwissen im Verlauf eines Experiments als gegeben hinnehmen und sich damit beschäftigen, wie damit umzugehen ist. Dies sind zum einen der Ansatz der Bildung von Gefährdungsindikatoren (Kap. 3.4), der in Kapitel 4.1 verallgemeinert und zum Ansatz der Technikcharakterisierung ausgearbeitet wird, und zum anderen der Ansatz des rekursiven Lernens in Realexperimenten (Kap. 3.5). Beide Ansätze werden im Folgenden ausführlich erläutert und in den Kapiteln 6 bis 8 auf die betrachteten Forschungsfelder angewendet.

Neben ihrem Fokus auf das unvermeidlich auftretende Nichtwissen sind beide Ansätze komplementär in Bezug auf die Zeitstruktur: Während die antizipierende Technikcharakterisierung im Vorfeld des Experiments Hinweise auf das Ausmaß und die Reichweite des mit dem Eingriff verbundenen Unwissens zu gewinnen sucht, betont der Ansatz des rekursiven Lernens in Realexperimenten die Prozesshaftigkeit des Auftretens von Nichtwissen vor, während oder nach dem Experiment sowie die Bedeutung der begleitenden bzw. nachsorgenden Beobachtung und Steuerung. Die Konzepte ergänzen sich nicht nur im Hinblick auf die Zeitstruktur, sondern auch in der unterschiedlichen Rolle und Gewichtung, die Experten- und Laienwissen im Verlauf von Entscheidungen zugemessen wird.

---

## 4.1 Die Methode der Technikcharakterisierung<sup>17</sup>

Die Methode der Technikcharakterisierung ist ein komplexes Verfahren, das entwickelt wurde, um Nichtwissen unter anderem bei explorativen Experimenten zu analysieren und nachvollziehbare Indizien zu identifizieren mit Blick auf mit dem Eingriff verbundene erwartbare problematische Expositionen und Wirkungen. Insbesondere geht es darum, solche Interventionen herauszufiltern, bei denen im Vorfeld mit gravierenden Gründen zur Besorgnis zu rechnen ist und darüber hinaus auf mögliche risikoärmere Alternativen hinzuweisen. Die Methode orientiert sich grundsätzlich an natur- und ingenieurwissenschaftlichen erkenntnistheoretischen Prinzipien und sieht sich zugleich dem Vorsorgeprinzip verpflichtet. Das Vorsorgeprinzip gründet auf dem Anspruch, mögliche Belastungen oder Schäden für Gesundheit oder Umwelt von vornherein zu vermeiden, auch wenn die Wissensbasis über das mögliche Ausmaß oder den tatsächlichen Eintritt eines solchen Schadens unsicher ist. Der Grundsatz des Vorsorgeprinzips zielt darauf, auch solchermaßen unsichere Risiken zu berücksichti-

---

17 Die Grundlage für dieses Kapitel bildet das Gutachten von von Gleich et al. 2014.



gen und zu verringern (ausführlicher Sanden 2006).<sup>18</sup> Das Vorsorgeprinzip unterscheidet sich damit vom Ansatz der Prävention, der der Vermeidung bereits bekannter und nachweislicher Risiken dient.<sup>19</sup> Um unter der Perspektive des Vorsorgeprinzips Maßnahmen zu legitimieren, braucht es keinen vollständigen Nachweis von Ursache-Wirkungs-Ketten. Vielmehr reicht es bereits aus, wenn gut begründbare »Anlässe für Besorgnis« (Calliess 2001; Calliess/Stockhaus 2012), »Besorgniskriterien« (Catenhusen et al. 2008) oder »Indizien« (von Gleich et al. 2013) vorliegen. Die Technikcharakterisierung sieht bereits den Fall, dass ein Eingriff – in unserem Fall ein zur Disposition stehendes exploratives Experiment – weitreichende Wirkungsketten in Raum und Zeit auszulösen vermag, als solch ein Indiz bzw. einen solchen Anlass zur Besorgnis an, insbesondere dann, wenn damit zu rechnen ist, dass beim tatsächlichen Eintreten adverser Effekte nicht mehr korrigierend eingegriffen werden kann.

Entscheidend für den Zugang der Technikcharakterisierung zum Nichtwissensproblem ist die Tatsache und Anerkennung, dass Nichtwissen nicht einfach da ist, sondern dass durch den Einsatz der Technik bzw. die Durchführung des eingriffstiefen Experiments zusätzliches Nichtwissen praktisch erst erzeugt wird. Der Charakter des Experiments und damit auch seine Gestaltung entscheiden damit ganz maßgeblich über das Ausmaß des mit seiner Durchführung verbundenen Nichtwissens über mögliche Folgen. Ausgangspunkt der Methode der Technikcharakterisierung ist die grundsätzliche Frage: Gibt es Hinweise darauf, dass bei der Intervention (also dem explorativen Experiment) mit besonders weitreichenden und damit unüberschaubaren *Wirkungsketten* in den betroffenen *Zielsystemen* gerechnet werden muss? Dem liegt die Hypothese zugrunde, dass derartige weitreichende Wirkungsketten das Ausmaß von Nichtwissen im Verlauf des Eingriffs bzw. seiner Folgen entscheidend verstärken können. Um diese Frage zu untersuchen, richtet die Methode den Blick sowohl auf die Technikmerkmale als auch auf mögliche betroffene Systeme, und zwar sowohl auf diejenigen, die direkt angesteuert werden (Zielsysteme erster Ordnung), wie auf

---

18 Das Vorsorgeprinzip kann als Versuch verstanden werden, der Unsicherheit von Problemlagen Rechnung zu tragen. Es findet Anwendung, wenn weder konkrete empirische Anhaltspunkte vorliegen, noch ein eindeutiger Kausalmechanismus bekannt ist, und führt zu einer Umkehrung der Beweisführung: Staatliche Interventionen sind nicht nur vom Nachweis einer konkret bestehenden Gefahr abhängig, sondern können auch gerade dort ansetzen, wo Gefahren (noch) nicht im Einzelnen zu erkennen sind. Das Prinzip geht davon aus, dass man nicht warten kann, bis man vor vollendeten Tatsachen steht. Denn es droht die Gefahr, dass es zu dem Zeitpunkt, an dem das tatsächliche Ausmaß der Gefährdung offensichtlich wird, in aller Wahrscheinlichkeit bereits zu spät ist, wirksame Gegenmaßnahmen einzuleiten. Zur Rolle des Vorsorgeprinzips siehe EEA (2013).

19 Zur Abgrenzung zwischen Prävention und Vorbeugung schreibt der französische Soziologe François Ewald (1998): »Prävention ist ein rationales Verhalten angesichts eines Übels, das sich wissenschaftlich objektivieren und einschätzen läßt. ... Prävention ist Sache von Experten, die sich auf ihre Kenntnisse verlassen. Die Vorbeugung, die heute auf den Plan tritt, hat eine andere Art Ungewißheit im Auge: die Ungewißheit wissenschaftlicher Kenntnisse selbst.« (Ewald 1998, S. 20)

^  
> 4 Technikcharakterisierung und rekursives Lernen in Realexperimenten  
v

diejenigen, die durch das Auftreten unerwarteter Neben- und Folgewirkungen betroffen sein könnten (Zielsysteme zweiter Ordnung).

Um Art und Ausmaß des potenziell auftretenden Nichtwissens im Vorfeld abschätzen zu können, setzt die Technikcharakterisierung zum einen bei der Analyse des Charakters der Technik bzw. des Eingriffs an. Sie fokussiert auf die möglichen Eingriffskonsequenzen, die von einer bestimmten Technik potenziell ausgelöst werden können. Zentrale Begriffe bzw. Dimensionen sind die *Eingriffsintensität*, die *Eingriffstiefe* und die dadurch hervorgebrachten technischen *Wirkmächtigkeiten*. Diese Fokussierung wird im Folgenden mit Technikcharakterisierung im engeren Sinne bezeichnet (Kap. 4.1.2).

Zum anderen sieht die Methode vor, auch die möglicherweise betroffenen Systeme, die *Zielsysteme*, im Zuge von *Vulnerabilitätsanalysen* dahingehend zu prüfen, wie sie aufgrund ihrer Eigenschaften vermutlich auf die zur Disposition stehenden Eingriffe reagieren werden. In diesem Zusammenhang werden potenzielle Zielsysteme insbesondere im Hinblick auf etwaige Schwachstellen analysiert. Hierbei werden zwei Stufen der Analyse unterschieden: In einer *strukturellen Vulnerabilitätsanalyse* werden Zielsysteme, auf die beabsichtigt oder unbeabsichtigt eingewirkt werden könnte, zunächst unabhängig vom experimentellen Eingriff hinsichtlich ihrer Verletzlichkeit, möglicher Schwachstellen und nichtlinearer Reaktionsweisen untersucht. In einer *eingriffsbezogenen Vulnerabilitätsanalyse* werden sodann die Reaktionen der Zielsysteme im Hinblick auf ihre Reaktion auf das beabsichtigte Experiment beurteilt. Dazu ist ein *Wirkungsmodell* notwendig, das Hinweise gibt, in welcher Weise sich die im Rahmen des Experiments stattfindenden Eingriffe auf das System auswirken. Durch Kombination beider Elemente können Hinweise darauf gewonnen werden, ob und inwieweit mit unerwünschten oder gar bedrohlichen Überraschungen in der Folge von technischen Eingriffen zu rechnen ist.

---

#### 4.1.1 Interventions- und Wirkungsmodell

Die Methode der Technikcharakterisierung ist als prospektive Folgenabschätzung und -bewertung zu verstehen. Für ihr Verständnis ist zunächst wichtig, dass in dieser Perspektive das Experiment als Intervention in das bzw. die Zielsysteme aufgefasst wird, wobei die Intervention durch bestimmte Begriffe bzw. Aspekte beschrieben werden kann. Diese Vorgehensweise wird hier als Interventionsmodell bezeichnet. Besondere Beachtung verdient das in dieser Konzeption vorkommende Wirkungsmodell, das, wie zuvor erwähnt, eine besondere Rolle bei der eingriffsbezogenen Vulnerabilitätsanalyse spielt.



### **Konzeption der Analyse: das Interventionsmodell**

Abbildung 4.1 gibt einen Überblick über die Aspekte, die bei der Analyse der Intervention wie auch der Zielsysteme im Rahmen der Technikcharakterisierung eine Rolle spielen. Es lassen sich zwei Ansatzpunkte der Technikcharakterisierung unterscheiden – der Eingriff selbst, d. h. das Experiment, welches den Ansatzpunkt der Technikcharakterisierung im engeren Sinn darstellt, sowie die Analyse der Vulnerabilität der vom Eingriff betroffenen Zielsysteme.

In der Konzeption der Technikcharakterisierung löst ein Auslöser ein Ereignis aus, das mit einem spezifischen Expositionspotenzial verknüpft ist. Die klassische, hier zugrundeliegende Vorstellung ist dabei, dass z. B. eine Substanz in ein Umweltmedium eingebracht wird. Ansatzpunkt der Analyse ist nun, diesen Auslöser möglichst gut zu charakterisieren, beispielsweise hinsichtlich seiner physikalisch-chemischen Eigenschaften, wie Mobilität und Ausbreitung, möglicher Veränderungen sowie des dadurch geprägten Expositionspotenzials. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein Auslöser von einem System in ein anderes wechseln kann. Beispielsweise können bei explorativen Experimenten schädliche Chemikalien über den Boden in Gewässer und von dort in Nahrungsketten gelangen. Während der Ausbreitung kann sich der Auslöser auch verändern (Transformation). So können beispielsweise Metaboliten entstehen, die wiederum andere Eigenschaften und Wirkungen auf ihre Umgebung entwickeln können.

Ansatzpunkt der Technikcharakterisierung ist, dass über derartige Eigenschaften des Auslösers im Vorfeld des Experiments bereits Wissen vorhanden ist bzw. erzeugt werden kann. Damit ist es möglich, den durch das Experiment herbeigeführten Eingriff *ex ante* zu beschreiben. Daraus resultierende Eigenschaften des Eingriffs werden mit den im Kapitel 4.1.2 ausführlicher erläuterten Begriffen Eingriffsintensität und Eingriffstiefe charakterisiert.

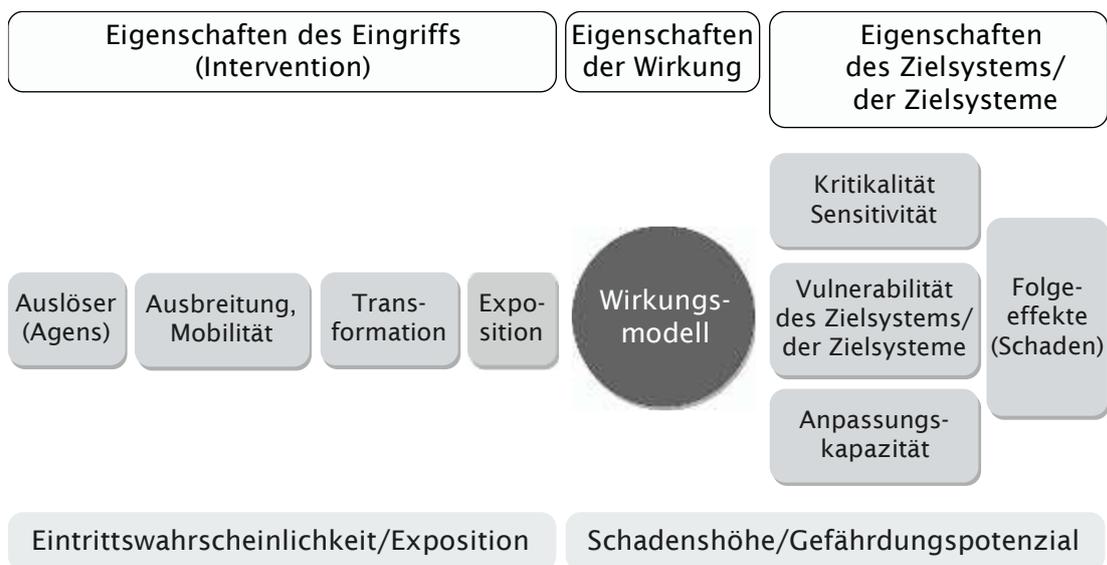
Insoweit ein System der Intervention durch einen Auslöser ausgesetzt ist, ist es exponiert. Durch diese Exposition wird das System zum betroffenen System. Ein Auslöser kann auf ein System gezielt (in dem Fall handelte es sich um das gewünschte Zielsystem) oder unbeabsichtigt einwirken. Die Technikcharakterisierung nimmt in ihrem zweiten Schritt nun einen Perspektivwechsel vor und betrachtet die Intervention von der Seite der potenziell betroffenen Systeme aus.

Zunächst wird eine strukturelle Vulnerabilitätsanalyse vorgenommen, bei der diese Systeme im Hinblick auf Verletzlichkeiten und Schwachstellen analysiert werden (Kap. 4.1.3). Hierbei werden insbesondere kritische Elemente in den Blick genommen, und Aspekte wie die Sensitivität und Kritikalität sowie die Anpassungsfähigkeit des Systems spielen eine Rolle. Auf der Ebene der eingriffsbezogenen Vulnerabilitätsanalyse wird analysiert, wie der Auslöser auf ein betroffenes System einwirkt. Es wird also konzeptionell eine Brücke zwischen den Betrachtungen des auslösenden Eingriffs einerseits und den Eigenschaften der (potenziell) betroffenen Zielsysteme andererseits geschlagen. Um

^  
 > 4 Technikcharakterisierung und rekursives Lernen in Realexperimenten  
 v

dies zu ermöglichen, muss im Vorfeld des Experiments eine Vorstellung davon bestehen, wie der Auslöser auf ein bestimmtes Zielsystem einwirkt. Dies bedeutet, dass es für jedes potenziell betroffene Zielsystem jeweils ein Wirkungsmodell geben muss, durch das diese Wirkung beschrieben werden kann.

Abb. 4.1 Interventionsmodell: Analysegegenstände der Technikcharakterisierung



Quelle: von Gleich et al. 2014, S. 9, leicht verändert

**Wirkung des Experiments auf ein (potenzielles) Zielsystem:  
 das Wirkungsmodell**

Wirkungsmodelle sind das konzeptionelle Bindeglied zwischen dem Experiment und den in den Zielsystemen ausgelösten Wirkungen. Sie sind ein wichtiges Element bei der Bestimmung von Expositions-, Gefährdungs- und Risikopotenzialen. Unter einem Wirkungsmodell versteht man eine nachvollziehbare (modellierbare) oder empirisch-experimentell bestätigte Abfolge von Ursache-Wirkungs-Ketten. Wirkungsmodelle bilden ab, wie eine bestimmte Wirkung zustande kommt bzw. erzeugt werden kann. Beispielsweise existieren zwar im Diskurs über den anthropogenen Klimawandel durchaus noch große Unsicherheiten mit Bezug auf die Frage, inwieweit bestimmte beobachtbare Ereignisse (Erhöhungen der Jahresdurchschnittstemperaturen, Gletscherschmelzen oder Extremwetterereignisse) als Folgen des anthropogenen Klimawandels zu bestimmen sind. Wissenschaftlich gesichert ist hingegen der Treibhauseffekt als Wirkungsmodell.



Bei explorativen Experimenten können hinsichtlich aller drei Elemente – Auslöser, Wirkungsmodell oder betroffenem System – Wissenslücken bzw. Nichtwissen vorhanden sein. Um dieses Nichtwissen aufzulösen, kann, z. B. ausgehend von einem definierten Auslöser und bekannten Wirkungsmodellen, nach möglichen Effekten in betroffenen Systemen gesucht werden. Das ist ein in der Toxikologie gängiges Verfahren. Nichtwissen kann aber auch im Hinblick auf das Wirkungsmodell bestehen, wenn ein vermuteter Zusammenhang zwischen einem Auslöser und Auswirkungen in einem Zielsystem untersucht wird. Hierfür wäre Elektrosmog ein Beispiel; in einem Szenario, wo Strahlung messbar ist und Personen leiden, ein Wirkungsmodell, das den Zusammenhang erklären könnte, bislang allerdings fehlt. Drittens kann es auch passieren, dass Wirkungsmodelle vorliegen und besondere Phänomene beobachtet werden, der exakte Auslöser aber nicht bekannt ist. Dies ist ein Muster, das man häufig in der Epidemiologie findet, wo ausgehend von Auffälligkeiten nach den auslösenden Agentien gesucht wird. Besonders große Herausforderungen sind mit Eingriffen, Technologien und explorativen Experimenten dann verbunden, wenn mit noch unbekanntem Wirkungsmodellen und mit noch unbekanntem Zielsystemen gerechnet werden muss, wie dies beim historischen FCKW-Beispiel der Fall war. Dann bleibt nur die Charakterisierung des Eingriffs, die eventuell im FCKW-Fall bereits gravierende Gründe zur Besorgnis hätte hervorbringen können (Kap. 4.1.2).

---

### 4.1.2 Analyse des Eingriffs: Technikcharakterisierung im engeren Sinn

Die Technikcharakterisierung im engeren Sinn ist eine Herangehensweise, um auf Überraschungen gefasst zu sein, auch wenn die Anwendungsziele und die Anwendungskontexte noch weitgehend unbekannt sind. In einer solchen Situation bleibt zunächst vor allem der Blick auf die (Eingriffs-)Technologie selbst, d. h. auf die Eingriffsmöglichkeiten, mit denen auf mögliche betroffene Systeme eingewirkt werden kann. Beim Blick auf die Technologie bzw. den Eingriff bietet sich die Analyse des Charakters der Technik bzw. des Eingriffs an. Bei dieser Technikcharakterisierung spielen die Eingriffsintensität, die Eingriffstiefe und die dadurch hervorgebrachten technischen Wirkmächtigkeiten eine zentrale Rolle.

#### **Wirkmächtigkeit, Eingriffsintensität und Eingriffstiefe**

Durch den spezifischen Charakter eines Eingriffs ergeben sich unterschiedliche Wirkmächtigkeiten. Die Wirkmächtigkeit bezeichnet das Maß der Umgestaltungsmöglichkeiten, die durch den Auslöser, also in der Perspektive der vorliegenden Untersuchung durch ein exploratives Experiment, im aufnehmenden

^  
› 4 Technikcharakterisierung und rekursives Lernen in Realexperimenten  
v

System hervorgerufen werden können. Als Maß der Wirkmächtigkeit dient die Reichweite der ausgelösten relevanten Wirkungsketten in Raum und Zeit. Dabei können besondere Wirkmächtigkeiten derartiger Eingriffe sowohl auf quantitativem als auch auf qualitativem Weg hervorgebracht werden: Der quantitative Grad des Eingriffs, also beispielsweise eine hohe Massivität, Menge oder Frequenz, wird durch den Begriff der Eingriffsintensität beschrieben. Eingriffsintensität beschreibt das Ausmaß, mit dem in ein System eingegriffen wird. Zum Beispiel kann ein Bagger größere Wirkungen erzielen als ein Spaten. Man kann aber auch mit sehr vielen Spaten die Wirkung eines Baggers erreichen.

Für die Bestimmung des Charakters des Eingriffs und seiner Wirkmächtigkeit spielt allerdings nicht nur die quantitativ fassbare Eingriffsintensität, sondern auch die (bisher) nur qualitativ zu bestimmende Eingriffstiefe eine besonders wichtige Rolle. Die Eingriffstiefe thematisiert die Qualität des Eingriffs. Als besonders tief können insbesondere solche Eingriffe identifiziert werden, die technisch an Steuerungsstrukturen ansetzen. Darunter sind diejenigen Strukturen zu verstehen, die übergeordnete Phänomene erst hervorbringen bzw. steuern, beispielsweise Atom- und Molekül- oder Genstrukturen (von Gleich 1989, 1998a, 1998b u. 1998c). Da die physikalischen, chemischen und biologischen Phänomene weitgehend durch Atome, Moleküle und Gene bestimmt werden, können Interventionen in diese Steuerungsstrukturen zu weitreichenden, langandauernden und unvorhersehbaren Wirkungen auf den jeweiligen Ebenen führen.

Ein Beispiel im Hinblick auf Irreversibilität kann diesen Gedanken illustrieren: Das Töten eines einzelnen Organismus hat zwar für diesen Organismus irreversible Folgen, kaum aber für das zugehörige Ökosystem. Die Freisetzung von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) hingegen könnte auf längere Sicht beispielsweise durch Vermehrung und Gentransfer irreversible Auswirkungen für ganze Ökosysteme (in Form von Änderungen der Populationszusammensetzungen) haben, selbst wenn kurzfristig keine Schäden erkennbar sind. Diese Möglichkeit resultiert aus der Eingriffstiefe (in diesem Fall auf der Steuerungsebene der DNA) sowie den Grundeigenschaften der veränderten Technologie (in diesem Fall des GVO mit seiner Fähigkeit zu Selbsterhaltung, Selbstvermehrung und Gentransfer). Tabelle 4.1 illustriert die Entstehung von Gründen zur Besorgnis aufgrund einer hohen Wirkmächtigkeit, geht dabei auf die beiden Komponenten Eingriffsintensität und Eingriffstiefe ein und gibt Hinweise auf Ansatzpunkte im Sinne einer Vorsorge. Dabei können beide Gründe der Besorgnis (aufgrund hoher Intensität oder Eingriffstiefe) schon in einer frühen Innovationsphase betrachtet und berücksichtigt werden, in der die betroffenen Systeme und deren Vulnerabilität noch unbekannt sind.

## 4.1 Die Methode der Technikcharakterisierung



Tab. 4.1 Gründe zur Besorgnis aufgrund von Wirkmächtigkeiten durch hohe Eingriffsintensität und/oder Eingriffstiefe sowie Ansatzpunkte der Vorsorge

Stärke/Qualität des Auslösers	Konsequenz/Wirkmächtigkeit	Ansatzpunkte zur Vorsorge
hohe Eingriffsintensität (Quantität) Größe/Menge/Frequenz: stofflich mechanisch energetisch	Wirkmächtigkeit vor Ort: energetisch mechanisch chemisch toxisch Beispiele: Explosion, Lärm, Bagger, Säure, akutes Gift	bei langsam zunehmender Quantität: Überschaubarkeit/Korrigierbarkeit hoch bekanntes Nichtwissen übersehbar, unbekanntes Nichtwissen eher gering lokale korrigierbare Effekte, relative Rückholbarkeit rascher Verlust gefährdender Eigenschaften durch Dissipation, Abbau etc. Trial-and-Error-Strategie in Grenzen vertretbar
hohe Eingriffstiefe (spezifische Qualität) bei Ansetzen an Steuerungsstrukturen, z. B.: Atome Molekülstruktur Gene Hormon oder Nervensystem	Wirkmächtigkeit entgrenzt: besonders lange Wirkungsketten in Raum und Zeit Persistenz, Naturfremdheit, Mobilität, extreme Halbwertszeit, Selbstreproduktion Beispiele: FCKW, radioaktive Spaltprodukte, Freisetzung von GVO	bei hoher Eingriffstiefe und entgrenzter Wirkmächtigkeit: Überschaubarkeit und Korrigierbarkeit gering bekanntes und unbekanntes Nichtwissen hoch Nichtrückholbarkeit Entgrenzung von Gefährdungs- und Expositionspotenzialen: Anlass für große Besorgnis weitreichende Vorsorgestrategie notwendig

Quelle: von Gleich et al. 2014, S. 16, leicht verändert

Je nach dem Charakter des Eingriffes kann sich die jeweilige Wirkmächtigkeit über Wirkungsketten weit in Raum und Zeit ausdehnen, bis hin zu globalen und mehr oder weniger irreversiblen Auswirkungen. Zur Illustration derartiger weitreichender Wirkungsketten können die weltweit verbreiteten FCKW und organische Schadstoffe (»persistent organic pollutants« – POP) mit besonders langen Halbwertszeiten in der Umwelt dienen.

^  
› 4 Technikcharakterisierung und rekursives Lernen in Realexperimenten  
v

Drei Charakteristika von Stoffen bzw. Eingriffstechnologien kommen hinsichtlich ihrer Wirkmächtigkeit unter Vorsorgegesichtspunkten besondere Bedeutung zu:

- › Fähigkeit zu Kettenreaktionen: Die Fähigkeit, Kettenreaktionen auszulösen (beispielsweise eine atomare Kettenreaktion oder eine molekulare, wie bei BSE), führt zu besonders langen Wirkungsketten und daher einer besonders hohen Wirkmächtigkeit. Die Fähigkeit zur Auslösung einer Kettenreaktion kann dabei bereits im Rahmen des Eingriffs(systems) bestehen. Auf der anderen Seite muss aber auch auf die Möglichkeit zum Auslösen von Kettenreaktionen im Zielsystem geachtet werden. Für eine umfassende Beurteilung dieses Charakteristikums ist daher sowohl die Technikcharakterisierung im engeren Sinn als auch die Vulnerabilitätsanalyse maßgeblich.
- › Fähigkeit zur Selbstvermehrung: Die Freisetzung von lebenden Organismen, die zur Selbstvermehrung fähig sind, ermöglicht unter geeigneten Bedingungen ihre Verbreitung und sorgt damit für die Ausweitung der zeitlichen und räumlichen Exposition. Dies gilt u. a. für gentechnisch veränderte Organismen (GVO).
- › Hohe Persistenz: Radioaktive Stoffe mit extrem langen Halbwertszeiten, aber auch chemisch besonders stabile Stoffe in der Umwelt (beispielsweise FCKW oder POP) führen in der Regel zu einer höheren Exposition im Vergleich zu leicht abbaubare Substanzen und damit unter Umständen auch zu einem höheren Gefährdungspotenzial. Dies gilt neben Chemikalien auch für etwaige naturfremde synthetisch-biologische Konstrukte, die in der Umwelt nicht verstoffwechselt werden.

Beim in Kapitel 2.3.3 beschriebenen Beispiel der Freisetzung von FCKW mit der Folge der Ausbildung des Ozonlochs hätten beispielsweise auch schon zum Zeitpunkt des Beginns der Freisetzung der FCKW, ohne Kenntnis der problematischen Wirkungszusammenhänge in 10.000 m Höhe, Gründe zur Besorgnis vorgebracht werden können: FCKW sind persistent, volatil und naturfremd. Das heißt, sie führen im Lauf der Zeit zu einer tendenziell globalen Exposition und können in vielfältigen Kontexten auftauchen.

---

#### 4.1.3 Die Vulnerabilitätsanalyse

##### Resilienz und Vulnerabilität der Zielsysteme

Für die vorliegende Studie ist es wichtig, die Begriffe Vulnerabilität und Resilienz kurz einzuführen. Ein resilientes System ist ein System, welches auch unter sich stark verändernden Rahmenbedingungen bzw. Störungen sowie bei Ausfällen von Systemelementen seine Systemdienstleistungen aufrecht zu er-



halten vermag (von Gleich et al. 2010). Resilienz kann durch unterschiedliche Fähigkeiten des Systems gefördert werden, nämlich durch die Fähigkeit der Widerständigkeit gegenüber Störungen (Resistenz), die Fähigkeit zur Anpassung an veränderte Rahmenbedingungen (Adaptivität) und die Fähigkeit zur Variation (z. B. Nutzung diverser Ressourcen). Resiliente Systeme in diesem Sinne benötigen für ihre dynamische Stabilität, ihre Widerstandsfähigkeit und ihre Adaptionsfähigkeit in der Regel eine breite und diverse Ressourcenbasis, ein Mindestmaß an Redundanz kritischer Systemelemente (Dämpfer, Puffer, Speicher) sowie ein ausgeglichenes Verhältnis von positiven und negativen Rückkopplungen.

Während die Resilienz eines Systems hier als allgemeines Leitkonzept verwendet wird, bezeichnet die Vulnerabilität, d. h. die Verletzlichkeit eines Systems eine analytische Kategorie, wobei zwischen der ereignisunabhängigen, strukturellen und der ereignisbezogenen Vulnerabilitätsanalyse unterschieden wird. Während erstere die allgemeinen Stabilitätseigenschaften des betrachteten Systems thematisiert, stellt letztere einen Brückenschlag zwischen dem Charakter des Eingriffs und den Vulnerabilitätseigenschaften des betroffenen Systems dar.

### **Strukturelle Vulnerabilitätsanalyse**

Die strukturelle Vulnerabilitätsanalyse konzentriert sich auf mögliche vom Experiment betroffene Systeme mit der Frage, welches die kritischen Elemente im System sind und an welcher Stelle das System nachzugeben droht, wenn es unter Stress gerät. Methodische Vorbilder für dieses Vorgehen stammen aus den Ingenieurwissenschaften (beispielsweise die Failure Mode and Effect Analysis, FMEA,<sup>20</sup> und die Fehlerbaumanalyse, FTA<sup>21</sup>), aus der Theorie komplexer dynamischer Systeme (beispielsweise sensible Phasen, nichtlineares Verhalten) und aus der Ökosystemtheorie (Kippunkte).

Die strukturelle Vulnerabilität eines Systems hängt u. a. von seiner Kritikalität und seiner Anpassungskapazität ab. Die Kritikalität thematisiert die Rolle der verschiedenen Elemente eines Systems. Nicht alle Systemelemente sind gleich wichtig. Vielmehr ist ein Systemelement dann als kritisch anzusehen, wenn bei seinem Ausfall das übergreifende System destabilisiert wird. Die Anpassungskapazität eines Systems bezeichnet seine Fähigkeit, auf Eingriffe so zu reagieren, dass systemgefährdende Schäden entweder vermieden oder abgeschwächt werden. Beispielsweise kann ein Immunsystem auf Infektionen reagieren, um zu verhindern, dass Krankheiten ausgelöst werden, die den gesamten Organismus in Mitleidenschaft ziehen.

---

20 Übersetzt: Fehlermöglichkeitsanalyse und Fehlereinflussanalyse (Eberhardt 2013).

21 »fault tree analysis« (Böhnert 1992; Thums 2004)

^  
› 4 Technikcharakterisierung und rekursives Lernen in Realexperimenten  
v

Der Analyseschritt der strukturellen Vulnerabilitätsanalyse fokussiert also auf kritische Elemente und Zustände sowie auf Anpassungskapazitäten. Im Einzelnen werden folgende Aspekte betrachtet:

- › Resilienz des Zielsystems (im Sinne von Aufrechterhaltung seiner Dienstleistungen),
- › Schwachstellen im Zielsystem – Identifizierung kritischer Elemente und Zustände,
- › Selbstreparaturfähigkeit des Zielsystems,
- › bekannte mögliche Kippunkte und sensible Phasen,
- › mögliche Auswirkungen des Nachgebens der Schwachstellen (Kippereignisse),
- › Anpassungskapazitäten, die in der Lage wären, diese kritischen Ausfälle bzw. Ereignisse abzufangen.

### **Ereignisbezogene Vulnerabilitätsanalyse**

Bei der ereignisbezogenen Vulnerabilitätsanalyse wird Vulnerabilität als Funktion von Exposition und Sensitivität des Zielsystems gegenüber dem Störereignis und Anpassungskapazität als Fähigkeit, das Störereignis zu kompensieren, definiert. Die Sensitivität beschreibt dabei die Empfindlichkeit eines betroffenen Systems gegenüber dem Auslöser im Zusammenhang mit dem durchgeführten Experiment. Dabei ist das Wirkungsmodell, das die Wirkbeziehung des Eingriffs auf das jeweilige Zielsystem beschreibt, von hoher Wichtigkeit.

Die Sensitivität kann je nach Aufbau des Systems und je nach Entwicklungsphase unterschiedlich sein. Die Auswirkungen eines Eingriffs in ein System können entsprechend verschieden ausfallen, je nachdem, zu welchem Zeitpunkt er stattfindet. Zum Beispiel sind in der Embryonalentwicklung besonders sensitive Phasen gegenüber biologisch aktiven Substanzen bekannt. Wird in dieser Phase ein bestimmtes Medikament eingenommen, kann es mit großer Wahrscheinlichkeit schwere Schädigungen an einem Fötus auslösen. Ist diese spezifische Phase vorbei, nimmt die Empfindlichkeit ab.

Der Analyseschritt der ereignisbezogenen Vulnerabilitätsanalyse fokussiert also auf die Frage, ob das System gegenüber dem Störereignis überhaupt exponiert und wie sensitiv es gegenüber dem Störereignis ist. Anschließend wird mit Blick auf die Anpassungskapazitäten des Systems geschaut, ob diese in der Lage wären, die Wirkungen des Störereignisses zu kompensieren. Konstruktiv gewendet kann auch danach gefragt werden, wie ein möglichst resilientes Zielsystem ausgewählt oder gestaltet werden kann.

---

## 4.2 Das Konzept des rekursiven Lernens in Realexperimenten

Die Methode der Technikcharakterisierung kann schon sehr früh im Forschungsprozess – bereits vor der Durchführung eines zur Debatte stehenden explorativen Experiments – Hinweise darauf geben, ob, unter welchen Umständen und in welchem Maße bei der Durchführung des Experiments Nichtwissen generiert wird, Überraschungen eintreten können und allgemein Gründe zur Besorgnis bestehen können. Je nach Situation können dann Vorsichtsmaßnahmen ergriffen, das Experimentaldesign geändert oder unter Umständen ganz darauf verzichtet werden, das explorative Experiment durchzuführen.

Selbst bei einer sorgfältigen und vorausschauenden Analyse lassen sich dabei Überraschungen nicht ausschließen, sondern sind vielmehr Teil des experimentellen Prozesses. Es ist daher wesentlich, darüberhinausgehend eine Vorgehensweise zu etablieren, durch die während und nach der Durchführung des explorativen Experiments mögliche unerwartete Folgewirkungen beobachtet werden können und so je nach Einschätzung der eintretenden Folgewirkungen ggf. nachgesteuert werden kann.

Hierzu kann das Analysekonzept des rekursiven Lernens in Realexperimenten wichtige Impulse geben (Kap. 2.2.3). Eine Reihe von innovationsorientierten Praktiken, wie beispielsweise das Design und die Inbetriebnahme von technologischen Pilotanlagen, ökologische Gestaltungsprojekte oder Testphasen in der Medikamentenentwicklung wurden bislang als Beispiele für rekursives Lernen in Realexperimenten interpretiert und analysiert (Krohn 2007).<sup>22</sup> Rekursiv bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der Lernprozess nicht einmalig ist, sondern als ein sich wiederholender Zyklus aufgefasst wird, bei dem gewonnenes Wissen die Grundlage für weitere Lernschritte bildet.

Ein zentraler Aspekt des Konzepts liegt in der Betonung und Analyse der Prozesshaftigkeit des Wissenszuwachses. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung, um einigen der Herausforderungen des Nichtwissens bei wissenschaftlich-technischen Eingriffen experimentellen Charakters, beispielsweise bei der Technikentwicklung und der Gestaltung von Umweltprojekten, analysieren zu können (Bleicher 2012; Groß 2014; Groß et al. 2005; Krohn 2007 u. 2011) und daraus entsprechende Schlussfolgerungen zu ziehen. Überlegungen zum rekursiven Lernen in Realexperimenten können auch als Reaktion auf die Beobachtung gewertet werden, dass die Welt des 21. Jahrhunderts handlungsunfähig wäre, wenn vor jedem wissenschaftlich-technischen Eingriff Unsicherheiten

---

22 Ein weiteres instruktives Beispiel für die Anwendung des Konzepts des rekursiven Lernens bei Realexperimenten findet sich bei Groß/Bleicher (2012) sowie Bleicher (2012). Sie analysieren die Vorgehensweise bei der Altlastensanierung als Realexperiment und ziehen Schlussfolgerungen für die Ausgestaltung der Rahmenbedingungen eines solchen Projekts. Die dabei aufgeworfenen Fragen gelten in ähnlicher Form auch für das Thema der Müllentsorgung (Groß et al. 2005, S. Kap. 7).

^  
› 4 Technikcharakterisierung und rekursives Lernen in Realexperimenten  
v

und Nichtwissen weitgehend oder gar vollständig ausgeräumt werden müssten.<sup>23</sup> Dem will das Konzept begegnen, indem es versucht, dem Umgang mit dem unvermeidlichen Nichtwissen Struktur zu geben und einen Weg zwischen dem leichtfertigen Vertrauen in Sicherheitsversprechen einerseits und der Absage an wissenschaftlich-technische wie auch gesellschaftliche Veränderungen andererseits zu weisen (Groß et al. 2005, S. 210).

Da Realexperimente die kontrollierten und artifiziellen Bedingungen des Labors verlassen und sich in der gesellschaftlichen, ökonomischen und natürlichen Umwelt abspielen, verlassen sie notwendigerweise den rein wissenschaftlichen Kontext und werden in breitere gesellschaftliche Zusammenhänge gestellt. Dabei kommen zugleich auch die gesellschaftlichen Prozesse und Strukturen in den Blick, die diese Realexperimente begleiten.

---

#### 4.2.1 Grundlegende Aspekte

Das Konzept des rekursiven Lernens in Realexperimenten geht von zwei Grundannahmen aus: Die erste besteht darin, dass wissenschaftliche Verfahren – wie beispielsweise antizipierende Risikoanalyse, Laborforschung oder räumlich und zeitlich begrenzte Feldversuche – allein nicht in der Lage sind, alle möglichen und relevanten Effekte eines wissenschaftlichen-technisch Eingriffs unter realweltlichen Bedingungen vorherzusehen. Die zweite Grundannahme liegt darin, dass nicht nur vor, sondern auch im Verlauf eines Eingriffs oder sogar danach, Nichtwissen bzw. Überraschungen auftreten können, sodass eine angemessene Strategie des Umganges mit diesem Nichtwissen eine zeitlich ausgedehnte, prozesshafte Struktur besitzen muss.

Vor dem Hintergrund dieser Ausgangshypothesen postuliert der Ansatz einen rekursiven gesellschaftlichen Lernprozess, bei dem der zur Debatte stehende Eingriff als Experiment aufgefasst wird, dessen Ergebnisse beobachtet und bewertet werden und als Ausgangspunkt für die nächste rekursive Phase dienen (Abb. 4.2). Gleichzeitig empfiehlt der Ansatz, das jeweils vorhandene Nichtwissen zu Beginn eines Realexperiments deutlich zu kommunizieren und zugleich verschiedene Formen und Bestände des Wissens (z. B. wissenschaftliches Wissen, aber auch vorhandenes Laienwissen etc.) zusammenzuführen. Das soll dazu beitragen, etwaige Effekte wissenschaftlich-technischer Eingriffe möglichst umfassend abschätzen und sich gegenüber möglichen unerwünschten Überraschungen optimal vorbereiten zu können. Ähnlich wie bei einem klassischen Experiment wird zu Beginn eines Realexperiments eine Art Hypothese aufgestellt bzw. ein Ziel definiert. Um überprüfen zu können, ob die Hypothesen zutreffen bzw. das Ziel erreicht wird, sind kontinuierliche Beobachtungen

---

23 Ein solches, auf umfassende Sicherheit abstellende Vorgehen könnte sich gar als kontraproduktiv erweisen. Denn relevante Zeit zu handeln, könnte beim Versuch verspielt werden, Noch-nicht-Wissen in sicheres Wissen umzuwandeln.



der Folgewirkungen notwendig. Dabei ist es gut möglich, dass das Ziel verfehlt wird, was Gefährdungsmomente und gesellschaftliche Enttäuschung hervorrufen kann. Zugleich steckt in einem möglichen Scheitern das Potenzial, neues Wissen zu generieren und zu lernen, sodass den entstandenen und erkannten Problemen in nachfolgenden Projektphasen oder ähnlichen Projekten besser und adäquater begegnet werden kann (Groß 2014).

Das Konzept des rekursiven Lernens in Realexperimenten begreift eine derartige experimentelle Situation also zugleich als Chance, sich auf Neues einzulassen und sich dabei sowohl dem Nichtwissen als auch der Komplexität des Phänomens zu stellen. Das soll dabei idealerweise methodisch abgesichert, demokratisch legitimiert und verantwortlich geschehen (Krohn 2007), um unter Bedingungen des Nichtwissens begründet, autorisiert und bestmöglich entscheiden und handeln zu können (Groß 2014, S. 12).

Ein solches Vorgehen erscheint nicht zuletzt auch deshalb sinnvoll, weil die Option, nichts zu unternehmen, nicht nur Stillstand bedeuten könnte, sondern nicht in jedem Fall das Gefährdungspotenzial verringert. Wie das Beispiel der Kontamination durch Altlasten zeigt, könnten die Gefahren in der Zukunft eventuell sogar noch zunehmen, wenn wissenschaftlichen-technische Eingriffe und rekursive Lernprozesse nicht rechtzeitig durchgeführt bzw. angestoßen werden, beispielsweise bei der Altlastensanierung.

Beim Ansatz des rekursiven Lernens in Realexperimenten geht es grundsätzlich darum, situationsgerechte und sozusagen lokale Problemlösungen zu erarbeiten, die nicht unbedingt verallgemeinert werden können. Da diese Problemlösungen in soziale, ökologische und technische Gestaltungsprozesse eingebettet sind, die in der Regel viele Akteure betreffen, sollten sie auch von möglichst vielen Betroffenen mitgetragen werden (Groß et al. 2005). Der rekursive gesellschaftliche Lernprozess, der in diesem Konzept postuliert wird, erfordert also eine entsprechende Beteiligung der Gesellschaft an den Entscheidungsprozessen (hierzu auch Kap. 5). Dabei ist entscheidend, dass auch Wissensgrenzen thematisiert und der Umgang mit Nichtwissen unter Betroffenen ausgehandelt wird. Das hilft dabei, auf Überraschungen gefasst zu sein und die Randbedingungen aushandeln zu können, unter denen die Experimente durchgeführt werden.

---

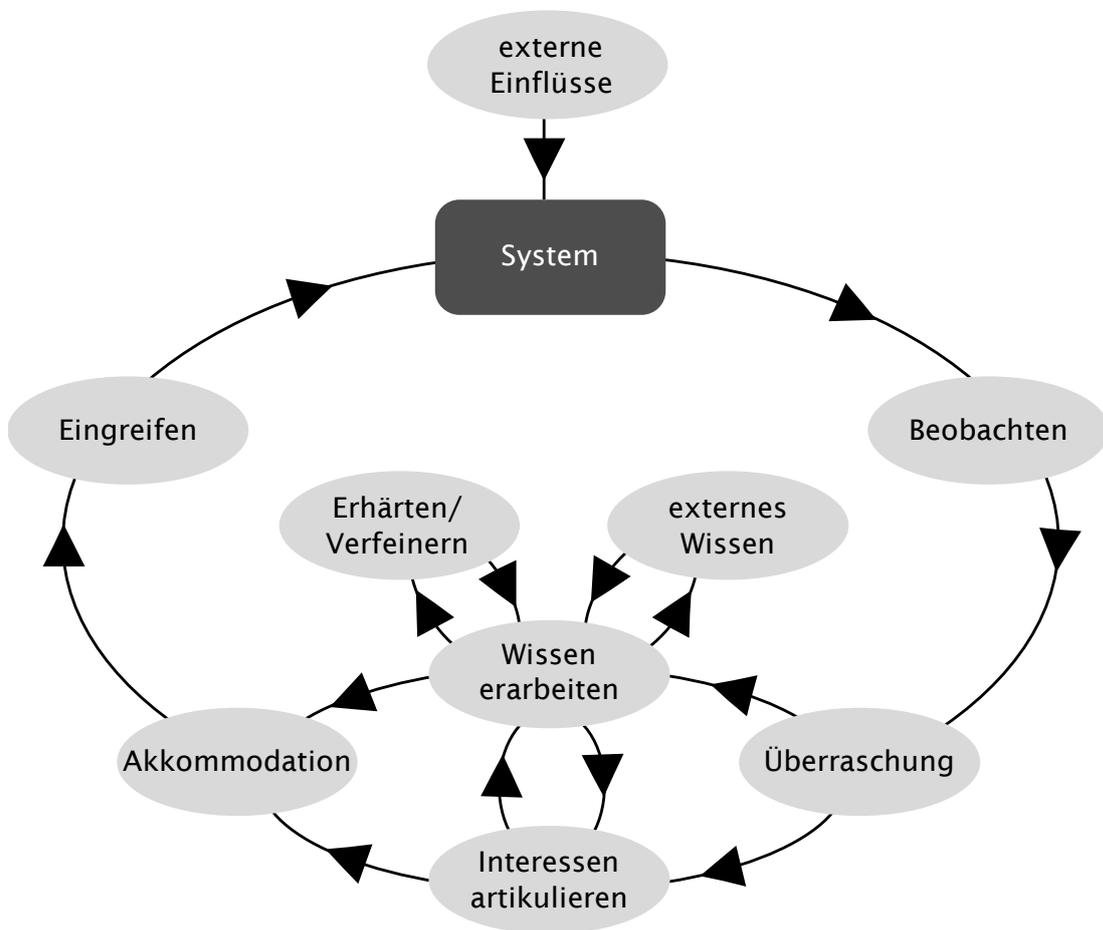
### 4.2.2 Der Lernprozess bei Realexperimenten – aus Überraschungen lernen

Das Konzept des rekursiven Lernens in Realexperimenten geht, wie auch der Ansatz der Technikcharakterisierung, davon aus, dass das Wissen über mögliche Risiken eines Eingriffs bzw. explorativen Experiments nicht nur zu Beginn einer Technikentwicklung unvollständig ist, sondern dass auch im weiteren Prozess des Experimentierens bzw. später bei einer Technologieanwendung neues Nichtwissen entstehen kann, mit dem umgegangen werden muss. »Nichtwissen

^  
 > 4 Technikcharakterisierung und rekursives Lernen in Realexperimenten  
 v

steht nicht am Anfang einer technologischen Erprobung, sondern wird im Verlauf der Implementation« kontinuierlich neu geschaffen und muss entsprechend berücksichtigt werden (Krohn 1997, S. 84). Man weiß in manchen Fällen zu Beginn eines Prozesses noch gar nicht, was man nicht weiß und mit welchen unvorhergesehenen Effekten man zu rechnen hat. Das kann kontinuierliche Lernprozesse und die beständige Überprüfung, Revision und Erweiterung der bisherigen Wissensbasis erforderlich machen (Abb. 4.2).

Abb. 4.2 Erweiterter Gestaltungszyklus im Realexperiment zur Strukturierung im Umgang mit Nichtwissen



Quelle: Groß et al. 2005, S. 21

Abbildung 4.2 skizziert idealtypisch, wie der Umgang mit Nichtwissen im Rahmen des Konzepts analytisch strukturiert werden kann. Der Zyklus beginnt mit der Beobachtung der Wirkungen und Folgen des Eingriffs oder Experiments. Entscheidend für die Frage, was beobachtet wird, sind in der Regel die im Vorhinein entwickelten Hypothesen über mögliche Ergebnisse oder Wirkungen des



Experiments. Hier besteht die grundsätzliche Schwierigkeit, dass durch diese für die Wissenschaft typische Engführung der Aufmerksamkeit (Kap. 2.3.3) auf die Sachbereiche der Hypothesen mögliche Wirkungen, die außerhalb liegen, nicht beobachtet und daher auch nicht erkannt werden. Die Frage der Beobachtbarkeit bzw. Beobachtung der Folgen eines Eingriffs oder Experiments ist daher einerseits nicht trivial und andererseits entscheidend (Kap. 4.2.3).

Überraschungen nehmen eine Schlüsselrolle im Konzept des rekursiven Lernens in Realexperimenten ein. Denn es sind Überraschungen, also unerwartet eintretende Ereignisse, die erkennen lassen, was man bisher nicht gewusst und noch nicht einmal geahnt hatte. Anfänglich unerkanntes Nichtwissen wird so zunächst in gewusstes Nichtwissen verwandelt und kann dann im Idealfall in erweitertes Wissen und vorläufige Problemlösungen überführt werden – wobei jedoch neues (unerkanntes) Nichtwissen erzeugt wird, das wiederum das Potenzial für neue Überraschungen birgt. Das Bewusstsein für die Möglichkeit von Überraschungen bzw. die Offenheit ihnen gegenüber ist ein zentraler Aspekt im Gestaltungsprozess und Voraussetzung für erfolgreiches und gesellschaftlich akzeptables Handeln unter Bedingungen des Nichtwissens.

Eine eingetretene Überraschung kann zu verschiedenen Reaktionen führen, wobei die unterschiedlichen Aspekte der Weiterentwicklung des Experimentierprozesses in der Praxis gemeinsam auftreten und oft miteinander verwoben sind. Einerseits wird es zu einer Revision des bestehenden Wissens kommen. Bei der Wissenserarbeitung können Erkenntnisse aus explorativen oder Laborexperimenten einfließen (in Abb. 4.2 mit Erhärten bzw. Verfeinern angedeutet), oder vergleichbare Situationen können herangezogen werden, um das dort gewonnene Wissen bzw. die dort gemachten Erfahrungen zu nutzen (im Schema externes Wissen). Eine neue Faktenlage wird ggf. die Anpassung des experimentellen Zuschnitts erforderlich machen. Gleichzeitig kann sie ggf. die gesellschaftliche Bewertung und damit wünschenswerte Gestaltung des Experiments verändern.

Dabei ist nicht unbedingt damit zu rechnen, dass alle Akteure von vorneherein in dieser Neubewertung übereinstimmen, sodass es – abhängig von der Interessenlage der betroffenen Akteure – in der Regel zu einer neuen Aushandlung einer gesellschaftlich wünschenswerten weiteren Gestaltung des Experimentierprozesses in der politischen Arena kommen wird (Groß et al. 2005: 19ff). Eine solche Neuverhandlung wird meist dann im Vordergrund stehen, wenn sich die Verteilung von positiv und negativ bewerteten Folgewirkungen auf die betroffenen Akteure stark verschoben hat. Bei dieser Anpassung handelt es sich aus soziologischer Perspektive um die soziale Einordnung des hinzugekommenen Wissens (Akkommodation in Abb. 4.2). Nach einer solchen Anpassung erfolgt der entsprechende Eingriff in die Ausführung des Projekts. Es ergibt sich ein Kreislauf, bei dem die Ergebnisse eines Durchlaufs die folgenden

^  
› 4 Technikcharakterisierung und rekursives Lernen in Realexperimenten  
v

Beobachtungen beeinflussen und gewonnenes Wissen erneut infrage gestellt werden kann.

---

### 4.2.3 Beobachtbarkeit und Überraschung

Doch auch diese gesellschaftlich reflektierte Form des Umgangs mit Nichtwissen ist nicht frei von politisch-normativen und erkenntnistheoretischen Ambivalenzen. Diese beginnen damit, dass Lernen aus (negativen) Überraschungen nur dann als legitim und akzeptabel angesehen werden kann, wenn die Folgen dieser Überraschungen gesellschaftlich tolerier- und kontrollierbar sind (Scheringer 2002). Dies kann man aber bei großräumigen und langfristigen explorativen Experimenten bzw. Realexperimenten (etwa in den Bereichen Kernenergie, Grüne Gentechnik, Nanotechnologie, Fracking, Geoengineering, persistente Umweltchemikalien) im Voraus weder sicher wissen noch garantieren.<sup>24</sup> Die Erkenntnis, dass selbst vermeintlich sichere japanische Atomkraftwerke nicht hinreichend gegen ein schweres Erdbeben und einen Tsunami geschützt sind, könnte man durchaus als eine realexperimentelle Überraschung begreifen, die für Lernprozesse genutzt werden kann (und wurde). Die gravierenden Folgen in der Region um Fukushima und darüber hinaus stellen jedoch einen sehr hohen Preis für gesellschaftliches Lernen dar. Insbesondere zeigt sich hier das Problem der Irreversibilität bestimmter eintretender Überraschungen.<sup>25</sup>

Hinzu kommt, dass die Prämisse der umfassenden Beobachtbarkeit der Folgen des Eingriffs oder explorativen Experiments und damit auch des Lernens aus deren Beobachtung massiv gefährdet sind, wenn die räumlichen und zeitlichen Wirkungshorizonte, innerhalb derer mögliche negative Folgen auftreten können, unbekannt sind oder weit auseinander liegen. Beobachtung erfordert neben der Verfügbarkeit geeigneter Beobachtungsinstrumente gezielte Aufmerksamkeit auf diejenigen Realitätsbereiche, in denen sich die zu beobachtenden Phänomene zeigen könnten. Überrascht zu werden setzt nicht nur voraus, bestimmte Erwartungen bilden zu können, die dann enttäuscht, verfehlt oder übertroffen werden, sondern erfordert auch, bestimmte Ereignisse überhaupt erfassen und sie als Bruch mit den etablierten Erwartungen interpretieren zu können. Wenn wir aber vorher keine Ahnung haben, welche Ereignisse im Laufe eines Realexperiments wann und wo eintreten könnten, kann kein adäquater Erwartungshorizont gebil-

---

24 Bestenfalls können Anhaltspunkte – z. B. Gründe der Besorgnis (Kap. 4.1) – gesammelt und ausgewertet werden.

25 Dieses Beispiel kann daher als Untermauerung des »Konzepts der im Rückblick als fehlerhaft eingestuften Entscheidungen« dienen, das, wie das Konzept des rekursiven Lernens, ebenfalls davon ausgeht, dass Nichtwissen erst im Verlauf von Prozessen und Ereignissen sichtbar wird. Deshalb wird auch bei diesem Ansatz großes Gewicht auf die Folgenbeobachtung (Monitoring) gelegt, und es müssen Entscheidungen »daher erstens in hohem Maße korrigierbar sein, sich zweitens auf leicht steuerbare Systeme beziehen, drittens zukünftige Optionen offenhalten und viertens »robust« gegenüber Irrtümern sein« (Wehling 2006, S. 293).



det werden, innerhalb dessen Überraschungen als solche wahrgenommen werden können. Die Fähigkeit zur Beobachtung unerwarteter Effekt kann also nicht einfach als gegeben vorausgesetzt werden (Köchy 2008, S. 64).

Bestimmte Ereignisse werden dann entweder gar nicht registriert (wie lange Zeit die Ozonschädigung durch FCKW), weil die Aufmerksamkeit nicht auf diesen Realitätsausschnitt gerichtet war oder weil geeignete Mess- und Beobachtungstechniken nicht verfügbar waren. Oder sie werden zwar registriert, aber nicht als Überraschungen wahrgenommen, weil die Wirkungsbeziehungen unerkannt bleiben und die betreffenden Ereignisse daher mit dem laufenden Experiment nicht in einen kausalen Zusammenhang gebracht werden.

Es besteht also keine Gewähr dafür, dass das Potenzial für Überraschungen frühzeitig als solches wahrgenommen werden kann und dass die Überraschung selbst überhaupt als solche wahrgenommen wird, was die Chancen, korrigierend einzugreifen, in aller Regel erheblich schmälern dürfte.

---

### 4.2.4 Institutionalisation des rekursiven Lernens und Partizipation

Die Bedingungen, unter denen in Realexperimenten ein rekursiver, gesellschaftlicher Lernprozess stattfinden kann, sind nicht per se gegeben, sondern müssen aktiv gestaltet werden. Während im Laborexperiment der Fokus auf der Sicherstellung klar definierter und reproduzierbarer Randbedingungen liegt, geht es im Realexperiment um die Institutionalisierung des gesellschaftlichen Lernprozesses. Dafür ist es wichtig, das Nichtwissen bzw. die Möglichkeit seines Auftretens und die möglichen Gefährdungspotenziale gegenüber Beteiligten bzw. möglichen Betroffenen offen zu kommunizieren und in einem transparenten Prozess mit allen Beteiligten und potenziell Betroffenen Verfahren zu erarbeiten, die festlegen, wie die wissenschaftlich-technischen Eingriffe zu handhaben sind. Dazu gehört es, Wege zu finden, um den Verlauf und die Folgewirkungen von Experimenten systematisch zu beobachten. Um überzeugende und legitime Bedingungen für ein Lernen aus Überraschungen herzustellen, muss vor dem Einstieg in großtechnische Eingriffe, die Umwelt und Gesellschaft betreffen, eine offene und umfassende politische, wissenschaftliche und forschungsethische Auseinandersetzung zu der Frage stehen, wie die Rahmenbedingungen gestaltet werden.

Durch das Auftreten unvorhergesehener Ereignisse wird eine erneute Verständigung unter den beteiligten Akteuren darüber erforderlich, ob und in welcher Ausgestaltung sie auch unter den veränderten Umständen zu einer Fortführung des begonnenen Prozesses bereit sind. Die mit Realexperimenten verbundenen Eingriffe sind in politische, soziale, ökologische und technische Strukturen und Prozesse eingebettet, die viele Akteure betreffen. Dadurch haben die zugehörigen Planungsprozesse oft eine erhebliche ethische Dimension. Die Ent-

^  
› 4 Technikcharakterisierung und rekursives Lernen in Realexperimenten  
v

scheidungen über die Art der Eingriffe müssen daher nicht nur rechtsstaatlichen Regulierungen sachlich und prozedural Rechnung tragen, sondern auch politisch-gesellschaftlich verantwortbar sein. Dabei ist es wichtig, nicht nur die wissenschaftliche Rationalität, sondern auch andere soziale Sichtweisen zu berücksichtigen (Kap. 2.4.3).

Zwei Aspekte sprechen besonders dafür, dass die Frage nach dem Umgang mit Nichtwissen im Rahmen von wissenschaftlich-technischen Eingriffen gesellschaftliche Partizipation erfordert:

Erstens bringen derartige Eingriffe – je nach Zuschnitt und Reichweite – auf lokaler, regionaler, nationaler oder transnationaler Ebene neue Gruppierungen von Menschen hervor, die (potenziell) von den möglichen Folgen betroffen sind und daher berechtigterweise Mitspracherechte bei Entscheidungen über den Einstieg in und die Ausgestaltung der jeweiligen Experimente fordern. Betroffenheit (»affectedness«) ist dabei kein eindeutiges und objektives Faktum; vielmehr ist die Frage, wer in welcher Weise unter Nichtwissensbedingungen betroffen ist, selbst Gegenstand gesellschaftlicher Debatten. Wie Steve Rayner und Koautorinnen erläutern, muss Betroffenheit keineswegs von vorneherein auf materielle Effekte (Gesundheitsgefährdung, wirtschaftliche Einbußen etc.) eingeschränkt werden, sondern kann auch die Verletzung kultureller und moralischer Überzeugungen einschließen (Rayner et al 2013, S. 505). Eine ähnlich gelagerte Form von (ästhetisch-moralischer) Betroffenheit könnte z. B. aus Störungen des Landschaftsbildes resultieren.

Zweitens können betroffene Akteure und zivilgesellschaftliche Gruppierungen wichtige Beiträge zur Bewertung des verfügbaren Wissens wie auch des Nichtwissens leisten. Insbesondere Nichtwissen kann dabei höchst unterschiedlich bewertet werden, ohne dass eine bestimmte dieser Bewertungen (als die vermeintlich einzig rationale und wissenschaftliche) verbindliche Geltung beanspruchen könnte. Gegenstand und Ziel demokratischer, partizipativer Prozesse muss es daher sein, die unterschiedlichen Bewertungen des Nichtwissens (Kap. 2.4.1) und ihre jeweiligen politisch-normativen Implikationen in eine offene und kontroverse Diskussion einzubringen. Deren Ergebnis kann entweder eine Art von informiertem Dissens sein, der dann zum Thema weiterer politischer Auseinandersetzungen werden muss, oder aber die Einigung auf eine als legitim anerkannte Bewertung des verfügbaren Wissens und des relevanten Nichtwissens, auf deren Grundlage dann über das Ob und ggf. das Wie des Eingriffs entschieden werden kann.

Die Verfechter der Perspektive des rekursiven Lernens in Realexperimenten betonen, dass es für eine Gesellschaft, in der Realexperimente ablaufen, wünschenswert ist, dass sich eine »experimentelle Kultur« (Groß 2014, S. 168) in ihr entwickelt. Wesentliche Bestandteile einer solchen Kultur sind ein Bewusstsein für das Nichtwissen, seine Allgegenwärtigkeit und seine Folgen, Stra-



tegien zum Umgang mit vorstellbaren Überraschungen und eine gewissen Furchtlosigkeit »vor dem Unberechenbaren« (Groß 2014, S. 168).

Auf der Ebene des institutionellen Umgangs mit einer derartigen experimentellen Situation, nennt Groß (2014, S. 85) drei zentrale Aspekte:

1. »das beständige Neuverhandeln des Ablaufs des Experiments zwischen heterogenen Akteuren und Aktanten, zu denen auch die Natur gehört,
2. die Einbeziehung der – potenziell aller – Bürger als aktive Mitgestalter und Mitforscher sowie
3. ein Verfahren, in dem überraschende Ereignisse (›natürliche‹ oder ›soziale‹) so verarbeitet werden, dass sie zu neuem Wissen über natürliche oder soziale Phänomene führen, das in der Zukunft nützlich sein wird.«

---

### 4.2.5 Rekursives Lernen bei wissenschaftlichen explorativen Experimenten

Realexperimente können, wie in Kapitel 2.2 beschrieben, als allgemeinere Form von wissenschaftlichen explorativen Experimenten verstanden werden. Mit anderen Worten: Die in diesem Hintergrundpapier im Mittelpunkt stehenden wissenschaftlichen explorativen Experimente sind eine spezielle Form von Realexperimenten. Die im Hinblick auf Realexperimente entwickelte Idee des rekursiven gesellschaftlichen Lernens kann daher prinzipiell auch für wissenschaftliche explorative Experimente wichtige Hinweise liefern.

Wenn man die gestaltenden Elemente des Ansatzes auf Fragen des Umgangs mit Nichtwissen bei wissenschaftlichen explorativen Experimenten überträgt, können einige wichtige Aspekte skizziert werden, die für die Planung, Durchführung und ggf. Terminierung eines explorativen Experiments maßgeblich sind und berücksichtigt werden sollten. Dies betrifft vor allem die Institutionalisierung der Entscheidungsprozesse in allen Phasen des Experiments, also vor, während und nach dem Experiment, die Art und Form der begleitenden Beobachtungen, die Frage der zielgerichteten Auswertung der Beobachtungen für den weiteren experimentellen Ablauf sowie die Frage, wer in welcher Form in die Bewertungen und Entscheidungen eingebunden wird.

Weil explorative Experimente komplex und in vielfältige, spezifische Kontexte eingebunden sind (siehe hierzu auch die Fallbeispiele in Kap. 6 bis 8) und die jeweiligen ethischen und soziopolitischen Dimensionen bei Entscheidungen über solche Experimente eine wesentliche Rolle spielen, muss die Ausgestaltung auf die spezifischen Anforderungen eines bestimmten wissenschaftlichen Experiments zugeschnitten werden. Es können aber Aspekte bzw. Fragen aufgezeigt werden, die grundsätzlich angesprochen werden sollten, wenn ein exploratives Experiment durchgeführt werden soll.

^  
› 4 Technikcharakterisierung und rekursives Lernen in Realexperimenten  
v

Aufgrund der Prozesshaftigkeit eines Experiments von der Entscheidung und Vorbereitung über die Durchführung bis hin zur Ergebnisauswertung und weiteren Beobachtung der Folgen und aufgrund der Möglichkeit des Auftretens von Nichtwissen und Überraschungen im Verlauf dieses Prozesses weist das Konzept des rekursiven Lernens darauf hin, dass zur Hebung der gesellschaftlichen Potenziale des Experimentierens eine institutionelle Ausgestaltung der kontinuierlichen Begleitung und Steuerung des Experimentes sichergestellt sein sollte. Dabei ergeben sich die folgenden Erfordernisse:

- › Nichtwissen und die Möglichkeit des Auftretens von Überraschungen muss ernst genommen und gegenüber Betroffenen kommuniziert werden. Experimentieren und dadurch angestoßene Wissensgewinnung erfordern eine Kultur der Offenheit und Neugier, die auch dadurch gekennzeichnet sein muss, dass die mit dem Auftreten von Überraschungen verbundenen potenziellen Gefahren nicht ausgeblendet, sondern möglichst offen und transparent kommuniziert werden. Bei diesem Prozess treffen fast zwangsläufig unterschiedliche Nichtwissenskulturen (Kap. 2.4.2) aufeinander, was zu Problemen führen kann. Um den Herausforderungen zu begegnen, wäre es deshalb beispielsweise wichtig, gemeinsam über die Gründe dafür zu reflektieren, ein bestimmtes exploratives Experiment durchzuführen. Dabei sind auch alternative Strategien des Erkenntnisgewinns zur Diskussion zu stellen.
- › Der Kreis der von einem Experiment betroffenen Personen ist nicht a priori klar. Dies hängt damit zusammen, dass sehr unterschiedliche Formen der Betroffenheit existieren und aufgrund der Unsicherheit über alle möglicherweise betroffenen Systeme auch eine Unsicherheit über möglicherweise betroffene Personen besteht. Es muss also zu Beginn und im weiteren Verlauf ggf. immer wieder neu eine Verständigung über den Kreis der Betroffenen und damit potenziell Einzubeziehenden stattfinden.
- › Die Beteiligung von betroffenen Akteuren hat wiederum verschiedene Seiten. Zum einen können so zusätzliche Wissensbestände sowohl für Bewertungs- als auch für Entscheidungsprozesse aus unterschiedlichen Perspektiven eingebracht werden. Zum anderen leitet sich – zumindest in einem demokratisch verfassten Staat – durch die Betroffenheit ein Anspruch ab, in Entscheidungs- und Steuerungsprozesse einbezogen zu werden. Mit Betroffenen sollten daher sowohl die weiteren Randbedingungen ausgehandelt werden, die den Verlauf der Experimente und ihr Monitoring betreffen, als auch die Frage, unter welchen Bedingungen Experimente abgebrochen werden können oder gar müssen und wer hierüber entscheidet und die Verantwortung trägt.
- › In der Vorbereitung auf Überraschungen sollten also nicht nur verschiedene Wissensbestände aufgearbeitet und durch das Monitoring ständig ergänzt werden, sondern es sollten auch grobe Vereinbarungen über Handlungsoptionen und Entscheidungsprozesse zu Beginn eines Experiments getroffen



- werden, die möglichst schnelles und im Rahmen des (Nicht-)Wissens effektives Reagieren ermöglichen. Dazu gehören auch Abbruchkriterien.
- Das begleitende Beobachten nimmt einen besonderen Stellenwert ein. Es muss eine Übereinkunft darüber getroffen werden, welche Formen der Folgebeobachtung und -bewertung für das infrage kommende Experiment angemessen und notwendig sind. Hierfür müssen beispielsweise technische Vorkehrungen getroffen werden, die ein möglichst breites und auch zeitlich längerfristig angelegtes Monitoring unterschiedlicher Parameter erlauben. Das Monitoring kann sich in jedem Fall nicht nur auf die Phase des wissenschaftlich explorativen Experiments beziehen, sondern muss zeitlich darüber hinausgehen. Ausreichendes Monitoring ist zentral dafür, um eintretende Überraschungen überhaupt wahrzunehmen. Wie das Spektrum der Parameter und die Zeithorizonte genau definiert werden, ist fallspezifisch. Je größer und brisanter das Nichtwissen eingestuft wird und je weitreichender die Wirkungsketten in Raum und Zeit und daher auch mögliche negative Effekte sein können, desto umfangreicher sollte das Monitoring gestaltet werden. Hinweise dazu können beispielsweise Analysen im Rahmen der Risikoforschung (Kap. 3.3) oder über die Bildung von Gefährdungsindikatoren (Kap. 3.4), z. B. im Rahmen einer Technikcharakterisierung (Kap. 4.1), aber auch die Argumente von beteiligten Akteuren geben. Betroffene sollten Zugang zu den Ergebnissen der kontinuierlichen Beobachtungen haben und Experimentatoren ständig darüber auskunftsfähig sein.
  - Insgesamt sollte die begleitende Governance sicherstellen, dass Wissen aus den verschiedenen Quellen, aber auch über die Zeit zusammengeführt und in geeigneter Weise entscheidungsrelevant aufbereitet wird. Das Aufbereiten der Informationen schärft nicht nur den Blick für alle Eventualitäten und sensibilisiert für Aspekte des Nichtwissens, sondern hilft auch, schnell auf etwaige Überraschungen reagieren und entsprechende Lernprozesse in Gang setzen zu können.

Insgesamt soll ein gesellschaftlicher Lernprozess angestoßen und für den Experimentaufbau und -prozess fruchtbar gemacht werden. Wissenschaftliche explorative Experimente außerhalb kontrollierter Labore, die Auswirkungen auf Gesellschaft und Umwelt haben, sollen in einen verantwortlichen Rahmen eingebunden werden, um die Möglichkeit gesellschaftlicher Akzeptanz zu schaffen. Das bedeutet auch, dass es zu Situationen kommen kann, wo es weder gerechtfertigt noch vertretbar erscheint, ein exploratives Experiment überhaupt zu starten. Auch wenn die Ideen des WBGU zu haftungsrechtlichen Anreizen an Grenzen juristischer Praktikabilität stoßen (Kap. 3.6), wird bei explorativen Experimenten der Bedeutung von Verantwortlichkeit im Verhältnis zur Freiheit der Forschung unter Umständen ein größeres Gewicht zugesprochen, und Experimentatoren müssen zumindest an ihre große Verantwortung erinnert werden. Wie Verfahren im Detail gestaltet werden und wer als eine Art letzte Instanz

^  
› 4 Technikcharakterisierung und rekursives Lernen in Realexperimenten  
v

darüber befinden sollte, ob ein Experiment gestartet wird oder nicht, kann nicht allgemein beantwortet werden, weil es stark vom Einzelfall und dessen Kontext abhängt. Wo die Befugnisse und die Ansprüche von Betroffenen aufhören, wo demokratisch legitimierte Institutionen (Gemeinden, Verwaltungen etc.) oder Gerichte in solche Entscheidungen eingebunden werden, bedarf einer größeren gesellschaftlichen, forschungspolitischen Debatte.

---

#### **4.2.6 Kritische Bewertung des Konzeptes des rekursiven Lernens in Realexperimenten**

Die Situation, mit der eine Gesellschaft konfrontiert ist, wenn entschieden werden soll, ob, unter welchen Umständen und unter welchen Auflagen ein wissenschaftliches exploratives Experiment durchgeführt werden soll, ist komplex und in hohem Maße von Nichtwissen über zukünftige Folgen und Entwicklungen geprägt. Das vorgestellte Konzept des rekursiven Lernens in Realexperimenten kann derartige Problemstellungen nicht lösen, sondern lediglich Hinweise generieren, wie mit dem fortwährenden Auftreten des Nichtwissens angemessen umgegangen werden kann. Der Hauptpunkt liegt dabei in der im letzten Kapitel skizzierten Prozessbegleitung derartiger Experimente. Dem stehen jedoch auch fundamentale Schwierigkeiten gegenüber, die hier noch einmal kurz aufgerufen werden sollen.

#### **Abgrenzung von Wissenschaft und kommerzieller Anwendung**

Die Abgrenzung zwischen Wissensgenerierung und Wissensanwendung ist unscharf – und damit auch die Unterscheidung zwischen wissenschaftlichen explorativen Experimenten und Technikanwendung (Gibbons et al. 1994; Nordmann 2005; Nowotny et al. 2004). Dass die Grenzziehung zwischen einem wissenschaftlichen Erprobungsversuch unter »real-world conditions« und der faktischen Anwendung fließend ist, zeigt sich besonders gut bei großtechnologischen Experimenten und Interventionen. Wie aktuell bei Fracking oder Climate Engineering zu beobachten ist, werden diese Experimente politisch und wissenschaftlich auch deshalb oft kritisiert, weil bei ihrer Motivation und Begründung zwischen Erkenntnisgewinn und Anwendung nicht mehr einfach getrennt werden kann (ETC Group 2010; Macnaghten/Szerszynski 2013, S.466). Damit werden grundlegende Fragen aufgeworfen, wie z. B., bis zu welcher Größenordnung des Eingriffs man noch von einer begrenzten (und wissenschaftlich beherrschbaren, ungefährlichen) Erprobung sprechen kann. Anders formuliert: Ab wann muss man davon ausgehen, dass ein exploratives Experiment durchgeführt wird, nicht nur um weiteres Wissen zu gewinnen, sondern um bereits die Machbarkeit einer Technologie zu demonstrieren oder um angestrebte Wirkungen (beispielsweise eine Klimaveränderung) zu erzielen?



#### **Beobachtbarkeit der Folgewirkungen**

Hinzu kommt als weiteres grundsätzliches Problem die begrenzte Beobachtbarkeit von Überraschungen: Wenn die räumlichen und zeitlichen Wirkungshorizonte möglicher Folgen unbekannt sind, ist die Prämisse der Beobachtbarkeit von Handlungsfolgen und damit auch des Lernens aus deren Beobachtung gefährdet. Es besteht die Gefahr, dass Überraschungen außerhalb der Erwartungshorizonte nicht wahrgenommen werden oder ihre möglicherweise stattfindende Wahrnehmung nicht mit dem jeweiligen Experiment verknüpft wird. Es besteht also keine Gewähr dafür, dass Überraschungen frühzeitig als solche wahrgenommen werden.

Dazu kommen die allgemeinen Probleme, die in partizipativen Prozessen auftreten können (Näheres in Kap. 5).

---

### **4.3 Fazit: zwei Ansätze zum Umgang mit Nichtwissen bei explorativen Experimenten**

Der Ansatz der Technikcharakterisierung und das Konzept des rekursiven Lernens in Realexperimenten zeigen zwei Perspektiven auf Nichtwissen und gleichzeitig heuristische Herangehensweisen, wie mit Nichtwissen bei explorativen Experimenten umgegangen werden kann. Die beiden Ansätze wurden ausgewählt, weil beide das Auftreten bzw. auch die Erzeugung von Nichtwissen im Verlauf des Experiments als gegeben hinnehmen und sich damit beschäftigen, wie damit umzugehen ist. Beide Ansätze gehen davon aus, dass bei den komplexen Herausforderungen heutiger Forschung wissenschaftliche explorative Experimente in ihrem Verlauf unweigerlich mit Nichtwissen konfrontiert sind.

Der Ansatz der Technikcharakterisierung orientiert sich am Risiko- und Gefahrenmanagement in Verbindung mit dem Vorsorgeprinzip (von Gleich 2005 u. 2006; Steinfeldt et al. 2004). Er identifiziert Gründe zur Besorgnis mit Blick auf das im Verlauf eines Experiments potenziell auftretende Nichtwissen, indem mithilfe ingenieur- und naturwissenschaftlicher Rationalität der Charakter und die spezifischen Eigenschaften des Eingriffs in die Zielsysteme untersucht werden und davon auf die Reichweite potenzieller Wirkungen geschlossen wird. Verknüpft wird diese Perspektive mit dem Vorsorgeprinzip, d. h., Wissen muss nicht bereits abgesichert und eine konkrete Ursache-Wirkungs-Kette verifiziert sein, bevor Anlässe für Besorgnis identifiziert werden und ein Experiment ggf. modifiziert, aufgeschoben, unterbrochen oder gestoppt werden kann bzw. soll. Der Ansatz stellt eine Heuristik dar, die auf dem Einsatz von Indikatoren beruht – dazu zählen insbesondere die Fähigkeit zu Kettenreaktionen und zur Selbstvermehrung sowie die Persistenz –, um Lücken im konventionellen Risikowissen über räumlich und zeitlich entgrenzte Wirkungsketten anzuerkennen und potenzielle Gefährdungen in Betracht zu ziehen. Für die Analyse und

^  
› 4 Technikcharakterisierung und rekursives Lernen in Realexperimenten  
v

Einschätzung von Gefährdungen sind die Wirkmächtigkeit (Eingriffstiefe und -intensität), aber auch die Vulnerabilität der betroffenen Systeme (Ökosystem, Gesellschaftsgruppe, Landschaft etc.) entscheidend. Die Fähigkeit, räumlich und zeitlich entgrenzte Wirkungsketten auszulösen, ist nach diesem Ansatz insbesondere dann anzunehmen, wenn elementare Strukturen betroffen sind. Darunter werden solche Strukturen verstanden, die physikalische, chemische oder biologische Phänomene hervorbringen bzw. entscheidend beeinflussen können, z. B. die Genstrukturen von lebenden Organismen.

Im Hinblick auf die Governance explorativer Experimente bedeutet das, dass Expertenwissen notwendig ist, um die Eigenschaften der technischen Auslöser möglicher Gefahren zu untersuchen, zu erkennen und einzuschätzen. Die Technikcharakterisierung stellte auf diese Weise Wissen für Entscheidungsprozesse – sei es im Vorfeld bei der Genehmigung eines Experiments oder im weiteren Verlauf des Experimentierprozesses – zur Verfügung. Sie beschäftigt sich nicht mit der Frage, welche Kriterien letzten Endes eine rote Linie darstellen, d. h., ab wann Versuche abgebrochen werden müssten. Die Bewertung der Indikatoren stellt letztlich eine Abwägung dar, die einen gesellschaftlichen Entscheidungsprozess erfordert und nicht von der Wissenschaft geleistet werden kann. Auch hinsichtlich der Reichweite der verwendeten Gefährdungsindikatoren Eingriffstiefe, Eingriffsintensität und Wirkmächtigkeit bestehen die üblichen Limitationen wissenschaftlichen Wissens dergestalt, dass auch hierüber grundsätzlich (unerkanntes) Nichtwissen bestehen kann. Schließlich muss konstatiert werden, dass das Design der verwendeten Gefährdungsindikatoren auf physikalisch-chemische und biologische Interventionen zugeschnitten ist, insbesondere auf die Freisetzung bestimmter Substanzen und gentechnisch veränderter Organismen (GVO). Die Anwendbarkeit der Methode zur Analyse von Experimenten bzw. Interventionen, bei denen ein Auslöser nicht stofflicher oder biologischer Art ist, bei denen also beispielsweise keine Substanzen oder GVOs freigesetzt werden, ist daher zu hinterfragen.

Das Konzept des rekursiven Lernens in Realexperimenten setzt anders an. Ausgehend vom erwartbaren Auftreten von Nichtwissen und Überraschungen im Verlauf des Experimentierprozesses fragt das Konzept danach, wie mit dieser Tatsache prozedural umgegangen werden kann, sodass einerseits gravierende negative Folgewirkungen möglichst frühzeitig identifiziert und minimiert werden können, andererseits aber aus den Folgewirkungen des Experiments ein gesellschaftlicher Lernprozess angestoßen werden kann. Aus der grundsätzlichen Unmöglichkeit, im Vorfeld des Experiments sicheres Wissen über alle Folgen zu erlangen, wird hier die Schlussfolgerung gezogen, dass das wissenschaftliche Experiment mit einem demokratisch legitimierten, verantwortlichen und produktiven Lern- und Entscheidungsprozess kombiniert werden sollte. Weil die wissenschaftlichen Experimente außerhalb von Laboratorien in politische, soziale, ökologische und ökonomische Strukturen eingebettet sind, ist es

### 4.3 Fazit: zwei Ansätze zum Umgang mit Nichtwissen



wichtig, eine Vielzahl von Akteuren in den Gestaltungsprozess zu integrieren. Neben vorhandenem Risikowissen aller Art sollten dabei die Ergebnisse einer Technikcharakterisierung eine wichtige Rolle spielen. Im Verlauf von solchen wissenschaftlichen Experimenten können Überraschungen auftreten, die dann weitere Lernprozesse anstoßen, korrigierende Eingriffe legitimieren und auch neue Aushandlungsprozesse mit Betroffenen über das weitere Vorgehen auslösen.

Beide Zugangsweisen sind mit Blick auf die Zeitstruktur und Art des einbezogenen Wissens komplementär: Während die Technikcharakterisierung vor allem darauf zielt, die mit Experimenten verbundenen Gefahrenmomente so weit wie möglich im Vorfeld, beispielsweise bei der Genehmigung, zu antizipieren, legt das Konzept des rekursiven Lernens in Realexperimenten besonderes Gewicht auf das begleitende Beobachten während und nach dem Ablauf der experimentellen Prozesse. Komplementarität besteht auch im Hinblick auf die Art des Wissens, das in die Betrachtung einbezogen wird. Wo die Antizipation von potenziell auftretendem Nichtwissen bzw. von Gefährdungen im Vordergrund steht, ist wissenschaftliches Wissen (je nach Forschungsfeld stärker disziplinär oder interdisziplinär) wichtig. Beim Monitoring wird die Integration nichtwissenschaftlicher Wissensformen bedeutsamer. Gerade die Offenheit von nichtwissenschaftlichen Beobachtern für Überraschungen (Kap. 2.3.3) kann besonders wichtig sein, um nicht erwartete Folgewirkungen überhaupt zu entdecken.

Von daher ergänzen sich beide Ansätze und bieten konstruktive Antworten auf die Fragen, wie mit Nichtwissen bei explorativen Experimenten umgegangen werden kann. Das bedeutet allerdings selbst in der Kombination dieser Ansätze nicht, dass alle Fragen gelöst wären, die Entscheiden und Handeln unter Nichtwissen aufwerfen.





---

## 5 Gesellschaftliche Partizipation<sup>26</sup>

---

### 5.1 Partizipation an Wissenschaft und Technikentwicklung

Ein entscheidendes Ergebnis der bisherigen Ausführungen liegt darin, dass ein angemessener Umgang mit Nichtwissen bei wissenschaftlichen explorativen Experimenten wesentlich in der Schaffung geeigneter prozessbegleitender Governancestrukturen besteht. Beim Design dieser Strukturen kommt der Partizipation verschiedener gesellschaftlicher Gruppen auch von außerhalb der Wissenschaft eine wichtige Rolle zu. Daher sollen an dieser Stelle einige grundsätzliche Betrachtungen zur gesellschaftlichen Partizipation an Entscheidungs- und Governanceprozessen im Bereich der Wissenschaft ergänzt werden.

Bei großformatigen explorativen Experimenten, bei denen vorab keine Garantie gegeben werden kann, dass ihre Konsequenzen tolerierbar, kontrollierbar oder revidierbar sein werden, rückt die Frage nach der Vertretbarkeit und gesellschaftlichen Legitimität zwangsläufig in den Blickpunkt. Vor dem Einstieg in großtechnische Experimente mit Umwelt und Gesellschaft muss auch eine offene und umfassende politische, wissenschaftliche und forschungsethische Auseinandersetzung darüber bestehen, inwieweit die kognitiven und normativen Bedingungen für legitimes Lernen aus Überraschungen gegeben sind oder, beispielsweise durch den Aufbau eines engmaschigen Beobachtungs- und Frühwarnnetzes, geschaffen werden können.

Dabei sprechen besonders zwei Aspekte dafür, dass die Frage nach dem Umgang mit Nichtwissen im Rahmen explorativer Experimente neue, erweiterte Formen gesellschaftlicher Partizipation auch jenseits der etablierten Institutionen der repräsentativen Demokratie wünschenswert und sinnvoll erscheinen lassen:

Erstens bringen explorative Experimente je nach Zuschnitt und Reichweite auf lokaler, regionaler, nationaler oder transnationaler Ebene neue Gruppierungen von Menschen hervor, die potenziell von den möglichen Folgen betroffen sind und daher berechtigterweise Mitspracherechte bei Entscheidungen über den Einstieg in und die Ausgestaltung der jeweiligen Experimente fordern können. Die Kategorie bzw. begründete Zuschreibung von Betroffenheit ist dabei kein eindeutiges und objektives Faktum. Vielmehr ist die Frage, wer in welcher Weise von Experimenten unter Nichtwissensbedingungen betroffen sein wird, selbst Gegenstand kontroverser Debatten. Wie Rayner et al. (2013) bei ihrer Diskussion von Prinzipien zur Governance des Geoengineering (Kap. 8.6.2) erläutern, muss Betroffenheit keineswegs von vorneherein auf materielle Effekte

---

<sup>26</sup> Dieses Kapitel beruht weitgehend auf dem Gutachten von Wehling 2015a.

(z. B. Gesundheitsgefährdung, wirtschaftliche Einbußen etc.) eingeschränkt sein, sondern kann auch durch die Verletzung kultureller und moralischer Überzeugungen bedingt werden («affectedness» in terms of having one's cultural or moral beliefs challenged»; Rayner et al. 2013, S. 505). Eine ähnlich gelagerte Form von ästhetisch-moralischer Betroffenheit könnte z. B. aus Zerstörungen des Landschaftsbildes resultieren, wie sie in Regionen mit hoher Frackingdichte zu erwarten wären. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass bei weitreichenden Experimenten auch der Kreis der von materiellen Effekten potenziell Betroffenen im Voraus nicht exakt festgelegt werden kann, sodass auch dies zu einem Gegenstand der partizipativen Diskussions- und Entscheidungsprozesse selbst werden muss. Dies gilt besonders für großmaßstäbliche Experimente wie die Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen oder bestimmte Formen des Geoengineering (Eingriffe in die Strahlungsbilanz, Düngung der Ozeane u. Ä.). Aber selbst bei einer scheinbar lokal oder regional begrenzten Technologie wie dem Fracking ist vorab nicht eindeutig entscheidbar, wie weit negative Wirkungen der Bohrungen ausstrahlen können.

Zweitens sollten Bürgerinnen und zivilgesellschaftliche Gruppierungen nicht nur als potenziell Betroffene legitimerweise an der Gestaltung explorativer Experimente beteiligt sein, sondern sie sind gleichzeitig wissenspolitische Akteure, die wichtige Beiträge zur Bewertung des vorliegenden Wissens wie auch des inhärenten Nichtwissens leisten können.<sup>27</sup> Letzteres kann, wie bereits dargestellt, höchst unterschiedlich bewertet werden, ohne dass eine dieser Bewertungen verbindliche Geltung als vermeintlich einzig rationale und wissenschaftliche beanspruchen könnte. Gegenstand und Ziel demokratischer, partizipativer Prozesse sollte es daher sein, die unterschiedlichen Bewertungen des Nichtwissens und ihre jeweiligen politisch-normativen Implikationen in eine offene und kontroverse Diskussion einzubringen. Deren Ergebnis kann entweder eine Art von informiertem Dissens sein, der dann zum Thema weiterer politischer Auseinandersetzungen werden kann, oder aber die Einigung auf eine gemeinsam als legitim anerkannte Bewertung des verfügbaren Wissens und relevanten Nichtwissens, auf deren Grundlage dann über das Ob und das Wie eines explorativen Experiments entschieden werden kann.

Vor diesem Hintergrund eröffnen gerade Partizipationsprozesse unter Nichtwissensbedingungen Perspektiven zu einer Redemokratisierung forschungs- und technologiepolitischer Beratungen und Entscheidungen. Denn während Risikoabschätzung und -management häufig als Angelegenheit pro-

27 Wissen kann beispielsweise aufgrund persönlicher Betroffenheit und Erfahrung, differenzierter Kenntnis der lokalen Gegebenheiten oder auch selbstorganisierter Forschungsaktivitäten unter Stichworten wie »research in the wild« (Callon/Rabeharisoa 2003) oder »citizen science« (Finke 2014) eingebracht werden. Wissen darf hierbei nicht ausschließlich auf wissenschaftlich nützliches, ergänzendes Faktenwissen eingeengt werden, sondern umfasst auch eigenständige Problemdefinitionen und -zugänge, die unter Umständen von denjenigen der Wissenschaft abweichen können, sowie spezifische normative und politische Rahmungen der fraglichen Thematik (Wynne 2003).



fessioneller Expertinnen betrachtet werden und politische Entscheidungen oft deren auf vermeintlich sicherem wissenschaftlichem Wissen beruhende Ergebnisse nachvollziehen, erweitert die ausdrückliche Einbeziehung des Nichtwissens und der darin angelegten Unentscheidbarkeiten die Spielräume demokratischen Entscheidens.<sup>28</sup> Nicht nur kann unter Bedingungen des Nichtwissens auch die Wissenschaft keine eindeutigen Situationsdefinitionen und per se überlegenen Problemlösungen mehr anbieten. Das Fehlen einer vermeintlich objektiven Entscheidungsgrundlage öffnet darüber hinaus auch den Raum, um neben dem Faktenwissen auch normative und politische Erwägungen verstärkt ins Spiel zu bringen, etwa Fragen nach den politischen und kulturellen Implikationen von Großtechnologien des Geoengineering (Szerszynski et al. 2013).<sup>29</sup>

Gesellschaftliche Partizipation an der Bewertung und Gestaltung von Wissenschaft und Technik hat in den letzten rund 30 Jahren unter Stichworten wie »participatory technology assessment« (pTA) oder »public engagement with science« erheblich an Bedeutung gewonnen. Im Hinblick auf Wissenschafts- und Technikentwicklungen wird die Beteiligung der Öffentlichkeit zunehmend als ein notwendiges und unverzichtbares Element demokratischer Politikberatung betrachtet (Hennen 2012). Besondere Bedeutung hat dabei in den letzten Jahren die von Brian Wynne (2007) eingeführte Unterscheidung zwischen eingeladenener (invited) und uneingeladener (uninvited) Partizipation als unterschiedlichen Praktiken und Logiken gesellschaftlicher Beteiligung erlangt.

---

## 5.2 Eingeladene Partizipation

Lange Zeit wurde gesellschaftliche Partizipation in der Praxis vor allem mit der Teilnahme von Bürgerinnen und Bürgern bzw. zivilgesellschaftlichen Gruppen an organisierten Beteiligungsverfahren wie Bürgerkonferenzen, Stakeholderdialogen, Mediationsverfahren und dergleichen mehr gleichgesetzt. Damit konnten öffentliche Debatten angestoßen und die Meinungen von Bürgerinnen und Bürgern in Entscheidungsprozesse zumindest in gewisser Weise eingebracht werden. Um diese Verfahren zu verbessern, fokussierten Forschung und Politik lange darauf, diese Partizipationsverfahren zu standardisieren und zu verbessern. Diese Schwerpunktsetzung läuft allerdings Gefahr, Form über Inhalt zu stellen, sich zu verselbständigen und Fragen nach den Gründen, Zielen und Wirkungen von Partizipation zu vernachlässigen (Bogner 2012, 2014; Stilgoe et al.

---

28 In der politischen Philosophie ist verschiedentlich darauf hingewiesen worden, dass demokratische, politische Entscheidungen streng genommen nur in Situationen der Unentscheidbarkeit möglich sind, also in Situationen, die nicht schon durch vermeintlich objektive Wahrheiten und Gewissheiten determiniert und vorentschieden sind (Derrida 1999, S. 185 ff.).

29 Insofern geht mit der Anerkennung des Nichtwissens auch ein Perspektivenwechsel einher von der wissenschaftsbasierten »Prävention« zur politisch zu gestaltenden Vorsorge oder Vorbeugung (»precaution«) (Kap. 4.1).



2014). Immer weniger gehe es dann, so Bogner (2014, S.89), »um den Inhalt, also um konkrete Problemlösungen oder um ein bestimmtes Ergebnis ..., sondern um die Form, nämlich den konstruktiven Dialog bzw. die Fortführung von Dialogprozessen«.

Formate solcher eingeladenen, in der Regel von politischen oder wissenschaftlichen Institutionen organisierter gesellschaftlicher Partizipation sehen sich in den letzten rund zehn Jahren deshalb wachsender Kritik ausgesetzt. Bemängelt wird, dass diese Verfahren, nicht zuletzt wegen der Überbewertung und Verselbständigung von Methodenfragen, gar nicht das leisten, was sie eigentlich ermöglichen sollen, nämlich alternative Sichtweisen und Handlungsperspektiven im Umgang mit den in Rede stehenden Forschungen und Technologien herauszuarbeiten, die nicht durch Vorgaben und Dominanz wissenschaftlicher Expertise verfestigt sind (Bogner 2012). Kritisiert wird überdies, dass pTA-Verfahren selbst da, wo sie interessante Ergebnisse erbringen, in der etablierten Politik allzu häufig einfluss- und damit folgenlos blieben. Vor allem aber wird als problematisch angesehen, dass viele Formate eingeladenen Partizipation, wie etwa Bürgerkonferenzen, sich an unorganisierte, zuvor kaum mit dem Thema in Berührung gekommene Bürgerinnen und Bürger richten (Powell/Collin 2009). Ein bestehendes politisches Interesse oder berufliche Vertrautheit mit der fraglichen Thematik können bei bestimmten Verfahren sogar zum Ausschluss an der Teilnahme führen. Derartige Auswahlkriterien dürften der Intensität, der Qualität und Produktivität sowie der gesellschaftlichen, politischen oder wissenschaftlichen Wirksamkeit und Anschlussfähigkeit der Beteiligungsprozesse wenig förderlich sein. Denn dabei erscheinen gerade diejenigen Eigenschaften und Kompetenzen, die zivilgesellschaftliche Akteure (ob Bürger oder Organisationen) zu substantieller Beteiligung befähigen würden – wie artikulierte Interessen, Bereitschaft und Ressourcen zu langfristigem Engagement, eigenständiges Wissen sowie argumentative und kommunikative Fähigkeiten –, als Hinderungsgrund für die Teilnahme an Partizipationsverfahren.

---

### 5.3 Uneingeladene Partizipation

Vor dem Hintergrund dieser Kritik haben sich politische und sozialwissenschaftliche Debatten in neuerer Zeit stärker mit anderen Formen der Partizipation beschäftigt: In Fragen der Wissenschafts- und Technikentwicklung spielt uneingeladene, selbstorganisierte und zielorientierte Einmischung von Bürgern und zivilgesellschaftlicher Gruppen (lokale Initiativen, Selbsthilfe- und Betroffenengruppen, Umwelt- und Verbraucherschutzorganisationen etc.) eine zunehmende Rolle (Wehling 2012b; Wehling/Viehöver 2013; Wehling et al. 2015).

Uneingeladene Partizipation umfasst ein breites Spektrum von Aktivitäten, darunter öffentlicher Protest und politische Interventionen, mit eigenen Mitteln



geförderte Forschungen und Technikentwicklungen (wie z. B. der durch Greenpeace initiierte erste FCKW-freie Kühlschrank), die Mobilisierung des je eigenen lokalen oder Betroffenenwissens sowie eigenständiger Expertise als Ergänzung oder Korrektiv des Expertenwissens. Daraus lässt sich der Schluss ziehen: Sollen bei explorativen Experimenten unter Nichtwissensbedingungen sozial robuste Verfahren der Partizipation und der partizipativen (Mit-)Gestaltung durchgeführt werden, sollten auch Formen selbstorganisierter, uneingeladener Partizipation nicht behindert, sondern positiv aufgenommen werden. Um die Impulse des selbstorganisierten Engagements der Zivilgesellschaft für die partizipative Mitgestaltung explorativer Experimente aufzugreifen und nutzen zu können, sind zumindest teilweise neue institutionelle Formen und Formate erforderlich.

### **Partizipation bei explorativen Experimenten**

Vor diesem Hintergrund lässt sich genauer bestimmen, was gesellschaftliche Akteure als Träger und Produzenten von Wissen, d. h. als wissenspolitische Akteure, zu den wissenschaftlichen und normativen Problemstellungen beitragen können, die durch explorative Experimente unter Nichtwissensbedingungen aufgeworfen werden. Ihr Hauptbeitrag liegt in der Differenzierung und Pluralisierung der gesellschaftlichen Nichtwissenswahrnehmungen, beispielsweise durch den Verweis auf in der Wissenschaft marginalisierte Perspektiven, wodurch die Komplexität und Singularität der jeweiligen spezifischen und situativen Kontexte hervorgehoben werden. Diese Pluralisierung schließt auch ein, auf Felder von unerledigter, vernachlässigter Forschung (»undone science«) hinzuweisen (Frickel et al. 2010). Dadurch kann in die Beurteilung der Situation auch eingebracht werden, dass wichtige Fragen von der etablierten Wissenschaft und Forschungspolitik mitunter unerforscht gelassen oder noch unzureichend bearbeitet werden.<sup>30</sup> Die von zivilgesellschaftlichen Akteuren kritisierte systematische Blindheit (»systematic nonproduction of knowledge«; Frickel et al. 2010, S. 446) in der etablierten Wissenschaft kann die Erforschung von Alternativen zu umstrittenen Technologien verhindern oder einschränken (beispielsweise Forschungen zum Energiesparen statt zu Fracking).

Zu den (nicht)wissensbezogenen und (nicht)wissenspolitischen Aktivitäten gesellschaftlicher Gruppierungen gehört es auch, Verfahren, Institutionen, Governancestrukturen für einen verantwortbaren Umgang mit wissenschaftlichem Nichtwissen vorzuschlagen und zu skizzieren. Für alle diese Aktivitäten

---

<sup>30</sup> Ein Beispiel für typischerweise zu wenig beforschte Fragen ist die mögliche Potenzierung von Umwelt- oder Gesundheitsbelastungen durch Wechselwirkungen verschiedener chemischer Substanzen, die von den gängigen Studien, die sich regelmäßig auf die Wirkungen einzelner Stoffe konzentrieren, nicht erfasst werden können (Kleinman/Suryanarayanan 2013). Dieses Problem taucht insbesondere im Kontext der praktischen Risikobewertung auf, etwa im Rahmen der Zulassung von Substanzen.



## 5 Gesellschaftliche Partizipation

finden sich zahlreiche Belege, die anhand der drei Beispielfälle Grüne Gentechnik, Fracking und Eisendüngung der Ozeane im Folgenden näher erläutert werden sollen.

---

## 6 Explorative Experimente im Bereich der Grünen Gentechnik

In den folgenden drei Kapiteln soll an den drei Forschungsfeldern Grüne Gentechnik (Kap. 6), Fracking (Kap. 7) und Meeresdüngung (Kap. 8) beleuchtet werden, in welcher Form sich Aspekte des Nichtwissens bei explorativen Experimenten manifestieren, wie damit umgegangen wurde und welche Schlussfolgerungen sich für diese Felder aus der Perspektive der beiden Analyseansätze Technikcharakterisierung (Kap. 4.1) und rekursives Lernen in Realexperimenten (Kap. 4.2) ziehen lässt.

Diese drei Felder verdeutlichen dabei unterschiedliche Aspekte der Problematik. Das betrifft Fragen der möglichen räumlichen Ausdehnung von Folgewirkungen, die von eher lokalen bis zu globalen Dimensionen reichen können. Es betrifft die Zeiträume, die für das Beobachten und Überwachen von Experimenten für relevant erachtet werden, aber auch die möglichen negativen Auswirkungen, die bei allen Forschungsfeldern je nach Betrachtung zwischen kurz- bis mittelfristig sowie irreversibel reichen können. Der jeweils zugrunde liegende Regulierungsrahmen unterscheidet sich von einem rechtlich relativ stark regulierten Regime bis hin zu einem eher schwach regulierten. Im Feld der Grünen Gentechnik ist die Regulierung von explorativen Experimenten bereits älter, in den beiden anderen Forschungsfeldern werden Aspekte der Governance derzeit erst ausgehandelt. Es finden sich unterschiedliche Formen von Betroffenheit, von stark räumlich lokalisierbar bis hin zu starker Diffusität der Zuweisung. Die Objekte der Forschung sind alle komplex, aber in ihrer spezifischen Materialität unterschiedlich. Unterschiedlich sind auch die Forschungskulturen der verschiedenen disziplinären bzw. interdisziplinären Zugangsweisen.

Die drei Kapitel 6, 7 und 8 sind nach einem ähnlichen Muster strukturiert. Nach einer kurzen Einführung in das Forschungsfeld folgen eine Darstellung der Praxis und eine Analyse des Regulierungsregimes, innerhalb dessen die Experimente durchgeführt werden können. Dem schließt sich eine Betrachtung des Umgangs mit relevanten Aspekten des Nichtwissens an, wobei insbesondere der Stellenwert der Technikcharakterisierung sowie die Eignung partizipativer Praxen bzw. der Potenziale des rekursiven Lernens entsprechend dem Konzept der Realexperimente diskutiert werden.

---

### 6.1 Einführung

Die Entwicklung der Gentechnik in den 1960er und 1970er Jahren ermöglicht einen gezielten Umbau von Erbanlagen in Organismen, Geweben, Zellen oder auch nur in vitro. Sie gilt seither als Schlüsseltechnologie, um natürliche Res-

sources für menschliche Zwecke effektiver und effizienter nutzen zu können. Gleichzeitig werden die möglichen Risiken, die durch Eingriffe in die DNA als zentrale biologische Steuerungsstruktur hervorgerufen werden können, bzw. deren Beherrschbarkeit nach wie vor sehr kontrovers beurteilt und diskutiert. Besonders umstritten sind die Anwendungen der Gentechnik in der Pflanzen- und Tierzucht, im Deutschen oft als Grüne Gentechnik bezeichnet (während die Rote Gentechnik bzw. Biotechnologie Anwendungen in der Medizin und die Weiße Biotechnologie industrielle Anwendungen umfasst).

Bei der kommerziellen Nutzung von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP) zeigt sich eine große, global gespaltene Dynamik. Dabei ist die Anbaufläche gentechnisch veränderter Pflanzen weltweit von 1,7 Mio. ha im Jahr 1996 auf ca. 185 Mio. ha 2016 angewachsen, mit den Hauptanbauländern USA, Brasilien, Argentinien, Kanada und Indien (James 2017). Die Anteile von gentechnisch veränderten Sorten an den globalen Anbauflächen betragen 2016 bei Soja 78 %, 64 % bei Baumwolle, 26 % bei Mais und 24 % bei Raps (bei fast allen handelt es sich um herbizid- und/oder insektenresistente Pflanzen). In Europa hingegen findet – außer in Spanien – ein Anbau von GVP als Konsequenz weit verbreiteter Vorbehalte praktisch nicht statt. Allerdings werden große Mengen gentechnisch veränderter Futtermittel, vor allem Soja aus Nord- und Südamerika, sowie Baumwollprodukte aus gentechnisch veränderten Sorten importiert.

Heftig umstritten ist, ob gentechnische Verfahren in der Pflanzenzucht auch in Europa in Zukunft stärker genutzt werden sollen, um das auf EU- und nationaler Ebene verfolgte Ziel einer Transformation der Industriegesellschaft hin zu einer Bioökonomie auf Basis nachwachsender Rohstoffe erreichen zu können. Dabei geht es sowohl um Fragen der möglichen ökologischen und ökonomischen Vorteilhaftigkeit, z. B. gegenüber einer modernen, wissenschaftsbasierten ökologischen Landwirtschaft, als auch um Fragen der Abschätzung und Bewertung möglicher unerwünschter Konsequenzen.

Gentechnisch veränderte Pflanzensorten sind im Vergleich zu konventionell gezüchteten Sorten weitaus stärker wissenschafts- und technologiegetriebene Entwicklungsprodukte. Während der konventionelle Züchtungsprozess (stark vereinfacht) auf der Erzeugung von Vielfalt und nachfolgender Analyse und Selektion der erfolgversprechenden neuen Varianten basiert, steht am Anfang einer gentechnischen Modifikation üblicherweise die Identifikation, Charakterisierung und Isolierung eines Einzelmerkmals, das dann gezielt in eine vorhandene Pflanzensorte eingebracht wird, beispielsweise ein Gen für eine Schädlings- oder Herbizidresistenz. Das Resultat des technischen Eingriffs wird zuerst im Labor auf molekularer Ebene untersucht, danach folgen Gewächshaus- und, wenn es sich um Pflanzen handelt, die später im größeren Stil landwirtschaftlich angebaut werden sollen, Freisetzungsversuche, bei denen die Eigenschaften und das Verhalten der GVP unter Freilandbedingungen getestet werden, bevor ein großflächiger Anbau erlaubt werden kann. Die Entwicklung



gentechnisch veränderter Pflanzensorten folgt also ganz explizit einem gestuften Ablauf explorativer Experimente (Kap. 6.3.2), und selbst der kommerzielle Anbau hat einen (real)experimentellen Charakter, wie im Folgenden gezeigt wird.

Solange die Experimente in Laboren stattfinden, birgt das (wissenschaftliche) Nichtwissen über Effekte und Auswirkungen gentechnischer Eingriffe kein großes Konfliktpotenzial. Wird das Labor jedoch verlassen, erhält das Nichtwissen über die möglichen Folgen der GVP für Umwelt und Gesundheit eine ganz andere Bedeutung. Freisetzungsversuche dienen zum einen der Testung und Überprüfung der erwarteten, anvisierten Eigenschaften der GVP (sozusagen als Hypothesenprüfung des wissenschaftlichen Konzepts im Freiland), darüber hinaus sollen sie aber auch Hinweise auf mögliche unerwartete Effekte liefern. Die Qualität des wissenschaftlichen Wissens über potenzielle ökologische und gesundheitliche Gefahren bildet nach wie vor ein zentrales Thema in den Debatten über die Nutzung der Gentechnik in der Landwirtschaft. Als besondere Sorge werden kaum abschätzbare Wechselwirkungen mit den umgebenden Ökosystemen thematisiert: »Bei Anwendungen in der Landwirtschaft werden die veränderten Organismen ... in großem Maßstab in das ökologische Gefüge eingebracht. Dort unterliegen sie weit gespannten Wechselwirkungen auf verschiedenen zeitlichen und räumlichen Skalen. Sofern die dem Genpool der Art hinzugefügten Transgene sich in Wildpopulationen verbreiten können, betreffen die Einwirkungen auch die in ihrer Richtung und Wirkung nicht vorhersagbaren Evolutionsprozesse.« (Breckling et al. 2012, S. 16). Allerdings gibt es sehr unterschiedliche Einschätzungen, wie groß das Risikopotenzial in Abhängigkeit von der jeweiligen Nutzpflanze und der gentechnischen Veränderung und vor allem im Vergleich zu konventionell gezüchteten Sorten ist.

Fragen des Nichtwissens spielen in der wissenschaftlichen, gesellschaftlichen und politischen Debatte über die Grüne Gentechnik, ihre Risiken und ihre Vorteile, eine zentrale Rolle. Es ist wohl nicht übertrieben festzustellen, dass die systematische, wissenschaftliche Befassung mit Aspekten und Dimensionen des Nichtwissens insgesamt ganz maßgeblich durch die inter- und transdisziplinäre Debatte der Gentechnik begründet und vorangetrieben worden ist. Die Forschenden selbst haben sich als Reaktion auf ihre Einsicht, dass die Gentechnik eine potenziell sehr wirkmächtige Methode darstellt, ohne dass die Folgen der Eingriffe einfach und zuverlässig vorausgesehen werden können, an die Politik und damit die Gesellschaft gewendet, um mit dieser Regeln für das weitere Prozedere auszuhandeln. Und gerade die europäische Regulierung der Gentechnik ist in vielfacher Weise vom Umgang mit dem Nichtwissen geprägt, wie das folgende Kapitel zeigen wird.

Die Grüne Gentechnik spielt somit unter den drei analysierten Forschungsfeldern eine besondere Rolle, weil für sie auf nationaler und internationaler



Ebene Zulassungsregime geschaffen worden sind, welche Aspekte des Nichtwissens in besonderer Weise berücksichtigen.

In den folgenden Kapiteln werden zunächst zentrale Bereiche des unsicheren bzw. Nichtwissens zu GVP beschrieben (Kap. 6.2). Kapitel 6.3 widmet sich danach der Risikobewertung und Zulassung von GVP unter besonderer Berücksichtigung regulatoriver Instrumente, um bei Freisetzungsexperimenten (als explorative Experimente i. e. S.) und beim Inverkehrbringen mit Nichtwissen umzugehen. In Kapitel 6.4 wird die Anwendbarkeit von Technikcharakterisierung und des Konzepts des rekursiven Lernens in Realexperimenten bei Freisetzungen und Inverkehrbringen von GVP diskutiert, bevor in Kapitel 6.5 dann resümierende Folgerungen zum Umgang mit Nichtwissen bei Freisetzung und Inverkehrbringen von GVP gezogen werden.

---

### **6.2 Aspekte des Nichtwissens bei GVP: Ursachen und Dimensionen**

Die konventionelle Pflanzenzucht kann als erfahrungsbasierte Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse charakterisiert werden. Die Resultate von Kreuzungs- oder Mutationszüchtung sind höchstens grob vorhersagbar und müssen (aufwendig) experimentell ermittelt bzw. praktisch erprobt werden. Eine Risikobewertung konventioneller Pflanzensorten war und ist nicht vorgesehen. Bei der Zulassung bzw. Eintragung in das Sortenregister werden vielmehr die Homogenität, die Beständigkeit bzw. Stabilität und die Vorteilhaftigkeit mindestens in einem Merkmal bzw. einer wünschenswerten Eigenschaft (landeskultureller Wert) gegenüber dem vorhandenen Sortenangebot geprüft.

Mittels gentechnischer Eingriffe wurden vorhandene genetische Informationen zum ersten Mal gezielt geändert oder auch neu geschaffen. Die Präzision und die Auswirkungen dieser Eingriffe auf molekularer Ebene, d. h. die konkreten Orte im Pflanzengenom, wo DNA-Sequenzen eingebaut, verändert oder ausgetauscht werden, ließen sich jedoch mit den bisherigen Methoden nur begrenzt vorhersagen. Dies ist von zentraler Bedeutung für die möglichen Folgen (und damit Risiken), weil durch den gentechnischen Eingriff vorhandene funktionale Strukturen ungezielt (und ggf. zunächst unerkannt) geändert werden könnten (Off-Target- oder Nichtzieleffekte).

#### **Kategorien bzw. Ebenen des Nichtwissens**

Das Nichtwissen über die genauen Effekte der Eingriffe auf molekularer Ebene und die damit verbundene Unsicherheit über die Eigenschaften und das Verhalten der resultierenden GVP prägten von Anfang an die Befassung mit den möglichen Risiken. Unterschieden werden können:

## 6.2 Aspekte des Nichtwissens bei GVP: Ursachen und Dimensionen



1. Unsicherheit über den konkreten Eingriff selbst, d. h. Ort und Art der genetischen Veränderung DNA- bzw. Genomebene;
2. Unsicherheit über Effekte des Eingriffs auf die GVP bzw. ihre Eigenschaften;
3. Unsicherheit über die Ausbreitung der GVP bzw. der gentechnisch veränderten Eigenschaft in der Umwelt;
4. Unsicherheit über Effekte der GVP bzw. ihrer Eigenschaften in der Umwelt (auch langfristige, kumulative und indirekte Effekte (hier geht es dann auch um sozioökonomische Fragen);
5. Unsicherheit über Transformations- bzw. Veränderungsvorgänge (Mutation, Änderung der Expression/Regulierung, Stilllegung etc.) mit Auswirkungen auf alle anderen genannten Ebenen.

Frühere Methoden zur Einbringung neuer Gensequenzen (z. B. der Gene für Herbizid- oder Insektenresistenz mittels »gene gun« oder *Agrobacterium tumefaciens*) waren weitgehend ungezielt, d. h., der Ort der Integration in das Genom der Empfängerpflanze war nicht bestimmbar, sondern konnte erst nachträglich ermittelt werden. Auch die Zahl der eingebrachten Fremdgene war nicht exakt steuerbar, vielmehr wurden häufig mehrere Kopien an verschiedene Stellen im Genom eingefügt. Mögliche unerwartete, unerwünschte Effekte können dann resultieren, wenn die zusätzlich eingebrachte Gensequenz eine vorhandene funktionelle DNA-Struktur stört. Falls davon für den Stoffwechsel oder die Entwicklung der Pflanze grundsätzlich wichtige Gene oder Steuerungs- bzw. Regulierungselemente betroffen sind, zeigen sich die Effekte schnell und deutlich, sodass diese Versuchsexemplare aussortiert und nicht weiterverwendet werden (wenn sie überhaupt lebensfähig sind).

In der jüngeren Vergangenheit wurden die weitaus präziseren, d. h. besser steuer- und prognostizierbaren Eingriffsmöglichkeiten des Genome Editing entwickelt, wodurch die Gefahr unerwünschter Effekte reduziert werden konnte. Zu den Genome-Editing-Verfahren gehören neben CRISPR-Cas9 vor allem die Zinkfingernukleasen, TALEN sowie die oligonukleotidgesteuerte Mutagenese (BVL o.J.).<sup>31</sup> Von besonderer Bedeutung sind Ansätze, bei denen keine längere DNA-Sequenz, also kein Transgen i. e. S. mehr übertragen, sondern die genetische Veränderung durch gezielte Mutationen herbeigeführt wird (Typ I und II der BVL-Einteilung). Wenn (nachweislich) keine artfremde DNA übertragen wird und die durch Genome Editing vorgenommenen Änderungen einen so begrenzten Umfang haben, dass sie realistischer Weise auch durch natürliche Mutationsvorgänge auftreten könnte, stellt sich die Frage, ob derart veränderte Pflanzen rechtlich überhaupt als gentechnisch verändert eingestuft werden müs-

---

31 [www.bvl.bund.de/DE/06\\_Gentechnik/02\\_Verbraucher/08\\_FAQ/01\\_FAQ\\_Neue\\_Zuechtungstechniken/FAQ\\_Neue%20Zuechtungstechniken\\_node.html;jsessionid=D24CAA410BF511E68F35A378A08C19EC.2\\_cid340#doc7770856bodyText2](http://www.bvl.bund.de/DE/06_Gentechnik/02_Verbraucher/08_FAQ/01_FAQ_Neue_Zuechtungstechniken/FAQ_Neue%20Zuechtungstechniken_node.html;jsessionid=D24CAA410BF511E68F35A378A08C19EC.2_cid340#doc7770856bodyText2) (17.4.2019)

sen bzw. können. Über diese Frage ist seit Ende 2015 eine heftige wissenschaftliche, gesellschaftliche und politische Debatte entbrannt,<sup>32</sup> in der Fragen des Nichtwissens allerdings bislang eine (erstaunlich) geringe Rolle spielen. Der Europäische Gerichtshof hat am 25. Juli 2018 entschieden, dass mit Genome Editing gewonnene Organismen den in der GVO-Richtlinie vorgesehenen Verpflichtungen unterliegen und die für herkömmliche chemische und radioaktive Mutageneseverfahren geltenden Ausnahmen nicht anwendbar sind (EuGH 2018). Als Begründung »führt der Gerichtshof aus, dass sich die mit dem Einsatz dieser neuen Mutageneseverfahren verbundenen Risiken als vergleichbar mit den bei der Erzeugung und Verbreitung von GVO im Wege der Transgenese auftretenden Risiken erweisen könnten. Denn mit der unmittelbaren Veränderung des genetischen Materials eines Organismus durch Mutagenese lassen sich die gleichen Wirkungen erzielen wie mit der Einführung eines fremden Gens in diesen Organismus, und die neuen Verfahren ermöglichen die Erzeugung gentechnisch veränderter Sorten in einem ungleich größeren Tempo und Ausmaß als bei der Anwendung herkömmlicher Methoden der Mutagenese« (EuGH 2018).

### **Unsicherheit über Effekte des Eingriffs auf die GVP bzw. ihre Eigenschaften**

Unsicherheiten bzw. Variationen der Effekte einer Genübertragung können zum einen die direkte, angezielte Wirkung des Gens bzw. Genprodukts selbst (also z. B. die gewünschte Herbizid- oder Insektenresistenz) betreffen und zum anderen aus einer Beeinflussung anderer Eigenschaften bzw. Stoffwechselwege der veränderten Pflanzen resultieren.

Ein zentraler Parameter für schwer prognostizierbare Effekte ist die unterschiedliche Expressionsstärke, also die Ausprägungsstärke des neuen Merkmals – zeitlich, räumlich, beeinflusst von Umweltbedingungen – bis hin zum Ausfall. Starke Expressionsunterschiede wurden beispielsweise beim Bt-Mais MON810 festgestellt (Lorch/Then 2007). Allzu instabile, gentechnisch übertragene Merkmale dürften in den meisten Fällen bereits in frühen FuE-Stadien zum Abbruch der Entwicklung führen.

Allerdings ist es nicht ausgeschlossen, dass sich genauso wie in der klassischen Pflanzenzüchtung störende Effekte bzw. mangelhafte Ergebnisse erst in späteren Praxisstadien zeigen, z. B. bei der Erprobung unter zunehmend realistischen Anbaubedingungen, was dazu führt, dass bei Weitem nicht alle Sortenentwicklungen bis zu einer Zulassungsbeantragung fortgeführt werden.

Während die Erzeugung bzw. Hinzufügung einer gentechnisch vermittelten Resistenz- oder Toleranzeigenschaft die Gesamtpflanze nicht fundamental ver-

32 [www.leopoldina.org/de/wissenschaft/thema-genomchirurgie/brauchen-wir-eine-neue-gentechnik-definition/](http://www.leopoldina.org/de/wissenschaft/thema-genomchirurgie/brauchen-wir-eine-neue-gentechnik-definition/) (17.4.2019)



ändert, sondern vor allem ihre Reaktion auf den unerwünschten Außenreiz, erfolgt dies ganz gezielt bei der Herstellung von Pflanzen mit einer quantitativ veränderten Inhaltsstoffzusammensetzung (TAB 2005). Dies kann durch die Beeinflussung eines vorhandenen oder die Einführung eines neuen, zusätzlichen Stoffwechselwegs erreicht werden. Dabei wird versucht, die Menge eines gewünschten Endprodukts für die kommerzielle Nutzung (beispielsweise einer bestimmten Fettsäure oder Kohlenhydratverbindung) in den Pflanzen zu erhöhen. Hierdurch können hemmende, seltener aktivierende (Rückkopplungs-)Effekte auf verbundene Stoffwechselwege entstehen, die in ihrer Gesamtheit und Ausprägung (auch mit modernsten Methoden) nicht hinreichend modelliert und verlässlich vorhergesagt, sondern letztlich nur experimentell ermittelt werden können.

Eine weitere Kategorie von unerwarteten und daher nicht vorhersehbaren (Neben-)Effekten resultiert aus der Pleiotropie, wenn aus einem Gen nicht nur ein einzelnes Genprodukt (RNA, Protein oder Enzym), sondern verschiedene Varianten mit unterschiedlichen Effekten resultieren oder wenn das Genprodukt mehrere Wirkungen in der Zelle bzw. der Gesamtpflanze hervorrufen kann. Beide Effekte müssen nicht notwendigerweise bei der Charakterisierung des jeweiligen Gens im Ursprungsorganismus bereits auftreten (oder können ggf. auch übersehen werden). Von besonderer Bedeutung wären pleiotrope Effekte, wenn sie Eigenschaften der gentechnisch veränderten Nutzpflanzen betreffen, die deren Wechselwirkung mit dem umgebenden Ökosystem, insbesondere ihr Ausbreitungsverhalten prägen. Von Gleich et al. (2015, S. 40) nennen als relevante Beispiele den Wechsel von der Selbstbestäubung zur Fremdbestäubung (Bergelson et al. 1998) oder eine verstärkte Samenproduktion (Pilson et al. 2002).

### **Unsicherheit über die Ausbreitung der GVP bzw. der gentechnisch veränderten Eigenschaft in der Umwelt**

Die Möglichkeit einer unkontrollierten Ausbreitung der Ganzpflanzen durch Verwilderung bzw. der gentechnisch übertragenen Eigenschaft durch Auskreuzung oder horizontalen Gentransfer ist eine zentrale Frage bei der Risikoabschätzung und -bewertung von GVP. Angesichts des unvermeidlichen Nichtwissens über langfristige, kumulative und indirekte Effekte fordern vor allem gentechnikkritische Positionen eine grundsätzliche Reversibilität bzw. Rückholbarkeit, und auch bei der Technikcharakterisierung nach von Gleich et al. (2015) ist die (Nicht-)Rückholbarkeit ein zentraler Bewertungsfaktor bzw. Besorgnisgrund (Tab. 4.1).

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass sich das Ausbreitungsverhalten von GVP nicht prinzipiell von entsprechenden herkömmlichen (Nutz-)Pflanzensorten bzw. der Ausgangspflanze unterscheidet. Nur wenn die gentechnisch eingeführte Eigenschaft einen Fitnessvorteil bedeutet oder direkt Fortpflan-

zungs- und Verbreitungseigenschaften verändert, erscheint eine überproportionale Verbreitung in (natürliche) Ökosysteme denkbar. Die beiden häufigsten bzw. bislang nahezu ausschließlich praktisch genutzten gentechnischen Merkmale Schädlings- und Herbizidresistenz bieten jedoch nur unter den Bedingungen intensiver Landwirtschaft einen Vorteil. Anders könnte das z. B. bei einer Trockenheitstoleranz aussehen, die auch für Wildpopulationen einen Überlebensvorteil darstellen könnte, oder falls durch eine Inhaltsstoffveränderung die Samenverbreitung durch Tierfraß beeinflusst wird (Schmitz/Schütte 2001; TAB 2000).

Die bislang beobachteten Ausbreitungen von GVP aus dem landwirtschaftlichen Anbausystem hinaus, insbesondere von gentechnisch veränderten Raps, können eigentlich nicht als unvorhergesehen bzw. unerwartet angesehen werden, da das gleiche Ausbreitungsverhalten von herkömmlichem Raps bekannt ist. Als spezifisches Risiko bzw. Schaden kann dies nur betrachtet werden, wenn eine Verbreitung von GVP bzw. der gentechnisch veränderten Eigenschaften grundsätzlich vermieden werden soll (selbst unabhängig von den daraus resultierenden möglichen Folgen).

Die meisten Nutzpflanzen haben (gegenüber Raps) eine sehr geringe Ausbreitungsfähigkeit in natürliche oder naturnahe Ökosysteme. Am ehesten ist ein Durchwuchs auf der Feldfläche nach Fruchtwechsel zu beobachten, der aber kein ökologisches, sondern ein agrarwirtschaftliches Problem darstellt.

Die Abschätzung der prinzipiellen Auskreuzungsmöglichkeit kann relativ verlässlich durch eine Bestimmung z. B. von verwandten Wildpflanzen als potenzielle Kreuzungspartner erfolgen. In den meisten Ländern Europas haben die wichtigsten Kulturpflanzen keine natürlichen, wilden Kreuzungspartner. Ein interessanter Fall hat sich in den letzten Jahren in Spanien ergeben, dem, wie erwähnt, einzigen europäischen Land mit relevantem GVP-Anbau von Mais: Nachdem bis vor kurzem allgemeiner Konsens bestand, dass es in Europa keine verwandte Wildart gibt, wurde seit 2009 anscheinend eine Ausbreitung von Teosinte, der Ursprungspflanze des Mais, in Maisbeständen beobachtet, die als Kreuzungspartner dienen kann (Testbiotech 2016 u.2017). Eine mögliche Auskreuzung der Insektenresistenz in Teosintebestände erscheint zwar höchstens als agrarwirtschaftliches Problem mit vermutlich geringer ökologischer Relevanz (Devos et al. 2018), das Auftreten der Teosinte selbst kann aber als Hinweis auf Überraschungen bzw. Nichtwissen und nicht vollständige Prognostizierbarkeit interpretiert werden.

Der Kenntnisstand über die Verbreitungsmöglichkeit bzw. -wahrscheinlichkeit genetischer Merkmale im Allgemeinen und gentechnisch übertragener im Besonderen durch horizontalen Gentransfer ist im Vergleich zu Kreuzungspartnern recht deutlich durch unvollständiges und unsicheres Wissen geprägt. Horizontaler Gentransfer bezeichnet die Genübertragung zwischen Arten in Abgrenzung zum vertikalen Gentransfer bei der normalen Vererbung (innerhalb



einer oder nah verwandter, kreuzbarer Arten) (TAB 1998, S. 157 ff.; Schütte/Oldendorf 2001). Mikroorganismen, vor allem Bakterien und Viren, verfügen über verschiedene Mechanismen zur Aufnahme und Weitergabe von DNA untereinander und können theoretisch Gene, z. B. aus abgestorbenen Pflanzenteilen, in andere Organismen einbringen. Verschiedene Befunde zeigen, dass solch eine Genübertragung im Lauf der Evolution immer wieder stattgefunden hat (bis hin zu Wirbeltieren einschließlich des Menschen; Willems 2015), jedoch insgesamt ein sehr seltenes Ereignis darstellt.

### **Unsicherheit über langfristige, kumulative, indirekte, auch sozioökonomische Effekte der GVP bzw. ihrer Eigenschaften**

Dieser Bereich der Unsicherheit ist (in gewisser Weise per Definition) besonders geprägt von »unknown unknowns«. Welche langfristigen und kumulativen Effekte ausgewilderte GVP bzw. ihre ausgekreuzten Eigenschaften auf betroffene Ökosysteme haben können, kann nicht systematisch modelliert oder simuliert werden. Ebenso wie für jede andere genetische Veränderung von Pflanzen ist nach wie vor viel zu wenig über die Ursache-Wirkungs-Beziehungen in Ökosystemen bekannt. Ein ähnlicher Grad an Nichtwissen betrifft indirekte Auswirkungen beispielsweise durch längerfristige Veränderungen der Anbau-praxis bei der Nutzung insektizid- oder herbizidresistenter Pflanzen, weil hier sozioökonomische Faktoren sowie menschliches Verhalten eine prägende Rolle spielen. Beispielsweise beeinflussen der Umfang des Anbaus und die Einhaltung von Sicherheitsmaßnahmen ganz entscheidend, ob und wann es zu einer Resistenzentwicklung der Schädlinge bzw. Unkräuter kommt, die mit den GVP in Schach gehalten werden sollen. Die Anbauentscheidungen und Umgangsweisen der Landwirte aber werden durch vielfältige ökonomische, soziale, rechtliche und psychologische Faktoren bestimmt, die im Vorhinein unmöglich zu prognostizieren und selbst im Nachhinein kaum zweifelsfrei zu ergründen sind (TAB 2008, S. 228 ff.).

### **Unsicherheit über Transformations- und Veränderungsvorgänge mit Auswirkungen auf alle genannten Ebenen**

Im Unterschied zu nichtbiologischen Artefakten, die – abgesehen von Abnutzungs-, Abbau- und Alterungserscheinungen – in ihren Mechanismen und ihrer Struktur eher stabil bleiben, besitzen GVP als Lebewesen die Fähigkeit, auf wechselnde Umweltbedingungen zu reagieren (auch Plastizität genannt). Mit Blick auf die Frage des Nichtwissens ist insbesondere das intergenerationelle Veränderungspotenzial relevant, also die evolutive Änderung der (neuen) genetischen Informationen bzw. Eigenschaften (von Gleich et al. 2014, S. 35 f.). Dabei kann es unter anderem zum Verlust des Transgens, zur Veränderung seiner Nukleotidsequenz oder zur Beeinflussung der Expression durch epigenetische



Effekte kommen. Hierdurch können sowohl das Ausbreitungsverhalten als auch die möglichen Wirkungen auf die Umgebung beeinflusst werden.

Vor allem bei Organismen mit schnellen Generationszeiten, z. B. Hefen oder Bakterien, können solche Genomveränderungen in kurzer Zeit ablaufen. Bei Pflanzen können biotische (Viren, Pilze und bakterielle Infektionen) sowie abiotische Einflüsse (z. B. UV-Strahlung) das Genom verändern und damit auch die räumliche Position des Transgens und seine Integrität beeinflussen. Diese Ereignisse wurden bislang in Kontrolluntersuchungen von gentechnisch veränderten Pflanzen jedoch recht selten beobachtet (La Paz et al. 2012).

### **Resümee**

Insgesamt führen die Plastizität der GVP, ihre Vermehrungs- und Ausbreitungsfähigkeit in Verbindung mit der nach wie vor bestehenden beschränkten, wenn auch mit Genomeditierungsmethoden teils maßgeblich erhöhten Präzision der gentechnischen Eingriffe zu einer Erkenntnissituation, die in großem Maße durch Nichtwissen geprägt ist. Angesichts der Komplexität allein des Genoms, des biologischen Gesamtsystems Pflanze sowie der Vielzahl und Unterschiedlichkeit möglicher betroffener Ökosysteme ist grundsätzlich sowohl von Nichtwissen wie auch von unbekanntem Nichtwissen auszugehen, was die Einschätzung von Umweltwirkungen anbetrifft. Bei der konventionellen Pflanzenzucht wurde das Nichtwissen nicht so sehr hinsichtlich möglicher resultierender Risiken thematisiert, sondern vor allem bezüglich der anvisierten positiven neuen Eigenschaften. Dementsprechend müssen für eine Zulassung konventioneller Pflanzensorten die Homogenität, die Stabilität und die Vorteilhaftigkeit gegenüber dem vorhandenen Sortenangebot nachgewiesen werden. Dies ist für eine Sortenzulassung von gentechnisch veränderten Sorten ebenso nötig, vorgeschaltet aber ist eine spezielle Risikoabschätzung und -bewertung, die sich primär um Fragen des Umgangs mit relevantem Nichtwissen dreht.



---

## **6.3 Umgang mit Nichtwissen bei der Zulassung von Freisetzung und Inverkehrbringen von GVP: Risikoabschätzung, -bewertung und -management**

---

### **6.3.1 Etablierung und Grundausrichtung der Risikoregulierung von GVP<sup>33</sup>**

Der erste gentechnisch veränderte Organismus, eine Variante des bereits damals seit langer Zeit modellhaft erforschten Darmbakteriums *Escherichia coli*, wurde 1973 an der Universität Stanford, Kalifornien, geschaffen. 1974 wiesen elf führende Molekularbiologen auf die mögliche Gefährlichkeit ihres eigenen Tuns hin (»Potenzial Biohazards of Recombinant Molecules«; Berg et al. 1974) und forderten ein Moratorium für bestimmte gentechnische Arbeiten, bis Wissenschaft und Politik adäquate Sicherheitsrichtlinien entwickelt hätten. Die grundsätzliche Ausrichtung entsprechender Richtlinien auf ein Konzept der biologischen Einhegung (»containment«) wurde dann 1975 auf der Asilomar-Konferenz, beschlossen und 1976 in den Guidelines des Recombinant DNA Advisory Committee (RAC) des US-amerikanischen National Institutes of Health umgesetzt. Diese Guidelines bildeten den weltweiten Ausgangspunkt für alle weiteren Regulierungsmaßnahmen. In der damaligen Bundesrepublik wurden 1978 analoge »Richtlinien zum Schutz vor Gefahren durch in-vitro-neukombinierte Nukleinsäuren« eingeführt (EK 1987, S. 194 f.).

Entsprechend dem damaligen Stand von Wissenschaft und Forschung kreisten die Sicherheitsbedenken primär um die Entstehung pathogener, infektiöser Mikroorganismen bei Arbeiten im Labor (vor allem Bakterien und Viren). Die wichtigste Sicherheitsmaßnahme war und ist die Verwendung von Sicherheitsstämmen, die das aufgenommene genetische Material nicht weitergeben können und nur unter Laborbedingungen, nicht aber in einer natürlichen Umwelt überlebensfähig sind (EK 1987, S. 195). Mögliche Gefahren durch gentechnisch veränderte Pflanzen spielten erst mit Beginn der Freisetzungen in der zweiten Hälfte der 1980er Jahre eine größere Rolle in der Diskussion.

Die Wissenschaft selbst hatte also einen Gefahrenverdacht der Gentechnik gegenüber »in die Welt gesetzt« (Seifert 2002, S. 49 ff.), der von Politik und Öffentlichkeit in verschiedenen Ländern zu verschiedenen Zeiten mit Blick auf die unterschiedlichen Anwendungsfelder in unterschiedlicher Intensität aufgegriffen wurde. Im Laufe der 1980er Jahre setzten sich dabei in den USA sowie der damaligen EG zwei konträre Regulierungsperspektiven durch, die bis heute den völlig unterschiedlichen Umgang mit transgenen Pflanzen bestimmen: In den USA dominiert das Konzept der »sound science«, das einen (natur)wissen-

---

33 Das Kapitel basiert auf Sauter 2005, S. 118 f.

schaftlichen Nachweis konkreter Risiken fordert, bevor Anbau und Vermarktung untersagt werden können – allerdings gekoppelt mit einem scharfen Haftungsrecht. In der Europäischen Union hingegen regiert das Vorsorgeprinzip, das Schutzmaßnahmen gegenüber möglichen Gefahren auch bei mangelnder wissenschaftlicher Gewissheit legitimiert bzw. sogar fordert (Ammann/Vogel 2001; Schomberg 2005).

In (West-)Deutschland erfolgte 1990 eine gesetzliche Regulierung der Gentechnik mit der Verabschiedung des weltweit zweiten Gentechnikgesetzes (GenTG) (bereits 1986 Dänemark), in kurzem zeitlichem Abstand zum Erlass und unter Berücksichtigung der Vorgaben der Richtlinie 90/219/EWG über die Anwendung gentechnisch veränderter Mikroorganismen in geschlossenen Systemen sowie der Richtlinie 90/220/EWG über die absichtliche Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen in die Umwelt. Während in allen EU-Ländern die Richtlinien in nationale Regelwerke umgesetzt werden mussten, ist in den USA eine umfassende bundesgesetzliche Regulierung der Gentechnik bis heute nicht erfolgt. Allerdings gibt es seit 2015 Bestrebungen, einen einheitlicheren Regulierungsrahmen zu schaffen.<sup>34</sup>

§ 1 des deutschen GenTG postulierte neben dem Schutzzweck mit dem Ziel der Gefahrenvermeidung und der Risikovorsorge einen Förderzweck, indem es als Ziel der Regulierung definiert, zur Erforschung, Entwicklung, Nutzung und Förderung der wissenschaftlichen und technischen Möglichkeiten der Gentechnik beizutragen. Die EU-Richtlinien hingegen bezogen sich – wohl vor allem auf Betreiben des Europaparlaments – neben dem Ziel der Harmonisierung der Rechtsvorschriften in den Mitgliedstaaten nur auf das Schutzziel (von Umwelt und Gesundheit) (Gloede et al. 1993, S. 97), eine Förderung der Gentechnik wurde über Forschungsprogramme und Strukturmaßnahmen unterstützt (zur Entstehungsgeschichte Seifert 2002, S. 111 ff.). Erst 2002 legte die EU dann eine explizite Strategie zur Förderung der »Biowissenschaften und Biotechnologie« vor.

---

### 6.3.2 Grundprinzipien der Risikoabschätzung und-bewertung

Auch wenn in den beiden ursprünglichen EU-Richtlinien der Begriff Vorsorgeprinzip noch nicht auftauchte, wurden sie als Umsetzung desselben angesehen (von Schomberg 2005). Ausgehend von einem spezifischen, aber gleichzeitig allgemeinen Gefahrenverdacht gentechnischen Eingriffen gegenüber, wurden in den Richtlinien insbesondere zwei vorsorgeorientierte Verfahrensweisen festgelegt: zum einen die *Einzelfallprüfung*, zum anderen ein *Stufenverfahren*

---

34 <https://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2017/01/04/increasing-transparency-coordination-and-predictability-biotechnology-regulatory> (17.4.2019) sowie [https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/2017\\_coordinated\\_frame\\_work\\_update.pdf](https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/2017_coordinated_frame_work_update.pdf) (17.4.2019)



der Risikoabschätzung und -zulassung, wodurch das Nichtwissen stufenweise charakterisiert und reduziert werden soll (TAB 2015, S. 93 f.):

- > Einzelfallprüfung: Grundsätzlich wird für jeden Einzelfall auf der Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse, plausibler Annahmen und Szenarien eine Risikoabschätzung durchgeführt, d. h. für jede konkrete gentechnische Veränderung in jedem einzelnen Organismus, z. B. in einer bestimmten Pflanzensorte oder einem mikrobiellen Produktionsstamm. Jede Übertragung z. B. durch Weiterkreuzung mit anderen Pflanzensorten erfordert eine Neubewertung.
- > Stufenverfahren: Erfahrungen mit dem jeweiligen GVO sollen schrittweise gewonnen werden. Dabei werden in aufeinanderfolgenden Versuchen (Gewächshaus, Freisetzung im kleinen Maßstab, Freisetzung im großen Maßstab, Inverkehrbringen) die Sicherheitsauflagen, die zunächst ein Ausbringen des GVO in die Umwelt verhindern (geschlossenes System) bzw. räumlich und zeitlich begrenzen sollen (Freisetzungsversuche), verringert. Der jeweilige Schritt kann dann getan werden, wenn der vorherige gezeigt hat, dass er keine unvermeidbaren Risiken für Mensch und Umwelt birgt.

Dazu kommt eine vergleichende Risikobewertung: Diese basiert zentral auf einem Vergleich mit nicht gentechnisch veränderten Organismen, z. B. konventionell gezüchteten Pflanzensorten oder bereits genutzten mikrobiellen Produktionsstämmen, deren Sicherheit aufgrund langjähriger Verwendung als gegeben angenommen werden kann. Anstatt eine Komplettkarakterisierung des GVO und seiner möglichen Umwelt- und Gesundheitsrisiken vorzunehmen, wird durch Anwendung der Konzepte der *substanziellen Äquivalenz* und der *Vertrautheit* die Zahl der zu prüfenden Risikoannahmen und -parameter auf ein handhabbares Maß reduziert: Das Konzept oder Prinzip der substanziellen Äquivalenz besteht darin nachzuweisen, dass sich der gentechnisch veränderte Organismus nur in bestimmten, eingrenz- und untersuchbaren Eigenschaften von dem Ausgangsorganismus unterscheidet – ansonsten aber vergleichbar erscheint. Untersucht werden müssen dann nur noch die neuen Eigenschaften (und ggf. unbeabsichtigte Nebeneffekte), aber nicht der Gesamtorganismus in jeder erdenklichen Hinsicht.

Die Feststellung der substanziellen Äquivalenz alleine genügt allerdings nicht, sondern hinzukommen muss eine zweite Einschätzung: dass der Ausgangsorganismus ausreichend bekannt ist und als sicher gelten kann. Diese Vertrautheit gilt bei traditionellen, seit Langem verwendeten landwirtschaftlichen Nutzpflanzen als gegeben, allerdings können die bekannten Eigenschaften auch auf ein mögliches Risiko hinweisen. Beispielsweise besitzt Raps (anders als Mais oder Kartoffeln) in Teilen Europas wilde verwandte Kreuzungspartner, außerdem hat er eine ausgeprägte Neigung, sich auch außerhalb landwirtschaftlicher Nutzflächen zu verbreiten. Wenn die Risikobewertung zu dem Schluss



kommt, dass eine unkontrollierte Verbreitung der gentechnisch veränderten Merkmale vermieden werden soll, dann wird ein Anbau entsprechender Rapssorten trotz substanzieller Äquivalenz gerade aufgrund der Vertrautheit untersagt werden.

Das Prinzip der Vertrautheit besagt außerdem weder, dass konventionelle Pflanzen völlig risikolos sind (beispielsweise Giftstoffe in Kartoffeln – vermutlich würden sie als gentechnische Neuzüchtungen nicht zugelassen werden, auch nicht in den USA), noch, dass zu ihnen notwendigerweise wenig Nichtwissen besteht.

---

### 6.3.3 Maßnahmen des Risikomanagements

Um im Zuge der Risikoabschätzung und -bewertung erkannte Risiken, die vor allem aus einer unerwünschten und unkontrollierten Verbreitung entstehen könnten, einzudämmen, können von den Zulassungsbehörden sowohl bei Freisetzungen als auch beim Inverkehrbringen Maßnahmen des Risikomanagements vorgeschrieben werden. Diese Maßnahmen werden für jeden Einzelfall in Abhängigkeit von Eigenschaften der Pflanzenart und der gentechnischen Veränderung entwickelt.

Während der Phase der räumlich und zeitlich stark begrenzten Freisetzungsversuche (auf kleinen Arealen über mehrere Jahre) geht es zunächst einmal um die Vermeidung ökologischer Risiken durch eine Verhinderung der Ausbreitung der GVO aufgrund unkontrollierter Vermehrung und Auskreuzung (TAB 2005, S. 196 ff.). Typische Sicherheitsmaßnahmen bei Freisetzungen bestehen in einem Isolationsabstand, insbesondere zu natürlichen Ökosystemen, oder dem Anlegen von Mantelsaaten, d. h. einem umgebenden Cordon von nicht gentechnisch veränderten Pflanzen der gleichen Art, die den gentechnisch veränderten Pollen der GVP abfangen und dann kontrolliert entsorgt werden (Röver et al. 2000, S. 23 ff.). Solche Maßnahmen der Einhegung (»containment«) sollen eine maximale Rückholbarkeit der GVP gewährleisten, auch wenn eine 100%ige Einhegung in biologischen Systemen aus prinzipiellen und praktischen Gründen nicht möglich ist (Pohl/Arndt 2004, S. 70 ff.; TAB 2005, S. 229 ff.).

Nach dem Inverkehrbringen zur kommerziellen Nutzung geht es vor allem um eine Verhinderung ökonomischer Schäden infolge einer Ausbreitung der GVP in gentechnikfreie Bestände (die dann nicht mehr mit einem Preisaufschlag als gentechnikfreie Ware vermarktet werden können), z. B. durch die Vorgabe von Abstands- und anderen Anbauauflagen. Eine Resistenzentstehung der Schädlinge kann durch Refugienflächen mit konventionellen Sorten oder Fruchtfolgeauflagen verhindert werden. Hinzu kommt eine Befristung der Zulassung auf 10 Jahre, ein verpflichtendes spezifisches und allgemeines Monito-



ring möglicher bekannter und unbekannter Umwelteffekte sowie spezielle Haftungsregelungen (TAB 2005, S. 215 ff.).

---

#### 6.3.4 Der Rechtsrahmen für Freisetzung und Inverkehrbringen auf EU-Ebene<sup>35</sup>

Die Zulassungsverfahren innerhalb der Europäischen Union (und damit auch in Deutschland) werden maßgeblich durch zwei Regelungen bestimmt, die auch die Kompetenzen der jeweils auf nationaler und auf EU-Ebene beteiligten Behörden und Institutionen festlegen:

- Die Richtlinie 2001/18/EG über die absichtliche Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen in die Umwelt und zur Aufhebung der Richtlinie 90/220/EWG regelt zum einen die Zulassung von experimentellen Freisetzungen von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) zu Forschungs- und Entwicklungszwecken. Zum anderen werden in ihr die Bedingungen für das Inverkehrbringen von gentechnisch verändertem/n Saatgut und Pflanzen festgelegt, also deren Verkauf, Verwendung im landwirtschaftlichen Anbau und Import. Die Vorgaben dieser Richtlinie sind zwingend in nationales Recht umzusetzen, was in Deutschland mit dem Gentechnikgesetz (GenTG) erfolgt ist.
- Die Verordnung (EG) Nr. 1829/2003 über gentechnisch veränderte Lebensmittel und Futtermittel regelt das Inverkehrbringen von Lebens- und Futtermitteln, die aus gentechnisch veränderten Pflanzen bestehen oder aus diesen gewonnen werden. Als Verordnung hat sie unmittelbare Rechtskraft und muss nicht in nationales Recht umgesetzt werden. In dieser Verordnung sind die Anforderungen und der Ablauf des Genehmigungsverfahrens für gentechnisch veränderte Lebensmittel und Futtermittel festgelegt.

#### Regulierung experimenteller Freisetzungen

Experimentelle Freisetzungen finden auf einer im Genehmigungsbescheid festgelegten Fläche und für einen begrenzten Zeitraum von einem oder mehreren Jahren statt. Sie werden von einem bestimmten Betreiber durchgeführt. Eine Verarbeitung von GVO aus Freisetzungen zu Lebens- oder Futtermitteln ist nicht gestattet. Bei Auskreuzungen aus Versuchsflächen in die umliegenden konventionellen landwirtschaftlichen Flächen haftet der Versuchsverantwortliche für alle Ertragsausfälle, die durch Kontamination mit GVO entstehen.

Das Zulassungsverfahren für Freisetzungsversuche (z. B. Feldversuche im Rahmen der Forschung) mit gentechnisch veränderten Pflanzen ist ein rein innerstaatliches Verfahren. Die Zulassung einer Freisetzung zu Versuchszwecken

---

<sup>35</sup> Das Kapitel basiert auf ITAS/BBAW 2008 sowie von Gleich et al. 2014.

erfolgt immer nur für den EU-Mitgliedstaat, in dem der Antrag gestellt wurde. Kernvoraussetzung ist eine Umweltverträglichkeitsprüfung, die gewährleisten soll, dass von diesen Pflanzen keine Gefährdung der Umwelt und umgebender Ökosysteme ausgeht. Dieser Nachweis ist vom Antragsteller in seinem Antrag zu erbringen.

Auf Basis dieser Unterlagen nimmt die zuständige nationale Behörde, in Deutschland das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), unter Beteiligung weiterer nationaler Institutionen eine eigenständige Sicherheitsbewertung vor. Hierbei sind in Deutschland das Bundesamt für Naturschutz, das Robert Koch Institut, das Bundesamt für Risikobewertung und das Julius-Kühn-Institut (Bundesinstitut für Kulturpflanzen) beteiligt. Die Ergebnisse werden den Mitgliedstaaten und der Europäischen Kommission zur Stellungnahme vorgelegt. Die nationale Behörde prüft ggf. eingegangene Einwände und entscheidet dann eigenständig über eine Zulassung des Freisetzungsversuchs und gegebenenfalls zu erlassende Sicherheitsauflagen.

Vorgeschrieben ist in jedem Fall die Informierung der Öffentlichkeit, und im Rahmen des Verfahrens können von Gruppen und Einzelpersonen Stellungnahmen abgegeben werden. Falls mit bestimmten gentechnisch veränderten Pflanzen bereits genügend Erfahrungen gesammelt wurden, kann auch eine Antragstellung nach dem differenzierten Verfahren erfolgen. Aufbauend auf einer Erstzulassung, können die betreffenden gentechnisch veränderten Pflanzen dann parallel an mehreren Standorten und während mehrerer Jahre hintereinander freigesetzt werden.

### **Regulierung des Inverkehrbringens**

Der Begriff des Inverkehrbringens von gentechnisch veränderten Pflanzen oder Produkten aus gentechnisch veränderten Pflanzen bedeutet die Abgabe dieser an Dritte. Im Zulassungsverfahren wird unterschieden, ob die gentechnisch veränderte Pflanze als Lebens- und Futtermittel genutzt werden soll oder nicht (z. B. für eine industrielle stoffliche oder energetische Nutzung). Beim Inverkehrbringen von gentechnisch veränderten Nichtlebensmittelpflanzen erfolgen Antragstellung und Sicherheitsbewertung entsprechend der Richtlinie 2001/18/EG auf nationaler Ebene. Nur wenn Einwände der Europäischen Kommission oder anderer Mitgliedstaaten nicht ausgeräumt werden können, wird das Zulassungsverfahren auf die EU-Ebene verlagert.

Falls ein Erzeuger aus den betreffenden gentechnisch veränderten Pflanzen hergestellte Lebens- und Futtermittel in der EU vermarkten möchte, benötigt er für diese Produkte eine Zulassung nach der Verordnung (EG) 1829/2003 für gentechnisch veränderte Lebens- und Futtermittel. Für den Import von Lebens- und Futtermitteln aus gentechnisch veränderten Pflanzen in die EU wird ebenfalls eine solche Zulassung benötigt. Für die Inverkehrbringung von gentech-



nisch veränderten Futter- und Lebensmitteln gibt es ein EU-weites, zentralisiertes Zulassungsverfahren. Dabei müssen gentechnisch veränderte Pflanzen, die als Lebens- und Futtermittel verwendet werden können, gleichzeitig für beide Verwendungen zugelassen werden.

### **Umweltverträglichkeitsprüfung bzw. Sicherheitsbewertung**

Kern beider Zulassungsverfahren ist die Umweltverträglichkeitsprüfung bzw. die Sicherheitsbewertung. Die zwei Schwerpunkte der Prüfung sind das Ausbreitungsverhalten, welches die Exposition gegenüber der Umwelt bestimmt, sowie mögliche bzw. erwartbare Wechselwirkungen mit Ziel- und Nichtzielorganismen, einschließlich der menschlichen Gesundheit (EFSA 2010, S. 11). Untersuchungspunkte sind:

- Persistenz und Invasivität (u. a. Menge und Eigenschaften der Samen/Polen, Verbreitungswege)
- Gentransfer zwischen Pflanzen (Auskreuzung in Wildpopulationen)
- Gentransfer von Pflanzen zu Mikroorganismen
- Interaktion von GVP mit Zielorganismen
- Interaktion von GVP mit Nichtzielorganismen (Verdrängung durch Konkurrenz, Veränderungen in den Nahrungsnetzen)
- Einflüsse auf biogeochemische Prozesse (über Bodenmikroben)
- Einflüsse auf die menschliche und tierische Gesundheit

Die Sicherheitsbewertung wird von der European Food Safety Authority (EFSA) durchgeführt. Die allgemeine Aufgabe der EFSA ist es, die Institutionen der EU mit wissenschaftlicher Hintergrundinformation und Ratschlägen zu allen Gebieten zu versorgen, die direkt oder indirekt mit Sicherheitsfragen bei Lebens- und Futtermitteln zusammenhängen. Konkret untersucht die EFSA innerhalb der Zulassungsverfahren für gentechnisch veränderte Pflanzen sowie gentechnisch veränderte Lebens- und Futtermittel mögliche Risiken anhand der durch die Antragssteller vorgelegten Untersuchungsergebnisse. Dazu prüft sie zunächst die Vollständigkeit der eingereichten Unterlagen und fordert gegebenenfalls Ergänzungen vom Antragsteller. Anschließend wird ein Referenzlabor der EU beauftragt, die vom Antragsteller vorgeschlagenen Methoden zum Nachweis und zur Identifizierung des jeweiligen GVO auf Zweckmäßigkeit und Umsetzbarkeit zu prüfen. Die Stellungnahme der EFSA beruht im Wesentlichen auf einem wissenschaftlichen Gutachten des Panels on Genetically Modified Organism, eines für Fragen der Gentechnik zuständigen Expertengremiums.

Innerhalb von 6 Monaten nach Antragstellung nimmt die EFSA zu dem Antrag Stellung. In dieser Stellungnahme werden die Ergebnisse der Prüfung der vom Antragsteller eingereichten wissenschaftlichen Sicherheitsbewertung zusammen mit dem vom Referenzlabor geprüften Nachweisverfahren dargestellt.

Es können von der EFSA auch Auflagen empfohlen werden, die mit einer Zulassung verbunden werden sollen, insbesondere ein Plan zur Überwachung möglicher Umweltfolgen beim Anbau der gentechnisch veränderten Pflanzen (Nachzulassungsmonitoring). Kern der Stellungnahme ist eine Empfehlung für eine Zulassung oder deren Verweigerung sowie eine für diese Entscheidung relevante Darstellung bzw. Erläuterung der Sicherheitsbewertung.

### **Nachzulassungsmonitoring**

Als Reaktion auf die Einsicht, dass im Rahmen der Sicherheitsforschung im Labor sowie in eingeschränkten Freilandexperimenten nicht alle risikorelevanten Fragen beantwortet und sogar noch nicht einmal gestellt werden können, wurde bei der Novellierung der Richtlinie 90/220/EWG über die absichtliche Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen in die Umwelt Anfang der 2000er Jahre ein Monitoring nach Inverkehrbringen etabliert (TAB 2000, S. 123 ff.). Dessen Ziel ist es, »etwaige nachteilige gentechnikspezifische Effekte, die infolge des zeitlich und räumlich unbegrenzten Anbaus beim Inverkehrbringen entstehen können, rechtzeitig zu erkennen. Es handelt sich dabei insbesondere um Effekte, die unvorhergesehen (»unerwartet«) eintreten und die in der Risikobewertung auf der Basis der räumlich und zeitlich begrenzten Freisetzungsversuche nicht offensichtlich werden konnten« (TAB 2000, S. 125).

Das Nachzulassungsmonitoring wird unterschieden in eine fallspezifische Beobachtung und eine allgemeine Umweltbeobachtung. Erstere dient der Überprüfung der Annahmen und Ergebnisse der vorangegangenen Risikoforschung, zielt also vor allem auf »known unknowns«, während die allgemeine Umweltbeobachtung mögliche neue Effekte zu erfassen versucht, die »nicht Gegenstand der Risikoanalyse waren und die unter Umständen unerwartet neu auftreten« (»unknown unknowns«) (Breckling et al. 2012, S. 20). Der Schwerpunkt liegt dabei auf langfristigen und kumulativen Wirkungen (Züghart et al. 2005, S. 308).

Die Schwierigkeit, dass mögliche Wirkungen, die außerhalb des Erwartungsraums der Hypothesen über mögliche Ergebnisse oder Wirkungen des Experiments liegen, nicht beobachtet und daher auch nicht erkannt werden, kann nicht grundsätzlich behoben werden. Es liegt in der Natur der Sache, dass es grundsätzlich keinen eindeutigen, abgeschlossenen Katalog von Beobachtungsparametern geben kann. Daher wird es immer unterschiedliche Meinungen geben, welche räumlichen Ausschnitte und welche Umweltmedien mit welchem Aufwand beobachtet werden sollen, welche Indikatoren aussagekräftig sein könnten und was überhaupt ein auffälliges Phänomen sein könnte, das einen Hinweis auf unerwartete Effekte der GVO-Freisetzung geben könnte.

Bei der Entwicklung des Monitorings von GVP wurde auf diese Probleme dadurch reagiert, dass zum einen für ausgewählte Parameter (z. B. Bestände von



Nutzinsekten, Auswilderung von Ackerpflanzen) eine spezifische Dauerbeobachtung entwickelt wurde. Zum anderen sollen regelmäßig die Ergebnisse einer allgemeinen Dauerbeobachtung von Umwelt und Gesundheit, die auch zur Risikoerhebung anderer Schadstoffe und Eingriffe etabliert worden ist, nach möglichen Hinweisen bzw. Rückschlüssen auf unerwünschte Effekte des Anbaus von GVP untersucht werden. Dabei ist unklar, wie aussagekräftig und nützlich die Daten, die zu anderen Zwecken erhoben worden sind, sein können (Römbke et al. 2014). Ausgehend von den Arbeiten einer Bund-/Länder-Arbeitsgruppe unter Federführung des UBA (TAB 2000, S. 129 ff.), betreut das mittlerweile zuständige Bundesamt für Naturschutz (BfN) den Prozess der Entwicklung und Implementierung seit vielen Jahren. Die Umsetzung beschreibt das BfN (2018) folgendermaßen:

»Über die konkrete Ausgestaltung und die Beobachtungsgegenstände des Monitorings gentechnisch veränderter Organismen wird von Fall zu Fall entschieden, d. h., die Beobachtung muss auf jeden einzelnen GVO und seine Verwendung zugeschnitten sein. Grundlage dafür sind die Umweltrisikobewertung, identifizierte Unsicherheiten, relevante Schutzgüter und hypothesengeleitete Wirkungsszenarien. Für ein anbaubegleitendes Monitoring der gentechnisch veränderten Kulturpflanzen insektenresistenter Mais, herbizidresistenter Raps und stärkerveränderte Kartoffel liegen Vorschläge für geeignete und fachlich erforderliche Beobachtungsparameter vor (u. a. Züghart/Breckling 2003, B/L-AG 2003). Eine Arbeitsgruppe der EU-Kommission zum GVO-Monitoring hat Checklisten zu diesen drei transgenen Kulturpflanzen erstellt, in denen Parameter, die bei einem Monitoring berücksichtigt werden sollten, aufgelistet werden.

Bei einer Zulassung von vermehrungsfähigen Bestandteilen transgener Pflanzen für den Import und die Verarbeitung sowie als Lebens- und Futtermittel, muss ebenfalls eine geeignete Beobachtung etabliert werden. Für herbizidresistenten transgenen Raps wurde ein Konzept entwickelt und erprobt.

Für die Umsetzung des GVO-Monitorings werden neue Methoden entwickelt oder bereits vorhandene angepasst bzw. optimiert. Um eine hohe Aussagekraft der Erhebungsmethoden zu gewährleisten sowie die Auswertbarkeit und Vergleichbarkeit der Daten sicherzustellen ist es notwendig, abgestimmte und standardisierte Verfahren für das Monitoring auf nationaler und europäischer Ebene zur Verfügung zu stellen. Mit diesem Ziel haben Experten und Expertinnen unter dem Dach des VDI (Verein Deutscher Ingenieure e.V.) bereits zahlreiche VDI-Richtlinien für das GVO-Monitoring erarbeitet. Die Ergebnisse daraus wurden 2013 im *BioRisk Journal* veröffentlicht.«

Die Entwicklung des Nachzulassungsmonitorings ist ein sehr langwieriger Prozess. Wie praktikabel und aussagekräftig das Monitoring mittlerweile ist, kann auf Basis der wenigen existierenden Monitoringberichte, die sich alle nur auf den Import, nicht aber den Anbau beziehen<sup>36</sup>, nicht ernsthaft beurteilt wer-

36 <https://zag.bvl.bund.de/monitoring/index.jsf?dswid=1365&dsrid=690> (17.4.2019)



den. Weil es keinen Anbau und seit einigen Jahren keine Freisetzen in Deutschland gibt, hat sich bisher noch nicht die Situation ergeben, dass ein möglicher negativer Effekt beobachtet wurde und sich a) die Frage stellte, ob dieser auf den GVP-Anbau zurückzuführen war, und b) wie darauf reagiert werden sollte.

---

### 6.3.5 Zwischenfazit: offene Fragen und Kontroversen zur (Nicht-)Wissens- und Risikolage bei GVP

#### Kulturen des Umgangs mit Nichtwissen

Obwohl sowohl in den USA als auch in der EU die gleichen Grundprinzipien bei der Risikoabschätzung und -bewertung von GVP angewendet werden (Einzelfallprüfung, Stufenverfahren, substantielle Äquivalenz und das Prinzip der Vertrautheit), gibt es einen fundamentalen Unterschied, der im Kern den Umgang mit Nichtwissen zu Risikoannahmen betrifft: In den USA muss eine potenzielle Schädigung mehr oder weniger unzweifelhaft wissenschaftlich nachgewiesen sein, bevor eine Zulassung versagt werden kann.<sup>37</sup> Gleichzeitig existiert in den USA allerdings ein starkes Haftungsrecht, das im Schadensfall bekanntermaßen zu sehr hohen finanziellen Entschädigungen führt. Die bisher bekannt gewordenen großen Schadenersatzfälle bezogen sich auf ökonomische Schäden, die durch den Anbau nichtzugelassener GVP und die dadurch bewirkte Kontamination von Pflanzenchargen ausgelöst wurden, wodurch diese Chargen nicht mehr verkäuflich waren.

In der EU hingegen wird der Schwerpunkt auf die Ermittlung der Wahrscheinlichkeit des Eintretens sowie des möglichen Umfangs der Umwelt- und Gesundheitsrisiken im Vorhinein gelegt: Hier erlaubt bzw. fordert das Vorsorgeprinzip als fundamentaler Orientierungsrahmen der Umweltgesetzgebung, dass Sicherheitsmaßnahmen oder auch eine Zulassungsversagung bereits dann erfolgen können bzw. sollen, wenn es einen wissenschaftlich plausiblen Verdacht auf eine bedeutende Schädigung gibt. Anders, als häufig dargestellt, impliziert das Vorsorgeprinzip mitnichten, dass bloße hypothesenlose Risiko-behauptungen oder -annahmen für ein Verbot ausreichen. Es bedeutet auch nicht, dass ein bekanntes Risiko nicht eingegangen werden darf. Entscheidend sind die Fragen der relativen Risikoermittlung und -bewertung sowie der gesellschaftliche Umgang damit. Es geht im Kern darum, auf der Basis wissenschaftlicher Abschätzungen sich gesellschaftliche darauf zu einigen, dass das aufgrund des – bekannten und unbekanntes – Nichtwissens anzunehmende Gefähr-

---

37 Die damit oft in Verbindung gebrachte Forderung nach »sound science« in vorgeblicher Abgrenzung zum irrationalen Vorsorgeprinzip in Europa ist allerdings selbst vor allem ein ideologischer Kampfbegriff und wird in der seriösen wissenschaftlichen Debatte kaum benutzt ([www.sourcewatch.org/index.php/Sound\\_science](http://www.sourcewatch.org/index.php/Sound_science); 17.4.2019).



dungspotenzial gegenüber vergleichbaren Risiken (durch konventionelle Pflanzensorten oder z. B. auch andere Maßnahmen des Pflanzenschutzes) als nicht ernsthaft größer und damit als vergleichsweise akzeptabel bewertet wird. Eine Risiko-Nutzen-Abwägung im eigentlichen Sinn (wie bei der Arzneimittelzulassung) findet jedoch nicht notwendigerweise statt.

### **Relative Risikobewertung**

Diese relative Risikobewertung eröffnet allerdings weite Spielräume für Bewertungsunterschiede und -kontroversen. Entscheidend ist vor allem die Wahl des Vergleichsmaßstabes, etwa mit Blick auf den Pflanzenschutz (TAB 2000, S. 78 ff.): Werden beispielsweise die Maßnahmen der konventionellen Landwirtschaft und dabei der oft defizitäre, praktische Status quo oder ein integrierter Pflanzenschutz nach guter fachlicher Praxis oder aber der Ökolandbau zur Bewertung herangezogen?

Ein weiterer, zentraler Streitpunkt ist die Frage, wer die Risikobewertung vornehmen kann und soll: Was für eine Art Gremium? Welche Expertise und welche Interessen sollen darin vertreten, welche gesellschaftlichen Gruppen repräsentiert sein? Gentechnik- und lobbykritische Gruppen üben seit vielen Jahren Kritik an nach ihrer Meinung viel zu industriefreundlich besetzten GVO-Gremien in der zuständigen EU-Lebensmittelsicherheitsbehörde EFSA.

Doch nicht nur bei diesen grundlegenden weltanschaulichen und interessen geprägten Fragen gibt es Kontroversen bzw. große Einschätzungsunterschiede. Wissenschaftlich nicht eindeutig zu beantworten ist bereits die Frage, ab wann eine GVP substantiell nicht mehr äquivalent zu ihrem konventionellen Gegenstück ist: Wie viele bzw. welche Inhaltsstoffe dürfen von der Ausgangspflanze abweichen? Welche durch Gentechnik herbeigeführten Variationen von Eigenschaften fallen in das innerartliche bekannte, natürliche Spektrum der Pflanzenart? Und wie gut ist das eigentlich charakterisiert? Ist die Baseline hinreichend bekannt?

Von der Beantwortung dieser Fragen ist die Einschätzung abhängig, welcher Aufwand betrieben werden muss, um die Ähnlichkeit der GVP mit der Ausgangspflanze zu untersuchen und zu belegen. Das heißt ganz konkret: In welchem Umfang, mit welchen Methoden und Verfahren soll bzw. muss das bekannte Nichtwissen reduziert werden, erstens vor einer experimentellen Freisetzung und zweitens vor dem Inverkehrbringen? In Abhängigkeit von der Perspektive der beteiligten Experten, der von ihnen vertretenen Disziplinen (u. a. Molekularbiologie, Ökologie, Sozial- und Rechtswissenschaften, Philosophie, Ökonomie) und dabei schwerpunktmäßig betrachteten Systeme und Schutzgüter sowie der von ihnen vertretenen Interessengruppen gehen hier die Einschätzungen zum Teil massiv auseinander. Bemängelt wird nicht nur, dass die entsprechenden Analysen, z. B. zur Wirkung auf Nichtzielorganismen, zu ober-

flächlich, sondern vor allem auch zu intransparent durchgeführt würden. Wie bei anderen Zulassungsverfahren, z. B. von Pflanzenschutzmitteln, gelten die von den Antragstellern vorgelegten Unterlagen oft als Geschäftsgeheimnisse und werden nicht veröffentlicht. Diese Praxis kollidiert erkennbar mit dem Grundansatz des Vorsorgeprinzips, das eine gesellschaftliche Verständigung über das akzeptable Risikoniveau impliziert; denn hierfür ist ein Vertrauen aller gesellschaftlicher Gruppen in das Verfahren nötig, und das ist nur denkbar bei größtmöglicher Transparenz.

### **Risikomanagement und Monitoring**

Ein weiterer potenzieller Streitpunkt ist das Risikomanagement, das im Rahmen der Zulassungsverfahren entwickelt werden muss und entscheidend die Risikobewertung prägt: Welche Sicherheitsmaßnahmen bei Freisetzungen und Inverkehrbringen sind nötig, wirkungsvoll und praktisch umsetzbar? Wer setzt sie um, beobachtet und kontrolliert sie? Hierzu gehören dann auch die Maßnahmen der allgemeinen und der spezifischen Dauerbeobachtung (Monitoring), deren Umfang und Intensität, wie in Kap. 6.3.4 angedeutet, besonders unterschiedlich ausgestaltet werden können. Und es schließen sich die zentralen Fragen an, welche Beobachtungsergebnisse wie und durch wen interpretiert und bewertet und welche Konsequenzen dann gezogen werden (TAB 2000, S. 143 ff.). Diese Fragen können nicht wissenschaftlich-methodisch beantwortet, sondern nur prozedural gelöst werden. Hier bieten sich Beteiligungsverfahren an, die dem Konzept des rekursiven Lernens in Realexperimenten recht nahekommen können (Kap. 6.4).

Jedes Monitoring ist darüber hinaus mit dem grundsätzlichen Problem konfrontiert, Überraschungen (im Sinne von »unknown unknowns«) sichtbar machen zu sollen. Hierfür erscheint prinzipiell eine möglichst breite methodische und konzeptionelle Basis nötig, darunter eine gezielte Einbeziehung lokalen und erfahrungsbasierten Wissens, beispielsweise von Bauern- oder Imkerverbänden, Naturschutzorganisationen oder lokalen Umweltschutzbehörden (Bonneuil et al. 2014; Kleinman/Suryanayanan 2013). Letztlich kann aber auch das umfassendste Nachzulassungsmonitoring keine absolute Garantie bieten, dass unerwünschte Folgen des Anbaus von GVO frühzeitig bzw. so rechtzeitig entdeckt werden, dass noch gegengesteuert werden kann.



---

## 6.4 Zur Rolle der Technikcharakterisierung und des rekursiven Lernens bei Freisetzung und Inverkehrbringen von GVP

---

### 6.4.1 Technikcharakterisierung

Technikcharakterisierung ist, wie in Kapitel 4.1 beschrieben, eine Herangehensweise, um Nichtwissen unter anderem bei explorativen Experimenten zu analysieren und etwaige problematische Wirkungen im Vorfeld abschätzen zu können. Das Konzept wurde durch von Gleich und Kollegen maßgeblich zur prospektiven Technik- und Stoffbewertung im Hinblick auf das Vorsorgeprinzip entwickelt (von Gleich 1998a, b, c u. 1999). Umgesetzt wurde es insbesondere mit Blick auf Technologien wie die synthetische Chemie, Gentechnik, Nanotechnologien und Synthetische Biologie (Ahrens et al. 2005; Giese/von Gleich 2015; Giese et al. 2015; Steinfeldt et al. 2007). Das Konzept ist auch maßgeblich in die Empfehlungen der beiden Arbeitsphasen der Nanokommission der Deutschen Bundesregierung eingeflossen (Nanokommission 2008 u. 2011). Insbesondere geht es darum, solche Interventionen herauszufiltern, bei denen ernsthafte Gründe zur Besorgnis bestehen könnten.

#### Grundlegendes Vorgehen der Technikcharakterisierung

Ziel der Technikcharakterisierung ist eine qualitative Einschätzung der möglichen Eingriffskonsequenzen bzw. des Gefährdungs- und Expositionspotenzials explorativer Experimente auf Wirkungsebenen, auf denen bekanntes oder unbekanntes Nichtwissen existiert. Ausgangspunkt ist die grundsätzliche Frage, ob bei der Intervention (also dem explorativen Experiment) mit besonders weitreichenden und damit unüberschaubaren Wirkungsketten in den betroffenen Zielsystemen gerechnet werden muss. Um diese Frage zu untersuchen, richtet die Methode den Blick auf Merkmale sowohl der Technik als auch der möglicherweise betroffenen Systeme, und zwar einerseits auf diejenigen, die direkt angesteuert werden (Zielsysteme erster Ordnung), und andererseits auf diejenigen, die durch das Auftreten unerwarteter Neben- und Folgewirkungen betroffen sein könnten (Zielsysteme zweiter Ordnung).

In einem ersten Schritt wird das bekannte Wissen über die vorgesehene Intervention in das Zielsystem erhoben, und die bekannten Nichtwissensbereiche werden beschrieben. Für die Abschätzung der unbekanntenen Wirkungspotenziale wird dann versucht, die Eingriffstiefe, die Eingriffsintensität und die dadurch hervorgebrachten Wirkmächtigkeiten zu beschreiben. Dieser Schritt wird als Technikcharakterisierung im engeren Sinne bezeichnet (Kap. 4.1.2).

Zum anderen sieht die Methode vor, die möglicherweise betroffenen Zielsysteme durch Vulnerabilitätsanalysen dahingehend zu prüfen, wie sie aufgrund

ihrer Eigenschaften vermutlich auf die vorgesehenen Eingriffe reagieren werden. Dabei werden sie insbesondere mit Blick auf etwaige Schwachstellen analysiert.

Zu berücksichtigen ist, dass das Nichtwissen nicht konstant ist, sondern durch den Einsatz der Technik bzw. die Durchführung des Experiments neues Nichtwissen erzeugt wird. Der Charakter des Experiments und damit auch seine Gestaltung entscheiden maßgeblich über das Ausmaß des mit seiner Durchführung verbundenen Nichtwissens über die möglichen Folgen.

### **Zur Eingriffstiefe der Grünen Gentechnik**

Von Gleich et al. (2015, S. 3) gehen grundsätzlich davon aus, dass molekularbiologische Ansätze, die vorhandene genetische Informationen ändern oder neue erschaffen, zu den Technologien mit einer potenziell hohen Eingriffstiefe gehören, weil sie grundlegende Steuerungsstrukturen verändern. Diese Einschätzung korrespondiert mit der ursprünglichen Risikovermutung der Molekularbiologie (Kap. 6.3.1) und bildet für erklärte Gegner der (Grünen) Gentechnik häufig die Grundlage ihrer grundsätzlichen Ablehnung. Die Technikcharakterisierung beschränkt sich allerdings gerade nicht auf die Betrachtung einer einzelnen Dimension, sondern widmet sich auch der Eingriffsintensität, den Wirkungsketten und der daraus resultierenden Wirkmächtigkeit.

Von Gleich et al. (2015, S. 35) betonen, dass sich »die veränderte oder neue Information mit der in ihr kodierten potenziell fremden Funktion ... zeitlich durch Vererbung sowie räumlich durch horizontalen Gentransfer und die Mobilität von Organismen enorm ausbreiten [kann], zudem evolutiv verändern und somit durch ihre Präsenz in neuen Umgebungen und durch in ihr enthaltene, potenziell neue Funktionen unvorhersehbare Wirkungen auslösen. Diese Wirkungen bleiben aller Voraussicht nach nicht auf den gentechnisch veränderten Organismus beschränkt. Vieles deutet darauf hin, dass sich die Reichweite solcher Eingriffe über die GVO-Population und ihre Wechselwirkungen mit anderen Organismen und der unbelebten Umgebung über mehrere Ökosystemebenen hinweg erstrecken kann (Breckling/Schmidt 2015). Die Eingriffstiefe und Wirkmächtigkeit und die damit mögliche Entgrenzung relevanter Wirkungsketten in Raum und Zeit sind ein Grund für große Besorgnis«.

Diese Besorgnis wurde bei der Ausgestaltung der Risikoregulierung von GVP gerade in Europa sehr ernst genommen. Von Gleich et al. (2015, S. 35) verweisen darauf, dass den »potenziell möglichen Wirkungen entsprechend ... die Versuchsflächen bei Freisetzungen im Pflanzenbereich anfänglich entsprechend dem schrittweisen Vorgehen [Kap. 6.3.2] klein gehalten und von Kontrollmaßnahmen begleitet [werden]. Der Ansicht der befragten ExpertInnen zufolge waren Auswirkungen auf die umgebenden Ökosysteme entsprechend gering bzw. gar nicht messbar. Es wurde auch darauf hingewiesen, dass im Ver-



gleich zur Kreuzung das reine Ausmaß der genetischen Veränderung in den bisherigen gentechnisch veränderten Pflanzen ... noch sehr gering ist. Besondere Vorsicht ist jedoch geboten, wenn eine für das jeweilige Ökosystem fremde Eigenschaft durch den GVO eingeführt wird. Ihre Wirkungen sind nicht in allen Fällen vorher abschätzbar«.

### **Zur Versagenswahrscheinlichkeit der Grünen Gentechnik**

Wie in Kapitel 6.2 beschrieben, betrifft eine Kategorie des Nichtwissens bei GVP die Unsicherheiten über (evolutive) Veränderungs- und Anpassungsvorgänge, die einen wesentlichen Unterschied zur nichtbiologischen Technik darstellen (von Gleich et al. 2014, S. 35). Zu einem gewissen Maß wäre zu erwarten, dass es zu unerwarteten und unvorhersagbaren Genomveränderungen z. B. in Form von Mutationen der Eigenschaften von GVO kommt. Allerdings scheint dies selten zu geschehen und wurde bislang praktisch nicht nachgewiesen (Interview I. Broer in von Gleich et al. 2014, S. 36). Weitaus wahrscheinlicher als eine Mutation der implementierten Eigenschaft erscheint vielmehr ihr Verlust durch epigenetische Effekte (das Gen bleibt noch da, wird aber nicht gelesen).

Auch die häufig hervorgehobene Unsicherheit über die Effekte des gentechnischen Eingriffs, z. B. aufgrund der ungesteuerten Integration des Transgens in das Empfängergenom, ist empirisch wohl wenig belegt. Dies dürfte vor allem daran liegen, dass die Misserfolge bei der Entwicklung von GVP in den seltensten Fällen publiziert werden. Die neueren Methoden des Genome Editing, die einen zielgerichteteren, ortsspezifischen Einbau von Transgenen ermöglichen bzw. ganz auf einen solchen verzichten, müssten die Wahrscheinlichkeit von unerwarteten Nebenwirkungen weiter reduzieren.

### **Zur Vulnerabilitätsanalyse**

Die Vulnerabilitätsanalyse richtet sich auf die Stabilität, Robustheit bzw. Resilienz der jeweiligen Systeme, in die mit explorativen Experimenten eingegriffen wird (von Gleich et al. 2014, S. 37). Den durch von von Gleich et al. befragten Expertinnen und Experten zufolge sind die für die Grüne Gentechnik bedeutsamen Agrarökosysteme im Allgemeinen mittlerweile recht gut verstanden (von Gleich et al. 2014, S. 37). Insgesamt bietet ein Ausbringen von GVP in Agrarökosystemen wenig Anlass zur Besorgnis, solange diese nicht in enger Wechselwirkung mit den umliegenden agrarischen und nichtagrarischen Ökosystemen stehen. Grundsätzlich ist die Ausbreitungs- und Überlebensfähigkeit von hochgezüchteten Nutzpflanzen außerhalb der landwirtschaftlichen Flächen eher gering, sowohl wegen der besonderen Ansprüche an Düngung und Pflanzenschutz als auch wegen meist fehlender Kreuzungspartner. Wenn es diese gibt, wie im Fall des Rapses, wurde dies von den Zulassungsbehörden

berücksichtigt – ein Grund, warum in Europa kein gentechnisch veränderter Raps zum Anbau zugelassen ist.

Allerdings sind indirekte Wirkungen auf das Agrarökosystem sowie die umliegenden Ökosysteme infolge der durch die GVP veränderten Bewirtschaftungsweise möglich, z. B. bei herbizidresistenten Pflanzen als Folgen des Herbizideinsatzes. Die möglichen Auswirkungen sind zwar nicht verlässlich quantitativ abschätzbar, können aber mit entsprechenden Monitoringmaßnahmen erfasst und ggf. durch eine Änderung der Anbaupraxis rückgängig gemacht werden (und wären somit reversibel).

### **Zum Wirkungsmodell**

Wie in Kapitel 6.3.4 dargestellt, werden die als möglich erachteten Wirkungswege im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung bzw. Sicherheitsbewertung vor Freisetzungen und Inverkehrbringen untersucht, um das angenommene Nichtwissen zu reduzieren oder zumindest genauer zu charakterisieren. Teilweise wird kritisiert, dass die Wirkungsdimensionen und -wege dabei zu eng gefasst würden. Im Vordergrund stehe das Transgenprodukt, die GVP als Ganze werde wenig detailliert untersucht (Dolezel et al. 2009, S. 6, nach von Gleich et al. 2014, S. 39). Dies ist eine naheliegende Konsequenz des Prinzips der substantiellen Äquivalenz bzw. lenkt den Blick auf folgende Eigenart der vergleichenden Risikobewertung (Kap. 6.3.2): Dass eine GVP substantiell äquivalent zu der konventionellen Ausgangssorte ist, heißt nicht notwendigerweise, dass das Nichtwissen über die Pflanze grundsätzlich sehr gering ist. Anders formuliert: Die neuartige Anforderung einer Risiko- und Nichtwissensanalyse im Rahmen der GVP-Zulassung gegenüber konventionellen Pflanzensorten hat die Frage aufkommen lassen, wie gut diese in all ihren möglichen Wirkungsdimensionen charakterisiert sind, da sie ja keiner Risikoabschätzung und -bewertung unterworfen werden.

### **Zu Exposition und Eintrittswahrscheinlichkeit**

Ungeachtet des Nichtwissens und der (bekannten) Risikoannahmen zu der GVP selbst sowie dem aufnehmenden Zielsystem kann eine starke bzw. auch schon eine unbekannte Ausbreitungsfähigkeit Anlass zur Besorgnis bieten. Je weniger die mögliche Exposition räumlich und zeitlich eingeschränkt werden kann, desto höher ist die Eintrittswahrscheinlichkeit für einen unerwarteten Wirkzusammenhang mit Schädigungspotenzial für Umwelt oder Mensch (von Gleich et al. 2014, S. 41). Dies ist der Grund, warum sich die meisten Auflagen des Risikomanagements auf ein Verhindern des Ausbreitens der GVP beziehen (Kap. 6.3.3).

Von Gleich et al. (2015, S. 42) kommen zu dem Schluss, dass gentechnisch veränderte Kulturpflanzen, die essenziell auf menschliche (landwirtschaftliche)



Pflege angewiesen sind und keine natürlichen, wilden Kreuzungspartner im Anbaubereich haben, als rückholbar angesehen werden können, wenn man vom extrem seltenen horizontalen Gentransfer absieht. Durch angemessene Abstände zu gefährdeten Schutzgütern könne die Exposition bzw. Eintrittswahrscheinlichkeit von Schadensereignissen grundsätzlich geringgehalten werden.

### **Welche Rolle kann die Technikcharakterisierung beim Umgang mit GVP spielen?**

Theoretisch bieten gentechnische Interventionen vor allem hinsichtlich zweier Parameter Anlass zur potenziellen Besorgnis: zum einen aufgrund des Ansetzens an einer – wenn nicht: der – zentralen biologischen Steuerungsebene, der DNA, und zum anderen aufgrund der Eigenschaft der Empfängersysteme, der Organismen, zur Selbstvermehrung, Veränderung bzw. Transformation und (räumlicher und zeitlicher) Ausbreitung. Dabei ergeben sich, wie in Kapitel 6.2 beschrieben, vielfältige Dimensionen des Nichtwissens, die sich insbesondere auf langfristige und indirekte Wirkungen beziehen.

Die UVP im Rahmen der Zulassung von experimentellen Freisetzungen besteht de facto zum allergrößten Teil darin, eine Technikcharakterisierung durchzuführen. Die Absicht dahinter ist, durch Informationen der Antragsteller, eventuell die Auflage weiterer Laboruntersuchungen sowie die Auswertung des vorliegenden Wissens, u. a. aus der öffentlich finanzierten Biosicherheitsforschung, eine so gute Wissenslage schaffen zu können, dass das verbleibende Restrisiko, ggf. unter Auflage spezifischer Sicherheitsmaßnahmen für die Freisetzungsexperimente oder auch das Inverkehrbringen, zumindest im Vergleich zu konventionellen Verfahren (der Pflanzenzucht) ausreichend abgeschätzt und bewertet werden kann – und zwar als vertretbar oder nicht vertretbar.

Wenn wissenschaftlich plausible Risikoannahmen verbleiben, deren Eintrittswahrscheinlichkeit nicht durch passende Risikomanagementmaßnahmen auf ein vertretbares Maß reduziert werden kann, dann muss im Regelungsbereich der EU im Sinn des Vorsorgeprinzips auf eine Freisetzung bzw. ein Inverkehrbringen verzichtet werden.

Wie schon im TAB-Arbeitsbericht zu Risikoabschätzung und Nachzulassungsbewertung von GVP (TAB 2000) festgehalten wurde, können die direkten Wirkungen der bisher in der Praxis verwendeten Eigenschaften von GVP zum großen Teil als gut untersucht eingeschätzt werden (auch wenn naturgemäß immer ein Streit über den nötigen Umfang der Untersuchungen und die Belastbarkeit der Ergebnisse geführt werden kann). Dies liegt allerdings vor allem daran, dass auch nach 2 Jahrzehnten des kommerziellen Anbaus nahezu alle GVP (99%) lediglich zwei Merkmale enthalten: Herbizid- und Insektenresistenz (James 2017, S. 93). Diese (Nicht-)Wissenssituation würde sich ändern, wenn, wie seit vielen Jahren angekündigt, eine Fülle neuer GVP zugelassen und tatsächlich angebaut würde.

Dennoch haben sich Erwartungen auf konsensuale, nachhaltige Risikobewertungen in Europa nicht erfüllt bzw. beschränkten sich auf die dafür etablierten Gremien der zentralen Aufsichtsbehörden: Das GVO-Panel der EFSA ebenso wie die Zentrale Kommission für die Biologische Sicherheit (ZKBS) in Deutschland und vergleichbare Einrichtungen in anderen europäischen Ländern kamen in sehr vielen Fällen zu eindeutigen, positiven Voten – diesen wurden dann aber auf Ebene der letztlich verantwortlichen nationalen Zulassungsbehörden aufgrund politischer Entscheidungen nicht gefolgt. Im Resultat gibt es seit vielen Jahren außer in Spanien keinen nennenswerten Anbau von GVP.

Diese Situation kann nicht ursächlich auf ein Versagen der beschriebenen Nutzung der Technikcharakterisierung von GVP im Zulassungsverfahren zurückgeführt werden. Zwar wird eine Risikoermittlung im Vorhinein immer Fragen z. B. zu längerfristigen oder indirekten Wirkungen offenlassen, deren Folgen für Mensch und Umwelt insbesondere nach dem Inverkehrbringen mit einem Nachzulassungsmonitoring lediglich beobachtet werden können. Aber diese nicht auszuräumende Unsicherheit ist nicht der eigentliche Grund für die verbreitete gesellschaftliche und politische Ablehnung der Nutzung von GVP.

Wie das TAB (2008) insbesondere in der Untersuchung zu den Auswirkungen des Einsatzes transgenen Saatguts auf die wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und politischen Strukturen in Entwicklungsländern anhand von Fallstudien zu Brasilien, Chile, China und Costa Rica herausgearbeitet hat, sind es ganz überwiegend nicht die möglichen ökologischen oder gesundheitlichen Auswirkungen (die in den Zulassungsverfahren geprüft werden), sondern vielmehr die mit der Entwicklung und Verbreitung der gentechnisch veränderten Sorten verbundenen sozioökonomischen Effekte im Bereich des Patent- und Sortenschutzes sowie die Marktkonzentration im Saatgutsektor, die einen großen Teil des Widerstands nicht nur in Europa, sondern auch in anderen Erdteilen erklären. Diese Effekte können durch eine naturwissenschaftlich geprägte Risikoermittlung im Sinn einer Technikcharakterisierung naturgemäß nicht erfasst und auch nicht durch ein besseres Risikomanagement mithilfe von Anbaumaßnahmen verhindert werden.

In den Augen von Befürwortern der (stärkeren) Nutzung von gentechnisch veränderten Pflanzen (aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik) war und ist die Nichtzulassung trotz positiver Voten der Zulassungsbehörden sachlich nicht begründet. Nachdem eine Änderung der mehrheitlichen öffentlichen Haltung lediglich durch Informationskampagnen zu den aus Sicht der Befürworter vorhandenen Vorteilen bei gleichzeitig geringen Risiken der GVP nicht erreicht werden konnten, werden mittlerweile seit über 20 Jahren immer wieder Diskurs- bzw. Dialogverfahren durchgeführt, um eine Klärung der gesellschaftlichen Akzeptabilität und Akzeptanz von GVP im Allgemeinen oder im Speziellen herbeizuführen. Inwiefern diese Bemühungen als rekursives Lernen in Realexperi-



menten verstanden werden können und welche Erfolgchancen solche Beteiligungsansätze versprechen, behandelt das folgende Kapitel.

---

### 6.4.2 Rekursives Lernen in Realexperimenten

Wie in Kapitel 4.2.1 beschrieben, basiert das Konzept des rekursiven Lernens in Realexperimenten auf zwei Grundannahmen: Die erste lautet, dass wissenschaftliche Verfahren – wie beispielsweise antizipierende Risikoanalyse, Laborforschung oder räumlich und zeitlich begrenzte Feldversuche – allein nicht in der Lage sind, alle möglichen und relevanten Effekte eines wissenschaftlichen-technisch Eingriffs unter realweltlichen Bedingungen vorherzusehen. Die zweite Grundannahme besteht darin, dass nicht nur vor, sondern auch im Verlauf eines Eingriffs und auch danach Nichtwissen bzw. Überraschungen auftreten können, sodass eine angemessene Strategie des Umgangs mit diesem Nichtwissen eine zeitlich ausgedehnte, prozesshafte Struktur besitzen muss. Diese Charakterisierung passt in jeder Hinsicht zur Situation bei GVP, wie die vorhergehenden Kapitel gezeigt haben.

Vor dem Hintergrund der beiden Annahmen postulieren die Befürworter des Realexperimentansatzes einen rekursiven gesellschaftlichen Lernprozess, bei dem der zur Debatte stehende Eingriff als Experiment aufgefasst wird, dessen Ergebnisse beobachtet und bewertet werden und als Ausgangspunkt für die nächste rekursive Phase dienen (Groß 2014). Grundsätzlich gehe es darum, situationsgerechte und sozusagen lokale Problemlösungen zu erarbeiten, die nicht unbedingt verallgemeinert werden können. Da diese Problemlösungen in soziale, ökologische und technische Gestaltungsprozesse eingebettet sind, die in der Regel viele Akteure betreffen, sollten sie auch von möglichst vielen Betroffenen mitgetragen werden (Groß et al. 2005). Der rekursive gesellschaftliche Lernprozess, der in diesem Konzept postuliert wird, erfordert also eine entsprechende Beteiligung der Gesellschaft an den Entscheidungsprozessen. Dabei sei entscheidend, dass auch Wissensgrenzen thematisiert und der Umgang mit Nichtwissen unter Betroffenen ausgehandelt wird. Das helfe dabei, auf Überraschungen gefasst zu sein und die Randbedingungen aushandeln zu können, unter denen die Experimente durchgeführt werden.

Die Autoren empfehlen, das jeweils vorhandene Nichtwissen zu Beginn eines Realexperiments deutlich zu kommunizieren und zugleich verschiedene Formen und Bestände des Wissens zu möglichen Wirkungswegen zusammenzuführen (nicht nur wissenschaftlicher Art, sondern im Fall der Grünen Gentechnik z. B. auch praktisches Fachwissen von Landwirten oder Bürgerexperten im Naturschutz). Diese Wissensbestände sollen dann die Grundlage für das umfassende Beobachtungsprogramm während des Realexperiments bilden, im Fall von GVP einer experimentellen Freisetzung oder des Inverkehrbringens. Das Konzept sieht vor, dass – ähnlich einem klassischen Experiment – zu Beginn

Hypothesen aufgestellt bzw. die Ziele des Realexperiments definiert werden. Auf GVP bezogen wären dies zum einen die erwünschten Effekte der neuen Pflanzensorte (Schädlings- oder Herbizidresistenz, gesteigerter Ertrag gewünschter Inhaltsstoffe o. Ä.) und zum anderen die erwarteten Effekte auf Umwelt (und Gesundheit), beispielsweise auf die biologische Vielfalt im Boden, am Ackerrand, auf benachbarten Feldern oder umliegenden Ökosystemen. Um überprüfen zu können, ob die Hypothesen zutreffen bzw. die Ziele erreicht werden, müsste eine kontinuierliche Beobachtung der Folgewirkungen erfolgen (im Fall der GVP das allgemeine und spezifische Monitoring).

Entsprechend dem Konzept des rekursiven Lernens in Realexperimenten würden die beobachteten Effekte regelmäßig allen Beteiligten vermittelt und von diesen bewertet. Falls Grund zur Besorgnis bestünde, könnten die Beteiligten entscheiden, das Experiment abubrechen oder eine Abwandlung von Parametern zu bestimmen (z. B. zusätzliche mechanische Sicherheitsmaßnahmen gegen eine Verbreitung der gentechnisch veränderten Samen durch Vögel).

Das Konzept der Realexperimente legt den Schwerpunkt auf die Frage bzw. Forderung der Beteiligung aller von dem Realexperiment betroffenen Gruppen und Individuen an der Ausgestaltung der Rahmenbedingungen des Experiments, d. h. die Sicherheitsmaßnahmen, die Beobachtungsparameter und vor allem auch die Abbruchkriterien.

Die Verfechter des Konzepts des rekursiven Lernens in Realexperimenten beschreiben ein derartiges Vorgehen als Chance, sich auf Neues einzulassen und sich sowohl dem Nichtwissen als auch der Komplexität des Phänomens zu stellen. Das Ganze solle methodisch abgesichert und demokratisch legitimiert geschehen (Krohn 2007), um unter Bedingungen des Nichtwissens begründet, autorisiert und bestmöglich zu entscheiden und zu handeln (Groß 2014, S. 12). Ein solches Vorgehen sei auch deshalb sinnvoll, weil die Option, nichts zu unternehmen bzw. zu zögern in bestimmten Fällen, beispielsweise bei einer notwendigen Altlastensanierung, das Gefährdungspotenzial sogar erhöhen könne.

Diese zuletzt angeführte, für das Realexperimentekonzept fundamentale Überlegung ist allerdings nicht ernsthaft auf das Anwendungsfeld Grüne Gentechnik übertragbar. Von einer konkreten Notwendigkeit der Nutzung der Gentechnik in der Pflanzenzüchtung im Allgemeinen sowie der Freisetzung und des Inverkehrbringens von einzelnen GVP im Speziellen sind zwar Vertreter der forschenden Wissenschaft, entsprechend engagierter Saatgutunternehmen und ggf. der Forschungs- und Innovationspolitik überzeugt. Viele bzw. die meisten anderen Akteure, nicht nur aus der ökologischen Landwirtschaft und den Umweltverbänden, sondern auch konventionelle Landwirte und die Mehrzahl der Endverbraucher/-innen, erkennen diese Notwendigkeit (nach wie vor) nicht. Eine Bereitschaft, sich »auf Neues einzulassen und sich sowohl dem Nichtwissen als auch der Komplexität des Phänomens zu stellen« (Kap. 4.2.1) und aus »Überraschungen zu lernen«, wie es die Befürworter des Realexperimentekon-



zepts als notwendig ansehen, ist daher im Bereich Grüne Gentechnik für größere Bevölkerungsgruppen nicht zu erwarten. Ohne echten Handlungsdruck (wie im Beispiel der Altlastensanierung) erscheint eine Blockade, d. h. eine Nichteinigung und damit ein Nichthandeln, wenig überraschend.

Seit vielen Jahren wird darauf hingewiesen, dass sich diese Situation dann ändern könnte, wenn die Beteiligten in ihrer Mehrheit einen (möglichen) Nutzen für sich selbst oder andere erwarten können, so, wie es bei neuen Therapien oder anderen Medizintechnologien der Fall ist (bei denen der Großteil der Bevölkerung Risiken und Nebenwirkungen akzeptiert). Ob die im Jahr 2019 erkennbaren, insbesondere durch Einsatz von Genome-Editing-Technologien zunehmenden Entwicklungen von GVP mit veränderten Produktqualitäten, z. B. Sojabohnen mit optimierter Ölzusammensetzung, langsamer bräunende Champignons, glutenreduzierter Weizen (Modrzejewski et al. 2019), diesen entscheidend verbesserten, überzeugenden Nutzen auch für die Landwirtschaft und die Endverbraucherinnen und -verbraucher in Europa bieten werden, muss sich in Zukunft erweisen.

Insgesamt stellt sich die Situation der Governance des Umgangs mit Nichtwissen bei der Freisetzung und dem Anbau von GVP im Abgleich mit dem Konzept des rekursiven Lernens in Realexperimenten folgendermaßen dar:

Die eine zentrale Anforderung, auf die Nichtwissensbereiche und -dimensionen durch eine Dauerbeobachtung zu reagieren, ist grundsätzlich erfüllt – auch wenn Umfang, Ausgestaltung etc. bei Weitem nicht systematisch geklärt sind (Kap. 6.3.4); außerdem gibt es seit längerem fast nichts zu beobachten, nachdem kaum noch Freisetzungen in der EU stattfinden und ein Anbau so wieso nur marginal.

Die zweite zentrale und wohl noch anspruchsvollere Anforderung des Realexperimentekonzepts an gesellschaftliche Partizipation bei Planung, Durchführung und Bewertung der Realexperimente hingegen ist nie ernsthaft umgesetzt worden. Zwar ist eine Reihe sehr unterschiedlicher Beteiligungsprojekte zum Thema GVP in Deutschland (wie in vielen anderen europäischen Ländern) durchgeführt worden, aber diese waren nicht gekoppelt an die Entscheidung über ein konkretes Freisetzungsvorhaben oder das Inverkehrbringen einer transgenen Pflanzensorte bzw. die Ausgestaltung der begleitenden Risikomanagementmaßnahmen oder des Monitorings.

Die bekanntesten, teils aufwendigen und langwierigen Beteiligungsveranstaltungen zur Grünen Gentechnik, u. a. das partizipative TA-Projekt des Wissenschaftszentrums Berlin (WZB) von 1991 bis 1993 (Daele et al. 1996), der Diskurs unter Landwirtschaftsministerin Künast 2002 (BMELV 2001; Hammerbacher 2003) oder die runden Tische unter Forschungsministerin Schavan

2009/2010<sup>38</sup> ebenso wie der jüngste BMEL-Dialog im Jahr 2017<sup>39</sup> sollten dazu dienen, Positionen deutlich zu machen, konsensuale und kontroverse Teilaspekte zu bestimmen und offene Fragen zu definieren. Hoffnungen auf eine Klärung und damit Befriedung von Kontroversen bzw. eine Überwindung von Blockaden (gar in Richtung eines positiven Votums für die konkrete Nutzung von GVP) wurden damit von den wenigsten Akteuren verbunden. Die Veranstalter der drei BMEL-Dialogveranstaltungen 2017 beispielsweise beschrieben den Ertrag so: Durch »die Gelegenheit zur öffentlichen Diskussion der Thematik unter Einbezug heterogener Gruppen mit unterschiedlichen Interessen und Perspektiven ... sei ein Austauschprozess ermöglicht worden, in dem verschiedene Aspekte und Themenfelder im Umgang mit den neuen molekularbiologischen Techniken (NMT) aufgearbeitet wurden, sodass nun auf gemeinsame – wenn auch teils kontroverse – Wissensbestände zurückgegriffen werden könne, die eine Grundlage für die weitere öffentliche Auseinandersetzung bieten und Anknüpfungspunkte für die Bewertung der neuen Züchtungsmethoden liefern« (Fernau et al. 2017, S. 3).

Mit Blick auf das Thema des vorliegenden Hintergrundpapiers ist außerdem festzuhalten, dass die Beteiligungsveranstaltungen zur Grünen Gentechnik nicht dazu dienten, um bewusst und gezielt mit dem Aspekt des Nichtwissens umzugehen, auch wenn sich viele der verhandelten Kontroversen letztlich darum dreh(t)en.

Darüber hinaus hatten die Dialogverfahren wenig Einfluss auf die öffentliche Meinung. Diese wurde vielmehr durch öffentlichkeitswirksame Aktionen von Greenpeace und anderen Umwelt- und Eine-Welt-Organisationen, das recht leicht skandalisierbare Geschäftsgebaren der Agrarchemikalien- und Saatgutmultis, allen voran Monsanto, und zum Teil wohl auch durch die misstrauenerweckende, sehr enge Allianz von Wissenschaft und Wirtschaft geprägt. Die Politik hat sich daraufhin in den meisten europäischen Ländern erkennbar nach der angenommenen, zum Teil auch demoskopisch belegten Haltung der Bevölkerungsmehrheit gerichtet. Dies erscheint nicht kritikwürdig, so lange die Grundlage für die eigene Haltung und Entscheidung transparent und sachlich erklärt wird. Dies war allerdings häufig nicht der Fall. Eine gängige Forderung in der politischen Debatte ist die Klärung aller Risiken, bevor eine (umfassendere) Nutzung von GVP vertreten werden könne. Dass eine vollständige Klärung aller möglicher Risiken vorab theoretisch und praktisch nicht möglich ist, ist nicht nur Gegenstand des vorliegenden Hintergrundpapiers, sondern eine Tatsache, die niemand ernsthaft bezweifeln kann.

38 [www.pflanzenforschung.de/biosicherheit/aktuell/1183.schavan-forschungsmethoden-sicherung-welternahrung-einsetzen-gentechnik.html](http://www.pflanzenforschung.de/biosicherheit/aktuell/1183.schavan-forschungsmethoden-sicherung-welternahrung-einsetzen-gentechnik.html) (17.4.2019)

39 [www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Gentechnik/\\_Texte/Neue\\_molekularbiologische\\_Techniken.html](http://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Gentechnik/_Texte/Neue_molekularbiologische_Techniken.html) (17.4.2019)



### **Der Zulassungsentzug für den insektenresistenten Bt-Mais MON810 – ein Beispiel für rekursives Lernen in Realexperimenten?**

Am ehesten als Beispiel in Richtung rekursives Lernen in Realexperimenten könnte der Zulassungsentzug für die einzige derzeit in der EU noch angebaute GVP, den insektenresistenten Bt-Mais MON810, interpretiert werden, auch wenn sie nicht auf Ergebnissen einer Anbaubeobachtung basierte, sondern auf der Auswertung neuer wissenschaftlicher Ergebnisse sowie allem Anschein nach der Berücksichtigung der ablehnenden Haltung in der Bevölkerung. Im Frühjahr 2009 entschied das damalige Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMELV), den Anbau der seit 1998 zugelassenen gentechnisch veränderten Maissorte zu verbieten und berief sich dabei auf neue Studien über die möglichen Auswirkungen auf Nichtzielorganismen, die auch schon Luxemburg als Begründung für ein Anbauverbot herangezogen hatte.<sup>40</sup> Allerdings gab es massive Kritik an der sachlichen bzw. wissenschaftlichen Grundlage für die damalige Entscheidung des zuständigen BMELV, selbst aus den Reihen anderer Ressorts, vor allem des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Es wurde angeführt, dass die vorgelegten Hinweise auf eine Gefährdung von nützlichen Nichtzielorganismen wenig fundiert und völlig überbewertet worden seien.<sup>41</sup> Vielmehr sei es vorrangig um eine politische Entscheidung mit Blick auf das potenzielle Wählerklientel im Jahr der Bundestagswahl 2009 gegangen.

Auch ohne die wissenschaftliche Qualität der zugrundegelegten Studien sowie die Relevanz der daraus abgeleiteten Risikoeinschätzung zu bewerten, lässt sich fragen, ob nicht allein die Berücksichtigung der Bevölkerungsmeinung gut zum Konzept des rekursiven Lernens in Realexperimenten passt: Es haben in diesem Fall zwar vielleicht nicht primär die neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse den Ausschlag gegeben, sondern vielmehr eine aktualisierte Einschätzung der Einstellung der Gesamtbevölkerung durch die politische Verantwortlichen. Diese besagte, dass die Mehrheit keine Fortsetzung des explorativen Experiments MON810-Anbau wollte.

### **Elemente der Öffentlichkeitsbeteiligung im Genehmigungsverfahren für Freisetzungen von GVP**

Ähnlich wie bei sonstigen Planungsvorhaben besteht im Genehmigungsverfahren für Freisetzungen von GVP eine Veröffentlichungspflicht, die dazu dienen soll, berechtigte Einwendungen von möglicherweise Betroffenen zu erheben. »Die Öffentlichkeitsbeteiligung beginnt damit, dass das BVL das Freisetzungsvorhaben im Bundesanzeiger und in ein bis zwei Tageszeitungen bekannt macht, die in der Gemeinde, in der die Freisetzung stattfinden soll, verbreitet

40 [www.transgen.de/archiv/1022.verbot-mon810-mais.html](http://www.transgen.de/archiv/1022.verbot-mon810-mais.html) (17.4.2019)

41 [www.drze.de/im-blickpunkt/gmf/module/gen-mais-mon-810](http://www.drze.de/im-blickpunkt/gmf/module/gen-mais-mon-810) (17.4.2019)

sind. Eine Woche danach beginnt die öffentliche Auslegung des Antrags an einem geeigneten Ort in der Gemeinde der Freisetzung sowie im Dienstgebäude des BVL in Berlin. Die Auslegung dauert einen Monat. Während dieser Zeit und noch einen Monat danach können schriftlich Einwendungen gegen die Freisetzung vorgebracht werden. Diese werden nach Ablauf der Einwendungsfrist vom BVL und den Benachteiligtenbehörden daraufhin geprüft, ob sich aus ihnen Gründe ergeben, die gegen eine Genehmigung des Freisetzungsvorhabens sprechen.« (BVL 2012, S. 67)

Nach der Genehmigung muss das Vorhaben in das Standortregister eingetragen werden. »Das Standortregister für Freisetzungen und Anbau von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) dient der Beobachtung möglicher unerwünschter Auswirkungen von GMO auf die Umwelt und die menschliche oder tierische Gesundheit. Gleichzeitig soll die Öffentlichkeit informiert werden, um Transparenz zu schaffen und Koexistenz zu ermöglichen. So können sich im Standortregister konventionell wirtschaftende Landwirte erkundigen, ob in ihrer Nähe GMOs angebaut werden und Absprachen treffen, um unerwünschte Vermischungen mit konventionellen Kulturen zu vermeiden. ... Im öffentlichen Teil des Standortregisters finden sich Angaben zum genauen Ort, der Flächengröße und dem Datum der Mitteilung von Freisetzungen bzw. Anbau von GMO, sowie die Eigenschaften und der international anerkannte Erkennungsmarker des GMO. Nicht öffentlich zugänglich sind die personenbezogenen Daten der Bewirtschafter von GMO-Anbauflächen. Diese Daten werden aus Datenschutzgründen nur auf Antrag an diejenigen weitergegeben, die ein berechtigtes Interesse an dem Erhalt der Daten glaubhaft machen können. Beispielsweise kann ein benachbarter Landwirt die Adresse eines GMO-Landwirts erfragen, um Absprachen zur Koexistenz von konventionellem Anbau und GMO-Anbau zu treffen. Jeder Einzelfall wird vom BVL geprüft. Ein Formular und weitere Informationen zur Auskunft zu personenbezogenen Daten sind auf den Internetseiten des Standortregisters verfügbar.«<sup>42</sup> Kritik am Standortregister wurde immer wieder geäußert, nachdem ab dem Jahr 2000 in wachsender Zahl Versuchsfelder von militanten Gentechnikgegnern zerstört wurden.

### **Welche Rolle kann das Konzept des rekursiven Lernens in Realexperimenten beim Umgang mit GVP spielen?**

Einige zentrale Elemente des Konzepts des rekursiven Lernens in Realexperimenten finden sich im Umgang mit GVP wieder, vor allem in Form des Nachzulassungsmonitorings und in Ansätzen in Bemühungen um eine Partizipation Betroffener. Gleichzeitig werden aber auch die Grenzen der Verständigung zwischen unterschiedlichen Interessen und Haltungen überdeutlich. Eine gesell-

42 [www.bvl.bund.de/DE/06\\_Gentechnik/01\\_Aufgaben/02\\_Zustandigkeiten/04\\_Standortregister/gentechnik\\_standortregister\\_node.html](http://www.bvl.bund.de/DE/06_Gentechnik/01_Aufgaben/02_Zustandigkeiten/04_Standortregister/gentechnik_standortregister_node.html) (17.4.2019)



schaftlich ausgehandelte Entscheidung über das akzeptable Maß und den Umgang mit dem Nichtwissen respektive Risiko des Anbaus von GVP wurde in Deutschland nie erreicht bzw. auch nie ernsthaft angegangen. Da das Realexperimentekonzept, anders als die Technikcharakterisierung, nicht auf naturwissenschaftlicher Analyse und Bewertung von Risiken basiert, sondern die Beteiligung potenziell Betroffener in den Mittelpunkt stellt, lautet die entscheidende Frage: Wer sind bzw. wer wären die Betroffenen?

Die Gentechnikkritiker bzw. -gegner verweisen darauf, dass GVP prinzipiell nicht rückholbar seien, sich potenziell unbegrenzt bzw. zumindest unkontrollierbar ausbreiten können – weswegen bei Weitem nicht nur die Anlieger von Freisetzungsversuchen, sondern grundsätzlich immer die Gesamtbevölkerung betroffen sei. Auch Landesgrenzen seien dabei naturgemäß irrelevant. Wer hingegen kein relevantes, unbeherrschbares Risiko durch Freisetzung oder Anbau von GVP sieht, so wie viele Vertreter aus Forschung und Industrie, kommt zu einer grundsätzlich anderen Einschätzung. In dieser Perspektive geht es vorrangig um Risikoabschätzung und -management, die von Fachbehörden vorgenommen bzw. organisiert werden müssen.

Mit Blick auf die Frage, wie durch einen Partizipationsprozess Nichtwissen reduziert werden kann, erscheint sogar eine grundsätzliche Ablehnung der Nutzung von GVP als durchaus naheliegend bzw. in gewisser Hinsicht konsequent: Der Verzicht auf das Realexperiment verhindert zumindest, dass neues Nichtwissen entstehen kann.

---

### **6.5 Fazit: zum Umgang mit Nichtwissen bei Freisetzung und Inverkehrbringen von GVP**

Die Grüne Gentechnik ist fraglos ein besonders markantes Beispiel für die Bedeutung, vor allem aber die Herausforderungen und Schwierigkeiten des gesellschaftlichen Umgangs mit Nichtwissen bei wissenschaftlichen explorativen Experimenten. Die gesellschaftliche – und damit politische – Relevanz des Nichtwissens lässt sich mit drei Fragen umreißen:

- > Welches Ausmaß und welche Art an Nichtwissen werden durch neue Technologien, deren Erprobung und Anwendung hervorgerufen?
- > Wie groß und ernst sind die Besorgnisgründe, die aus dem hervorgerufenen Nichtwissen resultieren?
- > Wie können und sollen Politik und Gesellschaft mit der resultierenden Besorgnis bzw. der Unsicherheit über resultierende Risiken umgehen?

Die Entwicklung und Nutzung von GVP zeigt deutlich, dass die Antworten auf die drei Fragen von den verschiedenen gesellschaftlichen Akteuren mehrheitlich in jeweils unterschiedlicher Weise gegeben werden.

Ein Charakteristikum der Gentechnik insgesamt ist, dass Forscher und Entwickler selbst – und zwar von Anfang an – das Nichtwissen bzw. ein daraus mögliches resultierendes Risiko thematisiert haben (Stichwort Asilomar; Kap. 6.3.1). Anders als bei vielen Chemikalien, aber auch z. B. bei der Gentherapie, waren es nicht erst konkrete Folgeschäden, die zu einer vorsorgenden, vorsichtigen Ausgestaltung der explorativen Erforschung und Entwicklung von GVP geführt haben.

Dieser anfängliche Risikoverdacht wurde nach einigen Jahren für die Anwendung der Gentechnik an Pflanzen vonseiten der forschenden Wissenschaft, der Industrie sowie der (nordamerikanischen) Behörden stark zurückgenommen. Entwickler und Befürworter von GVP betonten mittlerweile seit Langem den besonders großen Umfang des Wissens (vor allem gegenüber Pflanzensorten, die mit bisherigen Mutageneseverfahren gezüchtet worden sind), schätzen die Besorgnisgründe daher als gering ein, fordern ein möglichst schlankes behördliches Zulassungsverfahren und sehen eigentlich keine Notwendigkeit, mit anderen Stakeholdern über verbleibende Unsicherheiten der gentechnisch veränderten Sorten in einen Austausch zu treten.

Vertreterinnen von Umweltverbänden, Anwohnerinitiativen bei Freisetzungen, gentechnikkritische Gruppen und Wissenschaftler hingegen schätzen das bekannte und das unbekannte Nichtwissen zu GVP als sehr groß ein, fordern einerseits eine sehr umfangreiche (Technik-)Charakterisierung der Besorgnisgründe als Folge von Eingriffstiefe sowie Vulnerabilität und schwer zu kontrollierender Exposition der aufnehmenden Ziel- bzw. Ökosysteme sowie andererseits eine breite Beteiligung aller Bevölkerungsgruppen an der Entscheidung über die Erprobung und die Nutzung von GVP.

Wie in den vorhergehenden Kapiteln gezeigt wurde, finden sich von den beiden beispielhaft behandelten Ansätzen zum systematischen Umgang mit Nichtwissen vor allem Elemente der Technikcharakterisierung in den Zulassungsverfahren für GVP zumindest in der EU wieder. In den USA hingegen wird mittlerweile auf eine Technikcharakterisierung größtenteils verzichtet, so lange nicht bestimmte Kriterien erfüllt sind.

Auch zentrale Elemente des Konzepts des rekursiven Lernens in Realexperimenten sind in Form des Nachzulassungsmonitorings in der EU wiederzufinden – allerdings ohne die entscheidenden, expliziten Diskurs- und Beteiligungskomponenten für alle betroffenen gesellschaftlichen Gruppen. Die Beteiligungsveranstaltungen zur Grünen Gentechnik waren meist nicht explizit darauf gerichtet, mit dem Aspekt des Nichtwissens umzugehen. Sie sollten vielmehr dazu dienen, Kontroversen zu befrieden, Blockaden zu überwinden oder ggf. neue Sichtweisen (jenseits verkrusteter, interessenbasierter Positionen), z. B. von Normalbürgern, zu erfassen. Institutionalisierte Beteiligungsverfahren haben bislang wenig Einfluss auf die Gestaltung von explorativen Experimenten mit GVP gehabt.



Dennoch kann die Grüne Gentechnik als prägnantes Beispiel für Partizipation verstanden werden – zwar nicht für eine geordnete eingeladene, aber für eine sehr starke uneingeladene Partizipation (Kap. 5.3) in Form massiver Kampagnen von Kritikern bzw. Gegnern und einer dadurch mobilisierten Bevölkerung. Die ablehnende Haltung gegenüber GVP in Europa hat spätestens nach der BSE-Krise die öffentliche Meinung und auch die politischen Entscheidungen mehrheitlich geprägt (Sauter 2005, S. 122 f.). Protest und ablehnende Haltung weiter Teile der Öffentlichkeit in Europa haben wesentlich zur Kennzeichnungspflicht und dem vergleichsweise differenzierten Zulassungsverfahren beigetragen. Die Einrichtung gentechnikfreier Regionen kann als eine Form zivilgesellschaftlicher Mitgestaltung verstanden werden.<sup>43</sup>

Die Haltung zum Umgang mit Nichtwissen bei der Entwicklung und Nutzung von GVP erscheint in extremer Form gesellschaftlich polarisiert – Befürworter und Gegner stehen sich weitgehend unversöhnlich gegenüber, abwägende Zwischenpositionen sind in der Minderheit. Eine oft weltanschaulich geprägte Festlegung, egal auf welchem Fundament, verhindert ein Einlassen sowohl auf eine differenzierte Technikcharakterisierung als auch einen vermittelnden und ausgleichenden Diskurs, der Möglichkeiten einer verträglichen Nutzung von GVP auslotet. Die Hoffnung von Befürwortern und gleichzeitig die Sorge von Gegnern, dass die Besonderheiten und Möglichkeiten der Genome-Editing-Verfahren die Diskussions- und Rechtslage in Richtung Nutzung verschieben könnten, hat sich mit dem Urteil des EuGH zunächst nicht bestätigt (Kap. 6.2).

Insgesamt betrachtet, ist es aber gar nicht so sehr das Nichtwissen (über gesundheitliche und ökologische Risiken), es sind vielmehr mit dem Thema GVP verbundenen, beobachteten oder befürchteten sozioökonomischen Entwicklungen im Agrar- und Lebensmittelsektor (Konzentration, Patentierung, Monopolisierung, Ausbeutung etc.), die den stärksten Anlass zu Kritik und Ablehnung bieten. Dabei geht es weniger um Nichtwissen als vielmehr um Weltbilder, gesellschaftliche Zielstellungen, Gerechtigkeits- und andere Bewertungsfragen. Diese Aspekte sind erklärtermaßen nicht Gegenstand der natur- und ingenieurwissenschaftlich orientierten prospektiven Technikcharakterisierung.

Sozioökonomische Effekte treten vor allem in der Nutzungsphase auf, sie können prospektiv eventuell modelliert, aber nicht ernsthaft getestet werden. Und es kommt dazu, dass der tatsächliche Anteil der gentechnisch veränderten Eigenschaft an den sozioökonomischen Wirkungen auch ex post ganz schwer

---

43 Als Reaktion auf die Leitlinien für die Koexistenz von GVO und konventioneller und ökologischer Kulturen (Richtlinie 2003/556/EG vom 23. Juli 2003) wurde im gleichen Jahr im November das europäische Netzwerk der gentechnikfreien Regionen gegründet. Ziel ist die Gentechnikfreiheit. Derzeit sind in Deutschland elf Bundesländer Mitglieder des Netzwerks ([www.gentechnikfreie-regionen.de/regionen-gemeinden/gentechnikfreie-bundeslaender.html](http://www.gentechnikfreie-regionen.de/regionen-gemeinden/gentechnikfreie-bundeslaender.html); 17.4.2019).



## 6 Explorative Experimente im Bereich der Grünen Gentechnik

zu bestimmen ist (TAB 2008). Für ethische, rechtliche, soziale und weitere Wirkungen von Innovationen (international als »ethical, legal, social, and other impacts« – ELSI) müssen grundsätzlich andere – weniger prospektive – Methoden der Technikbewertung eingesetzt werden.

Bislang haben im Bereich der Grünen Gentechnik die Wertkonflikte eine Konsensfindung in Beteiligungsprozessen verhindert. Eine Änderung dieser Situation könnte wohl erst eintreten, wenn die Mehrheit der Bevölkerung von der Sinnhaftigkeit oder gar Notwendigkeit einer GVP-Nutzung überzeugt werden kann, so wie es bei gentechnisch hergestellten Medikamenten oder sonstigen Technologien der Fall ist, die mit unerwünschten Nebenwirkungen oder auch konkreten Risiken verbunden sind.

---

## 7 Explorative Experimente im Bereich Fracking<sup>44</sup>

---

### 7.1 Einführung

Fracking steht umgangssprachlich für »hydraulic fracturing« und bezeichnet die hydraulische Risserzeugung in tiefen, festen Gesteinsformationen, um die Förderung von Ressourcen wie Erdgas, aber auch geothermischer Energie zu verbessern bzw. zu ermöglichen.<sup>45</sup> Durch die künstlich erzeugten Risse wird eine Steigerung der Durchlässigkeit der Gesteine erreicht, in denen die Ressourcen gespeichert sind. Die Frackingtechnologie als solche kommt schon längere Zeit zum Einsatz und kann an unterschiedlichen Lagerstätten angewendet werden (Hirschberg et al. 2015).

Als konventionelle Lagerstätten werden poröse Gesteine, z. B. Sandstein, in meist größerer Tiefe bezeichnet, die durch eine undurchlässige Formation zu anderen Gesteinsformationen hin abgedichtet sind und in denen das zu gewinnende Erdgas gespeichert ist (Abb. 7.1). Durch die hohe Porosität des Speichermediums lassen sich derartige Lagerstätten grundsätzlich recht einfach ausbeuten.

Als unkonventionell eingestufte Lagerstätten unterscheiden sich von den konventionellen Lagerstätten vor allem dadurch, dass das Erdgas hier nach seiner Entstehung nicht in durchlässige Gesteine migriert ist, sondern am Ort seiner Entstehung im undurchlässigeren Muttergestein verblieben ist (z. B. Schiefergas in Schieferton). Das macht das Aufsuchen und die Ausbeutung unkonventioneller Lagerstätten schwieriger, und die Felder sind meist auch weniger ergiebig als konventionelle Lagerstätten. Unkonventionelle Gaslagerstätten können unterschiedlich beschaffen sein (Abb. 7.1):

- > Tight-Gas bezeichnet Erdgas in gering durchlässigen Gesteinen,
- > Flözgas bezeichnet Methan in Kohleflözen,
- > Schiefergas bezeichnet in Tonschiefer enthaltenes Erdgas.

Zur Erhöhung der Ausbeute von Rohstoffen aus konventionellen Lagerstätten ist die Frackingtechnik weltweit mittlerweile rund 3 Mio. Mal angewendet worden. Auch in Deutschland wurde die Technik seit den 1960er Jahren rund

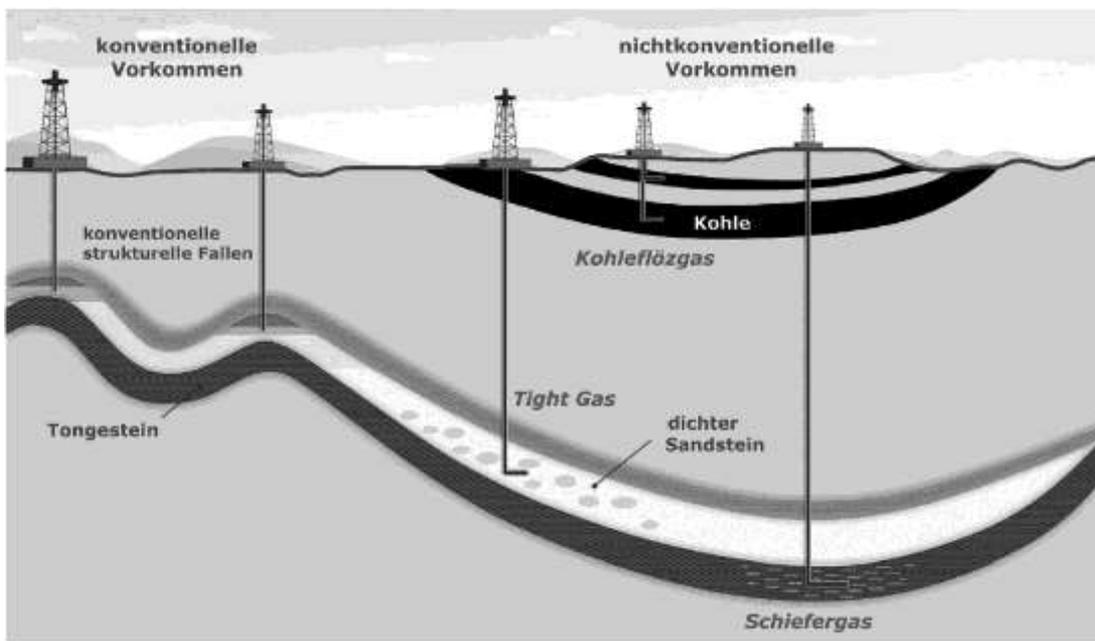
---

44 Neben dem Gutachten von von Gleich et al. 2014 fanden folgenden Gutachten für dieses Unterkapitel besondere Beachtung: Acatech 2015; ahu AG et al. 2012; Andruleit et al. 2012; Dannwolf et al. 2014; Dietrich/Elgeti, 2011; Ewen et al. 2012; Faulstich et al. 2013; Meiners et al. 2012.

45 Weitere Felder, in denen Fracking national und international zur Anwendung kommt, sind hydrogeologische Bohrungen, die Entgasung von Kohleflözen und wissenschaftliche Probebohrungen und Experimente im Rahmen von Grundlagenforschungsprojekten (Emmermann/Lauterjung 1997).

350 Mal zur Erhöhung der Ergiebigkeit konventioneller Gaslagerstätten und zur Ausbeutung von Lagerstätten in gering durchlässigen Gesteinen (Tight-Gas) eingesetzt (Acatech 2015; Andruleit et al. 2012). Diese Lagerstätten sind in den meisten Fällen in größeren Tiefen (oft tiefer als 3.500 m) angesiedelt (Bergmann et al. 2014).

Abb. 7.1 Darstellung konventioneller und nichtkonventioneller Erdöl- und Erdgasvorkommen



Quelle: Andruleit et al. 2012, S. 9

Für die Erkundung und Erschließung unkonventioneller Schiefergaslagerstätten wird die Frackingtechnologie vermehrt erst seit einigen Jahren eingesetzt (Gandossi/von Estorff 2015). In den USA hat diese Anwendung zu einem starken Anstieg der Gasförderung geführt. In Europa ist diese Variante dagegen bisher nur wenig zur Anwendung gekommen. Daher handelt es sich um einen Bereich des Frackings, für den in Deutschland bisher nur wenig Erfahrung vorliegt, d. h. substanzielles Nichtwissen besteht. Das experimentelle Forschungsfeld des Frackings in unkonventionellen Lagerstätten bildet daher den Fokus der folgenden Fallstudie zum Umgang mit wissenschaftlichem Nichtwissen.

Abgesehen von dem Fracking in Tight-Gas-Vorkommen wurde Fracking in unkonventionellen Lagerstätten in Deutschland zu Versuchszwecken bisher an zwei Standorten durchgeführt. Am Standort »Natarp« in Nordrhein-Westfalen wurden 1995 an einer Kohleflözgaslagerstätte zwei Frackingoperationen (Fracks) durchgeführt; am Standort »Damme 3« in Niedersachsen wurden im



Jahr 2008 drei Fracks an einer Schiefergaslagerstätte durchgeführt (Bergmann et al. 2014). Bis 2014 wurden zu Zwecken der kommerziellen Ausbeutung von Schiefergas oder Kohlegaslagerstätten nach Angaben von Bergmann et al. (2014) keine Genehmigungen in Deutschland erteilt. Generell liegen derartige Lagerstätten in Deutschland in geringeren Tiefen, teilweise in nur 1.000 m oder wenig darunter (Bergmann et al. 2014).

---

### 7.1.1 Wie funktioniert Fracking?

Beim Fracking wird zunächst vertikal in den Untergrund gebohrt. Bei bestimmten Anwendungen, insbesondere bei unkonventionellen Lagerstätten, wird der Bohrkopf nach der Vertikalbohrung in den entsprechenden Gesteinsformationen horizontal umgelenkt. Dann wird das Bohrloch abgedichtet, d. h. mit Stahlrohren ausgekleidet. Diese Auskleidung ist zum einen notwendig, um eine Abdichtung gegen durchbohrte grundwasserführende Schichten zu erreichen, und zum anderen, um später die Frackingfluide unter hohem Druck einpressen zu können. Vor dem eigentlichen Fracking werden als dritter Schritt mithilfe einer Perforationskanone mechanisch Löcher in den unteren, ggf. horizontalen Teil der Stahlmantelung geschossen. Nun wird unter hohem Druck ein Gemisch aus Wasser, Sand und chemischen Zusätzen (Frackingfluide) (Kap. 7.1.2), in das Bohrloch gepresst. Im perforierten Teil des Bohrloches tritt das Flüssigkeitsgemisch in die anvisierte Gesteinsschicht aus, wodurch das Speichergestein aufgebrochen wird und sich feine Risse bilden. Der Druck muss dabei größer sein als die Gebirgsspannung, d. h. der natürliche Umgebungsdruck in der jeweiligen Tiefe. Der Einpressdruck kann bis zu 1.000 bar betragen (Jungmans/Bryner 2013). Durch die eingepresste Flüssigkeit werden die Risse erweitert und das im Gestein gebundene Gas kann ausströmen (Ewen et al. 2012, S. 8 ff.; Faulstich et al. 2013, S. 6 ff.). Damit sich die Risse bei Nachlassen des Drucks nicht sofort wieder schließen, enthalten die Frackingfluide beispielsweise Sand als Stützmittel und weitere Chemikalien (Kap. 7.1.2). Die genaue Zusammensetzung der Frackingfluide ist von den jeweiligen geologischen Bedingungen abhängig.<sup>46</sup>

---

### 7.1.2 Frackingfluide

Die beim Fracking verwendeten Frackingfluide stellen einen zentralen Aspekt der Technologie dar. Das betrifft nicht nur die technischen Charakteristika, sondern auch die Beurteilung von Umweltfolgen und ggf. Risiken: So beziehen sich mehrere der hauptsächlichen Umweltbedenken auf die erheblichen Mengen und die Zusammensetzung der Frackingfluide. Große Flüssigkeitsmengen – haupt-

---

<sup>46</sup> Bei explorativen Experimenten im Bereich Tiefengeothermie wird zumeist auf die Zugabe von Chemikalien verzichtet (Hirschberg et al. 2015; Jung et al. 2006).

sächlich Wasser – müssen bewegt werden und verbleiben teilweise im Untergrund. »flowbacks«, also Rückflüsse von Frackingfluiden an die Oberfläche, müssen umweltschonend wiederverwendet oder entsorgt werden. Durch potenzielle Lecks könnten eventuell Grundwasserleiter kontaminiert werden etc. (Gandossi/von Estorff 2015).

Die Menge der jeweils eingesetzten Chemikalien und ihre Zusammensetzung hängen von verschiedenen Faktoren, insbesondere den geologischen Gegebenheiten vor Ort ab. Daher existieren auch keine allgemeinen Angaben über die Zusammensetzung der verwendeten Frackingfluide. Es wird geschätzt, dass rund 95–98% Wasser sind (EASAC 2014; Junghans/Bryner 2013). Der Rest besteht aus Sand, der dazu dient, die Risse offen zu halten, sowie chemischen Zusatzstoffen, die beispielsweise »das Eindringen des Sands in die Gesteinsbrüche erleichtern, das Wachstum von Bakterien verhindern (die Gase produzieren und so das geförderte Schiefergas verunreinigen können), oder die Korrosion der Stahlrohre verhindern« (Junghans/Bryner 2013, S. 1).

Bei dem Experiment in Damme 3 wurden rund 12.000 m<sup>3</sup> Wasser, 588 t Stützmittel und 20 t Additive (davon 460 kg Biozide) verpresst (ahu AG et al. 2012, S. 23). Rund 50 chemische Zusatzstoffe stehen zur Verfügung (Acatech 2015; Bergmann et al. 2014).<sup>47</sup> In Deutschland müssen die einzelnen Frackingfluide zugelassen werden. Die in Deutschland bereits genutzten oder diskutierten Flüssigkeiten werden laut Acatech (2015) in die Wassergefährdungsklasse 1 (WGK1 = schwach wassergefährdend) eingeordnet. Kritischer sehen dies die ahu AG et al. (2012, S. 41), die das Gefährdungspotenzial der 2008 in Damme verwendeten Additive in den Frackingfluiden als hoch einstufen und auch die Weiterentwicklungen der neuen Additive skeptisch betrachten. Kurz vor Abschluss des Gesetzgebungsverfahrens zum Fracking im Sommer 2016 ging der Konzern Exxon mit der Meldung an die Öffentlichkeit, dass er nur noch Cholinchlorid und Butyldiglykol (Butoxyethoxyethanol) für die Nutzung in Deutschland in Betracht ziehe.<sup>48</sup> Inzwischen wirbt Exxon auf seiner Internetpräsenz mit dem Einsatz nur noch dieser Additive bei Schiefergaslagerstätten, jedoch nicht allgemein beim Fracking.<sup>49</sup>

Angaben über Wassermengen pro Bohrung und die entsprechenden Mengen der eingesetzten Zusatzstoffe variieren je nach Häufigkeit der Fracks oder der Ergiebigkeit der Schiefergesteine. Acatech (2015, S. 55) gibt eine Menge

47 In den USA waren 2012 rund 1.000 chemische Zusatzstoffe im Einsatz (EPA 2015).

48 Auch laut Heid/Niesmann (2014) nutzt Exxon diese Mischung, die als ungefährlich dargestellt wird. Cholinchlorid ist die synthetisierte Form von Cholin, das in Nahrungsergänzungsmitteln, Futtermitteln, Präparaten gegen Leberschäden, als Reinigungsmittel, als Pestizid etc. eingesetzt wird. Cholinchlorid ist schwach wassergefährdend. Hochkonzentriert kann es Reizungen der Haut, Augen und Atemwege verursachen. Butyldiglykol ist ein Lösungsmittel und wird für Lacke und Kunstharze eingesetzt. Es ist ebenfalls schwach wassergefährdend.

49 [www.erdgas-aus-deutschland.de/de-de/fracking/fracking/fracking-fluessigkeit/fracking-fluessigkeit](http://www.erdgas-aus-deutschland.de/de-de/fracking/fracking/fracking-fluessigkeit/fracking-fluessigkeit) (17.4.2019)



von rund 1.000 m<sup>3</sup> pro Frackingoperation an. Broderick et al. (2011, S.25) gehen von 1.100–2.200 m<sup>3</sup> aus. Schätzungen über den Gesamtwasserverbrauch geben unterschiedliche Bandbreiten an und liegen bei 8.000–10.000 m<sup>3</sup> pro unkonventionelle Bohrung (Vengosh et al. 2014) bzw. 7.000–29.000 m<sup>3</sup> (Jung-hans/Bryner 2013). In Großbritannien wurden gar Werte von 84.000 m<sup>3</sup> gemessen (Broderick et al. 2011). Entsprechend können die chemischen Zusatzstoffe größere Mengen umfassen. 10–80% des eingesetzten Wassers kann zurückgewonnen und zu einem Teil als Frackingfluid erneut verpresst werden. Auf jeden Fall bleibt ein Teil der Frackingfluide und der in Lagerwasser gelösten Chemikalien im Untergrund. Im Fall Damme 3 wurden nur 8% des injizierten Frackingfluids wieder zutage gefördert (ahu AG et al. 2012, S.26).

---

### 7.1.3 Diskussion um Fracking und Nichtwissen

In den USA wird die Frackingtechnik seit rund 10 Jahren in großem Umfang eingesetzt, um Gas und Öl aus dichten Tonschiefern freizusetzen. Im Jahr 2005 wurde die Industrie von der Nachweispflicht der Grundwasserneutralität bei Bohraktivitäten befreit (Zittel 2015). Die regulativen Veränderungen lösten in den USA einen Schiefergasboom aus. Seit einiger Zeit wird deshalb auch in der EU und in Deutschland erwogen, Fracking zur Förderung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten einzusetzen. Befürworter sehen hier eine Chance, bei der Energieversorgung unabhängiger von Importen zu werden. Die Frage, wie problematisch der Einsatz dieser Technik für Umwelt und Gesundheit einzuschätzen sind, wird in Wissenschaft, Politik und Öffentlichkeit teilweise heftig diskutiert (für die USA Vengosh et al. 2014; Zucker 2014; für die Wissenschaft auf EU-Ebene EASAC 2014; für die Wissenschaft in Deutschland Aca-tech 2015; Ewen et al 2012; Faulstich et al. 2013; Meiners et al. 2012).<sup>50</sup>

Während es in Bezug auf Fracking in konventionellen Lagerstätten und im Bereich Tight-Gas gewisse Erfahrungen gibt, zeigen sich hinsichtlich des Einsatzes der Technik bei unkonventionellen Lagerstätten Unwägbarkeiten und Nichtwissen. Umstritten sind vor allem die Einschätzungen zum (Nicht-)Wissen und zur Kontrollierbarkeit von Vorgängen, die das Wasserregime (Grundwasser, Abwasser) sowie mögliche seismische Folgen betreffen. Aufbauend auf Gutachten von Meiners et al. (2012), des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz, des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV) (ahu AG et al. 2012) und einem Bericht des Sachverständigenrates für Umweltfragen (Faulstich et al. 2013) kommen Engelhardt und Louis (2014, S.554) zu dem Schluss, dass die Wissenslücken und das Nichtwissen zu Fracking in unkonventionellen Lagerstätten in Deutschland zu groß sind, um materielle Bewertungs- und Genehmigungskriterien zu entwi-

---

<sup>50</sup> Das öffentliche Interesse an dem Thema ist nach der gesetzlichen Neuregelung in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 2016 (Kap. 7.2.2) merklich abgeklungen.

ckeln. Hier wird größerer Forschungsbedarf konstatiert (Bergmann et al. 2014). Dem trägt auch die gesetzliche Neuregelung im Jahre 2016 Rechnung, indem sie Fracking in unkonventionellen Lagerstätten grundsätzlich verbietet, jedoch wenige Ausnahmen zu Forschungszwecken zulässt (Kap. 7.2.2).

---

## 7.2 Rechtliche Rahmenbedingungen

---

### 7.2.1 Rechtliche Regulierungen auf EU-Ebene

Die EU-Kommission hat in einer Mitteilung im Januar 2014 die Kompetenz für die Entscheidung, Fracking einzusetzen, den einzelnen Mitgliedstaaten zugesprochen. Nach EU-Regelung haben die Mitgliedstaaten das Recht, die Nutzungsweise von Energieressourcen selbst zu bestimmen, solange dabei die Umwelt erhalten, geschützt bzw. ihre Qualität verbessert wird. Für die Exploration und Förderung von Kohlenwasserstoffen auch aus unkonventionellen Lagerstätten wurden Empfehlungen formuliert, die gewisse Mindeststandards festlegen (EK 2014a u. 2014b). Damit wird durch die Europäische Kommission die Bandbreite der politischen Positionen der Mitgliedstaaten zu Fracking in der EU aufgenommen. So haben Frankreich, Bulgarien und die Tschechische Republik Fracking beispielsweise per Moratorium untersagt, in Polen, Rumänien und Dänemark wurden explorative Bohrungen durchgeführt und in Großbritannien und Spanien wurden Genehmigungen für kommerzielle Frackingmaßnahmen vergeben (EPRS 2014).

Die Europäische Kommission (2014b) empfiehlt denjenigen Mitgliedstaaten, die sich für diese Technik entscheiden, Klima-, Umwelt- und Gesundheitsgefährdungen voll Rechnung zu tragen und folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Durchführung einer strategischen Umweltprüfung vor der Erteilung von Lizenzen sowie eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) gemäß der Richtlinie 2011/92/EU;
- Anwendung von Frackingtechniken, mit denen der Wasserverbrauch und Abfallströme minimiert und keine im Hinblick auf die menschliche Gesundheit, die Umwelt und das Klima gefährlichen chemischen Stoffe eingesetzt werden;
- Monitoring von Wasser, Luft und seismischer Aktivität;
- Transparenz gegenüber der Öffentlichkeit über die Zusammensetzung von Frackingfluiden, Lagerstättenwasser etc.;
- Herstellung und Sicherung ausreichend dichter Bohrlöcher, um insbesondere eine Verunreinigung des Grundwassers zu verhindern;<sup>51</sup>

---

51 Hier sind in den USA verschiedentlich Probleme aufgetreten. Dort ist eine große Zahl von Bohrlöchern unsachgemäß verlassen und aufgegeben worden (EASAC 2014).



- › grundsätzlich die Anwendung der besten verfügbaren Techniken (BVT), um mögliche negative Auswirkungen zu reduzieren.

Daneben spielt auf EU-Ebene die Forschung zu Fracking bei der Ausbeutung von Schiefergasvorkommen eine Rolle. Im Rahmen des Forschungsprogramms Horizont 2020 werden vier Forschungsprojekte gefördert, um die unterschiedlichen Auswirkungen und Risiken von Schiefergasexploration und -förderung besser zu verstehen und ggf. zu verringern bzw. zu vermeiden (EK 2014b). Eine wesentliche Rolle spielen dabei die Untersuchung des Umweltfußabdrucks («environmental footprint») in Bezug auf Wassernutzung und -verschmutzung, Seismizität und flüchtige Emissionen (Projekt »ShaleXenvironmenT«), die Erforschung und Evaluierung potenzieller Risiken und Auswirkungen der Schiefergasausbeutung (Projekt »M4ShaleGas«), der Aufbau einer Wissensbasis für die Minimierung des Umweltfußabdrucks (Projekt »FracRisk«) sowie die Sammlung von »best practices« im Hinblick auf den Fußabdruck und die Entwicklung von Methoden für die Vorhersage von kurz- und langfristigen Risiken (Projekt »SHEER«).

---

### 7.2.2 Nationales Recht

Auf nationaler Ebene finden explorative Frackingexperimente in einem relativ stark regulierten Feld statt, in dem das Berg-, das Wasser-, das Umwelt-, das Chemikalien- und Gefahrstoff-, das Strahlenschutz-, das Arbeitsschutz-, das Bodenschutz- und das Forstrecht eine Rolle spielen (Dannwolf et al. 2014; Meiners et al. 2012; Roßnagel et al. 2012). Besondere Bedeutung kommen dem Berg- und dem Wasserrecht zu. 2016 wurde die Gesetzgebung nach langer und intensiver Diskussion novelliert und das Fracking damit explizit geregelt.

Grundsätzlich gilt der Rechtsrahmen für das Fracking in konventionellen und unkonventionellen Lagerstätten. Jedoch wurden mit der Novellierung 2016 für unkonventionelles Fracking über die grundsätzlichen Regelungen hinaus besondere Restriktionen eingeführt.

#### **Bergrecht**

Nach Bundesberggesetz (BBergG) sind für die Aufsuchung und die mögliche spätere Gewinnung von Erdgas zwei bergrechtliche Zulassungen erforderlich. Das sind zum einen eine Bergbauberechtigung, die das Recht einräumt, das Erdgas aufzusuchen und zu gewinnen, und zum anderen die Zulassung der betrieblichen Maßnahmen zur Aufsuchung und möglichen Gewinnung durch Betriebspläne. Es gibt verschiedene Arten von Betriebsplänen (Rahmen-, Haupt-, Son-

der- und Abschlussbetriebsplan).<sup>52</sup> Sobald eine Bohrung nach Erdgas geplant ist, sind immer eine Bergbauberechtigung und (mindestens) eine Betriebsplanzulassung notwendig. Das gilt auch bei Forschungsvorhaben. Laut Bundesberggesetz unterliegen auch der Bohrplatz und die Anlagen über Tage, die für die Bergbaumaßnahmen erforderlich sind, dem Bergrecht.

Bei der Erteilung der Bergbauberechtigung prüft die Bergbehörde nach § 11 BBergG unter anderem die genaue Bezeichnung der Bodenschätze, einen Lageplan mit geeignetem Maßstab sowie Sicherheitsvorkehrungen, dass im öffentlichen Interesse stehende Bodenschätze nicht beeinträchtigt werden und sichergestellt ist, dass die beantragte Aufsuchung der Bodenschätze im gesamten zuzuteilenden Feld nicht durch sonstige öffentliche Interessen ausgeschlossen wird. Die Erteilung einer Bergbauberechtigung berechtigt noch nicht zur Aufnahme der Arbeiten. Dafür ist nach dem Bundesberggesetz zusätzlich eine Betriebsplanzulassung notwendig.

In den Zulassungsregularien für die Betriebsplanzulassung sind zwar nicht alle denkbaren Auswirkungen auf Schutzgüter berücksichtigt, aber es gibt die Möglichkeit, die Aufsuchung und Gewinnung zu untersagen, wenn öffentliche Interessen entgegenstehen (§§ 55 und 48 Abs. 2 BBergG). Sind erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt zu befürchten, ist es gemäß § 52 Abs. 2a BBergG in Verbindung mit der Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) bergbaulicher Vorhaben (UVP-V Bergbau) obligatorisch, einen Rahmenbetriebsplan durch Planfeststellungsbeschluss zu erstellen, bei dessen Zulassung eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen ist. Bei der Novellierung der Gesetzgebung zum Fracking im Jahre 2016 wurde die UVP-V Bergbau dahingehend ergänzt, dass Frackingvorhaben zur Aufsuchung und Gewinnung von Erdöl und Erdgas, einschließlich der dazu notwendigen Tiefbohrungen, sowie auch wissenschaftliche Erprobungsmaßnahmen einer Umweltverträglichkeitsprüfung unterliegen.<sup>53</sup> Somit ist das Fracking generell UVP-pflichtig.

Für die Errichtung und den Betrieb der Anlagen und Einrichtungen zur Aufsuchung und Gewinnung von Erdgas kommen die Tiefbohrverordnungen der Länder zur Anwendung. Die Verordnungen schreiben Sicherheitsmaßnahmen vor und bestimmen unter anderem, dass (Grund-)Wasserleiter nicht nachteilig verändert werden dürfen.

52 Betriebsplanzulassung ist die Vorhabenzulassung im Bergrecht. Im sonstigen Verwaltungsrecht, beispielsweise bei der Zulassung von Industrieanlagen oder nach Wasserrecht, werden Zulassungen als Genehmigungen, Erlaubnisse oder Bewilligungen oder Planfeststellungsbeschlüssen erteilt.

53 Vor 2016 sah die UVP-V-Bergbau eine UVP bergbaulicher Vorhaben immer dann vor, wenn die tägliche Fördermenge von Erdgas größer als 500.000 m<sup>3</sup> ist. Diese Größenordnung wird selbst bei einer kommerziellen Förderung bei den Schiefergaslagerstätten in Deutschland kaum erreicht werden (Dannwolf et al. 2014). Explorative Forschungsexperimente fielen damit vor 2016 praktisch nicht unter diese Regelung.



### Wasserrecht

Grundsätzlich kann es bei Anwendung der Frackingtechnologie mindestens zu Kontakt zwischen Frackingfluid und (Tiefen-)Grundwasser kommen. Das Tiefengrundwasser kann unabhängig von natürlichen Inhaltsstoffen und einer möglichen Förder- und Verwendbarkeit dem Anwendungsbereich des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) unterliegen. Nur wenn Auswirkungen auf nutzbare Grundwasserkörper und Oberflächengewässer ausgeschlossen werden können, kommt der Schutz des WHG für das Tiefengrundwasser nicht zum Tragen.<sup>54</sup>

Im Wasserrecht regeln Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und Grundwasserverordnung (GrwV) die Benutzung und den Schutz des Grundwassers.<sup>55</sup> Bei der Novellierung der Gesetzgebung in Bezug auf Fracking im Jahre 2016 wurde § 9 II WHG dahingehend geändert, dass zwei neue Benutzungstatbestände in Bezug auf Fracking hinzugefügt wurden: Das Aufbrechen von Gesteinen unter hydraulischem Druck zur Aufsuchung oder Gewinnung von Erdgas, Erdöl oder Erdwärme, einschließlich der zugehörigen Tiefbohrungen – also das Fracking –, wie auch das Wiedereinleiten von Lagerstättenwasser gelten danach als Gewässerbenutzung. Damit ist nun klar, dass Fracking einer wasserrechtlichen Zulassungspflicht unterliegt. Der Bergbehörde steht dabei durch §§ 12 II und 19 III WHG ein Ermessensspielraum bei der Erteilung der wasserrechtlichen Erlaubnis im Planfeststellungsverfahren zu, das sie im Einvernehmen mit der Wasserbehörde auszuüben hat. Die Wasserbehörde besitzt also faktisch ein Vetorecht.

Nach dem WHG ist eine Erlaubnispflicht vorgesehen, sobald sich das Einbringen von Stoffen in den Untergrund nachteilig auf die Grundwasserbeschaffenheit auswirken kann. Der wasserrechtliche Besorgnisgrundsatz zur Reinhaltung des Grundwassers (§ 48 WHG) fordert, dass bestimmte Maßnahmen, wie z. B. das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, nur dann genehmigt werden dürfen, wenn die Wasserbeschaffenheit durch die Maßnahme nicht nachteilig verändert wird. Die Erlaubnis ist nur zu erteilen, wenn kein Grund zur Sorge einer nachteiligen Veränderung der Wasserbeschaffenheit<sup>56</sup> gegeben ist. Insbesondere müssen die verwendeten Gemische als nicht oder höchstens schwach

---

54 Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG)

55 Nach der Legaldefinition des WHG umfasst der Begriff des Grundwassers »jegliche unterirdische Gewässer die sich in der Sättigungszone befinden und in unmittelbarer Berührung mit dem Boden oder dem Untergrund stehen« (Engelhardt/Louis 2014, S. 552). Nach DIN 4049 wird von Sättigung gesprochen, wenn ein zusammenhängendes Ausfüllen von Hohlräumen mit Wasser gegeben ist (ebd.).

56 Nach der Gesetzesbegründung ist die nachteilige Veränderung der Wasserbeschaffenheit eine Erscheinungsform der schädlichen Gewässerverunreinigung im Sinne des § 3 Nr. 10 WHG. Schädliche Gewässerveränderungen sind danach Veränderungen von Gewässer-eigenschaften, die das Wohl der Allgemeinheit, insbesondere die öffentliche Wasserversorgung beeinträchtigen oder die nicht den Anforderungen entsprechen, die sich aus diesem Gesetz, aus aufgrund dieses Gesetzes erlassenen oder aus sonstigen wasserrechtlichen Vorschriften ergeben. Für einige Parameter konkretisiert die Grundwasserverordnung (GrwV) vom 9.11.2010 durch Schwellenwerte, bis zu welchen Schadstoffkonzentrationen die menschliche Gesundheit und die Umwelt geschützt sind.

wassergefährdend eingestuft sein (§ 13a IV WHG). Ist vorhersehbar, dass durch die geplante Maßnahme eine nachteilige Veränderung der Wasserbeschaffenheit nicht ausgeschlossen werden kann, führt dies zum Ausschluss der wasserrechtlichen Gestattung. Im Hinblick auf die Reinhaltung des Grundwassers gilt dies gemäß § 48 Abs. 2 WHG auch für das Befördern von Flüssigkeiten und Gasen durch Rohrleitungen sowie für die Lagerung oder den Transport von wassergefährdenden Stoffen. Im Zuge des Verfahrens ist eine Gefahrenanalyse durchzuführen, die eine umfassende Systemanalyse umfasst und sicherstellt, dass nachteilige Veränderungen (nach menschlichem Ermessen) nicht zu befürchten sind.<sup>57</sup>

Soweit Abwässer aus der Erdgasgewinnung in unterirdische Horizonte versenkt bzw. verpresst werden sollen, sind die Anforderungen des BBergG und des WHG einzuhalten, insbesondere muss der Stand der Technik eingehalten werden. Ein Einleiten in grundwasserführende Schichten ist nach der Ausnahmeregelung des § 82 Abs. 6 Satz 2 WHG mit Verweis auf Art. 11 Abs. 3, lit. j) der Richtlinie 2000/60/EG für die »Einleitung von Wasser, das Stoffe enthält, die bei der Aufsuchung und Gewinnung von Kohlenwasserstoffen oder bei Bergbauarbeiten anfallen« dann möglich, wenn die Bewirtschaftungsziele für das Grundwasser gemäß § 47 WHG nicht beeinträchtigt und der Besorgnisgrundsatz des § 48 WHG eingehalten werden. Die Ausnahmeregelung ermöglicht demnach bei Einhaltung der genannten Voraussetzungen die Rückverpressung von geogenem Lagerstättenwasser. Entsprechend ist in Art. 11 Abs. 3, lit. j) der Richtlinie 2000/60/EG festgelegt, dass »solche Einleitungen keine anderen Stoffe als solche enthalten (dürfen), die bei den obengenannten Arbeitsvorgängen anfallen«. Inwieweit Frackingchemikalien von der Ausnahmeregelung betroffen sind, ist strittig (Roßnagel et al. 2012; Meiners et al. 2012, S. B97 ff.).

Daneben gibt es eine Reihe von Regionen, in denen Fracking verboten ist, z.B. in Gebieten, in denen Grundwasserressourcen unter besonderem Schutz stehen (§ 13a I Nr. 2 WHG)<sup>58</sup>, in Naturschutzgebieten (§ 23 III BNatSchG) und Nationalparks (§ 24 III BNatSchG).

## Transparenz

Im Hinblick auf Partizipation und Öffentlichkeit ist anzumerken, dass bei der Novelle des WHG einige transparenzfördernde Regelungen aufgenommen wurden. So sind die für die wasserrechtliche Erlaubnis benötigten Angaben, die u. a. alle beim Fracking verwendeten Stoffe umfassen, innerhalb von zwei Wochen

57 Die GrwV und die Richtlinie 2000/60/EG geben hierzu weitere Anhaltspunkte. Ein Ziel der Richtlinie 2000/60/EG ist der gute chemische Zustand des Gewässers. Diesen gilt es zu erreichen bzw. zu erhalten.

58 Beispiele hierfür sind Wasserschutzgebiete, Heilquellenschutzgebiete, Gebiete, die der öffentlichen Wasserversorgung dienen, Einzugsgebiete für die öffentliche Wasserversorgung, Mineralwasservorkommen, Heilquellen und Stellen zur Entnahme von Wasser zur Herstellung von Lebensmitteln.



nach Antragstellung im Internet zu veröffentlichen (§ 13 b I WHG). Dies gilt auch für die vom Unternehmer zu tätigen Meldungen über etwaige nachteilige Veränderungen der Wasser- oder Bodenbeschaffenheit. Auch wurde die Einrichtung eines öffentlichen Registers über die beim Fracking zum Einsatz gebrachten Stoffe zumindest vorgesehen (§ 13 b V WHG i. V. m. § 23 WHG).

### **Weitere rechtliche Regelungen**

Chemikalienrecht: Abhängig von ihrer Gefährlichkeit fallen die verwendeten Additive bzw. Frackingchemikalien unter die chemikalienrechtlichen Anforderungen. Dabei sind Verwendungsverbote bzw. -beschränkungen, Anforderungen an Biozide und allgemeine Anforderungen der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 zu unterscheiden. Darüber hinaus sind bergrechtliche Regelungen und die Gefahrstoffverordnung hinsichtlich des Umgangs zu beachten.

Naturschutzrecht: Hinsichtlich des Naturschutzes ist bei der Anlagenerichtung die naturschutzrechtliche Eingriffsregelung im Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) zu beachten. Grundsätzliches Ziel ist hier, negative Folgen von Eingriffen zu vermeiden. Sind jedoch nachteilige Einwirkungen unvermeidbar, sind Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen zu erbringen. Daneben ist, wie zuvor erwähnt, nach §§ 23 III und 24 III BNatSchG Fracking in Naturschutzgebieten und Nationalparks verboten.

### **Fracking in unkonventionellen Lagerstätten**

Der Novellierung der Gesetzgebung zum Fracking ging ein langer und kontroverser politischer Diskurs voraus, der sich insbesondere am Fracking in unkonventionellen Lagerstätten entzündete. Bereits im Februar 2013 hatten Bundesumwelt- und Bundeswirtschaftsministerium einen Gesetzentwurf zur Regelung von Fracking vorgelegt, über den bis zur Bundestagswahl im Herbst 2013 keine Einigung erzielt werden konnte. Im Koalitionsvertrag von 2013 vereinbarten CDU, CSU und SPD »Änderungen für einen besseren Schutz des Trinkwassers im Wasserhaushaltsgesetz sowie eine Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) bergbaulicher Vorhaben«, »die vor Zulassung von Maßnahmen zur Aufsuchung und Gewinnung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten mittels Fracking eine obligatorische UVP und Öffentlichkeitsbeteiligung vorsieht.« Im April 2015 hatte die Bundesregierung einen Gesetzentwurf in den Bundestag eingebracht, der Frackingvorhaben auf eine neue rechtliche Grundlage stellen sollte. Dabei wurde zunächst die Möglichkeit unvertretbarer oder nicht hinreichend abschätzbarer Risiken anerkannt, und in den Fällen, in denen die Risiken »nicht zu verantworten sind oder derzeit nicht abschließend bewertet werden können«, sollten Frackingaktivitäten verboten werden (Bundesregierung 2015, S. 1). Das Fehlen ausreichender Kenntnisse und Erfahrungen über die Auswirkungen von Frackingmaßnahmen auf die Umwelt,

insbesondere den Untergrund und den Wasserhaushalt, die Qualität des Trinkwassers und damit die Gesundheit der (lokalen) Bevölkerung wurde angesprochen (Bundesregierung 2015, S. 2).

Nach der seit der Novellierung 2016 geltenden Rechtslage ist Fracking – neben den zuvor erwähnten Verboten in speziellen Gebieten – an unkonventionellen Lagerstätten<sup>59</sup> grundsätzlich verboten (§ 13a I Nr. 1 WHG). Abweichend davon kann unkonventionelles Fracking jedoch insgesamt für vier Erprobungsmaßnahmen für Forschungszwecke erlaubt werden, wenn es zur wissenschaftlichen Erforschung der Auswirkungen derartiger Maßnahmen auf die Umwelt, insbesondere den Untergrund und den Wasserhaushalt, dient (§ 13a II WHG). Hierzu muss die jeweilige Landesregierung ihre Zustimmung erteilen und dabei geologische Besonderheiten der betroffenen Gebiete und sonstige öffentliche Interessen abwägen. Es dürfen nur Frackingfluide eingesetzt werden, die als nicht wassergefährdend eingestuft sind (§ 13a IV Nr. 1 a WHG). Eine Ausnahme von den bereits zuvor genannten gebietsbezogenen Verboten des § 13a I Nr. 2 WHG ist dabei ausgeschlossen.

Diese Regelung weist der Forschung also im Hinblick auf die Genehmigungsfähigkeit einen Sonderstatus zu. Darüber hinaus werden die möglichen Frackingexperimente von einer von der Bundesregierung eingesetzten unabhängigen Expertenkommission wissenschaftlich begleitet (§ 13a VI WHG). Die nicht weisungsgebundene Expertenkommission<sup>60</sup> wertet jährlich die Erprobungsmaßnahmen und den Stand der Technik aus und erstellt ab 2018 hierzu jährlich Erfahrungsberichte, die auch im Internet veröffentlicht werden. Außerdem ist die Expertenkommission verpflichtet, die Öffentlichkeit in regelmäßigen Abständen über Verlauf und Ergebnisse der Erprobungsmaßnahmen zu unterrichten. Hierbei und zu den Entwürfen der Erfahrungsberichte hat die Öffentlichkeit Gelegenheit zur Stellungnahme (§ 13a VI WHG).

Die jetzt geltende rechtliche Regelung des Frackings soll im Jahre 2021 vom Deutschen Bundestag überprüft werden. Dabei soll der bis dahin vorliegende Stand von Wissenschaft und Technik die Grundlage bilden, um die Angemessenheit des Verbots unkonventionellen Frackings zu beurteilen. Insofern ist davon auszugehen, dass die u. a. von der Expertenkommission ausgewerte-

59 Die Abgrenzung wird in § 13a I Nr. 1 WHG so gezogen, dass das Fracking in Schiefer-, Ton- oder Mergelgestein oder Kohleflözgestein zur Aufsuchung oder Gewinnung von Erdgas oder Erdöl verboten ist.

60 Im Gesetzestext (§ 13a VI WHG) ist sogar die Zusammensetzung dieser Expertenkommission festgelegt. Sie besteht aus »einem Vertreter der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, einem Vertreter des Umweltbundesamtes, einem vom Bundesrat benannten Vertreter eines Landesamtes für Geologie, das nicht für die Zulassung der Erprobungsmaßnahmen zuständig ist, einem Vertreter des Helmholtz-Zentrums Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum, einem Vertreter des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung Leipzig sowie einem vom Bundesrat benannten Vertreter einer für Wasserwirtschaft zuständigen Landesbehörde, die nicht für die Zulassung der Erprobungsmaßnahmen zuständig ist. Die Mitglieder der Expertenkommission sind an Weisungen nicht gebunden.«



ten Erfahrungen aus bis dahin möglicherweise durchgeführten Experimenten des Frackings in unkonventionellen Lagerstätten in diese Neubeurteilung einfließen werden.

---

## 7.3 Nichtwissen bei explorativen Experimenten zum Fracking

Abgesehen von den erwähnten tiefliegenden Tight-Gas-Lagerstätten und den beiden Versuchsstandorten »Damme 3« und »Natarp« wurde die Frackingtechnik in Deutschland bislang nicht eingesetzt, um unkonventionelle Lagerstätten aufzusuchen oder auszubeuten.<sup>61</sup> Aktuell werden in Deutschland keine Forschungs-, Aufsuchungs- oder Gewinnungsvorhaben durchgeführt, bei denen die Frackingtechnologie in Tonschieferlagerstätten zur Anwendung kommt (von Gleich et al. 2014). Bohrungen zu Forschungszwecken sind vorgesehen, bei denen jedoch keine Frackingtechnik eingesetzt wird. In Niedersachsen wurden bei unkonventionellen Lagerstätten mangels adäquater Risikoabschätzungen längere Zeit keine Explorationen genehmigt oder gar Fördererlaubnisse erteilt (Bergmann et al. 2014).

Aufgrund der wenigen bisher durchgeführten forschungsorientierten Frackingexperimente kommt diesen dennoch aus mehreren Gründen eine große Bedeutung zu. Dementsprechend wurde wissenschaftlichen Experimenten in der gesetzlichen Neuregelung des Frackings ein besonderer, herausgehobener Stellenwert zugesprochen (Kap. 7.2.2). Im Folgenden sollen die wesentlichen Quellen des Nichtwissens beim Fracking behandelt werden.

---

### 7.3.1 Nichtwissen über den tieferen Untergrund – »vor der Hacke ist es schwarz«

Neben Unsicherheiten und Nichtwissen in Bezug auf die Technologie des Frackings selbst ist die Begrenztheit des Wissens über den geologischen Untergrund, in dem gefrackt werden soll, also über das vom Eingriff primär betroffene System, von entscheidender Bedeutung. Grundsätzlich wird das Wissen über den Aufbau, die Struktur und die Beschaffenheit des tiefen Untergrunds eines Ortes aus Tiefenbohrungen, geophysikalischen Messungen sowie geomechanischen, geochemischen, hydrogeologischen und mineralogischen Erkundungen gewonnen. Diese Informationen werden in der Regel punktweise erfasst und müssen dann in die Fläche oder den Raum interpoliert werden. Daraus ergibt sich ein modellhaftes Gesamtbild.

---

61 Im Hinblick auf Potenziale der Geothermie wurde 2011 in Hannover (»Horstberg Z1«) ein Frackingexperiment ausgeführt (GeneSys-Projekt; [www.genesys-hannover.de/Genesys/DE/Home/genesys\\_node.html](http://www.genesys-hannover.de/Genesys/DE/Home/genesys_node.html); 17.4.2019).



Der Untergrund ist je nach Tiefe unterschiedlich gut beschrieben. Je mehr Informationen für einzelne Bereiche vorliegen, desto hochaufgelöster lassen sich diese beschreiben und verstehen. Der flache Untergrund bis 100 m Tiefe ist in Deutschland durch eine Vielzahl von senkrechten Bohrungen gut erkundet und wissenschaftlich beschrieben. Mit zunehmender Tiefe nehmen die Zahl der durchgeführten explorativen Bohrungen und die dadurch verfügbaren Informationen jedoch deutlich ab (BGR 2014). Damit besteht hier ein höheres Maß an Nichtwissen über die geologischen Bedingungen. Gleichzeitig tragen jede zusätzliche Bohrung und damit einhergehende Untersuchung zu einer Verbesserung des Verständnisses des Systems bei. Durch explorative Experimente mit der Frackingtechnologie kann Noch-nicht-Wissen über den tiefen Untergrund in Wissen verwandelt werden, insofern die dabei durchgeführten Tiefbohrungen mit entsprechenden Messungen und Monitoringprogrammen verbunden werden.

In Bezug auf die beim Fracking in unkonventionellen Lagerstätten relevanten Aspekte verbleiben Unsicherheiten, und nicht alle Vorgänge sind vorhersehbar oder modellierbar. Das betrifft beispielsweise Fragen wie das Verhältnis zwischen Einpressdruck und der Art, Form und Stabilität von Rissen (Wessling et al. 2009). Es kann z. B. nicht exakt vorhergesagt werden, wie sich die Risse genau ausbilden. Ihre Länge kann von einigen 10 bis zu einigen 100 m reichen (Acatech 2015; Junghans/Bryner 2013), in Abhängigkeit u. a. vom Gestein, vom Wasserdruck und den verwendeten Frackingfluiden (Andrulleit et al. 2012). Die Länge der sich bildenden Risse ist jedoch für Erfolg und Risiken einer Frackingmaßnahme entscheidend: Sind die Risse zu kurz, ist nur eine geringe Ergiebigkeit gegeben. Dehnen sich die Risse zu weit aus, können durch Ausbreitung der Frackingfluide negative Umwelteffekte auftreten, oder es können wirtschaftlich nachteilige Situationen entstehen, wenn beispielsweise Erdgas in andere Gesteinsformationen migriert und so nicht gefördert werden kann.

---

### 7.3.2 Technikcharakterisierung im engeren Sinne<sup>62</sup>

Beim Fracking handelt es sich, unabhängig vom Ziel der Anwendung, um die Erzeugung und Offenhaltung von Rissen im tiefen, festen Untergrund, die ausgehend von einer entsprechenden Tiefbohrung durch die Einspritzung von Wasser ggf. mit Zusatzstoffen, den Frackingfluiden, erfolgt.

#### **Eingriffsintensität**

Die Eingriffsintensität der Frackingtechnologie hängt zum einen ab von der Zahl der Standorte und der Zahl der Bohrungen und Fracks, die an einem Ort oder in einer bestimmten Fläche durchgeführt werden, und zum anderen von der Menge der eingesetzten Frackingfluide. In Bezug auf letzteres sei auf Kapi-

---

<sup>62</sup> Das Kapitel basiert zu weiten Teilen auf von Gleich et al. 2014.



tel 7.1.2 verwiesen. Die Zahl der Standorte und vorgenommenen Bohrungen bzw. Fracks für wissenschaftliche Zwecke ist nach gegenwärtiger gesetzlicher Regelung in Deutschland (Kap. 7.2.2) begrenzt, sodass hieraus eine geringe Eingriffsintensität anzunehmen ist.

Diese Einschätzung würde sich jedoch ändern, wenn Fracking zur kommerziellen Gasgewinnung durchgeführt würde und die Zahl der Bohrplätze und Frackingoperationen zunähme. Die geschätzte gewinnbare Menge an Schiefergas in Deutschland (1,3 Billionen m<sup>3</sup>) würde eine weitere Gasförderung auf derzeitigem Niveau (Acatech 2015; Andruleit et al. 2012) für die nächsten 100 Jahre erlauben. Geht man in einer einfachen Abschätzung davon aus, dass bis zu 30 Fracks in einer Bohrung nach deren Umlenkung aus der Vertikalen in die Horizontale im horizontalen Teil vorgenommen werden und legt man 300 Bohrungen für die Erschließung einer Fläche von 200 km<sup>2</sup> zugrunde, würde das eine Anwendung der Frackingtechnologie in etwa 9.000 Einzelfracks bedeuten (von Gleich et al. 2014, S. 79).<sup>63</sup> Die einfache Abschätzung verdeutlicht, dass sich die Eingriffsintensität durch die kommerzielle Nutzung von Fracking zur Ausbeutung von Schiefergas deutlich erhöhen würde. Für die Technikcharakterisierung wissenschaftlicher explorativer Experimente in diesem Forschungsfeld fallen diese Überlegungen jedoch nicht ins Gewicht, weshalb sie hier nicht weiterverfolgt werden.

### Eingriffstiefe

Die Eingriffstiefe thematisiert die Qualität des Eingriffs (Kap. 4.1.2).<sup>64</sup> In Abhängigkeit vom Anwendungsfeld greift die Technik in einer Tiefe von einem bis mehrere Kilometer unter dem Gelände in das dort befindliche System ein. Dabei werden Risse im Millimeterbereich mit einer Ausdehnung von einigen 10 bis über 100 m Reichweite erzeugt. Beispielhaft lässt sich davon ausgehen, dass in einem Zielhorizont, der 50 bis 100 m mächtig ist, bis zu einem Kilometer horizontal gebohrt wird und alle 10 bis 20 m ein Frack durchgeführt wird.

Maßgeblich für eine Bewertung der Eingriffstiefe sind in diesem Zusammenhang die Nichtrückholbarkeit der Chemikalien zum einen und der Charakter der eingesetzten Chemikalien zum anderen. Mindestens ein Teil der Frackingfluide verbleibt nach dem Fracking im Untergrund, sodass je nach deren Charakteristika und Interaktionen mit der Umgebung eine langfristige Beeinflussung des Untergrundes zu erwarten ist. Damit besteht eine potenziell große zeitliche Reichweite der Beeinflussung und damit aus Sicht der Technikcharakterisierung ein hohes Expositions- und darauf aufbauend ein ungewisses Gefährdungspotenzial. Die Charakteristika der Frackingfluide betreffen insbesondere ihre Abbaubarkeit in situ und ihre Fähigkeit zur Migration durch angren-

<sup>63</sup> Andere Quellen gehen von bis zu 4.000 Fracks aus (Ewen et al. 2012).

<sup>64</sup> Eingriffstiefe ist hier nicht zu verwechseln mit der physischen Tiefe der Bohrung.



zende (ggf. isolierende) Gesteinsschichten. (hierzu die Vulnerabilität des primären betroffenen Systems; Kap. 7.3.3.) Je genauer die Gesteinsschichten, die eine Lagerstätte umgeben, erkundet und beschrieben sind, desto besser lassen sich Voraussagen hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit ungewollter Fluidmigrationen treffen. Eine Reichweite ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn von den Inhaltsstoffen des Frackingfluids und des Lagerstättenwassers Gefahren für oberflächennahe Grundwasserkörper ausgehen. Zur Beschaffenheit der Frackingfluide wird auf Kapitel 7.2.1 verwiesen, und insbesondere auf die in Kapitel 7.2.2 erläuterte aktuelle Rechtslage, nach der bei wissenschaftlichen Versuchen zum unkonventionellen Fracking nur Frackingfluide eingesetzt werden dürfen, die als nicht wassergefährdend eingestuft sind (§ 13a IV Nr. 1 a WHG).

### **Versagenswahrscheinlichkeit der Technik<sup>65</sup>**

Wie jede Technologie, die in großem Maßstab in Umweltsysteme eingreift, ist auch Fracking in unkonventionellen Lagerstätten mit Risiken und möglichen Fehlerquellen behaftet, deren Vermeidung sorgfältiges Arbeiten und die Einhaltung von Sicherheitsvorschriften etc. erfordern. Mögliche Wirkungen der Frackingtechnologie können auf verschiedenen Ebenen auftreten. Entlang der Bohrung kann es durch fehlerhafte Zementierung und unsauberes Arbeiten zu Leckagen (unkontrollierter Austritt von Bohrflüssigkeit in den Untergrund) kommen. Sogenannte Blowouts<sup>66</sup> sind bei Fracking in konventionellen Lagerstätten ebenfalls denkbar und treten dann ein, wenn man bei der Bohrung auf Gas stößt, das unter höherem Druck steht als erwartet, und wenn der gesetzlich vorgeschriebene Blowout-Preventer versagt.<sup>67</sup>

Oberirdisch kommt es auf dem Bohrplatz und der damit verbundenen Infrastruktur zu verschiedenen Auswirkungen. Das Frackingfluid muss sicher aufgefangen, gelagert, abtransportiert und entsorgt werden. Neben optischen und akustischen Auswirkungen durch die Anlage und ihren Betrieb kann es durch Unfälle, Materialermüdung und menschliches Versagen weitere Auswirkungen im Umfeld geben. Zum Beispiel sind eine fehlerhafte Ringraumzementierung oder Leckagen an Chemikalienbehältern auf dem Bohrplatz denkbar. Hier muss durch Abdichtung des Bohrplatzes mit einer Bodenplatte sichergestellt werden, dass es nicht zu ungewollten Einträgen in den Untergrund kommt. Viele dieser Fehlerquellen sind nicht spezifisch für das Fracking selbst, sondern könnten auch bei anderen Bohrungen auftreten. Dazu kommen hier mögliche spezifische

---

65 Die folgenden Abschnitte basieren auf von Gleich et al. 2014, S. 80 f.

66 Als Blowout bezeichnet man ein unkontrolliertes Austreten von Gasen oder Flüssigkeiten aus Bohrlöchern.

67 In den 1980er Jahren hat es in Deutschland je einen Blowout im Speicherbereich und einen im Ölbereich gegeben, danach nicht mehr (von Gleich et al. 2014, S. 80). Das mag illustrieren, dass das Eintreten eines solchen Störfalles als eher selten angesehen werden kann.



Fehlerquellen, wie die Fehlberechnung des notwendigen Frackingdrucks oder eine falsche Zusammensetzung des Frackingfluids.

Das Auftreten der erwähnten Probleme wird von den Experten insgesamt als gering eingeschätzt.<sup>68</sup> Es wird davon ausgegangen, dass es bei 300 Bohrungen mit 4.000 Fracks im Schnitt zu einem kleineren oder größeren Leck kommt (von Gleich et al. 2014, S. 81). Dennoch sollte durch ein begleitendes Monitoring sichergestellt werden, dass problematische Ereignisse (sowohl plötzlicher als auch schleichender Art) so schnell wie möglich erkannt werden. Strukturelle Defekte im Bohrloch sind beispielsweise durch eine Drucküberwachung im Ringraum detektierbar.

Je nach Art der Probleme sind die Auswirkungen unterschiedlich, jedoch meist auf die unmittelbare Umgebung der Bohrung beschränkt. Beispielsweise kann es durch nicht optimale Frackingstärke oder fehlerhafte Zusammensetzung des Frackingfluids dazu kommen, dass eine Bohrung nicht wirtschaftlich ausgebeutet werden kann. Grundsätzlich kann bei Erkennen eines Fehlers noch während oder nach der Durchführung kompensatorisch eingegriffen werden (Ewen et al. 2012). Kontaminationen auf der Erdoberfläche können gereinigt werden.<sup>69</sup> Werden Leckagen entlang der Bohrung festgestellt, kann das Bohrloch repariert oder aufgegeben und verschlossen werden. Ist es dabei zu Schadstoffaustritten gekommen, wird eine aufwendige Sanierung erforderlich, die die verbleibenden Schadstoffmengen auf ein tolerierbares Maß reduzieren kann. Selbst bei Worst-Case-Szenarien lassen sich die Auswirkungen zumindest lokal bis regional begrenzen. Auch wenn es zu einer Verunreinigung von Trinkwasserkörpern kommen sollte, ist eine unaufhaltsame Ausbreitung ausgeschlossen, da Trinkwasserkörper regional begrenzt sind.

---

#### 7.3.3 Vulnerabilitätsanalyse der betroffenen Systeme

Für die Vulnerabilitätsanalysen kommen grundsätzlich mehrere betroffene Systeme in Betracht. Der tiefe Untergrund, der durch die Bohrungen bzw. das Fracking aufgebrochen werden soll, stellt das Zielsystem des Eingriffs dar und ist daher zunächst zu betrachten. Dieses Zielsystem ist im Vergleich z. B. zu terrestrischen oder aquatischen Ökosystemen oder der Atmosphäre vergleichsweise stabil, aber dennoch grundsätzlich verletzlich. Es gibt Modelle, die Vorhersagen der erwartbaren Reaktionen der angebohrten Gesteinsformationen ermöglichen. Mit jedem neuen Erkenntnisgewinn, z. B. jeder erfolgten experimentellen Bohrung, können diese präzisiert und erweitert werden. Bisher wer-

---

68 Dies gilt sowohl für die im Rahmen des Gutachtens (von Gleich et al. 2014) befragten Experten als auch für den Neutralen Expertenkreis der Risikostudie Fracking (Ewen et al. 2012).

69 Nimmt man das Beispiel eines umgekippten Tanklasters, bei dem sich 12 t Chemikalien unkontrolliert ausbreiten, müssten erfahrungsgemäß etwa 13.000 t kontaminierter Boden behandelt werden (Kosten etwa 1 Mio. Euro) (von Gleich et al. 2014, S. 82).

den diese Vorhersagen als ausreichend genau angesehen, wenn es um die Erschließung einer Lagerstätte bzw. die Gewinnung des Rohstoffs unter rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten geht (Andruleit et al. 2012).

Grundsätzlich lässt sich Fracking in verschiedenen geologischen Formationen anwenden. Somit ist es grundsätzlich möglich, besonders vulnerable bzw. sensible Gebiete (z.B. Trinkwassereinzugs- bzw. Wasserschutzgebiete; Kap. 7.2.2) zu meiden und auf andere Gebiete auszuweichen. Geht es um Fracking zum Zwecke der Förderung von Schiefergas, kann zwischen verschiedenen Schiefervorkommen gewechselt werden. Durch Voruntersuchungen der verschiedenen Schiefervorkommen können Hinweise auf unterschiedliche Sensibilitäten bzw. Vulnerabilitäten gewonnen werden.

Die große zeitliche Reichweite der Eingriffe, d. h. die Langfristigkeit bzw. Irreversibilität der aufgebrochenen und durch Stützmittel stabilisierten Risse sowie die im Untergrund verbleibenden chemischen Zusatzstoffe, bilden aus Sicht der Technikcharakterisierung ein gewisses Gefährdungspotenzial. Denn hier könnten langsame Prozesse in Gang kommen, deren Wirkungen sich erst in späterer Zeit zeigen. Einzelne Experten weisen allerdings darauf hin, dass sich entstandene Risse grundsätzlich durch Selbstheilung auch wieder schließen können, sobald die Wirksamkeit der Stützmittel nachlässt. Dass sich Risse durch Ablagerungen und Ausfällungen aus durchsickerndem Wasser wieder schließen können, ist durch unzählige geschlossene bzw. verheilte Klüfte im Untergrund empirisch belegt. Eine derartige Heilung kann rund 100 bis 1.000 Jahre dauern. Je tiefer im Untergrund die Eingriffe stattfinden, desto langsamer verläuft dieser Prozess (von Gleich et al. 2014, S. 84).

### Seismische Phänomene

Fracking in Gaslagerstätten führt (gewolltermaßen) zu einer Freisetzung von Erdgas aus dem Muttergestein und dadurch zu einer Hohlraumbildung, die ggf., je nach entnommener Menge und konkreten Verhältnissen vor Ort, auch zu lokalen Erdbeben führen kann. Außerdem können Schwachstellen in der Gesteinsmatrix getroffen werden, und es kann entlang von Störungszonen zu ungewollter Migration der Frackflüssigkeiten kommen. Deshalb spielt in den Diskussionen um Fracking die mögliche induzierte Seismizität eine Rolle.

Darunter sind allgemein Erderschütterungen zu verstehen, die durch menschliche Eingriffe im Untergrund verursacht bzw. ausgelöst werden. »Allgemein lässt sich sagen, dass bei jeder Gewinnung von Rohstoffen (Salz, Braunkohle, Steinkohle, Kohlenwasserstoffen) seismische Ereignisse, obgleich selten spürbar, als eine feste Begleiterscheinung auftreten können« (Dannwolf et al. 2014, AP6-31). Anthropogene Einflüsse wie Fracking können also grundsätzlich Erdbeben auslösen (Ewen et al. 2012), was eine Beeinträchtigung der tragenden Eigenschaft des Muttergesteins zur Folge hat. Hierbei muss jede Lager-



stätte in ihrem geologischen Umfeld als Einzelfall betrachtet werden. Dabei spielen mehrere Faktoren, wie z. B. die Lage in Bezug zu tektonischen Zonen und die Größe der Lagerstätte, eine Rolle. Auch kann in seismisch aktiveren Zonen Seismizität durch Fracking eher getriggert werden als in seismisch weniger aktiven Gegenden, womit gemeint ist, dass Erdbeben aufgrund natürlich bestehender Gesteinsspannungen stattfinden, aber durch den Eingriff ausgelöst werden. Andruseit et al. (2012, S. 46) gehen davon aus, dass sowohl durch Fracking getriggerte als auch induzierte Seismizität durch Vermeidung entsprechender Zonen bzw. Modellrechnungen im Vorfeld eingeschätzt werden können.

Dannwolf et al. (2014, AP6-43 ff.) untersuchen detailliert die Wahrscheinlichkeit von induzierter Seismizität in fühlbarer Stärke beim Fracking in unkonventionellen Standorten, in den Phasen a. des Bohrens, b. beim Fracking im engeren Sinne, c. der Gasproduktion und d. der Verpressung von rückgeflossenen Frackingfluiden bzw. gefördertem Lagerstättenwasser:

- a In Bezug auf das Bohren konstatieren Dannwolf et al. (2014, AP6-43), dass »bisher weltweit noch niemals spürbare seismische Ereignisse beim Bohren selbst induziert worden« sind (und schlagen vor, die Bohrphase als Explorationsphase zu begreifen und, ggf. durch Minifrac, für Spannungsmessungen im Untergrund zu nutzen).
- b Auch das Fracking im engeren Sinne wird in der Regel als »unerheblich bezüglich der Induzierung spürbarer Ereignisse angesehen« (Dannwolf et al. 2014, AP6-43), wenn die Frackingregion nicht schon tektonisch kritisch vorgespannt ist, also zu natürlicher Seismizität neigt. Nur in dem Fall, dass bereits natürliche und ungünstig ausgerichtete Spannungen im Untergrund vorhanden sind, sei dies anders. Derartige Gegebenheiten seien allerdings bereits im Rahmen der natürlichen Seismizität auffällig. Während der Durchführung von Frackingarbeiten wurden bisher weltweit nur an zwei Standorten kleinere seismische Ereignisse beobachtet (in Oklahoma, USA, und Blackpool, UK), die sich auf Fracking zurückführen lassen (Dannwolf et al. 2014, AP6-43 f.). Vergleicht man dies mit stattgefundenem Fracking an 35.000 Standorten in den USA ohne spürbare Seismizität (NRC 2012), so sind diese sicherlich absolute Ausnahmen.
- c In der Betriebsphase wird bei Gasgewinnung aus unkonventionellen Lagerstätten kein Fluid injiziert. Die entnommenen Gasvolumina sind, etwa im Vergleich zur Ausbeutung konventioneller Gaslagerstätten, klein, »sodass die Gefährdung durch induzierte Seismizität während der Betriebsphase als gering eingestuft werden kann. Aus der Literatur wurden seismische Ereignisse, die in der Betriebsphase generiert wurden, nicht bekannt« (Dannwolf et al. 2014, AP6-48).
- d Hinsichtlich der Verpressung von rückgeflossenen Frackingfluiden bzw. gefördertem Lagerstättenwasser konstatieren Dannwolf et al. (2014, AP6-53): »Grundsätzlich können unkontrollierte Fluidinjektionen kleine seismische



Ereignisse induzieren. Es zeigt sich jedoch, dass die Auswahl gut permeabler Schichten als Injektionshorizont und ein ausgeglichenes Reservoirmanagement (Injektionsdruck, Injektionsrate, Verpressvolumen, Reservoirdruck) das geringe Risiko induzierter Seismizität hier nochmals deutlich verringern kann.« Dies bestätigt sich empirisch sowohl in den USA, wo bezogen auf eine Vielzahl von Verpressungsvorgängen nur relativ wenige induzierte Ereignisse zugeordnet werden konnten (Dannwolf et al. 2014, AP6-51), als auch in Norddeutschland, wo basierend auf Informationen von ExxonMobil, die aktuell 13 aktive und 9 inaktive Injektionsbohrungen im norddeutschen Raum unterhalten, kein Zusammenhang zwischen durchgeführten Injektionen und seismischen Ereignissen gefunden wurde (Dannwolf et al. 201, AP6-52).

Bei der Abschätzung der seismischen Risiken in Zusammenhang mit Fracking in unkonventionellen Gaslagerstätten spielen Erfahrungen mit Geothermieprojekten eine gewisse Rolle. Sowohl in Bezug auf die Bohr- und Fracking- als auch die Verpressungsphase können Parallelen gezogen werden, wobei selbstverständlich auch die Unterschiede hinsichtlich der manipulierten geologischen Formationen und technischen Parameter berücksichtigt werden müssen (Dannwolf et al. 2014, AP6-24).

Insgesamt ergibt sich in Bezug auf möglicherweise ausgelöste seismische Phänomene folgendes Bild: »Bohrlochbergbau beinhaltet genau wie jeder andere Eingriff in den unter Umständen mechanisch vorgespannten Untergrund eine Gefährdung im Hinblick auf die Induzierung von Erderschütterungen. Verglichen mit anderen Bergbauzweigen zur Gewinnung von Energierohstoffen ... ist die seismologische Gefährdung bei der Gewinnung von Schiefergas eher gering. Dies gilt insbesondere für die Betriebsphasen Bohren, Fracken, Produktion und Rückbau. Bei der Betriebsphase Reinjektion von Flowback-/Produktionswasser (Verpressbohrung) ist jedoch eine seismologische Gefährdung grundsätzlich nicht auszuschließen.« (Dannwolf et al. 2014, AP6-84) Hierbei ist auch die Stärke möglicherweise ausgelöster seismischer Ereignisse zu beachten: Während Ereignisse weit unterhalb der Spürbarkeitsgrenze immer auftreten können, sind spürbare Ereignisse selten und nur in sehr seltenen Fällen sind geringfügige Schäden (z. B. Putzrisse) möglich.

### **Verschmutzung des Wasserkörpers**

Durch unvorhergesehene Rissbildung beim Fracking, geologische Störzonen oder technische Defekte und Fehler (Kap. 7.3.2) können neben dem eigentlichen Zielsystem von Frackingmaßnahmen weitere Systeme oder Bereiche im Untergrund in unvorhergesehener Weise betroffen sein. In der Öffentlichkeit gilt eine wesentliche Sorge den oberflächennahen Grundwässern oder Oberflächengewässern und der Frage, wie verhindert werden kann, dass es hier zu Kon-



taminationen kommt.<sup>70</sup> Die Frackingfluide, aufsteigende Gase und Lagerstättenwasser (mit gelösten, teilweise toxischen oder radioaktiven Stoffen) müssen hier grundsätzlich in Betracht gezogen werden. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass durch Fehler oder Unfälle (Kap. 7.3.2) Gase oder Flüssigkeiten z. B. entlang der Auskleidung des Bohrlochs aufsteigen oder durch Leckagen, z. B. besonders lange Fracks, migrieren können (Junghans/Bryner 2013).

Durch den hohen Druck und die hohen Temperaturen unter Tage sind chemische Transformationen der Frackingfluide zu erwarten. Die Transformations- und Abbaureaktionen sowie Sorptions- und Lösungsprozesse entlang der Fließpfade sind weitgehend unbekannt (ahu AG et al. 2012). Durch die mindestens teilweise Irreversibilität des Einbringens der Frackingfluide ergibt sich eine potenzielle Quelle für Überraschungen. Die Prozesse laufen langsam ab. Jede Frackingoperation trifft auf jeweils spezifische Verhältnisse im Untergrund. Diese Komplexität konfrontiert die explorativen Experimente mit Nichtwissen. So sind Fragen z. B. nach der Art und Menge des Lagerstättenwassers und dessen Zusammensetzung – je nach Gesteinsformation und durchgeführten Frackingmaßnahmen können hohe Konzentrationen an Salzen, Schwermetallen, flüchtigen Bestandteilen und radioaktiven Stoffe enthalten sein – im Vorfeld nicht eindeutig zu beantworten (Dannwolf et al. 2014; Faulstich et al. 2013).

Die Migrationsfähigkeit der eingepressten und gelösten Chemikalien ist zum einen abhängig von den Eigenschaften dieser Chemikalien und zum anderen von der Durchlässigkeit der die Frackingbereiche umgebenden Gesteinsformationen. Es können Schwachstellen in der Matrix getroffen werden, und es kann in der Folge entlang von Störungszonen zu ungewollten Fluidmigrationen (Frackingfluid und Lagerstättenwasser) kommen. Je genauer die Gesteinschichten, die eine Lagerstätte umgeben, erkundet und beschrieben sind, desto besser lassen sich Voraussagen hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit ungewollter Fluidmigrationen treffen (Bergmann et al. 2014).

Diesen grundsätzlichen Risiken kann auf verschiedenen Wegen begegnet werden. Zum einen fordert die rechtliche Neuregelung aus dem Jahr 2016 (Kap. 7.2.2) den Einsatz von nicht wassergefährdenden Frackingfluiden bei Fracking in unkonventionellen Lagerstätten zu wissenschaftlichen Zwecken, sodass die Schwere der Folgen etwaiger unerwünschter und unvorhergesehener Fluidmigrationen begrenzt wird. Zum anderen kann je nach der Verfügbarkeit standortbezogener Daten mittels Modellrechnungen im Vorfeld die mögliche Beeinflussung von benachbarten Systemen abgeschätzt werden. Beispielsweise lässt sich die Ausbreitung von Rissen in situ mit seismischen Messungen ver-

<sup>70</sup> Hier sind sehr oberflächennahe Gewässer wichtig, denn »aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung ist Grundwasser ... ab einer Tiefe von etwa 50 bis zu wenigen hundert Metern wegen der teilweise sehr hohen Salzgehalte sowie hohen Konzentrationen an Spurenmعادallen und natürlichen radioaktiven Stoffen für die Trinkwassergewinnung absolut ungeeignet – wobei regional große Unterschiede bestehen können« (Acatech 2015, S. 39). Zum abweichenden Verständnis der Legaldefinition von Grundwasser Engelhardt/Louis (2014).



folgen und deren Form und Größe abschätzen (von Gleich et al. 2014, S. 83). In der Studie von Andruleit et al. (2012) wurden generelle, standortunabhängige Modellrechnungen aufgestellt, denen Daten realer Tiefbohrungen zugrunde liegen. Mittels standortbezogener Daten können die Modellrechnungen das jeweilige Verhalten einer Frackingmaßnahme genauer darstellen (von Gleich et al. 2014, S. 83).

### **Vulnerabilität anderer möglicherweise betroffener Systeme**

Wie bereits in Kapitel 7.3.2 beleuchtet, können durch Unfälle und technische Defekte weitere Systeme an der Oberfläche in der Nähe der Bohrstandorte betroffen sein. Hierbei könnten insbesondere Böden und oberflächennahes Grundwasser kontaminiert werden. Diese Unfälle haben einen technischen Charakter und lassen sich mit den entsprechenden Vorkehrungen, dem Einhalten von Sicherheitsstandards und der Orientierung an der besten fachlichen Praxis minimieren. Sollten sie dennoch auftreten, kann ihnen in der Regel entgegengewirkt werden. Denn die Wirkungsmodelle für Kontaminationen durch Frackingfluide oder sonstige Chemikalien gelten als bekannt, sodass bei Überraschungen ausreichend Wissen vorhanden ist, um auf derartige Unfälle adäquat zu reagieren.

### **Gesamtabschätzung**

Eine Gesamtabschätzung des Nichtwissens bei Frackingexperimenten im Hinblick auf etwaige unerwünschte Folgen gibt aus Sicht der Technikcharakterisierung keinen Anlass zu großer Besorgnis. Demnach kann das bestehende Nichtwissen durch wissenschaftliche Forschung (empirische Daten und sich fortentwickelnde Modellierungen) in so hohem Maße in Wissen umgewandelt werden, dass große und unverantwortbare Risiken als extrem unwahrscheinlich eingeschätzt werden können. Die technischen Risiken erscheinen Expertinnen zufolge als weitgehend beherrschbar. Durch entsprechendes wissenschaftliches Know-how und Best Practice, unterstützt durch technische Monitoringmaßnahmen, lassen sich die Gefährdungspotenziale soweit einhegen, dass die explorativen Experimente zur wissenschaftlichen Wissensgewinnung verantwortlich durchgeführt werden können.

---

### **7.3.4 Zwischenfazit**

Auftretendes Nichtwissen bei Fracking ist u. a. der Komplexität des geologischen Untergrunds mit den dort auftretenden physikalischen und chemischen Besonderheiten sowie einer nur unvollständigen Erkundung insbesondere tieferer Schichten geschuldet. Davon sind unter anderem mögliche unvorhergesehene Migrationen, Transformationen und der Verbleib von eingebrachten und



aus dem Gestein gelösten Chemikalien sowie die Wirkungen der Chemikalien betroffen. Es können grundsätzlich zudem seismische Phänomene ausgelöst werden.<sup>71</sup>

Die Folgen von Frackingexperimenten haben, etwa im Gegensatz zu Experimenten beim Climate Engineering (Kap. 8), nur begrenztes räumliches Ausbreitungspotenzial. Frackingexperimente haben so gesehen vergleichsweise eingeschränkte Wirkungshorizonte. Der Rahmen, in dem solche Experimente in Deutschland durchgeführt werden können, ist engmaschig reguliert (Kap. 7.2.2); Bergbau- und Wasserrecht spielen die zentrale Rolle. Außerhalb von wissenschaftlichen Experimenten ist Fracking an unkonventionellen Standorten derzeit in Deutschland grundsätzlich verboten.

Die gewissen Freiräume, die wissenschaftlichen explorativen Experimenten zum unkonventionellen Fracking eingeräumt werden, dienen dazu, weiteres Wissen über die komplexen Bedingungen im Untergrund zu generieren. Empirische, über Bohrungen erhobene Daten über mögliche Effekte von Fracking in unkonventionellen Lagerstätten sind in Deutschland bisher nur eingeschränkt vorhanden. Um den Datenlücken zu begegnen, werden bislang meist Vergleiche und Modellierungsergebnisse herangezogen.

Die wenigen, nach derzeitiger Gesetzeslage grundsätzlich möglichen wissenschaftlichen Experimente zum unkonventionellen Fracking müssen durch eine unabhängige Expertenkommission begleitet werden. Damit soll sichergestellt werden, dass das durch die Experimente generierte Wissen aufgearbeitet und für die Weiterentwicklung der Regulierung nutzbar gemacht werden kann bzw. auftretende Überraschungen und potenzielle Risiken unvoreingenommen bewertet werden können.

In Anbetracht der in Kapitel 2.4.2 angesprochenen unterschiedlichen Nicht-wissenskulturen ist die Einrichtung einer begleitenden unabhängigen Kommission als positiv zu bewerten. Wie im Folgenden diskutiert wird, gilt dies allerdings insbesondere dann, wenn dies nicht als Endpunkt, sondern als Startpunkt gesellschaftlicher Partizipation begriffen wird.

---

## 7.4 Partizipation beim Fracking<sup>72</sup>

Die Diskussion über die Technologie des Frackings verlief bzw. verläuft (nicht nur) in Deutschland äußerst kontrovers (Faulstich et al. 2013, S. 5). Die Befürworterinnen der Technik verweisen auf die erwarteten wirtschaftlichen Vorteile

---

71 Diese Unbekannten haben den Sachverständigenrat für Umweltfragen veranlasst, jede Frackingoperation in einer Form zu beschreiben, die diese Operation gewissermaßen zu einem explorativen Experiment macht (Faulstich et al. 2013, S. 39): »Der Einsatz des Frackings im neuen Anwendungsfeld unkonventioneller Erdgasförderung birgt Risiken, deren Natur und Größenordnung sich häufig erst im Prozess der Anwendung und Weiterentwicklung herausstellen werden.«

72 Dieses Kapitel basiert in wesentlichen Teilen auf dem Gutachten von Wehling 2015a.

und halten die ökologischen Risiken des Verfahrens für grundsätzlich beherrschbar, auch wenn immer wieder auf bestehende Wissenslücken hingewiesen wird. Demgegenüber heben die Kritiker aus Zivilgesellschaft und Teilen von Politik und Wissenschaft die aus ihrer Sicht erheblichen, noch ungeklärten, möglicherweise nicht beherrschbaren und womöglich irreversiblen Gefahren für Umwelt und menschliche Gesundheit hervor.

Wie in Kapitel 5 ausgeführt, kann bei der Analyse von Partizipation, d. h. gesellschaftlicher Teilhabe an Diskussions- und Gestaltungsprozessen, zwischen eingeladenen und uneingeladenen Partizipation unterschieden werden, so auch beim Fracking.

---

#### 7.4.1 Uneingeladene Partizipation

Das Bedürfnis nach Beteiligung der deutschen Bevölkerung lässt sich dadurch illustrieren, dass sich im Jahr 2015 mehr als 2.000 Gemeinden zu »Fracking-freien Gemeinden« erklärten (BUND 2015, S. 34). Viele Bundesländer setzten sich zumindest für ein Frackingmoratorium ein. Insbesondere vor der Novellierung der deutschen Gesetzgebung zum Fracking im Jahr 2016 war die Diskussion durch rege, uneingeladene Partizipation gekennzeichnet. Die Vereinigung »Gegen Gasbohren« besteht aus einem Zusammenschluss von 25 zumeist lokalen Bürgerinitiativen, vor allem aus Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen, und fordert (ebenso wie Umweltverbände und einige politische Parteien) ein generelles Verbot des Einsatzes der Frackingtechnologie zur unkonventionellen Erdgasförderung. Weitere zivilgesellschaftliche Gruppierungen wie der Bundesverband Bürgerinitiativen Umweltschutz (BBU) oder der Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland (BUND) beteiligen sich an der Debatte um Fracking. Die entsprechenden Aktivitäten umfassen die Veröffentlichung von Stellungnahmen, Dokumentationen, Pressemitteilungen oder öffentlichen Appellen (GG 2014a, b, c, d, e, 2015a u. b). Nach der Neuregelung des Frackings im Jahre 2016 scheint das Thema zumindest in der breiteren Öffentlichkeit stärker in den Hintergrund getreten zu sein, was jedoch vermutlich auch damit zusammenhängt, dass zunächst keine konkreten Anträge auf Experimente zum Fracking in Schiefergaslagerstätten gestellt wurden.<sup>73</sup>

In ihrer Rolle als Akteure, die den gesellschaftlichen Widerstand gegen Fracking vorantreiben, sind diese Initiativen gleichzeitig epistemische Akteure, die das Wissen und Verständnis über das Themenfeld beeinflussen, indem sie unbequeme Fragen stellen und scheinbar sicheres Wissen hinterfragen. Zivilgesellschaftliche Akteure tragen damit wesentlich dazu bei, die Wahrnehmungen

---

73 Dass sich das in dem Moment ändern könnte, in dem entsprechende Anträge gestellt werden, lässt sich am Medieninteresse ablesen, das eine Meldung zur bloßen Absicht des Bundesrates zur Einsetzung der im Gesetz vorgesehenen begleitenden Expertenkommission hervorgerufen hat (z. B. [www.n-tv.de/politik/Bund-ebnet-Weg-fuer-Fracking-Bohrungen-article20443705.html](http://www.n-tv.de/politik/Bund-ebnet-Weg-fuer-Fracking-Bohrungen-article20443705.html); 17.4.2019).



und Bewertungen von Nichtwissen im Kontext der Diskussion um Fracking zu pluralisieren und zu politisieren.

Zur Illustration dient die Initiative »Gegen Gasbohren«, die in der Vergangenheit in Deutschland zu den aktivsten Kritikern des Frackings in unkonventionellen Lagerstätten gehörte. Der zentrale Einwand der Initiative richtet sich gegen die Prämisse der Befürworter/-innen des Frackings, das Verfahren sowie die damit möglicherweise einhergehenden negativen Effekte für Mensch und Umwelt wären beherrschbar (GG 2015a, S. 13 ff.). Die Initiative identifiziert, häufig unter Bezug auf Berichte aus den USA, potenziell human- und umweltschädliche Konsequenzen über alle Phasen der unkonventionellen Erdgasförderung hinweg, von der Erstellung des Bohrlochs über den eigentlichen Frackingprozess, die Erdgasaufbereitung und die Entsorgung des Flowback bis hin zur Versiegelung von Förderplätzen. Thematisiert werden dabei ein mögliches Versagen der Technik und menschliche Bedienungsfehler. Wesentlich ist zudem ein zweiter Ausgangspunkt der zivilgesellschaftlichen Kritiker, wonach viele der relevanten Risiken, die an geologische Störungszonen, hydrogeologische Verhältnisse, Ausprägung der Deckschichten etc. gebunden wären, »überwiegend standortspezifische Merkmale« darstellten und »kaum zu verallgemeinern« sind (Aktionsbündnis No Moor Fracking 2015, S. 1).

Diese Bedenken lassen sich aus der Perspektive verschiedener Nichtwissenskulturen (Kap. 2.4) so interpretieren, dass im Gegensatz zu einer kontrollorientierten wissenschaftsbasierten Perspektive hier eine komplexitäts- und einzelfallorientierte Nichtwissenskultur geltend gemacht wird. Sie geht davon aus, dass Risiken und Fehlerquellen beim Fracking durch generalisierendes Wissen nicht restlos antizipiert und ausgeschaltet werden können. Aus diesen Gründen wird ein generelles Verbot der für umwelt- und gesundheitsgefährdend und nicht gänzlich beherrschbar gehaltenen Technologie gefordert.

Außerdem wurde im Rahmen der uneingeladenen Partizipation noch ein weiterer wichtiger Aspekt in die Diskussion um Fracking in Deutschland eingebracht: Gegen Gasbohren und andere zivilgesellschaftliche Organisationen gründen beziehen in die Diskussion auch den energiepolitischen und wirtschaftlichen Kontext mit ein. So wird die Position von Befürwortern von Frackingexperimenten kritisiert, die aus Sicht von Gegen Gasbohren nicht überzeugend argumentieren, in Deutschland könnten der Gaspreis durch Fracking stabilisiert, die Abhängigkeit von Gasimporten verringert und Arbeitsplätze geschaffen oder gesichert werden (GG 2015a).

Auch wenn diese Fragestellungen an dieser Stelle nicht näher untersucht werden können, erscheint die Erweiterung der Diskussion über Fracking über Wissens- und Risikoaspekte hinaus angemessen, da gerade in Situationen kontrastierender Deutungen des Nichtwissens auch der gesellschaftliche Nutzen sowie Gerechtigkeitsfragen (etwa die Häufung potenzieller Risiken in bestimmten Regionen) Teil einer Gesamtbewertung sein müssen. In jedem Fall schlägt als



möglicher Nachteil und politisches Risiko des Fracking jenseits aller ökologischen Risikoaspekte zu Buche, dass durch den Einstieg in diese Technologie die auch von der Bundesregierung angestrebte Energiewende weg von fossilen und hin zu erneuerbaren Energieträgern konterkariert und verzögert werden könnte, zumal auch die Rede vom »sauberen Erdgas« schon angesichts der Fördermethoden des Fracking erheblich relativiert werden müsse (GG 2015a, S.2 ff.).

---

### 7.4.2 Eingeladene Partizipation

Das Engagement von kritischen zivilgesellschaftlichen Organisationen gegen eine neue Technologie außerhalb von geregelten Prozessen der Genehmigung etc. wird von den Befürwortern oft kritisch gesehen. Als Teil eines demokratischen Diskussions- und Entscheidungsprozesses trug es jedoch auch beim Beispiel des Frackings dazu bei, bei der gesetzlichen Neuregelung Formen der eingeladenen Partizipation zu erweitern, d. h. die Öffentlichkeit an Entscheidungen stärker zu beteiligen. Wie in Kapitel 7.2.2 bereits ausgeführt wurde, führt die seit der rechtlichen Neuregelung 2016 geltende UVP-Pflicht zu einer geregelten Öffentlichkeitsbeteiligung im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung (§ 18 UVPG).

Weniger eindeutig ist die gesetzlich vorgesehene Expertenkommission zur Begleitung von Experimenten des Frackings an unkonventionellen Lagerstätten im Hinblick auf zivilgesellschaftliche Partizipation zu beurteilen. Zunächst ist einer zivilgesellschaftlichen Partizipation förderlich, dass das in der Expertenkommission gesammelte Wissen in jährlichen Erfahrungsberichten zusammengetragen und veröffentlicht werden soll (Kap. 7.2.2). Ebenso soll durch die Weisungsunabhängigkeit der Kommission einer zu starken Einflussnahme von Interessenvertretern vorgebeugt werden. Gleichzeitig ist im Hinblick auf den Umgang mit (Nicht-)Wissen bzw. den unterschiedlichen Nichtwissenskulturen auffällig, dass die Expertenkommission, die über die Unbedenklichkeit von Erprobungsmaßnahmen und eventuell auch kommerziellen Bohrungen urteilen soll, ausschließlich mit Vertreterinnen von staatlichen Behörden und Forschungseinrichtungen besetzt wird (Kap. 7.2.2).

Somit sind in dieser Expertenkommission weder Vertreter der lokal und regional betroffenen Bevölkerung noch Mitglieder von Umwelt- und Naturschutzverbänden vorgesehen. Die Integration kritischer zivilgesellschaftlicher Sichtweisen ist somit nicht beabsichtigt. Dies ist insbesondere in Bezug auf die zuvor ausgeführten Rollen derartiger Akteure als epistemische Akteure als Manko im Hinblick auf das Finden von ausgewogenen Positionen anzusehen. Denn die gesellschaftspolitische Entscheidung über die Bedenklichkeit oder Unbedenklichkeit von Frackingmaßnahmen wird an ein traditionelles Expertengremium vergeben, das zwar per Gesetz eingesetzt wird, selbst aber nicht de-



mokratisch legitimiert und auch unabhängig von Weisungen demokratisch legitimer Institutionen ist. Das soll mit Verweis auf objektive und neutrale wissenschaftliche Bewertungsgrundlagen gerechtfertigt werden. Dieser Anspruch muss nach den in Kapitel 2.4 diskutierten Aspekten, wie z. B. unterschiedlichen Wissens- und Nichtwissenskulturen, jedoch als Fiktion betrachtet werden.

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen eröffnete hierzu 2013 zumindest partiell eine andere Perspektive, als er für eine systematische Auswertung der von ihm vorgeschlagenen Pilotprojekte plädierte, die dazu dienen sollte, mögliche Umweltgefahren genauer zu untersuchen und über einen gewissen Zeitraum durch Risikoforschung und Monitoring zu begleiten. Dabei sollte »die Öffentlichkeit ... fortlaufend in den Prozess und die Auswertung der Pilotvorhaben eingebunden sein. Dies gilt insbesondere hinsichtlich der Bedingungen, unter denen Fracking langfristig genehmigt werden kann« (Faulstich et al. 2013, S. 41).

---

### 7.4.3 Beispiel InfoDialog Fracking

Bemerkenswerterweise ist das bisher einzige größere Beteiligungsverfahren zum Fracking in der Bundesrepublik von einem privatwirtschaftlichen Akteur, dem Energieunternehmen Exxon Mobil, initiiert und organisiert worden. Der »Informations- und Dialogprozess über die Sicherheit und Umweltverträglichkeit der Frackingtechnologie« (InfoDialog-Fracking) begann im April 2011 und dauerte ein Jahr (Borchardt et al. 2012; Ewen et al. 2012; Saretzki/Bornemann 2014). Dabei beteiligten sich »rund 50 gesellschaftliche Gruppen – Kommunen, Wasserversorger, Bürgerinitiativen, Kirchen und Verbände – ... an einem Arbeitskreis gesellschaftlicher Akteure. Ein unabhängiges Wissenschaftlerteam bearbeitete umfassend die Umwelt- und Sicherheitsrisiken der Frackingtechnologie ... und legte nach einjähriger Arbeit eine umfassende Studie vor« (Borchardt et al. 2012, S. 10).

Die als Neutraler Expertenkreis bezeichnete Wissenschaftlergruppe nahm in dem Verfahren eine zentrale Rolle ein. Saretzki und Bornemann sprechen in ihrer kritischen Analyse des Verfahrens zwar davon, dass durch den Unternehmensdialog ein Raum für die geordnete Behandlung von Risikokontroversen geschaffen wurde. Sie konstatieren aber, dass dies mit einer speziellen Aufgaben- und Rollenverteilung zwischen den beteiligten Akteursgruppen einhergeht. Demnach können Bürgerinnen und Bürger »... Informationsfragen stellen (insbesondere schriftliche per Mail) oder als Gäste an bestimmten Veranstaltungen des Dialogs teilnehmen, Vertreter gesellschaftlicher Interessengruppen können diese Fragen der Bürger durch eigene Anliegen ergänzen, wissenschaftliche Experten bearbeiten einige ausgewählte Fragen im Rahmen ihrer jeweiligen Expertise.« Und weiter: »Die Rolle eines neutralen Konfliktvermittlers oder



unparteilichen Schiedsrichters kann der [InfoDialog] nicht spielen, da sein Expertenkreis zugleich als Anwalt für einen bestimmten politischen Umgang mit der umstrittenen Frackingtechnologie auftritt.« (Saretzki/Bornemann 2014, S. 80)

In seiner abschließenden Bewertung räumt der Neutrale Expertenkreis selbst ein, beim Fracking bestünden im Vergleich zur konventionellen Erdgasförderung »neuartige Risikobereiche« (Borchardt et al. 2012, S. 11), und hebt auch die bestehenden Unsicherheiten und Wissenslücken hervor. Er empfiehlt deshalb eine Herangehensweise in »vorsichtigen Schritten«, wonach zunächst nur die Erkundung der Lagerstätten und der Betrieb einzelner Demonstrationsvorhaben ermöglicht werden sollten.<sup>74</sup> Dennoch kommen die Experten, überraschenderweise schon bevor diese Maßnahmen durchgeführt und ausgewertet sind, zu einem sehr weitreichenden Schluss: »Für ein generelles Verbot der Frackingtechnologie sieht der Neutrale Expertenkreis keine sachliche Begründung. Er hält die Technologie für kontrollierbar, wenn entsprechend seiner Empfehlungen vorgegangen wird.« (Borchardt et al. 2012, S. 12)

Saretzki und Bornemann (2014, S. 78 f.) weisen darauf hin, dass der Neutrale Expertenkreis mit dieser Aussage seinen Anspruch auf wissenschaftliche Objektivität und Neutralität selbst dementiert. Denn eine solche Schlussfolgerung kann niemals rein sachlich begründet sein, sondern ist immer das Ergebnis einer auch normativen oder politisch motivierten Abwägung zwischen den grundsätzlich gleichermaßen sachlichen Gründen für und gegen ein Frackingverbot. Überdies wird damit allen Befürwortern eines Verbots implizit unterstellt, sie könnten letztlich nur unsachliche (irrationale, uninformierte, ideologisch motivierte) Begründungen für diese Forderung vorbringen – eine schlechte Voraussetzung für einen gleichberechtigten Dialog. Unabhängig davon ist in jedem Fall bemerkenswert, dass sowohl in der gesetzlichen Regelung von 2016 als auch im InfoDialog Fracking von Exxon Mobil auf die Fiktion einer vermeintlich neutralen wissenschaftlichen Expertenrationalität gesetzt wird, um die letztlich politische Frage nach dem Einstieg in das Experiment Fracking zu beantworten.

---

### 7.5 Fazit: Fracking als Realexperiment

Folgt man der Auffassung des SRU (Faulstich et al. 2013, S. 39), wonach die Natur und Größenordnung von Risiken des Fracking sich »häufig erst im Prozess der Anwendung und Weiterentwicklung herausstellen« werden, dann hat

---

74 Dabei hält der Expertenkreis eine Beteiligung der lokal betroffenen gesellschaftlichen Akteure für wesentlich – wovon in der gesetzlichen Regelung der Bundesregierung, abgesehen von der UVP-Pflicht, wenig zu sehen ist: »Bei Erkundungs- und Demonstrationsvorhaben sollten die Bürgerinnen und Bürger vor Ort, die lokale Politik sowie lokale Akteursgruppen beteiligt werden.« (Borchardt et al. 2012, S. 13)



man es beim Fracking in unkonventionellen Lagerstätten mit einem explorativen Experiment unter Nichtwissensbedingungen zu tun, bei dem Wissensgewinn letztlich nur durch Anwendung und Erprobung der Technik unter je spezifischen lokalen Bedingungen möglich ist. Dieser Auffassung folgt die seit 2016 geltende gesetzliche Regelung, indem sie unkonventionelles Fracking nur an wenigen Standorten zu wissenschaftlichen Zwecken zulässt und die wissenschaftliche Begleitung einer Expertenkommission überträgt.

Zwei Schwierigkeiten im Hinblick auf eine als demokratisch legitimiert wahrgenommene und somit zur gesellschaftlichen Akzeptanz beitragende Entscheidungsfindung lassen sich an dieser Vorgehensweise identifizieren.

### **Spezifität der Standorte**

Bei der Bewertung der möglichen Gefahren kommt es immer auch auf die lokalen, standortbezogenen Gegebenheiten an (Faulstich et al. 2013, S. 38), die durch Modellierungen, Simulationen, Extrapolationen und punktuelle Probebohrungen nur begrenzt zugänglich und erschließbar sind. Letztlich handelt es sich beim Fracking in unkonventionellen Lagerstätten nicht um eine routinemäßige Anwendung einer vielfach erprobten und zuverlässigen Technologie, wie manche Befürworter argumentieren. Stattdessen hat man es mit einer experimentellen Exploration der Effektivität und der Nebenfolgen des Frackings unter jeweils singulären, nur partiell vergleichbaren und verallgemeinerbaren Kontextbedingungen zu tun. So ist zwar ein Spektrum denkbarer Effekte grundsätzlich bekannt, aber das Gefährdungspotenzial an einem spezifischen Standort (ungeplante Rissbildung, Vorhandensein von Störungen etc.) lässt sich nur begrenzt antizipieren. Nicht von vorneherein vollständig abgrenzbar sind auch die räumlichen und zeitlichen Wirkungshorizonte von Frackingfolgen (z. B. räumliche Ausbreitung der Frackingfluide oder langfristige Auswirkungen der Verpressung des Flowbacks in den Untergrund).

Die Frage bleibt daher offen, inwieweit das Experimentieren an einzelnen Standorten zu verallgemeinerbaren und daher standortübergreifenden Erkenntnissen führt. Vor diesem Hintergrund wählt der SRU eine vorsichtige Formulierung, wenn er 2013 Pilotprojekte zur Erforschung der Frackingrisiken vorschlägt. Ziel dieser Forschungen soll es sein, »so viele verallgemeinerungsfähige Erkenntnisse wie möglich« zu erzeugen (Faulstich et al. 2013, S. 40 f.).

### **Einbezug der kontrastierenden Nichtwissenskulturen in eine Entscheidungsfindung**

Anders als etwa bei der Grünen Gentechnik ist es beim Fracking also vor allem die lokale, standortspezifische Singularität des Technikeinsatzes, die konstitutiv ist für die Problematik und die kontrastierenden Wahrnehmungen des Nichtwissens. Auch wenn von allen Beteiligten an der Debatte gleichermaßen auf beste-



hende Wissenslücken und unvollständige Kenntnis der Auswirkungen von Frackingmaßnahmen hingewiesen wird, besteht zwischen Befürworterinnen und Kritikern des Frackings ein fundamentaler Dissens hinsichtlich des Umgangs mit diesem Nichtwissen: Während die seit 2016 bestehende gesetzliche Regelung mit dem Expertenkreis und teilweise auch der SRU davon ausgehen, durch die Akkumulation von verallgemeinerbarem Risikowissen (durch Erprobungsmaßnahmen, Demonstrationsvorhaben und Pilotprojekte) den Technologieeinsatz kontrollierbar und damit verantwortbar machen zu können, halten manche zivilgesellschaftliche und politische Gruppierungen die Frackingtechnologie angesichts der Komplexität der Wirkungszusammenhänge und der Singularität der Bedingungen an den jeweiligen Bohrstandorten grundsätzlich weder für (vollständig) beherrschbar noch verantwortbar.

Beide kontrastierenden Argumentationsmuster erscheinen grundsätzlich nicht miteinander vereinbar zu sein. Bei genauer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass sie an unterschiedlichen Quellen von Nichtwissen ansetzen (Kap. 4.1): Die zivilgesellschaftlichen Kritiker sehen aufgrund der Komplexität der Zielsysteme bestehendes Nichtwissen als ausschlaggebend für die Ablehnung an. Das Argument (noch) bestehenden Unwissens allein kann jedoch nicht hinreichend sein, da es immer gilt und damit jegliche neue Technologie nicht genehmigungsfähig wäre. Entscheidend für weitreichende Vorsorgemaßnahmen bei explorativen Experimenten kann also nicht sein, ob bereits alles bekannt (oder wenigstens vorhersehbar) ist, sondern, ob aus guten Gründen mit weitreichenden Expositions- und Gefährdungspotenzialen gerechnet werden muss, ob also ernst zu nehmende Besorgnisgründe auf Basis des Charakters des Eingriffs vorliegen. Dieses Kriterium ist anschlussfähig an die Argumentationsmuster der Befürworter – hierbei geht es um die Charakterisierung des Eingriffs und die (strukturelle und ereignisbezogene) Vulnerabilität der Zielsysteme. Keine Technik ist vollständig beherrschbar. Viel entscheidender ist die Frage, wie die Intervention gestaltet werden kann, um Gründe zur Besorgnis ausreichend auszuräumen, und was im Falle eines Versagens im Sinne einer Rückholbarkeit getan werden kann.

Es ist einer als demokratisch legitimiert wahrgenommenen Entscheidungsfindung und somit der gesellschaftlichen Akzeptanz sehr förderlich, wenn beide stark kontrastierenden Standpunkte – ggf. entlang der skizzierten Argumentations- bzw. Fragenkette – in die Entscheidungsfindung und Begleitung von Experimenten zum Fracking einbezogen werden. Insofern ist die gesetzlich festgelegte Zusammensetzung der Expertenkommission als nicht optimal einzuschätzen.

In jedem Fall sollten Beteiligungsmöglichkeiten zivilgesellschaftlicher Akteure an der Bewertung der Risiken sowie des Wissens und Nichtwissens über die potenziellen ökologischen und gesundheitlichen Konsequenzen von Fracking erheblich erweitert werden. Dabei müssten sowohl Vertreterinnen der von



den Auswirkungen potenziell besonders betroffenen lokalen Bevölkerung als auch Umwelt- und Naturschutzverbände maßgeblich an der Auswertung der Versuche und an der Festlegung der weiteren Schritte beteiligt sein. Außerdem darf die gesellschaftliche Auseinandersetzung nicht lediglich auf »Wissenskonflikte über ausgewählte Risiken« (Saretzki/Bornemann 2014, S. 76) beschränkt werden. Gerade unter Bedingungen des Nichtwissens über die möglichen ökologischen und sozialen Risiken müssen auch die ökonomischen und politischen Vor- oder Nachteile einer Nutzung der Frackingtechnologie in eine Gesamtbeurteilung einbezogen werden.

Dabei könnte eine Kombination beider in diesem Hinterpapier skizzierten Ansätze zum Umgang mit Nichtwissen hilfreich sein: Während die Technikcharakterisierung darauf setzt, Besorgnisgründe als Auslöser für Vorsorgemaßnahmen bzw. Grundlagen für ein risikoärmeres Design zu identifizieren, baut der Ansatz des rekursiven Lernens intensiver auf die Integration von Betroffenen und Beteiligten in das Design, die Durchführung und die Nachsorge von Frackingexperimenten. Eine Kombination des stärker antizipierenden und des eher begleitend beobachtenden Ansatzes könnte dazu beitragen, Vertrauen und Glaubwürdigkeit in Gesellschaft und Politik zu gewinnen und etwaige Frackingexperimente demokratisch legitimiert durchführen zu können.





---

## 8 Explorative Experimente im Bereich Meeresdüngung mit Eisen<sup>75</sup>

---

### 8.1 Einführung: die Hoffnung auf eine Lösung des Klimaproblems

Der Klimawandel ist eines der drängendsten Umweltprobleme unserer Zeit. Konkrete, praktikable Möglichkeiten zu dessen Lösung sind schwierig zu finden und werden kontrovers diskutiert, weil die Vermeidung der Hauptursache des Klimawandels – das Verbrennen von fossilen Brennstoffen – eine tiefgreifende Veränderung unserer Produktionsweisen und Konsumgewohnheiten erfordert. Unter dem Oberbegriff des Climate Engineering – manchmal auch Geoengineering genannt – werden Technologien bzw. technische Eingriffe in das Erde-Atmosphären-System gefasst, mit denen eine weitere Erderwärmung abgeschwächt oder gar verhindert werden soll. Diese Technologien sind komplementär zur Bekämpfung der Ursachen des Klimawandels und setzen eine Abkehr von fossilen Brennstoffen nicht prinzipiell voraus (TAB 2014).

Eine dieser CE-Technologien, die insbesondere vor einigen Jahren lebhaft diskutiert wurde, ist die Meeresdüngung mit Eisen. Die Hoffnungen, die mit dieser Technologie verknüpft sind, hat der US-amerikanische Meeresforscher John H. Martin folgendermaßen ausgedrückt: »Give me half a tanker of iron, and I'll give you an ice age.« (Strong et al. 2009, S. 237) Der Grundgedanke der Technik ist, die Produktivität von Phytoplankton durch Eiseneinträge in den Ozean zu steigern, weil Eisen ein entscheidender limitierender Faktor des Phytoplanktonwachstums ist. Wenn Plankton wächst, wandelt es das Treibhausgas CO<sub>2</sub> in Biomasse um. Das im Plankton gebundene CO<sub>2</sub> sinkt beim Absterben in die Tiefen der Ozeane ab und führt so zu einem Kohlenstoffentzug aus der Atmosphäre. Auf diese Weise könnte die Eisendüngung der Ozeane den atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Anstieg abmildern und der globalen Erwärmung entgegenwirken (Boyd 2008).

Darüber, welche Wirkung die Meeresdüngung mit Eisen tatsächlich auf das Plankton und allgemeiner auf die Ökologie der Meere hat und in welchem Umfang damit CO<sub>2</sub> dauerhaft gebunden werden kann, gibt es jedoch noch nicht in hinreichendem Maße gesicherte Erkenntnisse. Solche Fragen sind vielmehr Gegenstand von Forschung. Belastbare Antworten darauf können Laborversuche allein nicht geben, da die systemische Reaktion des Ozeans auf den Eiseneintrag entscheidend ist. Aus diesem Grund wurden verschiedene aufwendige, großskalige Feldversuche – explorative Experimente im Sinne dieses Hintergrundpa-

---

<sup>75</sup> Wesentliche Bestandteile dieses Kapitels gehen auf das Gutachten von von Gleich et al. 2014 zurück.



piers – angeschoben und auch durchgeführt. Wesentliches Ziel dieser Experimente war, die Wirksamkeit von Meeresdüngung als CE-Technologie unter Realbedingungen und im großen Maßstab zu testen. Insofern ging es in erster Linie um eine Reduktion des Nichtwissens über die Wirksamkeit einer Technologie. Gleichzeitig sollten auch erwartete und gegebenenfalls unerwartete Nebenwirkungen der Technologie beobachtet und untersucht werden.

Wenn es um den Umgang mit Nichtwissen bei explorativen Experimenten geht, ist die Meeresdüngung mit Eisen ein geeignetes Untersuchungsfeld. Bis 2014 wurden weltweit 13 öffentlich bekannte große Ozeaneisendüngungsexperimente durchgeführt (Tab. 8.1). Diese Fälle können einerseits herangezogen werden, um zu untersuchen, wie jeweils mit Nichtwissen umgegangen wurde. Von besonderem Interesse ist dabei, auf welche Weise die gesellschaftlichen Akteure einbezogen wurden. Das Beispiel Eisendüngung kann andererseits dazu verwendet werden, die in Kapitel 4 vorgestellten Konzepte zum Umgang mit Nichtwissen, nämlich Technikcharakterisierung und rekursives Lernen bei Realexperimenten, auf ihre Anwendbarkeit und Tragfähigkeit hin zu prüfen und zu diskutieren.

Im Kapitel 8.2 werden zunächst die Idee der Eisendüngung als eine Technologie des Climate Engineering und deren naturwissenschaftliche Grundlagen geschildert, bevor in Kapitel 8.3 die bereits durchgeführten explorativen Experimente zur Meeresdüngung vorgestellt und verschiedene Aspekte des Nichtwissens bei diesen Experimenten angesprochen werden. In Kapitel 8.4 werden die rechtlichen und institutionellen Rahmenbedingungen der Experimente diskutiert. Um die Darstellung möglichst anschaulich zu gestalten, wird der politischen Diskussion um ein konkretes Experiment zur Meeresdüngung, dem LO-HAFEX-Experiment, etwas mehr Platz eingeräumt (Kap. 8.5). In Kapitel 8.6 wird sich der Frage gewidmet, welche Erfahrungen bei den Meeresdüngungsexperimenten im Hinblick auf die Einbindung gesellschaftlicher Akteure gemacht wurden und inwiefern deren Partizipation den Umgang mit Nichtwissen verändert hat. Hervorzuheben ist, dass auch bei dem Beispiel Meeresdüngung die uneingeladene Partizipation von Nichtregierungsorganisationen eine wesentliche Rolle gespielt hat.

---

## 8.2 Meeresdüngung als CE-Technologie

Unter Climate Engineering werden gezielte, großskalige technische Eingriffe in geochemische oder biogeochemische Kreisläufe der Erde verstanden, die zum Ziel haben, den Klimawandel abzuschwächen oder aufzuhalten. Viele der CE-Technologien befinden sich in einer frühen Phase der Entwicklung und sollten eher als Gegenstände eines Forschungsfeldes angesehen werden denn als anwendungsreife Technologien. Grundsätzlich unterscheidet man zwei Ansätze des Climate Engineering: die Entfernung von Kohlendioxid aus der Atmosphäre



(Carbon Dioxide Removal) sowie die Beeinflussung und Reduktion der Sonneneinstrahlung auf die Erde (Solar Radiation Management) (UBA 2011, S. 8 ff.) (Kasten).

### **Zwei Ansätze des Climate Engineering: Carbon Dioxide Removal und Solar Radiation Management**

Mithilfe von Carbon Dioxide Removal (CDR) soll CO<sub>2</sub> der Erdatmosphäre entzogen, durch die Ozeane oder die terrestrische Biosphäre aufgenommen und dort langfristig gespeichert werden. Die Eisendüngung der Ozeane gehört zum CDR. Im Hinblick auf den Klimawandel wirken die Technologien des CDR eher langsam. Demgegenüber zielt Solar Radiation Management (SRM) darauf ab, die Sonneneinstrahlung auf die Erdoberfläche so zu regulieren, dass unter Umständen auch relativ kurzfristig ein Abkühleffekt erzielt wird. Damit ist die Hoffnung verbunden, den Meeresspiegelanstieg und das Abschmelzen der polaren Eismasse noch abschwächen zu können. Das wohl prominenteste und umstrittenste SRM-Verfahren stellt das Ausbringen von Aerosolen in der Stratosphäre dar (Wilson 2014, S. 514). Gelegentlich werden die beiden Technologiepfade auch dahingehend unterschieden (DFG 2012, S. 2), dass CDR an einer zentralen Ursache des Klimawandels, nämlich der hohen Konzentration von Kohlendioxid in der Atmosphäre, ansetzt, während SRM lediglich den Symptomen (Erwärmung der unteren Atmosphäre) entgegenwirkt. Eine solche Differenzierung ist irreführend, denn auch CDR ist eher als eine End-of-Pipe-Technologie zu betrachten, die nicht direkt die Ursachen des Klimawandels bekämpft, nämlich den durch Produktions- und Konsumtionsprozesse bedingten hohen Ausstoß von Kohlendioxid und anderen Treibhausgasen. Deshalb müssen auch Strategien des CDR als eine Form technologischer Symptombekämpfung angesehen werden. Neben technischen Fragen wirft die Forschung in diesem Feld auch eine wichtige ethische Frage auf. Eine Kritik lautet, CE-Maßnahmen könnten als »Techno-Fix« und »als Ersatz für Minderungs- und Anpassungsmaßnahmen angesehen werden« (UBA 2011, S. 42), wodurch Bemühungen um die Verringerung der Emission von Treibhausgasen geschwächt und konterkariert würden. Auch in der Stellungnahme der DFG (2012, S. 9) wird darauf hingewiesen, dass allein schon die Erforschung von CE-Maßnahmen Einfluss auf die Bereitschaft von Staaten zur Emissionsminderung haben kann. Explorative CE-Experimente sorgen weltweit für starke Aufmerksamkeit und sind sowohl in den jeweiligen Gesellschaften als auch innerhalb der Wissenschaften stark umstritten (Kap. 8.5 u. 8.6). Ungeachtet dessen nimmt in jüngster Zeit in weiten Teilen der Wissenschaft und der Politik das Interesse an CE zu. Befürworterinnen der Technologie argumentieren, großtechnologische CE-Interventionen könnten die letzte Möglichkeit sein, um katastrophale Auswirkungen der Erderwärmung noch zu verhindern oder wenigstens abzuschwächen, falls die Maßnahmen zur Bekämpfung der Ursachen des Klimawandels und/



## 8 Explorative Experimente im Bereich Meeresdüngung mit Eisen

oder zur Anpassung gesellschaftlicher Strukturen an den Klimawandel scheitern sollten. Kritiker sehen im Hinblick auf Erforschung und Anwendung dieser Technologien große Gefahren wegen der nicht zu überblickenden Auswirkungen und Folgeeffekte auf das Erdsystem. Bereits um die Technologien zu erforschen, sind Eingriffe in einem Größenmaßstab notwendig, die eine einfache Grenzziehung zwischen (Grundlagen-)Forschung und Anwendung sowie Kontrollen der eingeleiteten Prozesse kaum zulässt. Außerdem lösen, so die Kritik, Forschungen oftmals eine nichtintendierte Eigendynamik aus (Selbstläuferdilemma). Sind Zeit, Mittel und Aufwand in die Erforschung und Entwicklung von Technologien in großem Maße erst einmal investiert, ist demgemäß eine Anwendung nur schwerlich zu unterbinden. Zudem, so die Befürchtung, kann allein schon die Erforschung von CE-Alternativen die Anstrengungen zu Einsparungen und Minimierung der Treibhausgasemissionen untergraben, was angesichts des Nichtwissens bezüglich des CE ethisch schwer zu rechtfertigen ist. Vor diesem Hintergrund hat sich in den letzten fünf bis zehn Jahren international wie auch in der Bundesrepublik Deutschland eine höchst kontroverse Debatte zu dieser Thematik entwickelt.<sup>76</sup>

### **Die wissenschaftlichen Grundlagen der Idee der Meeresdüngung**

Die Stimulierung der marinen Kohlenstoffbindung durch Düngung der Meere mit Eisen wird seit Langem als Möglichkeit des Climate Engineering diskutiert. Der Grundgedanke der Technik ist, die Produktivität von Phytoplankton durch Eiseneinträge in den Ozean anzuregen. Das Wachstum des Phytoplanktons bindet CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre und wandelt es in Biomasse um. Die Hoffnung ist nun, dass anders als an Land das CO<sub>2</sub> beim Absterben der Organismen nicht wieder freigesetzt wird, sondern die Biomasse in die Tiefen der Ozeane absinkt und dort dauerhaft verbleibt. Auf diese Weise könnte die Eisendüngung dem atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Anstieg und dem Klimawandel entgegenwirken (Boyd 2008). Dieser Mechanismus wird im Folgenden in Hinblick auf vier Aspekte ausführlicher dargestellt.

---

76 Zum Überblick über die Diskussion in Großbritannien und Deutschland Uther 2014. In Deutschland hat sich eine Reihe wichtiger wissenschaftlicher und forschungs- oder umweltpolitischer Institutionen zu Geoengineering geäußert, so etwa die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG 2012), das Bundesministerium für Bildung und Forschung durch den Auftrag zu einer Sondierungsstudie (Rickels et al. 2011), das Umweltbundesamt (2011) sowie das TAB (2014).



### Die Dynamik mariner Planktongemeinschaften

Die bestimmenden Faktoren für die Produktivität mariner Ökosysteme sind noch wenig verstanden. Eine wichtige Grundlage vieler Nahrungsnetze<sup>77</sup> in den Ozeanen bildet die Produktion von mikroskopisch kleinen einzelligen Algen (Phytoplankton). Diese Algen nehmen bei der Photosynthese CO<sub>2</sub> auf und bauen es in ihren Organismus ein. Diese Primärproduktion ist von der jeweiligen Jahreszeit, dem Breitengrad wie auch von ozeanographischen Gegebenheiten abhängig.

Die Populationsdynamik und die gegenseitigen Abhängigkeiten unterschiedlicher Planktongruppen und anderer Teile des Nahrungsnetzes sowie die ozeanografischen Einflussfaktoren sind aufgrund der immensen Größe und Heterogenität der Ozeane wissenschaftlich nur ungenügend erforscht. Unter bestimmten Umständen lassen sich Planktonblüten beobachten. Darunter versteht man eine massenhafte Vermehrung von Phytoplankton. Diese Blüten zeigen in der Regel einen charakteristischen Verlauf. Meist beginnt die Blüte mit kleineren, schnellwachsenden Algen. Die Sukzession führt dann zu größeren und widerstandsfähigeren Algenarten. Dem folgen typischerweise die Einwanderung und verstärkte Vermehrung verschiedener kleiner, in der Wassersäule schwebender Tiere (Zooplankton), die einen Teil des produzierten organischen Kohlenstoffs dadurch aufnehmen, dass sie die Algen fressen. Planktonblüten können sich über viele Tausende Quadratkilometer erstrecken und sind dann auf Satellitenbildern deutlich sichtbar. In vielen Küstengebieten entstehen regelmäßig saisonale Planktonblüten. Hierfür werden natürliche Umweltfaktoren (Licht, Temperatur) wie auch von Menschen verursachte Faktoren (Nährstoffeintrag, Toxine) diskutiert. Grundsätzlich weiß man wenig über die Planktondynamik (Cloern 1996; Wiltshire et al. 2008).

### These der Eisenlimitierung

In einigen Ozeangebieten (»high-nutrient, low-chlorophyll regions«) ist die biologische Primärproduktion trotz vorhandener Hauptnährstoffe sehr niedrig. Dies war lange unverstanden, bis John H. Martin 1990 die Hypothese aufstellte, dass die geringe Verfügbarkeit von Eisen den limitierenden Faktor für die Primärproduktion in diesen Gebieten darstellt (Martin 1990). Diese Hypothese war und ist umstritten (Dugdale/Wilkerson 1990; Strong et al. 2009). Eisen ist ein wichtiges biochemisches Spurenelement, seine Lösbarkeit in Meerwasser jedoch gering. Im Gegensatz zum offenen Ozean ist in küstennahen Gebieten die

---

77 Der in der Umgangssprache vielfach verwendete Begriff Nahrungskette ist stark vereinfachend bzw. irreführend. Er suggeriert lineare Beziehungen. Weil sich Arten aber meist von mehreren Beutearten ernähren können und auch selbst verschiedenen Räubern als Nahrungsquelle dienen, sind die Nahrungsketten meist verzweigt. Dies wird mit dem Begriff Nahrungsnetz ausgedrückt.

## 8 Explorative Experimente im Bereich Meeresdüngung mit Eisen

Eisenkonzentration durch den Eintrag von Sedimenten aus Flüssen verhältnismäßig hoch. In manchen Ozeangebieten ist die natürliche Düngung durch Einträge aus eisenreichem Wüstensand von großer Bedeutung (CBD 2009). Martin entwickelte die Idee, das Spurenelement Eisen in großem Maßstab ins Meer einzuleiten, um einen limitierenden Faktor für Algenwachstum aufzuheben. Das Ziel war, die Primärproduktion und die Fixierung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu erhöhen (Martin et al. 1990 u. 1993).

### **Erhöhung der Biomasse im Ökosystem**

Die Primärproduktion der Algen ist Grundlage für das Nahrungsnetz von Zooplankton und Fischen. Die in der Primärproduktion weltweit produktivsten Ozeangebiete sind deshalb auch die Gebiete der höchsten Fischproduktivität. Daher können Eisendüngungsexperimente auch die Fisch- und Nahrungsmittelproduktion erhöhen.

Historische Vergleiche illustrieren, dass sich Art und Menge von Biomasse in Ozeanen ändern kann. Für den südwestatlantischen Teil des antarktischen Zirkumpolarstroms belegen beispielsweise historische Aufzeichnungen große Biomassen von Walen, Seevögeln und Tintenfischen (Smetacek et al. 2004). Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass durch eine hohe Produktivität von Kieselalgen und Krill, wie sie im angrenzenden südlichen Ozean oft vorherrscht, eine hohe Biomasse im System erreicht und gleichzeitig eine hohe Menge des Spurennährstoffs Eisen im Nahrungsnetz gehalten wird. Andererseits düngen Wale durch ihren Kot die Oberflächengewässer und halten das in organische Substanzen eingebundene Eisen für tiefere Wasserzonen biologisch verfügbar. Nach der starken Dezimierung der Walpopulationen durch die Waljagd könnte dieses System grundlegend geändert worden sein, da das verfügbare Eisen aus dem Ökosystem entfernt wurde und eine Regeneration des Ökosystems verhinderte (Smetacek et al. 2004).

### **Kohlenstofftransport in die Tiefe**

Ein Teil des Phytoplanktons sinkt nach dem Absterben in die Tiefe. Während des Absinkens wird die Biomasse organisch abgebaut. Der nicht vollständig abgebaute Teil bildet zusammen mit mineralischen Anteilen die Sedimente der Tiefsee. Entsteht ein Überschuss von Primärproduktion, wie unter Bedingungen der Massenblüte, kann der Fraß durch Zooplankton nicht schnell genug ansteigen und ein bedeutender Teil der produzierten Biomasse wird auf diese Weise in die Tiefe transportiert. Ein weiterer Anteil der Biomasse wird in Form von oft schnell sinkenden Kotballen des Zooplanktons in die Tiefe exportiert. Die Menge an Kohlenstoff, die so in die Tiefsee absinkt und daher nicht als Treibhausgas klimawirksam wird, lässt sich auf Basis verschiedener Messmethoden abschätzen. Man kann das beispielsweise mithilfe von Sedimentfallen tun, die



die herabsinkenden Partikel auffangen, oder durch die Messung von Thorium-234- und Kohlenstoff-13-Isotopen erreichen (Nodder et al. 2001).

---

## 8.3 Meeresdüngung als exploratives Experiment

---

### 8.3.1 Die Praxis explorativer Meeresdüngungsexperimente

Seit Mitte der 1990er Jahre haben diverse Experimente zur Eisendüngung in Meeren stattgefunden. Die Experimente finden üblicherweise in mittelgroßen, temporär stabilen Ozeanwirbeln (»mesoscale eddy«) statt. Die Ozeanwirbel können über 100 km Durchmesser erreichen und über einen Kilometer in die Tiefe reichen (Zhang et al. 2014). Es ist wenig darüber bekannt, was diese Wirbel an chemischen Stoffen oder Müll horizontal oder vertikal transportieren und wie die Stabilität und Dauerhaftigkeit der Wirbel bemessen ist. Es wird angenommen, dass der Sog innerhalb dieser Wirbel stark genug ist, um als Barriere zu dem den Wirbel umgebenden Wasser zu wirken. Dadurch lassen sich bei Experimenten signifikante Konzentrationen im Wasser bei begrenztem Materialeinsatz erreichen, da die Verdünnung des Düngemittels beschränkt ist. Die Anwendung innerhalb eines Wirbels soll zugleich helfen, die Ausbreitung des Düngemittels zu kontrollieren.

Eingesetzt für die Düngung wird meist Eisen(-II)-sulfat, das als Abfallprodukt aus der chemischen Industrie günstig erhältlich ist. Das Sulfat wird in Meerwasser gelöst. Um zu vermeiden, dass das gelöste Sulfat aus der Lösung zu schnell ausfällt, wird diese Lösung mit einer starken Säure (pH-Wert 2) versehen. Dies führt bei Einleiten in den Ozean zunächst zu einer starken lokalen Versauerung. Da diese jedoch schnell verdünnt wird, ist im offenen Ozean nicht von einer starken Beeinträchtigung von Meeresorganismen durch die lokale und zeitlich begrenzte Versauerung auszugehen. Weiterhin werden sehr geringe Mengen von speziellen inaktiven Tracersubstanzen, z. B. Schwefelhexafluorid, zugesetzt, um die Ausbreitung des Eisens im Wasser besser verfolgen zu können (Assmy et al. 2007; Boyd et al. 2000). In den meisten Experimenten wurde eine Planktonblüte unterschiedlicher Algengruppen beobachtet, nur selten konnte jedoch ein erhöhter Kohlenstoffexport nachgewiesen werden. Im Folgenden werden die bedeutendsten Experimente und Ergebnisse kurz erläutert (Tab. 8.1).

Die ersten Eisendüngungsexperimente wurden im Äquatorialpazifik durchgeführt. Eingesetzt wurden dabei vergleichsweise geringe Mengen von Eisensulfat. Dies führte zu einer Planktonblüte von der 30-fachen Biomasse des Normalwerts (Coale et al. 1996; USC 1997). Erste kommerzielle Experimente mit dem Ziel der Erhöhung der Biomasseproduktivität wurden zwischen 1996 und 2000 von der US-Firma Ocean Farming Inc. vor den Marshallinseln und im Golf von Mexiko unternommen (Strong et al. 2009).

Tab. 8.1 Öffentlich bekannte, bis 2014 durchgeführte Ozeaneisendüngungsexperimente

Jahr	Name	Land	Gebiet	Menge	dominante Planktongruppe	Quelle
1993	IronEx	US	Äquatorialpazifik	2,5 t FeSO <sub>4</sub>	Nano- und Picoplankton	USC 1997
1995	IronEx II	US	Äquatorialpazifik	2,5 t FeSO <sub>4</sub>	Kieselalgen	USC 1997
1999	SOIREE (Southern Ocean Iron Release Exp.)	UK, NZ	pazifisches Südpolarmeer		(Kieselalgen)	Boyd et al. 2000; Bakker et al. 2014
2000	EisenEx	D	Südatlantik	2 x 2 t FeSO <sub>4</sub>	Kieselalgen, Picoplankton	Assmy et al. 2007
2001	SEEDS (Subarctic Pacific Iron Exp. for Ecosystem Dynamics Study)	JP, CAN	Nordwestpazifik	1,8 t FeSO <sub>4</sub>	Kieselalgen, (Zooplankton)	Takeda et al. 2005
2002	SOFeX (Southern Ocean Iron Experiments)	US	Südpolarmeer		Kieselalgen	MBARI 2014
2002	SERIES (Subarctic Ecosystem Response to Iron Enrichment Study)	CAN	Nordostpazifik	4 t FeSO <sub>4</sub>	Nanoplankton, Kieselalgen, (Picoplankton)	Wong/Johnson 2002; Harrison 2006
2004	SEEDS-II	JP, CAN	Nordwestpazifik		Zooplankton, (Kieselalgen)	Tsuda et al. 2007
2004	SAGE (SOLAS Air-Sea Gas Exchange Exp.)	NZ, US	Südpazifik		(Nano- und Picoplankton)	Harvey et al. 2004
2004	EIFEX (European Iron Fertilization Experiment)	D	Südatlantik	2 x 7 t FeSO <sub>4</sub>	Kieselalgen	Smetacek et al. 2012
2006	Papa-SEEDS	US	Nordostpazifik		Kieselalgen	Trick et al. 2010
2009	LOHAFEX	DE, IN	Südatlantik	2 x 10 t FeSO <sub>4</sub>	Zooplankton, Nano- und Picoplankton	Martin et al. 2013
2012	HSRC (Haida Salmon Restoration Corporation)	CAN	Nordostpazifik	91 t FeSO <sub>4</sub> 20 t FeO <sub>2</sub>	Kieselalgen	Biello 2012a; Tollefson 2012

Quelle: von Gleich et al. 2014, S.62



Zum Jahrtausendwechsel durchgeführte Eisendüngungsexperimente mittlerer Größe (SOIREE, SEEDS, SOFeX) im südlichen und nördlichen Pazifik zeigten teils vielversprechende Ergebnisse in Bezug auf eine Erhöhung des Kohlenstoffexports in die Tiefe. Es entwickelten sich große, von Kieselalgen dominierte Planktonblüten, die dann, wie gewünscht, absanken (de Baar et al. 2005; Boyd et al. 2000; Waite/Nodder 2001). Während das erste japanische Experiment SEEDS im Nordwestpazifik 2001 noch eine starke Phytoplanktonblüte ausgelöst hatte, zeigte sich im Nachfolgeexperiment 2004 nur eine geringe Blüte. Dies wurde auf die große Bedeutung des Fraßverhaltens von Zooplankton zurückgeführt (Takeda/Tsuda 2005; Tsuda et al. 2005 u. 2007).

Im ersten deutschen Eisendüngungsexperiment EisenEx, durchgeführt 2000 durch das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) im Südatlantik, konnte eine starke Blüte einiger Kieselalgenarten nachgewiesen werden (90- bis 150-fache Dichte im Vergleich zu den Anfangswerten). Weiterhin wurde ein Biomasseanstieg in einigen Zooplanktonarten, unter anderem bei Ruderfußkrebse (Copepoden), beobachtet. Daraus wurde geschlossen, dass das Fraßverhalten dieser Ruderfußkrebse die Wachstumsdynamik in der Algenblüte beeinflusst und zur festgestellten Dominanz der Kieselalgen beiträgt (Assmy et al. 2007).

Hoffnungen auf die Stimulation einer Kohlenstoffsinke am Meeresgrund durch Eisendüngung wurden genährt durch das europäische Eisendüngungsexperiment Eifex, das 2004 unter der Leitung des AWI im Südatlantik durchgeführt wurde. Darin wurde eine um 50% erhöhte Formierung von absinkenden Zellaggregaten gemessen und eine Sedimentation der frisch abgestorbenen Algen am Meeresboden nachgewiesen (Assmy et al. 2006; Hoffmann et al. 2006; Smetacek et al. 2012). Mit dem Eifex-Experiment schien ein logistisches Größenlimit dieser ersten Generation von Eisendüngungsexperimenten erreicht, was Ausbringungsmenge und Beobachtungszeit betrifft (Watson et al. 2008).<sup>78</sup> Im 2006 durchgeführten Papa-Seeds-Experiment fand sich eine wichtige Risikoannahme von Kritikern zum ersten Mal bestätigt: Die Düngung stimulierte die Blüten toxischer Kieselalgen vom Genus *Pseudonitzschia* (Trick et al. 2010). 2009 wurde das LOHAFEX-Experiment im Südwestatlantik durchgeführt (Kap. 8.5). Das LOHAFEX-Projekt wurde von Deutschland und Indien mit insgesamt 4 Mio. US-Dollar finanziert und von einem interdisziplinären Team von Wissenschaftlern unter der Beteiligung von fünf weiteren Nationen durchgeführt.

---

<sup>78</sup> Die Düngungsexperimente der ersten Generation hatten ähnliches Design und ein Limit in der Größenordnung der gedüngten Bereiche des Meerwassers von bis zu einigen 10 km Länge und in der Beobachtungsdauer von einigen Wochen. Zeitdauer und räumliche Skala waren aus praktischen Restriktionen vorgegeben, z. B. der maximal möglichen Fahrtdauer auf See von etwa 2 Monaten und den Grenzen der Finanzierung (Watson et al. 2008, S. 303).



## 8 Explorative Experimente im Bereich Meeresdüngung mit Eisen

Im Jahr 2012 führte die Firma Haida Salmon Restoration Corporation (HSRC) im Auftrag einer indigenen Gemeinschaft der Haida Gwaii im Nordwesten Kanadas ein weder von nationalen noch internationalen Stellen genehmigtes Eisendüngungsexperiment im Nordostpazifik vor der Küste Kanadas durch (Tollefson 2012). Dabei wurde eine bis dahin beispiellose Menge von insgesamt 110 t verschiedener Eisenverbindungen ausgebracht, und es wurden darüber hinaus auch Messgeräte der US National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) genutzt, ohne dass diese darüber informiert wurde, dass das Projekt über eine passive Studie hinausging und eine gezielte Düngung vorgesehen war (Biello 2012a). Dieses Eisendüngungsprojekt galt offiziell weniger der Stimulation des Kohlenstoffexports als vielmehr der Erhöhung wirtschaftlich bedeutender Lachsbestände (Biello 2012a; Tollefson 2012). Nach Bekanntwerden des Düngungsprojekts wurde öffentlicher Widerstand wach (Biello 2012a u. 2012b; Revkin 2014).

Satellitenbilder zeigen die Stimulation von Planktonblüten im Experimentargebiet, allerdings auch in anderen, nicht manipulierten Gebieten des Nordpazifik (von Gleich et al. 2014, S. 60). Die Firma suggerierte später, dass durch die Düngung ein starker Lachsjahrgang 2013 verursacht wurde. Diese Aussage muss angezweifelt werden: Zwar ist es möglich, dass die Primärproduktion im Düngungsgebiet erhöht wurde – mit dem nichtintendierte Effekt, dass dadurch auch zusätzlicher Kohlenstoff in die unteren Stufen des Nahrungsnetzes aufgenommen wurde (Batten/Gower 2014; Xiu et al. 2014). Es erscheint aber sehr unwahrscheinlich, dass innerhalb der kurzen Zeit das erhöhte Aufkommen von Phytoplankton über den Konsum durch Zooplankton die Nahrungskette hinauf bis zu den Lachsen gelangt ist. Denn die örtliche und zeitliche Umweltvariabilität im Verbreitungsgebiet des Lachses ist hoch, und die Kopplung zwischen Nahrungsangebot und Lachsnachwuchs ist auch von anderen Faktoren wie dem saisonalen Timing abhängig (Biello 2012a; Revkin 2014).

### **Zukünftig absehbare Experimente – mit deutscher Beteiligung?**

Die Durchführung von Eisendüngungsexperimenten mit deutscher Beteiligung erscheint in den nächsten Jahren unwahrscheinlich. Die öffentlichen Widerstände gegen LOHAFEX waren zu groß. Inzwischen wurden auch die internationalen regulatorischen Hürden erhöht (Moratorium). International sind momentan kaum Informationen über geplante Experimente bekannt. Falls derartige Experimente geplant sind, dürften sie durch die striktere Regulierung zunächst verzögert werden. Wegen der langen Planungsphasen der schiffsgestützten Projekte und der aufwendigen Prüfungen unter der Londoner Konvention (Kap. 8.4.1) könnten weitere Experimente in jedem Fall erst in einigen Jahren durchgeführt werden.



Es kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, dass offiziell nicht genehmigte Experimente mit kommerzieller Motivation ausgeführt werden, wie im Falle der HSRC. Ozeandüngungsexperimente mit anderen Substanzen, etwa mit dem Gestein Olivin  $(\text{Mg, Mn, Fe})_2[\text{SiO}_4]$  sind denkbar, jedoch sind die bisher durchgeführten Vorstudien noch im Laborstadium (Schuiling/Krijgsman 2006). Der logistische Aufwand wäre wegen der größeren benötigten Materialmengen deutlich höher.

---

### 8.3.2 Aspekte des Nichtwissens bei Meeresdüngungsexperimenten

Eine Vielzahl von ozeanographischen und ökologischen Faktoren beeinflusst die Effekte der Düngung: physikalische Vermischung von Wassermassen, chemische Parameter, vor Ort gegebene Artenzusammensetzung, saisonale Variabilität und dergleichen mehr. Darüber hinaus sind explorative Experimente im offenen Ozean sehr aufwendig und Probenahmen zeitlich und räumlich nur begrenzt möglich. Zu der Komplexität des Gegenstandes und zu den Einschränkungen der Forschungspraxis kommt hinzu, dass Ursache-Wirkungs-Ketten hinsichtlich der Dynamiken des Planktonwachstums, der örtlichen und zeitlichen Variabilität der einzelnen Planktongruppen und ihrer Interaktionen mit der Umgebung wissenschaftlich nicht abgesichert sind. Deshalb kann von einem beträchtlichen Maß an Noch-nicht-Wissen und unbekanntem Nichtwissen ausgegangen werden. Weil auch die denkbaren Auswirkungen der Eisendüngung räumlich und zeitlich beträchtliche Ausmaße annehmen können, muss mit Überraschungen gerechnet werden.

---

### Gefährdungspotenziale, Wirkungsmodelle und strukturelle Vulnerabilität<sup>79</sup>

#### Nahrungsnetze und Biodiversität

Gelöstes Eisen ist für viele Mikroorganismen ein essenzielles Spurenelement. Eisenverfügbarkeit spielt für viele Stoffwechselprozesse bei Viren, Bakterien und Phytoplankton eine Rolle. Einen direkt nachweisbaren Effekt wird das gelöste Eisen(-II)-sulfat vermutlich nur auf Organismen der unteren Nahrungsebenen haben, da die Löslichkeit dieser Sulfate in Meerwasser begrenzt ist. Es ist daher zu vermuten, dass keine so hohe Konzentration erreicht wird, dass sich diese auf den Metabolismus höherer Organismen direkt auswirkt. Höhere Organismen nehmen das Eisen vielmehr in biologisch gebundener Form über die Nahrung auf.

---

<sup>79</sup> Die Darstellung beruht im Wesentlichen auf von Gleich et al. 2014, S. 63 ff.

Die unteren Nahrungsebenen werden im Hinblick auf betroffene Arten unspezifisch beeinflusst. Die Änderung der chemischen Zusammensetzung des Wassers bzw. die erhöhte Verfügbarkeit von Spurenelementen führt zu neuen Bedingungen für unterschiedliche Arten. Dies hat in den meisten Fällen vermutlich eine Verschiebung der Zusammensetzung der Planktongemeinschaft zur Folge. Dadurch könnte es zu einer Veränderung und möglicherweise zu einer Herabsetzung der Biodiversität kommen, die sich auf die Artenzusammensetzung und -vielfalt höherer Lebewesen auswirken könnte. Dies kann unter Umständen die Stabilität der Ökosysteme und durch Meeresökosysteme bereitgestellte Ökosystemleistungen beeinträchtigen. Das lückenhafte Verständnis der Interaktionen innerhalb der Planktongemeinschaften lässt die Vorhersage nicht zu, welcher Art diese Veränderungen sein könnten.

Wird durch Absterben einer ausgelösten Planktonblüte ein verstärktes Absinken von Partikeln in die Tiefe bewirkt, könnten außerdem sensible Lebensräume am Meeresboden durch eine verstärkte Sedimentation beeinträchtigt werden. Hier spielen die wenig erforschten vertikalen Austauschmechanismen der Ozeanwirbel eine Rolle, die Substanzen von unten nach oben und umgekehrt transportieren (Zhang et al. 2014).

### **Hypoxie und Eutrophierung**

Bei der Meeresdüngung wird oft auf die Gefahr verwiesen, dass die Düngung zu einer Überdüngung (Eutrophierung) führen kann. Die dadurch ausgelösten hohen Wachstumsraten des Planktons verbrauchen den im Meerwasser gelösten Sauerstoff. Die Konzentration des im Wasser gelösten Sauerstoffs nimmt ab (Hypoxie), was andere Organismen beeinträchtigt und sogar zum Absterben dieser Lebewesen führen kann. Beispielsweise werden in Küstenregionen durch anthropogene Nährstoffeinträge (Nitrate, Phosphate) regelmäßig Algenblüten verursacht, die zu Sauerstoffmangel im Wasser führen und physiologischen Stress und Schäden an höheren Lebewesen (Fische etc.) sowie eine Veränderung von Planktongemeinschaften und Nährstoffkreisläufen bewirken können. Die Bekämpfung der Eutrophierung in diesen Gebieten hat zwar zum Verschwinden der exzessiven Blüten, nicht aber zu einer Wiederetablierung der natürlichen Wachstumszyklen des Planktons geführt. Denn die Eutrophierung weist oft selbstverstärkende Rückkopplungsschleifen in der Nährstoffdynamik auf und kann sich auch nach Verringerung des Nährstoffeintrags als nicht ohne Weiteres umkehrbar erweisen (Andersen et al. 2009; Howarth et al. 2011). Sie stellt deshalb einen potenziellen Kippunkt mariner Ökosysteme dar. Auch dies ist ein Beleg für Nichtwissen im Hinblick auf die Dynamik hochkomplexer Meeresökosysteme und zugleich relevant, wenn Experimente durchgeführt werden sollen, die derartige Effekte auslösen können (Smetacek/Cloern 2008).



Zur strukturellen Vulnerabilität der betroffenen Zielsysteme lässt sich Folgendes feststellen: Verschiebungen im Nahrungsnetz können als Adaptation des Ökosystems an andere Nährstoffverhältnisse interpretiert werden. Derartige Verschiebungen können grundsätzlich auch zu negativen Auswirkungen für die vom Menschen genutzten Ökosystemdienstleistungen, wie z. B. die Fischerei, führen. So ist in einigen nährstoffüberdüngten Meeresgebieten, wie etwa in der Ostchinesischen See, eine regionale Verschiebung der Produktivität von Fischbeständen hin zu gelatinösem Plankton (Quallen) beobachtet worden, die starke negative Auswirkungen auf die Fischerei hat (Purcell 2005; Uye 2008).

#### **Die Gefahr toxischer Algenblüten**

Ein weiteres Gefährdungspotenzial ergibt sich daraus, dass durch die Düngungsexperimente möglicherweise Blüten toxischer Algen ausgelöst werden. Einige Planktonarten produzieren Gifte, die sich bei massenhaftem Auftreten über Nahrungsnetze in Muscheln oder Fischen anreichern und auch eine gesundheitliche Gefahr für Menschen darstellen können. So zählen zur Kieselalgenart *Pseudonitzschia* auch Arten, die hochgradig toxisch sind. Die toxischen Kieselalgenarten können unter anderem das Neurotoxin Domoinsäure produzieren, das sich in Muscheln und Fischen (Sardinen, Sardellen) anreichern kann (Bates/Trainer 2006; Kania 2002). Toxische Algenblüten wurden bislang eher in abgegrenzten Küstengebieten beobachtet, wo sie eine ernstzunehmende Gefahr darstellen. Über die Situation im offenen Ozean ist wenig bekannt. Hier wird das mögliche Ausmaß gefährlicher Kieselalgenblüten als grundsätzlich gering eingeschätzt. Denn in vielen ozeanischen Gebieten – generell außerhalb des Südpolarmeeress bzw. außerhalb der subarktischen Gebiete – ist der Gehalt gelöster Silikate so gering (NOAA 2009), dass die Anregung toxischer Kieselalgenblüten in einem gefährlichen Ausmaß unwahrscheinlich erscheint, weil diese Planktongruppe Silikate zur Bildung ihrer Schalen benötigt.

Durch das Eisendüngungsexperiment »Papa-Seeds« wurde allerdings im Nordpazifik 2006 überraschend und entgegen dieser Überlegungen eine Pseudo-nitzschia-Blüte stimuliert und eine erhöhte Konzentration an Domoinsäure gemessen (Trick et al. 2010). Dieser Befund deutet auf erhebliches Nichtwissen darüber hin, unter welchen spezifischen Bedingungen toxische Blüten ausgelöst werden können. Selbst in Laborexperimenten mit gut erforschten Algenstämmen sind die Bedingungen für die Produktion von Toxinen noch nicht verstanden (Trick et al. 2010). Das Gefährdungspotenzial ist allerdings gravierend. Die Vergiftungen können je nach Toxin durch den Verzehr von Fisch, Muscheln oder anderen Weichtieren zu ernststen menschlichen Erkrankungen führen. Sogar tödlichen Wirkungen kommen vor (Kania 2002).

Will man diesem Problem begegnen, indem explizit silikatarmer Gewässer für großmaßstäbliche Experimente ausgewählt werden, scheint sich eine andere

^  
> 8 Explorative Experimente im Bereich Meeresdüngung mit Eisen  
v

Herausforderung zu ergeben. Denn nach den bisherigen Ergebnissen, z. B. von LOHAFEX, ist in silikatarmer Umgebung das Potenzial für einen hohen Kohlenstoffexport in die Tiefe der Ozeane begrenzt, da kleinere Planktongruppen schneller von Zooplankton gefressen werden und weniger stark absinken (Martin et al. 2013).

### **Unklare Wirkung auf das Klima**

Grundsätzliches Ziel der explorativen Experimente der Meeresdüngung ist herauszufinden, ob diese Technik geeignet wäre, maßgeblich in den globalen Kohlenstoffkreislauf einzugreifen und dämpfend auf die Erwärmung des Klimasystems zu wirken. Die Eingriffe können aber auch gegenteilige Effekte hervorrufen. Einige Beispiele sollen dies verständlich machen:

So kann die Stimulation des Wachstums von Algen zu Zuwächsen bei Organismen auf höheren trophischen Ebenen führen. Höhere Organismen wiederum atmen, um Energie zu gewinnen. Die durch Vermehrung verstärkte Respiration zieht entsprechend eine höhere Produktion von CO<sub>2</sub> nach sich, die über der Menge liegen kann, die zuvor über Photosynthese gebunden wurde, was insgesamt negative Effekte für den Treibhauseffekt hervorrufen kann (Salter et al. 2014).

Die durch Eisendüngung angeregten Algenblüten können außerdem – dies gilt besonders in tropischen Gebieten – eine erhöhte Emission von Lachgas (N<sub>2</sub>O) verursachen. Lachgas ist 35-fach klimawirksamer als CO<sub>2</sub>. Das heißt, selbst wenn der Atmosphäre trotz (etwaig erhöhter) Respiration tatsächlich CO<sub>2</sub> entzogen und in die Tiefen des Ozeans verbracht würde, könnte sich die Gesamtbilanz im Hinblick auf die Klimawirkung durch die Emission von Lachgas ins Negative verkehren (Jin/Gruber 2003).

Neue Forschungen wecken Zweifel an einem simplen Wirkmechanismus der »biologischen Pumpe« (Salter et al. 2014), also des Mechanismus, mit dem CO<sub>2</sub> durch absinkende Organismen in tiefere Wasserschichten transportiert wird (TAB 2014, S. 53 ff.). Demnach kann es durch die Eisendüngung zwar zu einem Export von Kohlenstoff in die Tiefe der Ozeane kommen. Wichtig ist aber auch, in welcher Form der Kohlenstoff absinkt. So kann es zu Ausfällungen von anorganischem Karbonat aus den CO<sub>2</sub>-Verbindungen kommen. Dieses anorganische Karbonat kann in der Tiefe wiederum zu CO<sub>2</sub> umgeformt werden und dieses mit einer gewissen Zeitverzögerung erneut in die Atmosphäre freigesetzt werden (Salter et al. 2014).

Weiterhin emittieren viele Mikroalgenarten Gase wie Dimethylsulfid (DMS). DMS ist die hauptsächliche natürliche Quelle für Schwefelemission in die Atmosphäre und die Quelle von Kondensationskeimen zur Wolkenbildung über den Ozeanen (Lawrence 2002; Smetacek/Naqvi 2008). Während des ka-



nadischen SERIES-Experiments wurde eine erhöhte DMS-Produktion der stimulierten Algen- und Bakteriengemeinschaft gemessen (Merzouk et al. 2006).

Welcher klimarelevante Effekt letztlich eintritt, kann gegenwärtig nicht vorhergesagt werden. Hier herrscht Nichtwissen vor, was nicht zuletzt der Komplexität der ökosystemaren Strukturen und Prozesse geschuldet ist. Die klimatischen Effekte einer großflächigen Algendüngung sind äußerst vielfältig und kaum abschätzbar. Nichtwissen besteht im Hinblick auf die Mechanismen, ihre Wirksamkeit angesichts komplexer und spezifischer ökosystemarer Verhältnisse sowie auf die mögliche Freisetzung von stärkeren Treibhausgasen, wie Lachgas. Dies zeigt, dass durch Experimente zur Ozeaneisendüngung gegenteilige Effekte hervorgerufen werden können bzw. dass die Gesamtbilanz von Ozeaneisendüngung gründlich evaluiert werden müsste, bevor diese als CE-Maßnahme in Betracht gezogen werden könnten.

Tabelle 8.2 fasst vier mögliche Ereignisse zusammen, die im Zusammenhang mit Experimenten der Eisendüngung auftreten können.

Tab. 8.2 Gefährdungs- und Expositionspotenziale von möglichen Ereignissen bei Eisendüngungsexperimenten im Ozean

	Verschiebung der Zusammensetzung von Planktongemeinschaften	Hypoxie/ Eutrophierung	toxische Algenblüten	negative Klimaeffekte
Wirkungsmodell	unbekannt, aber ermittelbar	bekannt	unbekannt, aber ermittelbar	nicht ermittelbar
Gefährdungspotenzial	negative Auswirkungen auf Biodiversität und Stabilität des Ökosystems	Beeinträchtigung von Lebewesen und Nährstoffkreisläufen	gesundheitliche Gefahren für Menschen	Beförderung von Treibhauseffekt und Klimawandel
Expositionspotenzial/ Eintrittswahrscheinlichkeit	unbekannt, aber ermittelbar	unbekannt, aber ermittelbar	bekannt	unbekannt, aber ermittelbar

Quelle: nach von Gleich et al. 2014, S. 65



---

### Technikcharakterisierung<sup>80</sup>

#### Eingesetzte Menge und Häufigkeit der Durchführung

Wie sich die ins Meer eingeleitete Düngungslösung bei explorativen Experimenten verteilt, ist nicht exakt vorhersehbar. Frühe Eisendüngungsexperimente nutzten verhältnismäßig kleine Dosen von 0,5 bis 2 t Eisensulfat. Nach der Jahrtausendwende wurden in wissenschaftlichen Experimenten Einzeldosen zwischen 4 und 10 t eingesetzt. Diese Mengen müssen in Vergleich zum natürlichen Gehalt an gelöstem Eisen im Meerwasser gesehen werden. Die beim LO-HAFEX-Experiment eingesetzte Dosis führte etwa zu einer Verdoppelung des natürlichen Eisengehalts innerhalb des untersuchten Ozeanwirbels. Nach Auflösung des Wirbels findet eine schnelle weitere Verdünnung statt, die das mögliche Einflussgebiet einer relevanten Veränderung stark einschränkt. Beim kommerziellen Experiment von HSRC wurde 2012 eine deutlich höhere Dosis von insgesamt 110 t Eisenverbindungen eingesetzt. Eine weitere Erhöhung der Mengen wäre logistisch aufwendig und müsste mit mehreren Schiffen oder durch Ausbringen mehrerer Ladungen durchgeführt werden. Zur großflächigen Düngung des gesamten südlichen Ozeans wären grob geschätzt 2 Mio. t Eisensulfat notwendig (V. Smetacek, persönliche Kommunikation).

#### Eingriffstiefe

Die Eisendüngung hat auf der Eingriffsseite eine eher geringe Wirkmächtigkeit. Das Material kann sich nicht selbst vermehren. Es handelt sich um eine ungiftige Substanz bzw. um ein biochemisches Spurenelement, das in Hintergrundkonzentrationen bereits vorhanden ist. Aus diesem Grund spielt bei Experimenten mit Eisensulfat die Frage nach einer Kontamination eine untergeordnete Rolle. Aufgrund der starken Durchmischung ist trotz des niedrigen pH-Werts der eingeleiteten Lösung nicht mit einer starken Beeinträchtigung der Meeresorganismen zu rechnen.

Grundsätzlich kann das Material über Meeresströmungen weiträumig verteilt werden. Die räumliche Reichweite der denkbaren Auswirkungen wird jedoch durch strömungsphysikalische Eigenschaften eingeschränkt. So geht man davon aus, dass sich Manipulationen in Küstengebieten, Meereswirbeln oder Gebieten, in denen Wasser aus tieferliegenden Schichten aufsteigt (Upwelling-Gebiete), nicht direkt auf angrenzende Gebiete mit anderen Nährstoffregimes auswirken. Indirekt können Auswirkungen aber über ökologische Interaktionen exportiert werden, beispielsweise über die Verbreitung von Planktonorganismen und die Migration von Fischbeständen. Die von den Düngungen betroffe-

---

<sup>80</sup> Die Darstellung in den folgenden Kapiteln beruht im Wesentlichen auf von Gleich et al. 2014, S. 63 ff.



nen Flächen können Ausmaße von 300 bis 750 km<sup>2</sup> annehmen (Martin et al. 2013; Smetacek et al. 2012).

#### **Versagenswahrscheinlichkeit der Technik**

Die Konzentration des Düngemittels und die räumliche Ausbreitung der Experimentfläche hängen eng miteinander zusammen. Weder ist viel über die optimale Konzentration an Düngemittel bekannt, um eine spezifische Algenblüte hervorzurufen, noch weiß man, welche Flächengrößen für relevante Effekte notwendig sind und wie kontrolliert werden könnte, dass genau diese Fläche zu Algenblüten angeregt wird. Wird z. B. ein Wirbel ausgewählt, der sich nach kurzer Zeit auflöst oder in mehrere kleinere zerrissen wird, wäre die notwendige Konzentration zur Durchführung des Experiments nicht mehr gegeben. Dies stellt ein Durchführungsproblem der Technik dar, das jedoch ökologisch nicht schadensträchtig ist.

Ein möglicher Fehler mit Schadenspotenzial ist die Verunreinigung der eingesetzten Eisenverbindungen, die oft industriellen Ursprungs sind, mit umweltschädlichen Substanzen. Das ausgebrachte Material sollte daher vor Durchführung probenweise z. B. durch Chromatografie analysiert werden, was routinemäßig unternommen wird. Der Effekt des eingebrachten Eisens ist nach Verdünnung der sauren Lösungsflüssigkeit durch das Ausfallen eingeschränkt. Eine zu hohe Dosis bzw. starke Überdüngung würde zur physikalischen Fällung führen, das Eisen könnte dann nicht von Organismen aufgenommen werden.

Aufgrund der geringen Versagenswahrscheinlichkeit und der technisch simplen Durchführung der Eisendüngung kann die Verlässlichkeit bzw. Resilienz der Technik als hoch bezeichnet werden.

#### **Möglichkeiten der Korrektur, Schadensbegrenzung bei Versagen**

Da das eingebrachte Eisen durch das Planktonwachstum verbraucht wird, muss die Düngung üblicherweise in mehreren Dosen vorgenommen werden, um eine dauerhafte Konzentrationserhöhung zu erreichen. Durch die Aufteilung in mehrere Dosen und die ständige Überwachung der Umweltparameter ist ein Abbruch von Eisendüngungsexperimenten in dem Sinne möglich, dass weitere Ausbringungen unterlassen werden können. Da die Anpassung des Planktonwachstums an die veränderten Nährstoffbedingungen in der Regel mehrere Tage dauert, ist jedoch die Zielkonzentration einer Dosis bereits eingestellt, bevor auf mögliche negative Auswirkungen der Konzentrationserhöhung reagiert werden könnte.

### **Bewertung des Nichtwissens bei der Meeresdüngung**

Während die Resilienz des Eingriffs selbst als hoch eingestuft werden kann, liegen Wissensdefizite bei der Eisendüngung vor allem auf Seiten des manipulierten Systems. Die Wachstumsdynamik und Sukzession der Planktongemeinschaften sind nur unvollständig verstanden, über die gegenseitige Beeinflussung verschiedener Arten und die Abhängigkeit von Umweltfaktoren sind nur Einzelaspekte bekannt. Dass durch eine Düngung mit Eisen eine Blüte erzeugt wird, lässt sich vorhersagen, aber nicht aus welchen Arten diese zusammengesetzt sein wird. Dasselbe gilt für die gleichzeitig auftretende mikrobielle Blüte von verschiedenen Gruppen von Bakterien. Auch bei Durchführung am selben Ort und zur gleichen Jahreszeit können sich erhebliche, schwer erklärbare Unterschiede in der Blüte zeigen (Tsuda et al. 2005, 2007). Die Ergebnisse der Düngungsexperimente LOHAFEX und SEEDS-II zeigen, dass die Wirksamkeit der Eisendüngung von der Präsenz anderer Nährstoffe und der Dynamik des Nahrungsnetzes (Kontrolle durch Zooplankton) abhängt.

Die Komplexität mariner Ökosysteme wirkt sich auch auf den Transport von Stoffen über lange Distanzen, verbunden mit Durchmischung, Absinken und Aufsteigen von Partikeln, in Zeiträumen von Wochen und Monaten aus. Dementsprechend ist hier mit dem Auftreten von Nichtwissen zu rechnen. Wallace et al. (2010, S.9) weisen darauf hin, dass durch den Stofftransport lokale Veränderungen an der Meeresoberfläche, also auch relativ kleinformatige Meeresdüngungsexperimente, grundsätzlich Auswirkungen zur Folge haben, die vertikal kilometerweit in tieferen Wasserschichten reichen und sich auch horizontal prinzipiell über große Entfernungen erstrecken könnten. Auch weist das Wissen über die Prozesse des Kohlenstoffexports in die Tiefe noch größere Lücken auf. Unter welchen Bedingungen die Aggregationen von abgestorbenen Planktonzellen und Kotpartikeln des Zooplanktons als Partikel zusammen in die Tiefe sinken, ist weitgehend unbekannt. Ebenso erschweren bedeutende Wissenslücken über die Dynamik der unteren Stufen der Nahrungsnetze im Ozean eine Abschätzung der Folgen von Eisendüngungsexperimenten (Watson et al. 2008). Eutrophierung kann durch Rückkopplungseffekte selbst bei einem Abbruch eines explorativen Düngungsexperiments unter Umständen nicht ohne Weiteres rückgängig gemacht (Andersen et al. 2009; Howarth et al. 2011) und so zu einem potenziellen Kipppunkt für marine Ökosysteme werden.

Lokale Auswirkungen auf maritime Lebensgemeinschaften könnten in eine langfristige Reduktion der biologischen Produktivität umschlagen, die potenziell negative Konsequenzen für die Fischerei besäße. Bei der Entstehung von toxischen Algen beispielsweise würde nicht nur die Fischerei in Mitleidenschaft gezogen, sondern auch Regionen, die eine touristisch geprägte Wirtschaftsstruktur aufweisen (Greenpeace 2007, S.12). Explorative Experimente der Meeresdüngung können demnach sowohl die maritimen Lebensgrundlagen als



auch diejenigen von Menschen gefährden, die auf ein intaktes Meeresökosystem angewiesen sind (ETC Group 2010, S. 24; Greenpeace 2007, S. 12)

---

### **8.4 Rechtliche Rahmenbedingungen der Eisendüngungsexperimente**

Weil die Meeresdüngung in der Regel in internationalen Gewässern durchgeführt wird, spielen internationale Regelungen für diese Experimente eine zentrale Rolle. Daher werden zunächst verschiedenen Möglichkeiten für institutionelle Regelungen auf internationaler Ebene besprochen, nämlich das Völkergewohnheitsrecht, völkerrechtliche Verträge und Freiwillige Selbstbeschränkungen.

---

#### **Internationale rechtliche Regulierung**

Das Umweltvölkerrecht hat in den letzten Jahrzehnten auf viele der neuen Herausforderungen reagiert (Beyerlin 2000; Biermann 1997; Bodansky et al. 2007b). Mehrere Rechtsbereiche sind wichtig. Zu den Quellen des internationalen Rechts zählen zum einen Normen des Völkergewohnheitsrechts sowie völkerrechtliche Prinzipien. Einige der allgemeinen völkerrechtlichen Prinzipien befassen sich mit neuen Arten von Umweltbelangen, die auch für die CE-Forschung von Bedeutung sind, wie z. B. das gemeinsame Interesse der internationalen Gemeinschaft an Umweltgütern außerhalb nationaler Rechtshoheit (beispielsweise »global commons«) sowie das von zukünftigen Generationen (Bodansky et al. 2007, S. 10a). Die internationale Regulierung von Maßnahmen der Eisendüngung unterliegt zum anderen auch völkerrechtlichen Verträgen. Diesen wird grundsätzlich eine größere Verbindlichkeit zugeschrieben, sie sind in der Regel aber nicht spezifisch auf Eisendüngung oder Maßnahmen des CE zugeschnitten. Deshalb ist die Anwendbarkeit dieser Verträge teilweise unklar (Schlacke et al. 2012).

#### **Völkergewohnheitsrechts und völkerrechtliche Prinzipien**

Vor diesem generellen Hintergrund lassen sich verschiedene gewohnheitsrechtliche oder prinzipielle Regulierungsansätze skizzieren. So basiert beispielsweise das grundsätzliche Verbot erheblicher grenzüberschreitender Umweltbeeinträchtigungen auf dem Prinzip der guten Nachbarschaft. Das Prinzip besagt, dass ein Staat für Umweltschäden völkerrechtlich verantwortlich ist, die von seinem Territorium ausgehen und einen anderen Staat beeinträchtigen (von

Arnauld 2012, S. 368).<sup>81</sup> Mit dieser Verantwortung ist die Verpflichtung verbunden, erhebliche Schädigungen von vornherein zu unterlassen und Beeinträchtigungen von Privaten zu unterbinden. Den Staat trifft somit im Rahmen der angemessenen Sorgfalt (»due diligence«) die Aufsichtspflicht, bereits bekannte und nachweisliche Risiken zu vermeiden und so möglichen Schäden vorzubeugen (Präventionsprinzip). Je größer und folgenschwerer das potenzielle Schadensereignis ist, desto geringer sind im Streitfall die Anforderungen, eine plausible Eintrittswahrscheinlichkeit nachzuweisen. Die bloße Möglichkeit eines Schadenseintritts reicht für die Annahme einer Gefahr jedoch nicht aus (Calliess 2009, S. 30). Über verschiedene rechtlich unverbindliche Soft-Law-Regelungen (z. B. das Prinzip 21 der Stockholmer Erklärung<sup>82</sup> von 1972) sowie Völkervertragsrecht (z. B. Art. 7 VN Übereinkommen über das Recht der nichtschiffahrtlichen Nutzung internationaler Wasserläufe) hat das Verbot erheblicher grenzüberschreitender Umweltbeeinträchtigungen auch Einzug in das Völkergewohnheitsrecht gefunden. Nach herrschender Meinung betrifft die gewohnheitsrechtlich bestehende Pflicht auch Gebiete jenseits staatlicher Hoheitsgewalt. Somit findet das Verbot nicht mehr nur zwischen Nachbarstaaten Anwendung, sondern erweitert die Verantwortung gegenüber Staatengemeinschaftsräumen – was es für den Bereich der CE-Forschung relevant macht.

Das Vorsorgeprinzip ist ein wesentlicher Bestandteil der europäischen Umweltpolitik, weshalb es hier als weitere Grundlage internationaler Regulierungen angeführt wird. Inwieweit das Vorsorgeprinzip bereits Einzug in das Völkergewohnheitsrecht gefunden hat, wird zurzeit sehr intensiv diskutiert und ist noch nicht abschließend geklärt (Pedersen 2014). Das Vorsorgeprinzip geht einen Schritt weiter als das Präventionsprinzip (Kap. 4.1). Die Gefährdung muss hier nicht wahrscheinlich, sondern lediglich möglich sein (Freestone/Hey 1996; Trouwborst 2009). Dadurch geht das Vorsorgeprinzip vor allem der Frage nach, was getan werden soll, wenn ungewiss ist, ob von einer bestimmten Handlung ein Risiko ausgehen kann. Eine einheitliche Definition dieses Begriffs im Völkerrecht existiert nicht. Die Erklärung der Vereinten Nationen (VN 1992) in Rio nimmt eine wichtige Konkretisierung des Vorsorgeprinzips in Kapitel 35 der

81 Das gilt in gewisser Weise auch für die Hohe See. Dort besteht ebenfalls eine Sorgfaltspflicht. Art. 94 des Seerechtsübereinkommens legt die Pflichten des Flaggenstaats fest: »Jeder Staat übt seine Hoheitsgewalt und Kontrolle in verwaltungsmäßigen, technischen und sozialen Angelegenheiten über die seine Flagge führenden Schiffe wirksam aus.« (www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20040579/index.html#a94, 18.4.2019) Im Prinzip wird also das Territorium des Flaggenstaats auf das Schiff erweitert. In der Praxis werden die Bestimmungen nicht immer implementiert.

82 Prinzip 21 der Stockholmer Erklärung der Konferenz der Vereinten Nationen über die menschliche Entwicklung von 1972 deklariert: »States have, in accordance with the Charter of the United Nations and the principles of international law, the sovereign right to exploit their own resources pursuant to their own environmental policies, and the responsibility to ensure that activities within their jurisdiction or control do not cause damage to the environment of other States or of areas beyond the limits of national jurisdiction.« (www.are.admin.ch/dam/are/de/dokumente/nachhaltige\_entwicklung/dokumente/bericht/stockholm\_declaration.pdf.download.pdf/stockholm\_declaration.pdf; 18.4.2019)



Agenda 21 vor. Dort heißt es im Absatz 3 (VN 1992, S. 320): »Angesichts der Gefahr irreversibler Umweltschäden sollte ein Mangel an vollständiger wissenschaftlicher Gewissheit nicht als Entschuldigung dafür dienen, Maßnahmen hinauszuzögern, die in sich selbst gerechtfertigt sind. Bei Maßnahmen, die sich auf komplexe Systeme beziehen, die noch nicht voll verstanden worden sind und bei denen die Folgewirkungen von Störungen noch nicht vorausgesagt werden können, könnte der Vorsorgeansatz als Ausgangsbasis dienen.«

### Völkerrechtliche Verträge

Neben diesen allgemeinen Prinzipien und dem Gewohnheitsrecht trägt auch das Völkervertragsrecht zur Regulierung der Eisendüngung von Ozeanen auf internationaler Ebene bei. Die völkerrechtlich relevanten Verträge gehen auf die Diskussionen um CE ein. Zudem wird in den Verträgen versucht, die zuvor skizzierten und oft recht vagen Prinzipien anwendungsfreundlicher zu kodifizieren, um die allgemeine Rechtssicherheit und die zwischenstaatliche Stabilität zu verbessern sowie eine gewisse Vorhersehbarkeit zukünftigen Handelns zu generieren (Ott 1998, S. 89).

Zu den für Meeresdüngung relevanten völkerrechtlichen Verträgen zählt das Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen<sup>83</sup> (UN Convention on the Law of the Sea [UNCLOS]), das die Pflicht zur Vermeidung und Reduzierung von Verschmutzungen vorsieht. Das UN-Seerecht sieht die prinzipielle Freiheit von wissenschaftlicher Forschung in allen Meeresgebieten grundsätzlich vor. Dies wird aber beispielsweise durch Umweltschutzbestimmungen eingeschränkt (Schlacke et al. 2012). Vor allem Teil XII »Schutz und Bewahrung der Meeresumwelt« des Seerechtsübereinkommens ist hier relevant. In Art. 192 werden die Staaten verpflichtet, die Meeresumwelt zu schützen und zu bewahren. Für den Fall, dass die potenziellen negativen Auswirkungen der Eisendüngung, die unter anderem eine Ausweitung sauerstoffarmer Gebiete umfassen, tatsächlich eintreten, wäre diese allgemeine Schutzbestimmung verletzt. Art. 194(1) spezifiziert diese völkerrechtliche Verpflichtung, indem er den Staaten vorschreibt, Maßnahmen zu ergreifen, »die notwendig sind, um die Verschmutzung der Meeresumwelt ungeachtet ihrer Ursache zu verhüten, zu verringern und zu überwachen«. Auch wenn hier die Einschränkung greift, dass Staaten »zu diesem Zweck die geeignetsten ihnen zur Verfügung stehenden Mittel entsprechend ihren Möglichkeiten« einzusetzen haben, so sind sie immerhin zum

---

83 Eine offizielle deutsche Übersetzung findet sich auf den Internetseiten des Schweizer Bundesrats unter [www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20040579/index.html](http://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20040579/index.html) (18.4.2019).

Handeln verpflichtet, um Umweltverschmutzungen zu verhüten, zu verringern und zu überwachen.<sup>84</sup>

Bei der Frage, ob die Eisendüngung unter den Verschmutzungsbegriff der Seerechtsübereinkommen fällt, muss Artikel 1(4) herangezogen werden. Dort wird die Verschmutzung der Meeresumwelt definiert als »die unmittelbare oder mittelbare Zuführung von Stoffen oder Energie durch den Menschen in die Meeresumwelt ..., aus der sich abträgliche Wirkungen ... ergeben oder ergeben können«. In Verbindung mit den Bestimmungen zum »Schutz und Bewahrung der Meeresumwelt« spricht vieles dafür, den Begriff der Verschmutzung sehr weit auszulegen, sodass auch Aktivitäten, deren genaue Auswirkungen auf die Umwelt ungewiss sind, negative Effekte aber nicht ausgeschlossen werden können, darunter fallen (Schlacke et al. 2012, S. 10). Somit wäre unter den Bestimmungen des Seerechtsübereinkommens auch die Eisendüngung als eine potenzielle Verschmutzung der Meeresumwelt zu behandeln.

Auch in der Biodiversitätskonvention (Convention on Biological Diversity [CBD]) finden sich Anhaltspunkte für die internationale Regulierung. Als Reaktion auf wissenschaftliche Diskussionen und die öffentlichen Proteste gegen das kommerzielle Planktos-Experiment 2007 wurden mehrere nichtbindende internationale Beschlüsse zur Eisendüngung verabschiedet. Die 9. Vertragsstaatenkonferenz der CBD beschloss im Jahr 2008 in Bonn ein Moratorium für Ozeandüngung »bis zur Etablierung einer wissenschaftlichen Basis« mit Ausnahme »kleiner Studien in Küstengebieten« (CBD 2008).

Andererseits beschlossen die Vertragsparteien der Londoner Konvention und des Londoner Protokolls (LC-LP) zur in einer unverbindlichen Resolution, dass Ozeandüngungsvorhaben nicht als Entsorgung (Dumping), sondern als Ausbringung (Placement) zu behandeln sind und damit nicht unter den Geltungsbereich der Konvention fallen, wenn die Düngungen innerhalb legitimer Forschungsprojekte durchgeführt werden (IOC Secretariat 2008; Schlacke et al. 2012). »The Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter« war 1972 in London ins Leben gerufen worden, um Verschmutzungen der Meere insbesondere durch Müll oder sonstige schädliche Stoffe zu kontrollieren, die von Schiffen, Plattformen oder Flugzeugen aus ins Meer eingebracht werden (Schlacke et al. 2012). Die Konvention wurde im Jahr 2008 um eine Resolution zu Fragen der Meeresdüngung erweitert (LC-LP.1(2008) – IMO 2008). Zu dieser Entwicklung trug sicherlich bei, dass den beteiligten Akteuren das Nichtwissen immer bewusster wurde. Denn es traten erhebliche Wissenslücken zu Expositions- und Gefährdungspotenzialen hervor,

84 Interessanterweise findet die in Absatz (1) des Art. 194(2) UNCLOS aufgeführte Einschränkung keine Anwendung, wenn es sich bei der Verschmutzung um eine »Folge von Ereignissen oder Tätigkeiten, die ihren Hoheitsbefugnissen oder ihrer Kontrolle unterstehen« handelt. Dies ist Ausdruck des allgemeinen Rechtsprinzips »sic utere tuo ut alienum non laedas«, das besagt, dass ein Staat seine Rechte so auszuüben hat, dass andere Staaten – oder die Staatengemeinschaft – keinen Schaden erleiden (Schlacke et al. 2012, S. 9).



die mit Ozeandüngungsexperimenten verbunden sind. Dies ließ die bis dahin vorhandenen internationalen Regularien zur Ozeandüngung als unvollständig und widersprüchlich erscheinen (Branson 2014; Verlaan 2007; Wilson 2014).

2010 wurden Bewertungsrichtlinien für wissenschaftliche Eisendüngungsexperimente (Assessment Framework for Scientific Research Involving Ocean Fertilization) festgelegt (IMO 2010), und im Oktober 2013 wurde schließlich ein Ergänzungsantrag des LP/LC angenommen, der die Eisendüngung verbindlich regelt und eine einfache Erweiterungsmöglichkeit für andere marine CE-Maßnahmen vorsieht (IMO 2013). Dies bedeutete eine äußerst schnelle und effiziente völkerrechtliche Regelung, die für die 48 Vertragsstaaten des Londoner Protokolls bindend ist. Unter diesen Staaten finden sich fast alle für Eisendüngungsexperimente relevanten Nationen. Die Regelung wird auch von vielen Nichtvertragsparteien (z. B. USA) respektiert.

Kommerzielle Ozeaneisendüngungsexperimente unterliegen damit heute einem De-facto-Verbot. Wissenschaftliche Experimente müssen gemäß diesen Richtlinien einen nach festgelegten Kriterien durchgeführten fallbezogenen Entscheidungsprozess über ihre Genehmigung durchlaufen (IMO 2010). Diese in die LC-LP aufgenommene Umweltverträglichkeitsprüfung enthält unter anderem die Kriterien Exposition, kurz- und langfristige Effekte sowie Risikomanagement.

Obwohl die Londoner Konvention ursprünglich zur Regulierung der Entsorgung von Stoffen auf hoher See und nicht im Hinblick auf die Ausbringung von Stoffen zum gezielten Erreichen eines Effektes verabschiedet wurde, werden die entwickelten Bestimmungen von rechtswissenschaftlicher Seite als sehr erfolgreich und angemessen angesehen (Schlacke et al. 2012). Es handelt sich um das weltweit erste völkerrechtliche Abkommen zu inhaltlichen Kriterien für die Genehmigung und Durchführung von wissenschaftlichen Experimenten und von CE-Maßnahmen, das daher Beispielwirkung für andere Bereiche haben könnte (Ginzky/Frost 2014; Scott 2013).

### **Freiwillige Selbstbeschränkung – Codes of Conduct**

Zusätzlich zu den rechtlich bindenden Verträgen und Prinzipien muss auch das rechtlich unverbindliche »soft law« gewürdigt werden, da es häufig Einfluss auf Entwicklungen des verbindlichen Völkerrechts nimmt (Guzman/Meyer 2010). Auch wenn hier nur eine schwächere Selbstbindung entsteht, impliziert dies keinesfalls eine zwangsläufige Wirkungslosigkeit. Denn gerade in problembehafteten Bereichen kann ein internationaler Konsens oft nur durch bewusste außerrechtliche Formen der Zusammenarbeit erreicht werden (Ott 1998, S. 209).

Im Feld der CE-Forschung hat der Bericht der britischen Royal Society (2009) mit der Empfehlung, einen international abgestimmten und zunächst freiwilligen Verhaltenskodex auszuarbeiten, die Debatten um internationale Re-

gulierungen maßgeblich vorangetrieben. Ein Meilenstein in dieser Hinsicht waren die Oxford Principles, die 2009 wesentlich von Wissenschaftlern der Universität Oxford angeregt bzw. formuliert wurden (Kasten Kap. 8.6.2). Dabei wurden fünf Prinzipien für die Regulierung von CE und explorativen Experimenten in diesem Forschungsfeld festgelegt, die später auch die Befürwortung des Ausschusses für Wissenschaft und Technik im britischen Unterhaus fanden.

Eine Studie des Potsdamer Institute for Advanced Sustainability Studies in Zusammenarbeit mit dem Institute for Science, Innovation and Society (Hubert/Reichwein 2015) baut auf den Oxford Principles auf. Die Studie hat zum Ziel, durch den Entwurf von Leitlinien einen Beitrag zur Entwicklung eines allgemeingültigen Verhaltenskodexes für die CE-Forschung zu leisten. Die Studie lehnt sich an den »FAO Verhaltenskodex für verantwortungsvolle Fischerei« an (FAO 1995). Mit seinen 19 Artikeln ist sie weitaus umfangreicher als die Oxford Principles und enthält ein ganzes Spektrum von Themen, das von allgemeinen Prinzipien zur Bewertung wissenschaftlicher Forschung (Art. 11) über Umweltverträglichkeitsprüfung (Art. 13 u. 14) und Öffentlichkeitsbeteiligung (Art. 15) bis hin zur Implementierung (Art. 19) reicht (Hubert/Reichwein 2015).

---

## Nationale Regulierung

Auf nationaler Ebene existieren keine spezifischen rechtlichen Bestimmungen für Eisendüngungsexperimente oder anderen CE-Verfahren. Jedoch sind Wasser- und Umweltschutzgesetzgebung zu berücksichtigen. Und institutionelle Regelungen auf nationaler Ebene kommen dann ins Spiel, wenn größere Forschungsprojekte mit deutscher Beteiligung von Forschungsorganisationen genehmigt werden müssen. Die ethische, politische und ökonomische Dimension von explorativen Experimenten wird deutlich in einem Exkurs zum prominenten Experiment LOHAFEX (Kap. 8.5).

Prinzipiell ist die Ausbringung von Eisen unter dem deutschen Wasserhaushaltsgesetz erlaubnispflichtig, jedoch gilt dieses Gesetz nicht für internationale Hochseegebiete. Nach den 2013 erfolgten internationalen Beschlüssen unter der Londoner Konvention muss der Gesetzgeber in Deutschland nun rechtliche Anforderungen an die Zulässigkeit von Forschungsvorhaben zur Meeresdüngung formulieren. Eine Umsetzung im deutschen Hohe-See-Einbringungsgesetz wurde empfohlen. Die damit einhergehende Einschränkung der Forschungsfreiheit ist verfassungskonform, da sie in geeigneter, erforderlicher und angemessener Weise zum im Grundgesetz festgelegten Schutz der Meeresumwelt erfolgt (Schlacke et al. 2012).

---

## 8.5 Exkurs: das deutsch-indische LOHAFEX-Experiment in der politischen Arena

Vier Jahre Vorbereitung und ein relativ umfassender Begutachtungs- und Genehmigungsprozess lagen zurück, als das deutsche Forschungsschiff »Polarstern« am 7. Januar 2009 in Kapstadt auslief, um das Meeresdüngungsexperiment LOHAFEX durchzuführen. Einen Tag danach protestierten die Nichtregierungsorganisationen ETC Group und Aktionskonferenz Nordsee bei der Bundesregierung. Sie verlangten den Abbruch des Experiments, da es als gefährlich und völkerrechtswidrig angesehen wurde (ETC Group 2009). Die Kritik wurde vom Bundesumweltministerium (BMU) geteilt. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) ließ daraufhin am 13. Januar 2009 die Durchführung des Experiments anhalten und ordnete die kurzfristige unabhängige Prüfung des Projektantrags und der völkerrechtlichen Gegebenheiten durch zwei Gutachten an (Seidler 2009; Uther 2014, S. 179). Nach Erhalt der Gutachten erlaubte das BMBF am 26. Januar 2009 die Durchführung des Experiments, jedoch an die Auflage geknüpft, eine Düngung nur nördlich des 50. Breitengrads, also außerhalb des eigentlichen südlichen Ozeans durchzuführen, wodurch das geplante Düngungsgebiet geändert werden musste.

### Die Notwendigkeit der Grundlagenforschung

Die Durchführung von LOHAFEX wurde mit dem Argument begründet, dass Grundlagenforschung notwendig ist, um Eisendüngungsexperimente – auch im Hinblick auf Aktivitäten anderer Länder – bewerten zu können. Die Forschung sollte einen Beitrag für evidenzbasierte politische Entscheidungen liefern. Das ausführende Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) betonte, das Experiment diene der Grundlagenforschung zur Rolle des Eisens im Kohlenstoffkreislauf. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse könnten dazu beitragen, die politische Diskussion zu rationalisieren: »Nur wenn man die Fakten kennt und sie bewerten kann, kann man auch in Zukunft Argumente in Bezug auf Eisendüngungsexperimente entwickeln.« (AWI 2009, S. 6) Grundlagenforschung sei unerlässlich, um früh mögliche Risiken und Nebenwirkungen zu erkennen. Zudem sei staatlich finanzierte Grundlagenforschung notwendig, um das Feld nicht denjenigen zu überlassen, die kommerzielle Interessen verfolgten. Explorative Experimente könnten des Weiteren nicht der Privatwirtschaft überlassen werden, da dann der Öffentlichkeit keine Kenntnisse für ihre Bewertung vorlägen und diese weder die Experimente noch die kommerzielle Düngung der Meere kontrollieren könne (AWI 2009).

### **Der fachliche Begutachtungs- und Genehmigungsprozess im Vorfeld**

Die Genehmigung wurde bei der Senatskommission für Ozeanographie der DFG beantragt, die den Einsatz der deutschen Forschungsschiffe koordiniert. Das Experiment wurde im Vorfeld durch externe und zum Teil international besetzte Gremien wissenschaftlich begutachtet (Nutzerbeirat Polarstern, Wissenschaftlicher Beirat, Evaluierungsgruppe für die Programmorientierte Forschung). Es wurde eine Risikoanalyse erstellt, die extern begutachtet wurde. Diese wissenschaftlichen Begutachtungen stellten fest, dass das Experiment wissenschaftlich wichtig sei und nach besten wissenschaftlichen Standards durchgeführt werden solle. Die Senatskommission sah Forschungsprojekte zu Maßnahmen des CE – damit auch der Ozeaneisendüngung – als förderungswert an, um offene ökologische, ökonomische und gesellschaftliche Fragen zu klären. Sie wies allerdings auch auf Regulierungsbedarf hin (DFG 2012). Das Projekt wurde BMBF zum Erhalt der Finanzierung geprüft und freigegeben.

### **Umweltschutz versus Forschungsfreiheit**

Der Protest der Nichtregierungsorganisationen löste einen Konflikt zwischen dem BMBF und dem BMU aus, das die Freigabe des Experiments aus der Perspektive des Umweltschutzes kritisierte (BfN 2009; BMUB 2009). Das BMU hatte in den Biodiversitätsverhandlungen das De-facto-Moratorium (COP 9, IX/16 C) unterstützt (Müller-Jung 2009). Die 9. Vertragsstaatenkonferenz des Abkommens zur biologischen Vielfalt hatte im Mai 2008 unter Vorsitz des damaligen Bundesumweltministers Sigmar Gabriel ein Moratorium für explorative Experimente der Meeresdüngung beschlossen, solange nicht ein globales, transparentes und effektives Governancesystem eingerichtet sei. Ausnahmen sollten nur für kleinräumige Versuche in Küstengewässern gelten, wenn die Notwendigkeit, spezifische Daten zu sammeln, anerkannt und genehmigt wurde. Versuche für kommerzielle Zwecke oder dafür, CO<sub>2</sub>-Offsets<sup>85</sup> zu schaffen oder gar CO<sub>2</sub>-Zertifikate zu verkaufen, waren hingegen ausdrücklich verboten (CBD 2008).

Die Entscheidung des BMBF, die Durchführung des Experiments anzuhalten und eine unabhängige Prüfung des Projektantrags und der völkerrechtlichen Gegebenheiten durch zwei Gutachten durchführen zu lassen, löste eine Debatte in Wissenschaft, Gesellschaft und Politik aus. In den beiden Rechtsgutachten wurde analysiert, ob die CBD-Entscheidung bindend ist, was unter kleinräumig im weiten Ozean und was völkerrechtlich genau unter Küstengewässern zu verstehen ist (Proelss 2009; Wolfrum 2009). Seitens der nationalen wie internatio-

---

85 CO<sub>2</sub>-Offsets bezeichnen Maßnahmen der Klimakompensation, d. h. z. B. Maßnahmen, durch die der Atmosphäre CO<sub>2</sub> entzogen wird, und die damit als Ausgleich für CO<sub>2</sub>-Emissionen an anderer Stelle verrechnet werden können.



nen Wissenschaft wurde die Entscheidung des BMBF heftig kritisiert (AWI 2009; IOC Secretariat 2008).

### **Parlamentarische und zivilgesellschaftliche Debatten**

Umweltschutzorganisationen, wie z. B. Forum Umwelt und Entwicklung, ETC Group, Aktionskonferenz Nordsee, wiesen auf das von der CBD beschlossene Moratorium hin. Neben diesem völkerrechtlichen Argument wurde auch auf eine vermeintliche Hybris der Forschung hingewiesen, die »auf das kommerzielle Interesse zurückgeführt werden könnte, lediglich eine kostengünstige Lösung für den weltweiten CO<sub>2</sub>-Ausstoß anzustreben« (Uther 2014, S. 178).

In den parlamentarischen Debatten in Deutschland standen internationale und völkerrechtliche Aspekte der Ozeandüngung im Vordergrund (dazu ausführlich Uther 2014, S. 179 ff.). Kritiker des LOHAFEX-Experiments sahen Deutschlands Ruf als Vorbild für Umwelt- und Biodiversitätspolitik sowie seine Glaubwürdigkeit als verlässlicher Akteur in der internationalen Politik gefährdet. Auch das Argument, mit LOHAFEX einen Selbstläufer in Gang zu setzen, der den Weg in die kommerzielle Meeresdüngung und in die CE-Techniken öffne, wurde angeführt. Befürworter wiederum sahen das internationale Ansehen des Forschungsstandorts Deutschlands gefährdet und betonten die Forschungsfreiheit. Ein Kompromiss ließ sich finden in der Ablehnung der kommerziellen Nutzung der Eisendüngung, der auch die Bundesregierung zustimmte. Demnach sind großflächige kommerzielle Experimente, in deren Rahmen z. B. CO<sub>2</sub>-Offsets geschaffen würden, keine Option für die deutsche Klimaschutzpolitik.

### **Ausführung und Ergebnisse von LOHAFEX**

Nach Erhalt der Gutachten erlaubte das BMBF die Durchführung des Experiments, jedoch an die Auflage geknüpft, eine Düngung nur nördlich des 50. Breitengrads, also außerhalb des eigentlichen südlichen Ozeans durchzuführen, sodass das geplante Düngungsgebiet geändert werden musste. Am 27.1.2009 wurde ein Gebiet von rund 300 km<sup>2</sup> mit zwei Ladungen von je 10 t in Meerwasser gelöstem Eisen(-II-)sulfat gedüngt, anschließend wurden die biogeochemischen und ökologischen Veränderungen während eines Zeitraums von 38 Tagen gemessen (Martin et al. 2013).

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse wurden publiziert und auf der Homepage des Alfred-Wegner-Instituts öffentlich zugänglich gemacht. Die im LOHAFEX-Experiment beobachtete Algenblüte war unerwartet gering und enthielt einen geringen Anteil an Kieselalgen. Das wird dadurch erklärt, dass gelöstes Silikat nur in geringer Konzentration vorhanden war. Die ausgelöste Blüte war stattdessen dominiert von Dinoflagellaten (Panzergeißler), die nach kurzer Zeit von Zooplankton (Amphipoden) weggefressen wurden. Die zusätz-

liche CO<sub>2</sub>-Aufnahme war daher begrenzt und der Kohlenstoffexport in die Tiefe nicht erhöht (Martin et al. 2013). Die mikrobiellen untersten Ebenen des Nahrungsnetzes zeigten eine vergleichbare Reaktion. Eine starke Fraßkontrolle (»top-down control«) wurde auf die Bakterien- und Archaeengruppen sowie auf die kleinsten Algengruppen (Nano- und Picoplankton) ausgeübt, was auf eine enge Kopplung der mikrobiellen Kreisläufe hindeutet (Thiele et al. 2012). Die Bilanz des LOHAFEX-Experiments ist bescheiden und verweist auf Nichtwissen: Demnach lässt sich die Entsorgung von Kohlendioxid aus der Luft über künstlich ausgelöste, großflächige Algenblüten nicht einfach kontrollieren.

---

## 8.6 Partizipation<sup>86</sup>

Am Beispiel des LOHAFEX-Experiments ist bereits deutlich geworden, dass die Partizipation von Bürgern und zivilgesellschaftlichen Akteuren eine große Rolle in der gesellschaftlichen bzw. politischen Diskussion über die Experimente zur Eisendüngung und auch bei der Fortentwicklung der Regulierungsansätze spielt. Dies gilt jedoch nicht nur für das Beispiel LOHAFEX. Umweltschutzorganisationen kritisierten Eisendüngung mehrfach als gefährlichen Eingriff in die marinen Ökosysteme und als völkerrechtlich illegitim (ETC Group 2009; WWF 2009). Im Jahr 2007 führte massiver öffentlicher Widerstand gegen zwei kommerzielle Eisendüngungsprojekte zur Intervention verschiedener Nationen (USA, Spanien) und zum Abbruch der Unternehmungen, die von der australischen Ocean Nourishment Corporation im Indischen Ozean und durch die US-Firma Planktos Inc. im äquatorialen Pazifik geplant waren (Kap. 8.3.1).

Zum Verständnis des erheblichen zivilgesellschaftlichen Widerstands ist es wichtig, sich die besondere Brisanz des Climate Engineering exploratives Experiment zu vergegenwärtigen:

- > Erstens geht es um eine absichtliche Manipulation der Umwelt im globalen Maßstab. Schon bei der Wissenserzeugung müssen explorative Experimente enorme Dimensionen einnehmen, sonst kann nichts Substantielles über die Technik und ihre Effekte gelernt werden. Damit eröffnen sich aber ganz neue Fragen der Bewertung solcher Maßnahmen. »Die Entwicklung bzw. Implementierung einer Technologie, für die beide Attribute – absichtlich durchgeführt und global wirkend – zutreffen, ist in der Geschichte der Menschheit ohne Beispiel« (TAB 2014, S. 5 – Hervorhebungen im Original). Dies legt es nahe, nach spezifischen, der intendierten und möglicherweise auch faktischen Globalität angemessenen Formen der Regulierung und Governance wie auch der gesellschaftlichen Partizipation und demokratischen Entscheidung zu fragen.

---

86 Dieses Kapitel folgt großenteils der Argumentation von Wehling 2015a.



- › Zweitens wird nicht nur von Kritikern, sondern auch von Befürwortern gleichermaßen hervorgehoben, dass bisher bei Weitem kein hinreichendes Wissen über die Wirkungen, die Nebeneffekte und auch die Kosten von CE-Maßnahmen vorliegt (DFG 2012, S. 5 u. 8 f.). Dieses Nichtwissen wird von den verschiedenen Akteuren jedoch konträr bewertet, als unerkanntes Nichtwissen und unauflösbares Nicht-wissen-Können auf der einen Seite, als gewusstes oder zumindest wissbares und durch weitere Forschung aufzulösendes Noch-nicht-Wissen auf der anderen (Rayner 2014, S. 6 ff.). Aus dem je unterschiedlich gedeuteten Nichtwissen werden völlig gegenläufige Konsequenzen gezogen: Während für die einen die enormen Wissenslücken den Anlass – wenn nicht sogar die Verpflichtung – bilden, Forschung voranzutreiben (Keith 2013, S. 12 f.), ist für die anderen das Nichtwissen – nur scheinbar paradox – der Grund, keine weiteren Forschungen zu unternehmen. Denn die explorativen Experimente könnten für das unauflösbare Nicht-wissen-Können ohnehin keine Antworten finden, sondern allenfalls eine trügerische Sicherheit erzeugen. Dies wiederum könnte dazu verleiten, in ein exploratives Großexperiment einzusteigen, das nicht kontrollier- und verantwortbar sei (Hulme 2014; Winter 2011, S. 288).

Experimente zur Meeresdüngung verkörpern somit wichtige Aspekte, die auch für andere explorative Experimente unter Nichtwissensbedingungen charakteristisch sind (Kap. 2.4).

- › Erstens erweisen sich die je unterschiedliche Wahrnehmung und Bewertung von Nichtwissen als zentrale Dimension der Kontroversen um solche Experimente.
- › Zweitens zeigt sich, dass unter Bedingungen des Nichtwissens ethische und politische Bewertungen größere und explizitere Relevanz gewinnen.
- › Drittens ist die Debatte um Meeresdüngungs- bzw. CE-Experimente eng verknüpft mit der Suche nach geeigneten institutionellen Formen der Regulierung solcher Experimente. Dabei spielen demokratische und partizipative Entscheidungen über den Einstieg in solche Experimente eine zentrale Rolle.

Im Folgenden sollen nun die in Kapitel 5 allgemein vorgestellten Formen der Partizipation am Fallbeispiel der Meeresdüngung beleuchtet werden.

---

### **8.6.1 Uneingeladene gesellschaftliche Partizipation bei Experimenten der Meeresdüngung**

Wie am Beispiel des LOHAFEX-Experiments gezeigt werden kann, haben sowohl transnational operierende Umweltschutzorganisationen, wie die ETC Group, Greenpeace (GP) oder der World Wildlife Fund (WWF), als auch deutsche Gruppierungen, wie die Aktionskonferenz Nordsee, eine wichtige Rolle

dabei gespielt, auf das Experiment aufmerksam und die damit verknüpften Konflikte sichtbar zu machen. Dadurch wurde dieses explorative Experiment Gegenstand der politischen Diskussion. Zivilgesellschaftliche Gruppierungen können häufig viel schneller als staatliche oder wissenschaftliche Institutionen auf Prozesse reagieren. Sie müssen auf internationaler Ebene auch weniger diplomatische Rücksichten nehmen. Diese spezifischen Qualitäten zivilgesellschaftlicher Akteure bei der Initiierung gesellschaftlicher Diskussionsprozesse zeigten sich nicht nur in der LOHAFEX-Kontroverse, sondern ebenso in den Konflikten um andere Meeresdüngungsversuche wie das nicht zuletzt aufgrund der Interventionen von NGOs abgebrochene kommerzielle Vorhaben der Planktos Inc. im Jahr 2007 sowie um das ebenfalls kommerziell motivierte HRSC-Vorhaben.<sup>87</sup>

Wie diese Beispiele verdeutlichen, beteiligen sich zivilgesellschaftliche Organisationen uneingeladen an den Kontroversen um explorative Meeresdüngungsexperimente oder initiieren sie sogar erst. Sie beobachteten die Experimente meist über alle Phasen, also von der Ankündigung über die Durchführung bis hin zur abschließenden Evaluation des Experiments. Sie nehmen dabei, wie im konkreten Fall von LOHAFEX, neben der Vertretung bestimmter Interessen auch eine Rolle als epistemische Akteure ein, d. h. als Akteure, die das Wissen und Verständnis über Sachverhalte oder Themen beeinflussen. Mit Pressemitteilungen, Blogbeiträgen, eigenen Positionspapieren und Stellungnahmen fordern sie die offiziellen politischen und die etablierten wissenschaftlichen Wahrnehmungen und Bewertungen von Gefährdungspotenzialen, Risiken und Nichtwissen heraus. Zu diesem Zweck sammeln, analysieren und bewerten sie existierende wissenschaftliche Forschungen zu möglichen Risiken und Ungewissheiten sowie zum aktuellen Stand der politisch-rechtlichen Regulierung, unterstützen die Einrichtung von Moratorien und fordern ihre Einhaltung.

Es überrascht nicht, dass NGOs bei ihrem Versuch, Einfluss auf Debatten und Entscheidungen zu nehmen, das bestehende Nichtwissen in Bezug auf die ökologischen Prozesse hervorheben, die durch eine künstliche Eisendüngung in Gang gesetzt werden können. Letztlich lehnen alle hier exemplarisch erwähnten internationalen Organisationen (die ansonsten nicht in allen Punkten die gleichen Positionen vertreten) zumindest großflächige und vor allem kommerziell betriebene CE-Experimente grundsätzlich als inakzeptabel und unkontrollierbar ab. So betonen WWF, Greenpeace und die ETC Group, dass großflächige explorative Meeresdüngungsexperimente gravierende Konsequenzen für maritime Ökosysteme und Menschen haben können. Die ökologischen Folgen können sich in Biodiversitätsveränderungen ausdrücken, die nicht nur innerhalb des

---

87 Auch bei anderen Arten von CE-Experimenten, wie einem 2011/12 abgebrochenen Feldversuch im Rahmen des britischen Projekts »Stratospheric Particle Injection for Climate Engineering«, das der Erprobung von SRM-Maßnahmen diente, kam der Intervention zivilgesellschaftlicher Gruppen eine wichtige Bedeutung bei der Sensibilisierung der Öffentlichkeit zu.



vorgegebenen räumlichen (Ausbringungsort) und zeitlichen Rahmens (Durchführungs- und Beobachtungsdauer) die Plankton- bzw. Algenstruktur (WWF 2009) beeinflussen, sondern darüber hinaus unkalkulierbare, »ungewollte« (Greenpeace 2007, S. 11) sowie »unmittelbare und möglicherweise irreversible« (ETC Group 2010, S. 33) Folgen für die maritimen Nahrungsnetzwerke und biogeochemischen Kreisläufe haben könnten. Diese Kritik leitet sich vor allem aus der Komplexität der ozeanischen Ökosysteme als betroffene Zielsysteme der Intervention ab.

Dieser Standpunkt im Hinblick auf die Experimente zur Meeresdüngung ist eingebettet in eine fundamentale Kritik an Experimenten zum CE allgemein: So hebt die ETC Group hervor, dass CE-Technologien nicht wirklich testbar seien. Denn kleinflächige CE-Experimente könnten nicht die Informationen und Daten liefern, die notwendig seien, um CE verlässlich zu machen (ETC Group 2010, S. 37), da von kleinskaligen Versuchen nicht ohne weiteres auf eine großräumige Anwendung extrapoliert werden könne. Die ETC Group und andere Kritikerinnen widersprechen damit der Annahme und Hoffnung vieler etablierter wissenschaftlicher und politischer Institutionen, man könne durch kleinskalige Versuche immer besser erforschen, ob und wenn ja, unter welchen Bedingungen CE-Maßnahmen als abgesicherte und verlässliche Techniken eingesetzt werden könnten.

Zivilgesellschaftliche Organisationen werden durch derartige Interventionen und Positionen grundsätzlich zu wichtigen, wenngleich uneingeladenen (und nicht immer erwünschten) Teilnehmern an der Gestaltung und Governance von CE-Experimenten. Auch wenn sie manchmal unausgewogene oder sogar extreme Standpunkte vertreten, sind sie als epistemische und politische Akteure Teil einer Gegenöffentlichkeit (Hess 2011). Ihre Beiträge sind in demokratischen Gesellschaften nicht nur legitim, sondern unverzichtbar, um explorative Experimente der gesellschaftlichen Mitgestaltung zu öffnen. Sie bieten alternative Sichtweisen auf die Verantwortbarkeit von explorativen Experimenten außerhalb der Labore unter Bedingungen von Nichtwissen. Dadurch machen sie deutlich, dass die häufig als selbstverständlich behandelten wissenschaftlichen, normativen und politischen Prämissen, die in die Konzeption solcher Experimente einfließen, kontingente Setzungen darstellen, d. h. durchaus auch anders betrachtet werden könnten. Dies gilt vor allem für die stillschweigende Annahme, das bestehende Nichtwissen könne durch Risikoforschung, Modellierungen, Simulationen und kleinskalige Experimente so weit zurückgedrängt werden, dass CE-Maßnahmen beherrsch- und kontrollierbar werden.

Wird eine demokratische und politische Mitentscheidung angestrebt, so ist die Offenlegung derartiger Vorabsetzungen wichtig. Denn nur dadurch kann klar gemacht werden, dass mit dem bei explorativen CE-Experimenten auftretenden Nichtwissen grundsätzlich auch anders umgegangen werden kann, als dies beim oft dominierenden und kontrollorientierten Verfahren getan wird –

^  
> 8 Explorative Experimente im Bereich Meeresdüngung mit Eisen  
v

z. B. indem auch die Option mit eingeschlossen sein muss, ein Experiment gar nicht erst zu beginnen. Vorschläge zur gesellschaftlichen Partizipation, die den Charakteristika des CE im Besonderen und explorativer Realexperimente im Allgemeinen angemessen sein sollen, dürfen daher nicht zurückfallen auf standardisierte Beteiligungsverfahren, die explizit oder implizit auf dem »deficit model« der Beziehungen zwischen Wissenschaft und Gesellschaft basieren, nach dessen Lesart eine vermeintlich uninformierte Öffentlichkeit zunächst einmal durch die Wissenschaft über die in Rede stehende Problematik aufgeklärt werden muss.<sup>88</sup> In der Tat finden sich im Kontext der Diskussionen um CE einige (zumindest auf den ersten Blick) weiterreichende Entwürfe gesellschaftlicher Beteiligung, auf die im folgenden Kapitel exemplarisch eingegangen wird.

---

### 8.6.2 Oxford Principles und Internationale Konvention zur Bewertung neuer Technologien (ICENT)

Mit Blick auf den besonderen Charakter von CE-Experimenten ist in jüngster Zeit eine Reihe von auf diese Problematik zugeschnittenen Governance- und Regulierungskonzepten vorgeschlagen worden, von denen im Folgenden zwei exemplarisch im Hinblick auf die Rolle hin analysiert werden, die darin der gesellschaftlichen Partizipation zugewiesen wird: die Oxford Principles der Governance von Geoengineering (Rayner et al. 2013)<sup>89</sup> sowie die Vorschläge der ETC Group (2010) für eine »International Convention for the Evaluation of New Technologies« (ICENT), von der auch CE-Technologien erfasst würden.

#### Oxford Principles

Die fünf Oxford Principles (Kasten) wurden 2009 von einer interdisziplinären britischen Wissenschaftlergruppe vorgeschlagen (Rayner et al. 2013, S. 500). Der Grundgedanke, die Gestaltung und Regulierung von Geoengineering nicht durch ein spezifisches Set von Institutionen zu konkretisieren, sondern durch

---

88 Solche Vorschläge lassen sich auch im Kontext der deutschen Debatte um CE beobachten, etwa wenn Renn et al. (2011, S. 8) einen Drei-Stufen-Plan zur Bürgerbeteiligung mit den folgenden Maßnahmen vorschlagen: 1) Informations- und Kommunikationsangebote im Internet und öffentlichen Einrichtungen wie Volkshochschulen; 2) Einrichtung eines Runden Tisches mit Vertretern von Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft, um Chancen und Risiken von Geoengineering systematisch zu erfassen und zu bewerten sowie Foren mit Stakeholdern, um organisierte Interessen hinsichtlich Geoengineering zu ermitteln; 3) Bürgerforen und -konferenzen, um auch die »Wünsche, Anliegen und Vorstellungen« der nichtorganisierten Bürger einzuholen und an die Politik zurückzuspiegeln. Bemerkenswerterweise wird außerdem empfohlen, eine »Synopsis aller Eindrücke« aus diesen Beteiligungsformen durch eine »neutrale Instanz« erstellen zu lassen, wobei die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina und die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften als mögliche Kandidatinnen genannt werden, so als wären Wissenschaftsorganisationen in Fragen von CE-Forschung und -Anwendung neutral.

89 Rayner et al. (2013) beziehen sich auf den breiteren Bereich des Geoengineering, der außer Climate Engineering auch andere denkbare Eingriffe in das System Erde umfasst.



fünf allgemeine Prinzipien, beruht auf der Überlegung, dass angesichts der Heterogenität von Technologien und ihrem recht unterschiedlichen Entwicklungsstand ein Universalkonzept unangemessen wäre (Rayner et al. 2013, S. 504). Die Prinzipien sind gedacht als eine flexible Architektur, die auf verschiedenen Ebenen funktioniert und formale und informelle Mechanismen integriert, je nach Stand der Forschung und der Fragen, die von spezifischen Technologien aufgeworfen werden (Rayner et al. 2013, S. 503).<sup>90</sup>

### Die Oxford Principles zu Geoengineering

Die Oxford Principles waren die erste Initiative, Leitlinien für eine Regulierung von Forschung im Bereich Geoengineering<sup>91</sup> zu entwickeln. Anlässlich einer vom UK House of Commons Committee on Science and Technology formulierten Anfrage, wie Geoengineering reguliert werden sollte, wurde 2009 von einer Gruppe von Wissenschaftlern der University of Oxford eine Liste mit fünf Leitlinien für die Forschung, Entwicklung und Implementation von Technologien des Geoengineering vorgelegt (Rayner et al. 2009, 2013). Sie besagen im Wesentlichen:

- > Prinzip 1: Geoengineering sollte als öffentliches Gut reguliert werden. Während der Privatsektor nicht von der Mitwirkung beim Geoengineering ausgeschlossen werden sollte ..., sollte die Regulierung derartiger Techniken im öffentlichen Interesse durch geeignete Stellen auf staatlicher oder internationaler Ebene erfolgen.
- > Prinzip 2: Öffentliche Teilhabe bei Entscheidungen zu Geoengineering. Wo immer möglich, sollten Entscheidungen zu Experimenten des Geoengineering unter Beteiligung (»notify, consult, and ideally obtain the prior informed consent«) der Betroffenen getroffen werden. Wer betroffen ist, hängt von der erforschten Technik ab.
- > Prinzip 3: Offenlegung jeglicher Geoengineeringforschung und Veröffentlichung der Forschungsergebnisse. Alle Forschungsvorhaben sollten öffentlich angekündigt werden und alle Ergebnisse, auch negative, publiziert bzw. öffentlich zugänglich gemacht werden, um ein besseres Verständnis der Risiken zu ermöglichen und die Öffentlichkeit von der Integrität des Prozesses zu überzeugen.
- > Prinzip 4: Unabhängige Bewertung von Wirkungen. Eine Bewertung der Wirkungen von Geoengineeringforschung sollte von einer von dieser Forschung unabhängigen und ggf. internationalen Stelle durchgeführt werden,

---

90 Im Original: »to provide a flexible architecture, operating at different levels, and involving formal and informal mechanisms, depending on the stages of research and the issues raised by a particular technology« (Rayner et al. 2013, S. 503).

91 Das schließt Experimente zu Climate Engineering mit ein.

^  
> 8 Explorative Experimente im Bereich Meeresdüngung mit Eisen  
v

wobei Umwelt- und sozioökonomische Folgen, inklusive möglicher Lock-in-Effekte berücksichtigt werden sollen.

- > Prinzip 5: Regulierung vor Verwendung (»governance before deployment«). Entscheidungen über die Verwendung erfordern bereits bestehende robuste Governancestrukturen und sollten existierende Regeln und Institutionen nutzen, wo immer möglich.

Diese Prinzipien sollen gewährleisten, dass der gesamte Prozess vom Forschungsdesign über Feldversuche bis hin zu möglichen Anwendungen offen, transparent und entsprechend dem öffentlichen Interesse aller betroffenen Länder geführt wird. Die Prinzipien sehen die Einbindung der Öffentlichkeit in den Forschungs- und Entscheidungsprozess sowie einen transparenten Umgang mit Forschungsergebnissen vor. Die Prinzipien sind flexibel und geben keine konkreten Handlungsanleitungen vor. Es handelt sich um eine formale Rahmenstrategie, die die Entwicklung flexibler Protokolle im Hinblick auf spezifische Technologien ermöglicht, sobald ihre technologischen Besonderheiten und sozioökonomischen Auswirkungen im Zuge des Forschungs- und Entwicklungsprozesses Konturen annehmen (Winickoff/Brown 2013).

Gesellschaftliche Partizipation nimmt als zweites der fünf Prinzipien eine prominente Stellung ein. Dabei wird die Partizipation jedoch durch Betroffenheit (»affectedness«) begründet. Es wird zwar die Möglichkeit offengelassen, dass Betroffenheit nicht ausschließlich durch mögliche materielle Beeinträchtigungen von Umwelt, Gesundheit etc. definiert wird, sondern auch die Verletzung kultureller oder moralischer Überzeugungen durch CE-Experimente beinhalten könnte. Auch wird anerkannt, dass bei manchen Maßnahmen weltweite gesellschaftliche Partizipation erforderlich sein könnte (Rayner et al. 2013, S. 505 f.). Jedoch werden Bürger und zivilgesellschaftliche Gruppen im Rahmen der Oxford Principles nicht explizit als epistemische Akteure anerkannt und einbezogen, die eigenständige Wahrnehmungen von Wissen und Nichtwissen sowie eigene moralische und politische Überzeugungen in die Bewertung und Gestaltung von CE-Experimenten einbringen könnten.

Dementsprechend tauchen beim Prinzip 4 zivilgesellschaftliche Akteure nicht unter denjenigen auf, denen es obliegen soll, die Wirkungen von CE-Forschung und -Experimenten zu bewerten. Genannt werden stattdessen Forschungs- und Forschungsförderorganisationen, regionale und nationale Regierungen sowie internationale Körperschaften (Rayner et al. 2013, S. 507). Zwar wird die Frage gestellt, ob nicht die entsprechenden Gremien, um ihre Unabhängigkeit (auch von den Interessen der Wissenschaft) zu gewährleisten, auch Laien miteinschließen sollten. Doch dies erscheint an dieser Stelle als eine eher symbolische Berücksichtigung von Laien, die der Autorität der Wissensansprüche seitens der Wissenschaften wohl wenig entgegenzusetzen hätten, nicht aber als Schritt hin zur Pluralisierung von (Nicht-)Wissenswahrnehmungen und



Bewertungskriterien durch die gezielte Einbeziehung engagierter und informierter gesellschaftlicher Akteure.

Diese Expertenbasierung des »impact assessment« in den Oxford Principles kann hinterfragt werden, da die entsprechenden Gremien den Oxford Principles zufolge wichtige Fragen behandeln sollen, die über den Horizont (natur)wissenschaftlichen Expertenwissens hinausweisen: Zum einen müsse vor der Wirkungsanalyse festgelegt werden, welche Art von Wirkungen berücksichtigt werden, wobei neben ökologischen Folgen mindestens auch sozioökonomische Effekte zu erfassen seien. Zum anderen müsse entschieden werden, an welchem Punkt die Suche nach erwünschten und unerwünschten Wirkungen als hinreichend erscheint: »How much time and effort has to go into the investigation of impacts before research can proceed?« (Rayner et al. 2013, S. 507). Wie bereits verdeutlicht worden ist, fließen in die Beantwortung dieser Frage notwendigerweise auch Vorstellungen über die Relevanz des Nichtgewussten ein, und man kann mit gutem Grund vermuten, dass Wissenschaftler, die oft von der Verlässlichkeit und Vollständigkeit ihres Wissens überzeugt sind, nicht immer gut dafür gerüstet sind, die eigenen Grundannahmen und vermeintlichen Gewissheiten selbstreflexiv infrage zu stellen. Umso wichtiger erscheinen kritische, korrigierende Außenwahrnehmungen, die andere Vorannahmen und andere räumlich-zeitliche Beobachtungshorizonte ins Spiel bringen (Wehling 2015a, S. 62).

Zusammenfassend lässt sich festhalten: Trotz der prominenten Rolle von Partizipation an Entscheidungsprozessen in den Oxford Principles werden gesellschaftliche Gruppen darin eher als passive Betroffene von Maßnahmen des Geoengineering denn als relevante, aktiv und engagiert an der Gestaltung von explorativen Experimenten wie auch an der Erarbeitung von Entscheidungsalternativen und geeigneten Bewertungsgrundlagen beteiligte Akteure wahrgenommen.

### **Internationale Konvention zur Bewertung neuer Technologien**

Ein vergleichsweises ambitioniertes, gleichzeitig auch sehr voraussetzungsvolles Konzept, um neue Technologien mittels einer internationalen Konvention zu regulieren, hat die ETC Group (2010) vorgelegt. Unter diese neuen Technologien fallen auch alle CE-Technologien. Vorgeschlagen wird »... an international participatory and transparent process that supports societal understanding, encourages scientific discovery and diversity, facilitates equitable benefit-sharing from new technologies, and results in a legally binding treaty: an International Convention for the Evaluation of New Technologies« (INCENT) (ETC Group 2010, S. 43).

Eine solche Übereinkunft soll auch dazu dienen, bewährte konventionelle oder kulturspezifische Technologien zu erhalten und die technologische Vielfalt

^  
> 8 Explorative Experimente im Bereich Meeresdüngung mit Eisen  
v

und Dezentralisierung zu fördern. Das vorgeschlagene multilaterale Abkommen müsste auf den folgenden sieben Prinzipien beruhen:

- > strikte Anwendung des Vorsorgeprinzips;
- > kein unilateraler Technologieeinsatz;
- > Sicherung der Integrität der Umwelt als zentrales Ziel;
- > Berücksichtigung aller potenziellen negativen sozialen, kulturellen und umweltbezogenen Effekte;
- > Notwendigkeit eines offenen und transparenten Prozesses mit voller zivilgesellschaftlicher Beteiligung, einschließlich sozialer Bewegungen und indigener Völker;
- > faire, uneingeschränkte und gleichberechtigte Beteiligung von Entwicklungsländern;
- > Respektierung internationaler Menschenrechte und Umweltgesetze.

Aufbauend auf diesen Prinzipien entwarf die ETC Group (2010) eine mögliche Struktur von ICENT, die aus vier Elementen besteht, die je unterschiedliche Funktionen besitzen und arbeitsteilig aufeinander verwiesen sind: die Conference of the Parties (COP), das Committee on Technology Assessment (COTA), das Committee on Technological Diffusion and Conservation (COTDAC) sowie das Advisory Committee for the Socio-Economic and Ecological Evaluation of New Technologies (ACSENT). Die COP würde durch ein Sekretariat und eine Behörde unterstützt, die sich aus regionalen Repräsentanten von Staaten rekrutiert. Das COTA besäße die Funktion, neue und interessant erscheinende Technologien zu identifizieren. Für jede dieser Technologien würde es angemessene Evaluationsprozesse erarbeiten und der COP die Ablehnung, Verlangsamung oder Verbreitung der Technologien empfehlen. Das COTDAC würde demgegenüber den Erhalt und die Verbesserung bestehender und kulturspezifischer Technologien fördern, die technologische Diversifizierung und die öffentliche Partizipation stärken sowie die Diffusion neuer Technologien unterstützen. COTDAC besäße außerdem die finanziellen Ressourcen, um nationalstaatliche Kapazitätsbildung in Wissenschaft und Technik sowie eine breite und gerechte Verteilung von Technologien anzuregen. ACSENT würde als finanziell und politisch unabhängige Nichtregierungsagentur fungieren und ein »centre of scientific excellence« darstellen. ACSENT wäre mit dem unabhängigen Monitoring von Wissenschaft und Technologie befasst und könnte der internationalen Gemeinschaft alternative oder ergänzende Perspektiven auf Technologien und deren Verbreitung bieten.

Es ist nicht überraschend, dass das partizipative, zivilgesellschaftliche Element bei der Anwendung, der Erprobung oder – hier explizit als mögliche Option erwähnt – der Ablehnung neuer Technologien von der ETC Group stärker betont wird als in den Oxford Principles. Zumindest gilt dies für die genannten sieben Prinzipien, während im institutionellen Design von ICENT nicht ganz



deutlich wird, in welcher Weise und in welchem Umfang partizipative Elemente in die einzelnen Institutionen eingebaut werden sollen.

Beide hier skizzierten Vorschläge stellen wichtige Anregungen für die weitere Diskussion dar; sie verdeutlichen aber in jedem Fall, dass realexperimentelle Technologien wie CE (in modifizierter Weise gilt dies auch für Agro-Genetik, Fracking, Nanotechnologie, Geothermie, Technologien des Human Enhancement etc.) es angezeigt erscheinen lassen, sowohl nach neuen Formen der transnationalen Regulierung und Governance als auch nach erweiterten Möglichkeiten der gesellschaftlichen (Mit-)Gestaltung und (Mit-)Entscheidung zu suchen.

---

### **8.7 Fazit: Regulierung und Nichtwissen bei explorativen Experimenten der Meeresdüngung mit Eisen**

Im Folgenden sollen Aspekte des Nichtwissens, bzw. des Umgangs damit, aus der Perspektive der Regulierung im Londoner Protokoll und der zwei Heuristischen Technikcharakterisierung und rekursives Lernen in Realperspektiven betrachtet werden.

---

#### **8.7.1 Regulierung im Rahmen des Londoner Protokolls<sup>92</sup>**

Die derzeit bedeutendste Regulierung im Hinblick auf die Genehmigung von Experimenten im Bereich der Meeresdüngung stellt das Londoner Protokoll dar (Kap. 8.4.1). Zur Beurteilung der Angemessenheit dieser Regulierung ist die Unterscheidung in wissenschaftliche und kommerzielle Experimente wichtig, da Motivation, Selbstkontrolle und Risikoverhalten in diesen zwei Bereichen deutlich voneinander abweichen.

Die wissenschaftliche Forschung ist zunächst vom Erkenntnisgewinn über die Funktion der ozeanischen Systeme motiviert. Daher besteht eine intrinsische Motivation, das Experiment unter Kontrolle zu halten, den Einfluss externer Faktoren zu beschränken und alle für die Dynamik relevanten Parameter zu erfassen, um die Erklärbarkeit der beobachteten Phänomene zu verbessern. Das Fachwissen der Verantwortlichen für die Experimente über die manipulierten Systeme ist hoch, was eine Beschränkung riskanten Handelns im Prinzip begünstigen sollte. Bedingt durch die in den meisten Fällen öffentliche Finanzierung der Projekte werden zudem die erhaltenen Daten in größerem Umfang zur

---

92 Dieses Kapitel basiert wesentlich auf von Gleich et al. 2014.



freien Verfügung gestellt, was die Überprüfbarkeit und Kontrolle verbessert.<sup>93</sup> Die Regulierung wissenschaftlicher Experimente wird in Form von Einzelfallentscheidungen auf der Basis einer Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt.

Die kommerzielle Forschung hingegen ist grundsätzlich von Gewinninteresse getrieben. Die Fachkenntnis der beteiligten Akteure muss daher nicht zwangsläufig höher sein, als zur kommerziell erfolgreichen Durchführung des Experiments notwendig ist. Den Maßstab für Erfolg bildet im Falle der Eisendüngung die Erhöhung der Primärproduktion oder des Kohlenstofftransports in die Tiefe, nicht das Verständnis der dafür notwendigen Prozesse. Da eine intrinsische Motivation besteht, das Kosten-Einnahmen-Verhältnis zu optimieren, und es sich beim offenen Ozean um ein kaum reguliertes Gemeinschaftsgut handelt, besteht die Gefahr, dass die Gewinnoptimierung durch eine Externalisierung der Risiken erreicht wird. Das heißt, es werden bevorzugt Gebiete zur Durchführung der Düngung gewählt, in denen ein hohes Potenzial zur Verstärkung des Kohlenstoffflusses besteht, die Veränderungen im Ökosystem aber keine Haftungsfolgen nach sich ziehen. Es besteht wenig Interesse an einer Begrenzung der ausgebrachten Dosis und der Reichweite des Eingriffs. Dieses sind jedoch kritische Punkte für die Risikoeinschätzung der Eisendüngung. Das im Londoner Protokoll faktisch verankerte Moratorium für kommerzielle Forschung auf internationaler Ebene erscheint daher angemessen, solange über mögliche Folgen im Ökosystem derart große Unsicherheiten bestehen und noch keine praktischen Erfahrungen mit einer erfolgreichen Anwendung des Assessment Frameworks vorliegen.

Einer der Hauptstreitpunkte im Konflikt um das LOHAFEX Experiment bezog sich darauf, ob das Vorhaben nach Maßgabe der damals bestehenden internationalen Regelsysteme (CBD, LC-LP) zulässig oder unzulässig war. Dieser Punkt blieb letztlich auch deshalb ungeklärt, weil die entsprechenden Regeln zwar Moratorien für Meeresdüngungsexperimente vorsahen, gleichzeitig aber Ausnahmen für bestimmte Projekte auf einer relativ unklaren und dehnbaren begrifflichen Grundlage erlaubten: »small-scale«, »coastal waters« und »legitimate scientific research« wurden von den Konfliktparteien jeweils unterschiedlich ausgelegt. Insofern verdeutlicht das LOHAFEX-Beispiel, dass es angesichts der Komplexität der Thematik schwierig sein dürfte, jeden denkbaren

---

93 Als Kritik an der wissenschaftlichen Forschung werden vonseiten von Nichtregierungsorganisationen oder Medien hauptsächlich eine Hybris der Forscher und eine Beeinflussung ihres Urteils durch persönlichen Ehrgeiz oder Horizontverengung vorgebracht (ETC Group 2009; von Gleich et al. 2014). Tatsächlich kann die oft jahrzehntelange Beschäftigung mit dem Untersuchungsgegenstand neben einer detaillierten Fachkenntnis zur Verengung der Wahrnehmung auf das Fachgebiet führen, wodurch das eigene Verständnis anderer durch die eigene Arbeit betroffener Aspekte, die außerhalb der persönlichen Expertise liegen, überschätzt wird. Weiterhin können Wissenschaftler ein persönliches Interesse haben, ihre Karriere in den Grenzen der eigenen Disziplin voranzutreiben und daher mögliche Risiken zu vernachlässigen, solange diese nicht für den Erfolg des Experiments und den Ruf in der wissenschaftlichen Gemeinschaft nachteilig sind.



Einzelfall im Vorfeld eindeutig zu regeln. So wichtig internationale Vereinbarungen zu CE in der Tat sind, könnten sich die Hoffnungen daher als trügerisch erweisen, durch weitgehende Verrechtlichung ließen sich eindeutige Vorgaben für Meeresdüngungsexperimente festlegen und alle Konflikte über kurz oder lang einvernehmlich beilegen. Gerade weil institutionalisierte politisch-rechtliche Regelungen bei CE möglicherweise an Grenzen stoßen oder zumindest in der Auslegung immer umstritten sein werden, besitzt die Beteiligung zivilgesellschaftlicher Organisationen als Gegenwicht zu kommerziellen Interessen, aber auch zur etablierten Wissenschaft und Politik in den Kontroversen um die Zulässigkeit und Gestaltung von CE-Experimenten auch durch uneingeladene Partizipation große Bedeutung.

---

### 8.7.2 Technikcharakterisierung

Die Experimente zur Meeresdüngung mit Eisen haben auf der Eingriffsseite eine eher geringe Wirkmächtigkeit (Kap. 8.3.2): Es wird nicht in Steuerungsstrukturen eingegriffen, und bei den eingebrachten Chemikalien handelt es sich um ein biochemisches Spurenelement, dessen Gefährdungspotenzial insgesamt gering erscheint. Die Eingriffstiefe erscheint als vergleichsweise gering. Eine ggf. hohe Eingriffsintensität (Menge und Frequenz der Einbringung) kann gleichwohl zu weitreichenden Folgen führen. Während die Verlässlichkeit bzw. Resilienz des Eingriffs der Eisendüngung selbst als hoch eingestuft werden kann, liegen große Wissensdefizite vor allem auf Seiten des manipulierten Systems.

Entscheidend für die Bewertung von explorativen Experimenten der Meeresdüngung ist demgemäß weniger der Eingriff als solcher als vielmehr die Vulnerabilitätsanalyse der direkt und indirekt beeinflussten Zielsysteme. Hier spielt das von den experimentellen Eingriffen direkt betroffene marine Ökosystem die entscheidende Rolle sowie darüber hinaus die Frage, wie die Wirkungen der Experimente ggf. über das direkt betroffene Ökosystem hinaus einzuschätzen sind. Betrachtet wird neben den direkt beeinflussten marinen Ökosystemen auch das Klimasystem.

Diese möglichen betroffenen Systeme sind so umfassend, dass sie sich kaum vollständig beobachten lassen und auch kein vollständiger Überblick über alle ablaufenden Prozesse bzw. entsprechende Wirkungsmodelle besteht. Die ereignisbezogene Vulnerabilitätsanalyse fokussiert auf plausible mögliche Ereignisse, für die sie Analysen durchführen und Einschätzungen über Nichtwissen und mögliche Effekte abgeben kann. Wie Tabelle 8.2 in Kapitel 8.3.2 zusammenfasst, werden mögliche Auswirkungen auf Nahrungsnetze und Biodiversität, Sauerstoffarmut (Hypoxie) und Eutrophierung, die Gefahr toxischer Algenblüten sowie unklare Wirkungen auf das Klimasystem ins Kalkül gezogen.



Aus diesem Vorgehen und dem Verweis auf die Bedeutung von Wirkungsmodellen kann geschlossen werden, dass es sich hier vor allem um Noch-nicht-Wissen handelt, das durch weitere Forschung grundsätzlich in Wissen umgewandelt werden kann, und sich somit mögliche negative Effekte von experimentellen Eingriffen unter Kontrolle bringen lassen. Einzig die Wirkungsmodelle zu Klimaeffekten werden als nicht zu ermitteln eingestuft.

Von Gleich et al. (2015) skizzieren mehrere Aspekte, die für Entscheidungen über explorative Experimente wichtig sind:

- Die relevante Größe für Effekte auf Ökosysteme ist die relative Veränderung in der Endkonzentration des im Wasser gelösten Eisens. Sie wird beeinflusst durch die Menge des ausgebrachten Stoffes und die Größe des durchmischten Bereichs. Dabei ist die Konzentration in Bezug zu den ozeanografischen und ökologischen Gegebenheiten im Durchführungsgebiet zu setzen. Die Frage, ab wann ein Experiment als groß- oder kleinskalig in Raum und Zeit einzustufen ist, spielt in den Debatten um die Bewertung solcher Experimente eine wichtige Rolle.
- Ökologische und rechtliche Bedingungen bestimmen die Eignung des gewählten Orts. So sind beispielsweise Schutzgebiete wie die Antarktis von Manipulationen freizuhalten. Die ozeanografischen Gegebenheiten bestimmen die potenzielle Reaktion des Systems und die Wahrscheinlichkeit von Expositions- und Gefährdungspotenzialen.
- Wichtig sind vorausschauende und experimentbegleitende Modellierungen der Stoffflüsse im manipulierten System sowie der Nahrungsnetze mithilfe von Ökosystemmodellen. Werden großmaßstäbliche explorative Experimente ausgeführt, erlauben begleitende Modellierungen eine Überprüfung von Hypothesen und einen Fortschritt im Verständnis der manipulierten Systeme. Die Hinwendung zu modellierungsbasierter Forschung hat auch forschungsökonomische Aspekte, denn die Erhöhung der ausgebrachten Düngungsmengen in explorativen Experimenten scheint ein logistisches Limit erreicht zu haben. Das betrifft die Ausbringung durch Schiffe als auch die ozeanografische Beobachtung des gedüngten Gebietes (Watson et al. 2008).
- Stufenweises Upscaling von Experimenten: Im Vorfeld von großmaßstäblichen explorativen Experimenten werden intensive Vorstudien empfohlen, z. B. Mesokosmenexperimente, in denen großvolumige Meerwasserproben (Durchmesser 1 bis 4 m, Tiefe bis etwa 15 m) inklusive der enthaltenen natürlichen Planktongemeinschaften durch das Hinzufügen von Nährstoffen manipuliert werden können. Mit dieser Art Stufenverfahren soll das in kleinmaßstäblichen kontrollierten Experimenten gewonnene Wissen auf größere Skalen übertragen werden. Dies erlaubt auch den Aufbau von Kompetenz im Bereich der chemischen, molekulargenetischen und mikroskopischen (taxonomischen) Analyse.



- › Berücksichtigung von Ergebnissen aus Untersuchungen natürlicher Vergleichsgebiete mit ähnlichen Nährstoffverhältnissen und Artenzusammensetzung, bei denen die Wachstumsdynamik des Planktons erfasst wurde: Beispielsweise existieren im südlichen Ozean große Gebiete in der strömungsabgewandten Seite von Inseln, an denen der natürliche Eiseneintrag aus vulkanaschehaltigen Sedimenten zu einer Stimulation des Planktonwachstums führt (von Gleich et al. 2014, S.72). Saisonal natürlich auftretende Planktonblüten sind ein weiteres Beispiel, an dem die zu erwartende Wachstumsdynamik dieser Algengemeinschaften studiert und anschließend für die Einschätzung der Experimente genutzt werden kann.

Der explorative Charakter der Eisendüngungsexperimente nimmt Wissenslücken bezüglich der Umweltdynamik natürlicher Planktonsysteme in den Blick und akzeptiert dabei auch Überraschungen. Von den befragten Wissenschaftlern wird allerdings angenommen, dass die Gewässer, in denen Realexperimente durchgeführt werden (sollen), bzw. vergleichbare Systeme zumindest soweit verstanden sind, dass eine kritische Gefährdung durch den Eingriff als sehr unwahrscheinlich angenommen werden kann. Eisendüngungsexperimente tragen in dieser Sichtweise dazu bei, Noch-nicht-Wissen abzubauen, indem etwa Wirkungsmodelle gefunden und abgesichert werden.

Durch eine bewusste Aufklärung der Öffentlichkeit über das Nichtwissen in seinen verschiedenen Schattierungen könnte in einem Dialog zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit größeres Vertrauen aufgebaut und gleichzeitig ein größeres Verständnis für die wissenschaftliche Arbeitsweise erreicht werden. Dabei könnte zumindest bei der Öffentlichkeit der Eindruck entkräftet werden, Wissenschaft ginge nicht mit der nötigen Verantwortung zu Werke. Möglichkeiten für vertrauensbildende Maßnahmen lassen sich im Bereich der Partizipation finden, beispielsweise die Information und Befragung verschiedener Gesellschaftsgruppen bei der Konzeption des Forschungsprogramms sowie die Mitnahme von Medienbeobachtern auf dem Forschungsschiff bei der Durchführung der Experimente.

---

### 8.7.3 Rekursives Lernen in Realexperimenten

Grundsätzlich betont das Konzept des rekursiven Lernens in Realexperimenten, dass Nichtwissen nicht nur vor einem Experiment besteht, sondern auch im Verlauf eines experimentellen Prozesses erzeugt werden kann und mit dem Auftreten von Überraschungen zu rechnen ist. Dies wird nicht als grundsätzlich negativ bewertet, sondern ist inhärenter, teilweise sogar beabsichtigter Teil wissenschaftlichen Experimentierens. Es wird jedoch gefordert, dass der Prozess des Experimentierens von einem mitlaufenden Governanceprozess begleitet werden sollte, der neu gewonnenes Wissen aufnimmt und verarbeitet und so auch vonseiten der Regulierung auf ggf. auftretende Überraschungen reagieren kann. In



diesem Prozess werden mit Betroffenen Überlegungen angestellt und Vereinbarungen getroffen, wie man sich auf mögliche Überraschungen vorbereiten und sicherstellen kann, dass die aus den Überraschungen gewonnenen Einsichten konstruktiv verarbeitet werden und in Lernprozesse überführt werden können. Dabei spielen angemessene Beobachtungsstrukturen und -prozesse der Folgewirkungen eine große Rolle. In Abhängigkeit von den gemachten Beobachtungen, erlebten Überraschungen und den Beschlüssen als Reaktion auf diese Überraschungen werden wiederum Eingriffe durchgeführt, die die Ausführung der Experimente verbessern sollen oder die Experimente gegebenenfalls auch frühzeitig beenden.

Die in den Kapiteln 8.5 und 8.6.1 skizzierte Geschichte der Experimente zur Eisendüngung in Ozeanen und ihrer Aufnahme und Diskussion in der Gesellschaft zeigt, dass – nicht zuletzt durch Prozesse der uneingeladenen Partizipation – die Idee des gesellschaftlichen Lernens in rekursiven Schleifen bereits in Ansätzen umgesetzt wurde. Die Regulierung wurde im Laufe der Zeit verändert und verbessert sowie im Rahmen des Londoner Protokolls sogar eine internationale Regulierung verabschiedet. Gleichzeitig wird deutlich, dass das Feld der explorativen Meeresdüngungsexperimente für das Konzept der Realexperimente eine große Herausforderung darstellt und es an Grenzen führt, insbesondere, wenn man einen geregelten Governanceprozess erwartet, der die verschiedenen Phasen des Experimentierens begleitet. Denn es handelte sich bei der Governance eher um ungerichtete und kontroverse politische Aushandlungsprozesse als um ausgearbeitete, die Experimente begleitende Regulierungen.

Auch wenn die Oxford Principles (Kasten Kap. 8.6.2.) als Startpunkt für die Entwicklung einer stringenten internationalen Regulierung von Meeresdüngungsexperimenten dienen können, bereitet deren Ausarbeitung und Umsetzung offensichtlich Schwierigkeiten, z. B. bei der Gestaltung der Rahmenbedingungen und Partizipation. Denn die offene See, in der die meisten Experimente stattfinden, entzieht sich herkömmlichen sozioökonomischen Strukturen und Governanceansprüchen. Es ist z. B. schwierig, direkte Betroffenheit abzuleiten bzw. aus anderer Perspektive Betroffenheit einzugrenzen. Wer sollte bei intendiert globalen Auswirkungen von Experimenten des CE nicht betroffen sein und von der Beteiligung an Entscheidungen über das Design, die Durchführung und ggf. auch den Abbruch des Experiments ausgeschlossen werden? Wenn aber die Weltbevölkerung in Entscheidungen einbezogen werden müssten, wie ließe sich dies institutionell realisieren?

Das Konzept des rekursiven Lernens in Realexperimenten macht noch auf einen anderen Aspekt aufmerksam, der bei Analysen, die ihren Fokus eher auf Antizipation von möglichen Effekten ausrichten, weniger Beachtung findet: das begleitende und über das eigentliche Experimentierfeld in zeitlicher und räumlicher Hinsicht hinausgehende Monitoring. Ein angemessenes System der Beobachtung ist für verantwortliches Handeln unabdingbar. Dabei kann es nicht



nur darum gehen, kurz- bis mittelfristig die intendierten Effekte wie Algenblüten und den Transport von Kohlenstoff in tiefere Meeresbereiche zu beobachten, sondern das Monitoring sollte für mögliche Überraschungen in Ökosystemen, der Atmosphäre usw. sensibel sein. Inwieweit kann sichergestellt werden, dass möglichst alle relevanten Effekte und Nebenwirkungen eines Experiments beobachtbar sind und tatsächlich beobachtet werden? Dahinter verbirgt sich ein systematisches Problem explorativer Experimente (Köchy 2008, S. 140 ff.; Sandkühler 2014c, S. 148; Kap. 4.2.1): Wenn nicht lediglich ein spezifischer, isolierbarer Wirkungsmechanismus überprüft und gemessen werden soll, sondern auch unerwartete, unbekannte Nebenfolgen (»unknown unknowns«) erfasst werden sollen, ist vorab schwer zu bestimmen, welche Parameter relevant sind und wie umfassend der räumliche und zeitliche Beobachtungshorizont angelegt sein muss. Dazu gehört z. B. ein zeitlich ausgedehntes Monitoring, wobei sofort auch Grenzen ersichtlich werden, die mit den zwingend begrenzten Erwartungshorizonten genauso zusammenhängen wie mit den ökonomischen Limitierungen (Kosten für Monitoringsysteme, zeitlich begrenzte Einsatzmöglichkeiten von Forschungsschiffen etc.).

^  
v >

---

## 9 Resümee und Ausblick

Forschung bzw. die Produktion von Wissen spielen in modernen Gesellschaften eine entscheidende Rolle, um Innovationen voranzubringen, Wohlstand zu sichern und den großen Herausforderungen der Zukunft zu begegnen. Experimente sind ein zentrales Instrument der Forschung, um Hypothesen zu überprüfen und abzusichern, aber auch, um neue Lösungsansätze und Techniken außerhalb des Labors zu testen und weiterzuentwickeln. Führt man derartige, explorative Experimente außerhalb des kontrollierten Raums des Labors durch, werden Natur und Gesellschaft in unterschiedlicher Form und Intensität Bestandteil des Experiments. Gleichzeitig erhöht sich gegenüber der Laborsituation die Komplexität der Versuchsanordnung, und Nichtwissen in Form von »known unknowns« und »unknown unknowns« kann vermehrt auftreten bzw. wird durch das Experiment teilweise erst erzeugt.

Der gute gesellschaftliche Umgang mit einerseits dem auftretenden Nichtwissen und andererseits der resultierenden Betroffenheit einer großen Zahl von Bürgerinnen und Bürgern wirft eine Bandbreite von Fragen auf, denen in diesem Hintergrundpapier nachgegangen wurde. In Bezug auf die drei Forschungsfelder Grüne Gentechnik (Kap. 6), Fracking (Kap. 7) und Meeresdüngung (Kap. 8) wurde beleuchtet, in welcher Form sich Aspekte des Nichtwissens bei explorativen Experimenten manifestieren, wie damit regulativ und im Hinblick auf Partizipation umgegangen wird und welche Schlussfolgerungen sich für diese Felder daraus ziehen lassen. Abschließend sollen nun einige übergreifende Aspekte behandelt werden.

### **Nichtwissen als Gegenstand politischer Auseinandersetzung**

Der eigentliche Gegenstand der Analyse ist Nichtwissen. Obwohl sich Risikoforschung, Soziologie, Wissenschaftsphilosophie und verwandte Denkschulen mit dem Phänomen des Nichtwissens auseinandergesetzt und entsprechende Begriffssysteme hervorgebracht haben (Kap. 2.3), bleibt der Gegenstand Nichtwissen naturgemäß nur eingeschränkt spezifizierbar. Dies gilt insbesondere dann, wenn es um konkrete Situationen geht: Hier unterliegt Nichtwissen immer Einschätzungen, die zwar teilweise, aber nicht vollständig objektivierbar sind und daher notwendigerweise ein subjektives Element enthalten. Die in Kapitel 2.4 diskutierten verschiedenen Rationalitäten bzw. Kulturen des Umgangs mit Nichtwissen illustrieren dies.

Daher ist Nichtwissen bei kontroversen Themen, wie großtechnologischen explorativen Experimenten, immer Gegenstand politischer Auseinandersetzung. Es wird insbesondere dann ins Feld geführt, wenn über die Zulassung und die Ausgestaltung von neuen Technologien gestritten wird. Es ist daher nicht



verwunderlich, dass Nichtwissen in politischen Auseinandersetzungen oft instrumentalisiert wird. Umgekehrt ist der gesellschaftliche Umgang mit Nichtwissen selbst notwendigerweise ein politischer Prozess, der Fragen der Betroffenheit, Teilhabe, Partizipation, Mitentscheidung etc. aufwirft.

Fragen nach der Einschätzung von Nichtwissen in Bezug auf ein konkretes experimentelles Projekt sind also im Kern politische Fragen, und Entscheidungen darüber, ob und unter welchen Umständen ein großskaliges exploratives Experiment durchgeführt wird, sind ihrem Wesen nach politische Entscheidungen. Solche politischen Entscheidungen sollten von Entscheidern auf Basis belastbarer Informationen gefällt werden. Im Vorfeld solcher Entscheidungen kann die Technikcharakterisierung hierfür wichtige Informationen liefern, die ggf. dazu führen können, dass Vorsorgemaßnahmen bis hin zu einem Moratorium ergriffen werden. Nach der Entscheidung, das Experiment zunächst einmal zu starten, können im Rahmen von prozessbegleitenden partizipativen Verfahren weitere Informationen nachgeliefert werden.

Bei diesen Entscheidungen müssen unter Abwägung der bekannten Fakten, aber auch verschiedener Einschätzungen und Beurteilungen – z. B. hinsichtlich des bestehenden Nichtwissens und darüber hinaus – Urteile getroffen werden. Es liegt im Wesen derartiger Urteile, dass man dabei zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen kann (Klauer et al. 2013, S. 149 ff.) und daher unterschiedliche Akteure im Allgemeinen auch unterschiedliche Urteile treffen werden. Somit ist klar, dass die materiellen, sachlichen Aspekte, insbesondere die nachvollziehbaren Besorgnisgründe, die beispielsweise durch Verfahren der Risikoforschung und der Technikcharakterisierung herausgearbeitet werden, eine wichtige Rolle bei diesen Entscheidungen spielen. Gleichzeitig sind jedoch prozedurale Strukturen und Verfahren der Entscheidungsfindung und Aspekte der Transparenz und Partizipation sehr wichtig zur Findung eines gesellschaftlich guten und auch akzeptablen Urteils.

### **Governance: Kombination aus Ex-ante-Analyse und prozessbegleitendem Steuern**

Experimente werden durchgeführt, um Technologien explorativ zu erkunden und dabei neues Wissen zu schaffen. Vorher bestehendes Nichtwissen ist also geradezu die Voraussetzung dafür, dass es sinnvoll ist, überhaupt ein Experiment durchzuführen. Noch-nicht-Wissen kann durch die Experimente teilweise in Wissen überführt werden. Gleichzeitig wird im Verlauf des Experiments neues Nichtwissen aufgeworfen. Und, allgemein gesprochen, wird ein Zuviel an brisant eingeschätztem Nichtwissen in gesellschaftlichem Kontext i. d. R. als Problem betrachtet. Darin besteht ein Dilemma, für das es keine universell gültige Auflösung gibt.

Bei einem guten Umgang mit Nichtwissen bei explorativen Experimenten sollte also versucht werden, zwei eigentlich unvereinbare Ziele miteinander in



Einklang zu bringen: Nichtwissen einschließlich der »unknown unknowns« möglichst systematisch und abgeleitet in seinem Ausmaß auszuloten bzw. ex ante zu charakterisieren und darauf aufbauend ggf. Vorsorgemaßnahmen zu ergreifen, die von einem abgewandelten Design des Experiments bis hin zu einem Moratorium reichen können. Gleichzeitig aber sollen mit der Durchführung des Experiments Raum und Aufgeschlossenheit für neues Wissen und das Auftreten von Überraschungen geschaffen werden, sonst wäre das Experiment als solches nicht sinnvoll. Bei diesem Spagat darf man nicht zu viel erwarten. Die beiden vorgestellten Ansätze der Technikcharakterisierung und des rekursiven Lernens in Realexperimenten (Kap. 4) sind daher als Heuristiken zu betrachten, die aufeinanderfolgend eingesetzt werden und helfen können, zu guten Ergebnissen, d. h. zu Urteilen im zuvor genannten Sinne zu gelangen, auch wenn dies nicht in jeder Situation gelingen mag. Die Wahrscheinlichkeit für weitreichende Überraschungen kann auf diesem Wege zwar vermindert, aber nicht vollständig auf null gesetzt werden.

Sie stehen für zwei komplementäre Herangehensweisen an das Problem des Umgangs mit Nichtwissen. Es ist sinnvoll, Risikowissen und Anhaltspunkte für Gründe zur Besorgnis bereits im Vorfeld möglichst umfassend zu sammeln – dies ist u. a. die Herangehensweise der Technikcharakterisierung – und nach einer (vorläufigen) Genehmigung zusätzlich einen kontinuierlichen Prozess des Monitorings und der Steuerung zu etablieren, um auf neu auftretende Erkenntnisse, neue Bewertungen und auch neu auftretendes Unwissen (hier allgemein Überraschungen) reagieren zu können – dies ist die Perspektive des rekursiven Lernens in Realexperimenten.

Die Technikcharakterisierung mit ihrem Fokus auf Antizipation erweist sich als besonders nützlich, um im Vorfeld von explorativen Experimenten das vorhandene Wissen im Hinblick auf besondere Gefahrenmomente oder Situationen großer Besorgnis zu bündeln. Insbesondere Eingriffe in die strukturbildenden Elemente oder Eigenschaften von Materie und Lebewesen erfordern demnach eine zusätzliche und sorgfältige Prüfung von Risiken, Expositionspotenzialen und Vulnerabilitäten. Dann, wenn Effekte nicht direkt aus materiellen Eigenschaften von Eingriffen ableitbar sind oder größere Zeithorizonte zwischen Eingriff und unerwarteten Effekten liegen, hat die Technikcharakterisierung wie alle vorhersagebasierten Herangehensweisen ihre Grenzen, auch wenn sie ggf. auf erwartbare hohe Expositionen und aus diesen möglicherweise resultierende noch unbekanntes adverse Effekte verweisen kann.

Vorausgesetzt, dass gemäß dem Ergebnis der Technikcharakterisierung keine nicht rückholbaren bzw. nicht mehr angemessen korrigierbaren Effekte zu erwarten sind und somit ein Weg des »trial and error« als vertretbar oder gar angemessen erscheint, hilft anschließend die Perspektive des rekursiven Lernens in Realexperimenten weiter, die die Wichtigkeit der begleitenden Beobachtung und Steuerung betont, nachdem ein Experiment in Gang gesetzt wor-

den ist. Da im Verlauf des Experiments neues Wissen, Überraschungen und neues Nichtwissen, ggf. aber auch neue gesellschaftliche Bewertungen auftauchen werden, sind rekursive Abläufe der Steuerung notwendig, die periodisch oder kontinuierlich diese neuen Aspekte berücksichtigen und in die weitere Ausgestaltung des Experimentierens einbeziehen. Dabei sollten die betroffenen Akteure auch die Möglichkeit haben, Einfluss auf Design und Ausführung von Experimenten zu nehmen. Unterschiedliche Formen von Partizipation sind wichtig, wodurch u. a. verschiedene Wissensformen berücksichtigt werden können.

### **Monitoring und Zusammenführung von Daten und Wissen**

Eine entscheidende Voraussetzung dafür, dass bei und nach der Durchführung des Experiments neu auftretendes Nichtwissen und Überraschungen bemerkt und registriert werden, ist ein breit angelegtes und lang andauerndes Monitoring. Auch hierbei besteht ein Grunddilemma, mit dem umgegangen werden muss: Wissenschaftliches Monitoring ist aufwendig und kostenintensiv. Daher ist es notwendigerweise beschränkt auf eine begrenzte Zahl von Parametern, die gemessen werden können. Es erscheint selbstverständlich, dass die Auswahl von Aspekten, die beobachtet werden sollen, hypothesengeleitet stattfindet – beispielsweise wird aus zugrundeliegenden Wirkungsmodellen extrapoliert, welche Eigenschaften des Zielsystems eines Eingriffs mutmaßlich beeinflusst werden. Doch diese Engführung durch Hypothesenbildung – und darin liegt ein Dilemma – kann dazu führen, dass außerhalb liegende Überraschungen nicht beobachtet und erkannt werden. Umgekehrt ist es ausgesprochen schwierig, systematisch nach Überraschungen zu suchen, da naturgemäß unbekannt ist, wonach man eigentlich sucht. Es muss also ein Kompromiss bei der Breite der Aspekte (technisch hierfür Parameter) gefunden werden, die im Rahmen eines Monitorings beobachtet werden sollen.

Neben der Vielfalt der beobachteten Parameter ist die Zeitdauer der Beobachtung entscheidend. Überraschungen können zeitlich (stark) verzögert eintreten. Auch hier ist eine schwierige Abwägung zwischen Aufwand bzw. Kosten und einer möglichst langen Beobachtungsdauer zu treffen. Im Falle der Eisendüngung des Ozeans ist die Beobachtung besonders aufwendig, sodass selbst intendierte Effekte der Experimente nur zeitlich begrenzt beobachtet werden konnten. Im Bereich der Grünen Gentechnik dagegen liegt ein besonderes Augenmerk der Regulierung auf dem – auch zeitlich ausgedehnten – Monitoring. So wird im Nachzulassungsmonitoring explizit unterschieden zwischen einer fallspezifischen Beobachtung und einer allgemeinen Umweltbeobachtung (Kap. 6.3.4). Durch die Befristung von Zulassungen von GVP auf 10 Jahre wird nach dieser Zeitspanne eine Verlängerung notwendig, die naturgemäß die Aufmerksamkeit auf ggf. aufgetretene Folgewirkungen lenkt. Durch die Befristung



der Zulassungen wird also indirekt eine Langzeitbeobachtung von möglichen Folgewirkungen initiiert.

Grundsätzlich ist jedoch anzumerken, dass durch wissenschaftliche Beobachtungsprogramme allein nicht damit zu rechnen ist, Überraschungen systematisch, geschweige denn vollständig zu erfassen. Hilfreich sind hier Offenheit und Aufmerksamkeit für Beobachtungen, die von ganz unterschiedlichen, auch zivilgesellschaftlichen – also gerade nichtwissenschaftlichen – Akteuren gemacht werden können. Eine solche Haltung kann z. B. dadurch umgesetzt werden, dass eine Stelle eingerichtet wird, bei der entsprechende Beobachtungen gesammelt und systematisiert werden. Ein Beispiel hierfür ist das Pharmakovigilanzsystem in der Medizin, bei dem systematisch Berichte über Nebenwirkungen von Medikamenten gesammelt und ausgewertet werden.

### **Vergleichende Einschätzung von Risiken und Nutzen**

Selbst wenn man davon absieht, dass Nichtwissen selbst, d. h. seine Charakterisierung und Einschätzung, in der Regel nicht vollständig objektivierbar und daher auch politisch umstritten sind, so bleibt immer ein gesellschaftliches Werturteil darüber zu fällen, welches Maß an Risiken eine Gesellschaft zu tragen bereit ist. Voraussetzung für ein solches Werturteil, das nicht von der Wissenschaft, sondern nur in einem politischen bzw. gesellschaftlichen Prozess unter Einbeziehung der einschlägigen Akteure gefällt werden darf, sind wissenschaftlich nachvollziehbare Informationen über die aus guten Gründen erwartbaren Risiken (z. B. Expositions- und Gefährdungspotenziale sowie Vulnerabilitäten). Diese Informationen können im Rahmen einer Technikcharakterisierung bereitgestellt und anschließend, wenn das Experiment auch wirklich durchgeführt wird, im Rahmen von partizipativen Prozessen erweitert und ergänzt werden.

Ein Werturteil über das Maß an Risiken, das eine Gesellschaft zu tragen bereit ist, muss neben den konkreten Risiken bzw. Gründen zur Besorgnis auch die Dimension des (realisierten oder wenigstens erhofften) gesellschaftlichen Nutzens mit einbeziehen, der von einer Technologie bzw. einem explorativen Experiment gestiftet wird. Wenn also in einem weiteren Schritt im Rahmen von gesellschaftlichen Bewertungs- und Entscheidungsprozessen eine Abwägung zwischen erwartbaren Risiken und erwartbarem Nutzen vorgesehen ist, müssen genauso wissenschaftlich nachvollziehbare Informationen über den aus guten Gründen erwartbaren gesellschaftlichen Nutzen bereitgestellt werden. Dabei dürfen nicht nur betriebswirtschaftliche Aspekte berücksichtigt werden, sondern es ist eine volkswirtschaftliche Perspektive einzunehmen bzw. das Gemeinwohl als Ganzes (also die berechtigten Interessen aller Bevölkerungsgruppen) zu betrachten.

Am Bereich der Gentechnik lässt sich dies gut illustrieren, wenn man sich vor Augen führt, dass die Rote Gentechnik, also der Einsatz von gentechnisch veränderten Organismen im Bereich der Medizin, vor allem aufgrund des kaum bezweifelten Nutzens für die menschliche Gesundheit und trotz bekannter möglicher Nebenwirkungen wesentlich weniger umstritten ist als der Einsatz der gentechnisch veränderten Pflanzen, mit denen größere Teile der Öffentlichkeit vor allem negative Nebenwirkungen assoziieren, wie den vermehrten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, die Monopolisierung von Saatgut etc., während – zumindest auf Seiten der Endverbraucher – keinerlei Nutzen gesehen wird.

In Bezug auf das Fracking berührt die Nutzendimension generelle Fragen der Energiepolitik (z. B. Versorgungssicherheit, aber auch Klimaschutzpolitische Gesichtspunkte). Hier wurde die Nutzendimension insbesondere im Rahmen der uneingeladenen Partizipation eingebracht, während die Expertendiskussion über die Risiken vorher auch daran krankte, dass wenig thematisiert wurde, ob und wieweit die Entwicklung der Frackingtechnologie zur vermehrten Gasförderung angesichts dieser Risiken unter klimaschutzpolitischen Gesichtspunkten gesellschaftlich wirklich sinnvoll ist.

### **Partizipation: Wer ist betroffen?**

Großformatige explorative Experimente finden im gesellschaftlichen Raum statt. In Kapitel 5 wurde herausgearbeitet, dass der Umgang mit Nichtwissen im Rahmen explorativer Experimente neue, erweiterte Formen gesellschaftlicher Partizipation auch jenseits der Institutionen (nationalstaatlicher) repräsentativer Demokratie wünschenswert und sinnvoll erscheinen lassen. Entscheidend für die sinnvolle Ausgestaltung der Partizipation sind Fragen nach der Betroffenheit: Wer äußert sich, wer sollte legitimer Weise gehört werden, mitentscheiden etc.? Diese Fragen sind keineswegs leicht zu beantworten.

Auf den ersten Blick liegt es nahe, die Frage nach der Betroffenheit möglichst objektiv von der Reichweite der direkten (physischen) Folgen eines Experiments her zu beantworten. Eine solche Haltung wird in Diskussionsprozessen immer wieder eingenommen – z. B. die Oxford Principles (Kap. 8.6.2). Die drei im Rahmen dieses Projekts betrachteten Forschungsfelder unterscheiden sich in dieser Perspektive deutlich: Während bei einem einzelnen Experiment zum Fracking zunächst nur lokale Anwohner direkt betroffen sind, ist bei der Grünen Gentechnik potenziell zumindest mit regionalen Auswirkungen und beim Climate Engineering mit überregionalen bis hin zu potenziell globalen Auswirkungen zu rechnen.

Eine solche Perspektive auf Betroffenheit ist allerdings immanent limitiert, weil die physischen, naturräumlichen Folgen aufgrund des Nichtwissens nur teilweise vorsagbar sind. Dazu kommt, dass großtechnische Experimente als Vorreiter einer neuen Technologie betrachtet werden können bzw. müssen.



Wird vom Experimentieren auf eine großflächige Anwendung hochgerechnet, so sind auch Folgewirkungen großräumiger. Darüber hinaus sind in einer komplexen, vernetzten Welt die ökonomischen und sozialen Folgen einer neuen Technologie entgrenzt, wodurch die Frage der Betroffenheit nur sehr schwer nach objektiven materiellen Kriterien entscheidbar ist. Insofern ist es nicht überraschend, dass sich manche Bürgerinnen und Bürger betroffen fühlen, selbst wenn sie nach allen Vorhersagen nicht von den direkten Folgewirkungen berührt werden. Die heftigen Diskussionen im politisch-gesellschaftlichen Raum zu allen drei betrachteten Forschungsfeldern illustrieren dies: Viele Menschen fühlen sich betroffen und berufen, mitzudiskutieren, obwohl sie vermutlich nicht direkt von materiellen Folgewirkungen beeinträchtigt würden. Die Frage der Betroffenheit ist also eine gesellschaftlich-politische Frage. Es liegt daher nahe, beim Design von Prozessen der Partizipation darauf zu achten, dass Bürgerinnen und Bürger mitentscheiden können, ob sie sich als Betroffene fühlen und am Diskussionsprozess teilnehmen wollen, ähnlich wie im Fall der uneingeladenen Partizipation.

### **Offenheit für uneingeladene Partizipation**

Uneingeladene Partizipation stellt einen wichtigen Baustein bei der Meinungsbildung und Entscheidungsfindung in demokratisch verfassten Staaten dar. Sie ist Ausdruck von wahrgenommener Bürgerverantwortung und als solche zunächst einmal positiv einzuschätzen. Über eingeladene Partizipation hinaus kann sie eine wichtige und komplementäre Rolle spielen. Sie sollte daher auch nicht den Regeln und Abläufen der eingeladenen Partizipation unterworfen werden, da sie sonst mit den gleichen Problemen (Kap. 5.2) belastet würde.

Uneingeladene Partizipation hat z. B. den Vorteil, dass die Frage, wer betroffen ist und daher partizipieren darf – oder sollte –, nicht von außen entschieden werden muss, sondern sich von selbst regelt. Sie stellt ein wichtiges Ventil dar, über das stark empfundene Betroffenheit und Interessen, aus welchen Motiven sie auch herrühren mögen, artikuliert und in den Diskussionsprozess eingespeist werden können. Uneingeladene Partizipation hat daher das Potenzial, Aspekte in die Diskussion einzubringen, die sonst nicht oder nur randständig betrachtet würden – sei es durch bestimmte Interessen der Protagonisten eines explorativen Experiments oder auch bestimmte z. B. disziplinäre Sichtweisen, die naturgemäß einer Einengung unterliegen. Nicht umsonst sind es oft erst zivilgesellschaftliche Akteure, die beispielsweise im Umweltbereich auf Probleme hinweisen.

Wichtig erscheint, dass uneingeladene Partizipation grundsätzlich als ein gesellschaftlich positives Element einer lebendigen Demokratie angesehen wird, abgesehen davon, dass sie in demokratisch verfassten Staaten i. d. R. sowieso nicht vollständig zu verhindern ist. Sie kann und sollte fruchtbar gemacht



werden, z. B. durch das Transparentmachen der eingebrachten Positionen, Einschätzungen und Wissensbestände und nicht durch Geheimhaltung etc. behindert werden.

### **Elemente einer guten Governance bei explorativen Experimenten**

Die Betrachtung der drei Forschungsfelder zeigt deutlich, dass es kein Patentrezept für den Umgang mit Nichtwissen bzw., allgemeiner gesprochen, für eine guten Governance im Hinblick auf explorative Experimente gibt. Vielmehr sind je nach Forschungsfeld, in dem ein exploratives Experiment stattfinden soll, nach Art der Technologie, die eingesetzt wird, rechtlicher Situation sowie Interessenlagen und gesellschaftlichem Kontext unterschiedliche Vorgehensweisen sinnvoll. Aber Elemente einer guten Governance lassen sich dennoch identifizieren, die kontextspezifisch ausgefüllt werden müssen. Viele dieser Punkte wurden bereits angesprochen und diskutiert. An dieser Stelle sollen sie noch einmal kurz zusammengefasst werden.

Im Vorfeld eines Experiments muss neben grundsätzlicher Genehmigung (falls erforderlich) und Finanzierung auch über Design und Ausgestaltung in fachlicher Hinsicht und in der weiteren Prozessbegleitung entschieden werden. Dabei sind, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, folgende Punkte wichtig:

- › Einbezug aller verfügbaren Risikoinformationen: Dabei kann die Technikcharakterisierung als ein Ansatz dienen, um in frühem Stadium bereits Gründe der Besorgnis zu identifizieren. Sie kann dazu beitragen, die Dimensionen des (nicht zuletzt durch das Experiment erst erzeugten) Nichtwissens auszuloten und dabei auch mögliche »unknown unknowns«, z. B. aufgrund extremer Expositionspotenziale, mit in die Betrachtung einzubeziehen. Besonders besorgniserregende Ergebnisse der Technikcharakterisierung hinsichtlich Gefährdungs- und Expositionspotenzialen können dazu führen, dass sich das explorative Experiment in der beantragten Form aus Vorsorgegründen als nicht genehmigungsfähig erweist. Falls konkretes bekanntes Noch-nicht-Wissen vorliegt, das als wichtig eingeschätzt wird, sind ggf. (weitere) Vorstudien sinnvoll.
- › Die Technikcharakterisierung im engeren Sinne, die sich auf den Eingriff bzw. das Experimentaldesign konzentriert, sollte durch eine strukturelle und eine ereignisbezogene Vulnerabilitätsanalyse ergänzt werden. Mithilfe der strukturellen Vulnerabilitätsanalyse können Erkenntnisse über die Verletzlichkeit bzw. Resilienz der betroffenen Systeme gewonnen werden. Mithilfe der ereignisbezogenen Vulnerabilitätsanalyse können erwartbare direkte und indirekte Wirkungen in den betroffenen Systemen identifiziert werden.
- › Bei Experimenten mit Potenzial zur Besorgnis ist ggf. ein gestuftes Vorgehen sinnvoll, wie im Beispiel der Grünen Gentechnik. Mehrere Versuchs-



stadien werden zeitlich nacheinander geschaltet, wobei von Stufe zu Stufe ein Upscaling stattfindet. So können für die Abschätzung der Risiken und die Ausgestaltung der Versuche stufenweise Erfahrungen gesammelt und Wissen gewonnen werden, so lange durch die kleinere Skala noch eine stärkere Rückholbarkeit gegeben ist.

- Vergleichende Risiko-Nutzen-Abschätzung: Nicht nur Risiken müssen vergleichend gegeneinander abgeschätzt werden, sondern in eine gesellschaftliche Risikoabwägung muss auch der potenzielle gesellschaftliche Nutzen mit einbezogen werden. Auch hierfür müssen wissenschaftlich nachvollziehbare Entscheidungsgrundlagen (Gründe zum erwartbaren Nutzen) erarbeitet werden. So ist beispielsweise beim Fracking zur Erschließung unkonventioneller Gasvorkommen auch zu fragen, inwiefern eine solch Gasgewinnung unter klima- und energiepolitischen Aspekten wirklich gesellschaftlich wünschenswert oder gar notwendig ist.
- Bei der Entscheidungsfindung sind ggf. Partizipationselemente vorzusehen. Dies gilt umso mehr, je breiter und größer die Gruppe der (potenziell) Betroffenen ist und je kontroverser das Thema im gesellschaftlichen Raum diskutiert wird. Wichtig ist dabei eine Offenheit auch für Fragen und Aspekte, die aus nichtwissenschaftlichen Kontexten heraus formuliert werden. Auch uneingeladene Partizipation sollte berücksichtigt werden, denn sie führt im Ergebnis i. d. R. zu besseren, d. h. gesellschaftlich breiter akzeptierten Ergebnissen.

Im Verlauf des Experimentierens treten weitere Aspekte hinzu, die antizipiert und strukturell angelegt werden sollten, um ggf. einen Abbruch, ein Nachsteuern oder schadensbegrenzende Maßnahmen zu indizieren:

- Im Verlauf eines Experiments wird neues Wissen gewonnen. Gleichzeitig ist damit zu rechnen, dass neues Nichtwissen erzeugt wird und Überraschungen auftreten werden. Auch können sich Einschätzungen von Risiken (und Nutzen) in der Gesellschaft verändern. Daher ist es sehr wichtig, eine prozessbegleitende, kontinuierliche oder rekursive Form der Begleitung und (Nach-)Steuerung zu etablieren, durch die auf die veränderte Situation reagiert werden kann. Dabei sollten ggf. schon im Vorfeld auch Abbruchkriterien vorgesehen und formuliert werden.
- Explorative Experimente außerhalb des Labors berühren i. d. R. komplexe natürliche und soziale Systeme. Daher ist damit zu rechnen, dass Folgewirkungen auch an unvorhergesehenen Stellen, in Bezug auf nicht vorhergesehene Parameter und unter Umständen stark zeitverzögert eintreten können. An das Monitoring ist daher ein hoher Anspruch zu stellen, wobei eine Ausgewogenheit zwischen zielgerichtetem Beobachten spezieller Parameter und einem Breitbandscreening möglicher Überraschungen anzustreben ist. Das Monitoring muss für einen langen Zeitraum sichergestellt sein.



- Bei der prozessbegleitenden Governance ist auf eine ausgewogene Besetzung der Steuerungsgremien zu achten, d. h., das Steuerungsgremium sollte breit, divers und ggf. auch unter Einbeziehung von Kritikern unterschiedlicher Art (z. B. aus Gruppen der uneingeladenen Partizipation) zusammengesetzt werden. Nur so können auch scheinbare Nebenaspekte in die Diskussion einfließen, und es wird gleichzeitig eine höhere Glaubwürdigkeit des Gremiums in der Öffentlichkeit erreicht.
- Es ist ein hoher Grad an Transparenz der gewonnenen Daten, Ergebnisse, Entscheidungskriterien und rekursiven Entscheidungen anzustreben. Dies erhöht die Glaubwürdigkeit der getroffenen Entscheidungen.



---

## 10 Literatur

---

### 10.1 In Auftrag gegebene Gutachten

von Gleich, A., Giese, B., Jensen, S., Koenigstein, S. (2014): Umgang mit Nichtwissen bei explorativen Experimenten – eine vergleichende Studie. aforetec GbR, Bremen

---

### 10.2 Weitere Literatur

Abel, G. (2008): Epistemische Objekte – was sind sie und was macht sie so wertvoll? Programmatische Thesen im Blick auf eine zeitgemäße Epistemologie. Hingst, K.-M.; Liatsi, M. (Hg.). Pragmata. Festschrift für Klaus Oehler zum 80. Geburtstag. Tübingen, S. 285–298

Acatech (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften) (Hg.) (2015): Hydraulic Fracturing: Eine Technologie in der Diskussion. Acatech Position. München, [https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech\\_Hydraulic\\_Fracturing\\_WEB.pdf](https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech_Hydraulic_Fracturing_WEB.pdf) (17.5.2019)

Ahrens, A.; Braun, A.; von Gleich, A.; Heitmann, K.; Lißner, L. (2005): Hazardous Chemicals in Products and Processes – Substitution as an Innovative Process. Heidelberg/New York

ahu AG; Brenk Systemplanung GmbH; IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH (2012b): Fracking in unkonventionellen Erdgas-Lagerstätten in NRW: Kurzfassung zum Gutachten – »Gutachten mit Risikostudie zur Exploration und Gewinnung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten in Nordrhein-Westfalen (NRW) und deren Auswirkungen auf den Naturhaushalt insbesondere die öffentliche Trinkwasserversorgung«. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen in Abstimmung mit Ministerium für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes Nordrhein-Westfalen (Hg.). [www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/umwelt/gutachten\\_fracking\\_nrw\\_2012.pdf](http://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/umwelt/gutachten_fracking_nrw_2012.pdf) (3.5.2019)

Aktionsbündnis No Moor Fracking (2015): Fracking-Gesetz unter der Lupe. [http://www.gegen-gasbohren.de/wp-content/uploads/2015/04/Analyse\\_Fracking\\_gesetz\\_Kabinett.pdf](http://www.gegen-gasbohren.de/wp-content/uploads/2015/04/Analyse_Fracking_gesetz_Kabinett.pdf) (17.5.2019)

Ammann, D.; Vogel, B. (2001): Vom Risiko zur Vorsorge. Schweizerische Arbeitsgruppe Gentechnologie, SAG-Studienpapier B6, Zürich

Andersen, T.; Carstensen, J.; Hernandez-Garcia, E.; Duarte, C. (2009): Ecological thresholds and regime shifts: Approaches to identification. In: Trends in Ecology & Evolution 24(1), S. 49–57

Andruleit, H.; Bahr, A.; Bönnemann, C.; Erbacher, J.; Franke, D.; Gerling, J.; Gester mann, N.; Himmelsbach, T.; Kosinowski, M.; Krug, S.; Pierau, R. et al. (2012): Abschätzung des Erdgaspotenzials aus dichten Tongesteinen (Schiefergas) in Deutschland. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

von Arnould, A. (2012): Völkerrecht. Heidelberg

Assmy, P.; Cisewski, B.; Henjes, J.; Klaas, C.; Sachs, O.; Smetacek, V.; Strass, V. (2006): Plankton rain in the Southern Ocean: The European Iron Fertilization Ex-

- periment EIFEX. In: AWI (Hg.): Das AWI in den Jahren 2004 und 2005: Report 2004/2005. Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in der Helmholtz-Gemeinschaft, Bremerhaven, S. 38–41
- Assmy, P.; Henjes, J.; Klaas, C.; Smetacek, V. (2007): Mechanisms determining species dominance in a phytoplankton bloom induced by the iron fertilization experiment EisenEx in the Southern Ocean. In: *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 54(3), S. 340–362
- AWI (Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung) (2009): Hintergrundinformationen zum Projekt LOHAFEX vom 22.1.2009. o.O., [http://www.awi.de/fileadmin/user\\_upload/News/Selected\\_News/2009/LOHAFEX/LOHAFEX\\_22\\_01\\_09\\_Handout.pdf](http://www.awi.de/fileadmin/user_upload/News/Selected_News/2009/LOHAFEX/LOHAFEX_22_01_09_Handout.pdf) (15.6.2015)
- de Baar, H.; Boyd, P.; Coale, K.; Landry, M.; Tsuda, A.; Assmy, P.; Bakker, D.; Bozec, Y.; Barber, R.; Brzezinski, M.; Buesseler, K. et al. (2005): Synthesis of iron fertilization experiments: From the Iron Age in the Age of Enlightenment. In: *Journal of Geophysical Research* 110(C9), S. 1–24
- Bakker, D. (2014): SOIREE – Southern Ocean Iron RElease Experiment. <http://www.uea.ac.uk/~e610/soiree/> (17.05.2019)
- Baralt, L. (2015): A seat at the table, »a lab of our own« and working with what we know now: How the US environmental breast cancer movement shapes research. In: Wehling, P.; Viehöver W.; Koenen, S. (Hg): *The public shaping of medical research*. London/New York, S. 23–40
- Bates, S.; Trainer, V. (2006): The ecology of harmful diatoms. In: Granéli, E.; Turner, J. (Hg): *Ecology of harmful algae*. Ecological Studies 189, Berlin/Heidelberg, S. 81–93
- Batten, S.; Gower, J. (2014): Did the iron fertilization near Haida Gwaii in 2012 affect the pelagic lower trophic level ecosystem? In: *Journal of Plankton Research* 36(4), S. 925–932
- Beck, U. (1986): *Risikogesellschaft: Auf dem Weg in eine andere Moderne*. Frankfurt
- Beck, U. (1990): Die Welt als Labor. Wer die Gesellschaft zum Labor macht, öffnet die Wissenschaft für die Mitbestimmung. In: *Außerschulische Bildung* 3, S. 208–212
- Berg, P.; Singer, M. (1995): The recombinant DNA controversy: Twenty years later. In: *Proc Natl Acad Sci USA* 92(20), S. 9011–013
- Berg, P.; Baltimore, D.; Boyer, H.; Cohen, S.; Davis, R.; Hogness, D.; Nathans, D.; Robin, R.; Watson, J.; Weissman, S.; Zinder, N. (1974): Potenzial Biohazards of Recombinant DNA Molecules. In: *Science* 185, S. 303
- Berg, P.; Baltimore, D.; Brenner, S.; Roblin, R.; Singer, M. (1975): Summary statement of the Asilomar conference on recombinant DNA molecules. In: *PNAS* 72(6). S. 1981–1984
- Bergelson, J.; Purrington, C.; Wichmann, G. (1998): Promiscuity in transgenic plants. In: *Nature* 395(6697), S. 25
- Bergmann, A.; Weber, F.; Meiners, G.; Müller, F. (2014): Potenzial water-related environmental risks of hydraulic fracturing employed in exploration and exploitation of unconventional natural gas reservoirs in Germany. In: *Environmental Sciences Europe* 26(10), S. 1–14
- Beyerlin, U. (2000): *Umweltvölkerrecht*. München
- BfN (Bundesamtes für Naturschutz) (2009): Stellungnahme des Bundesamtes für Naturschutz zum AWI-Projekt LOHAFEX. [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/lohafex\\_stellungnahme\\_bfn.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/lohafex_stellungnahme_bfn.pdf) (21.5.2019)



- BfN (2018): Monitoring gentechnisch veränderter Organismen. <https://www.bfn.de/themen/monitoring/gvo-monitoring.html> (21.5.2019)
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) (2014): Der tiefere geologische Untergrund von Deutschland: Kurzübersicht über Verteilung und Dichte geowissenschaftlicher Daten und Informationen Hannover. [http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Karten/Der\\_tiefere\\_geologische\\_Untergrund\\_Dtl\\_auch\\_K\\_MAT\\_11.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Karten/Der_tiefere_geologische_Untergrund_Dtl_auch_K_MAT_11.pdf?__blob=publicationFile&v=4) (21.5.2019)
- Biello, D. (2012a): Can controversial ocean iron fertilization save salmon? *Scientific American*, <http://www.scientificamerican.com/article/fertilizing-ocean-with-iron-to-save-salmon-and-earn-money/> (21.5.2019)
- Biello, D. (2012b). Pacific ocean hacker speaks out. *Scientific American*, <http://www.scientificamerican.com/article/questions-and-answers-with-rogue-geoengineer-carbon-entrepreneur-russ-george/> (21.5.2019)
- Biermann, F. (1997): Umweltvölkerrecht: Eine Einführung in den Wandel völkerrechtlicher Konzeptionen zur Weltumweltpolitik. Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung, Berlin
- B/L-AG (Bund/Länder-Arbeitsgruppe »Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen«) (2003): Entwurf eines Konzepts für das Monitoring von gentechnisch veränderten Organismen (GVO). In: Umweltbundesamt: Symposium »Monitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen: Instrument einer vorsorgenden Umweltpolitik«. UBA-Texte 23, Berlin, S. 169–209
- Bleicher, A. (2012): Entscheiden trotz Nichtwissen: Das Beispiel der Sanierung kontaminierter Flächen. In: *Soziale Welt* 63(1), S. 97–115
- BMUB (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit) (2009): Bundesumweltministerium bedauert Freigabe des Eisendüngungs-Experiments. Pressemitteilung 025/09, <https://www.bmu.de/pressemitteilung/bundesumweltministerium-bedauert-freigabe-des-eisenduenngungs-experiments/> (21.5.2019)
- BMVEL (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft) (2002): Diskurs Grüne Gentechnik Ergebnisbericht. hammerbacher gmbh, Osnabrück
- Bodansky, D.; Brunnée, J.; Hey, E. (2007a): International environmental law: Mapping the field. In: Bodansky, D.; Brunnée, J.; Hey, E. (Hg.): *The Oxford handbook of international environmental law*. <https://www.oxfordhandbooks.com/view/10.1093/oxfordhb/9780199552153.001.0001/oxfordhb-9780199552153-e-1> (21.5.2019)
- Bogner, A. (2012): The paradox of participation experiments. In: *Science, Technology & Human Values* 37, S. 506–527
- Bogner, A. (2014): Emergierende Technologien und projektförmige Partizipation. In: *Forschungsjournal Soziale Bewegungen* 27(4), S. 82–92
- Böhnert, R. (1992): Bauteil- und Anlagensicherheit. Würzburg
- Bonneuil, C.; Foyer, J.; Wynne, B. (2014): Genetic fallout in biocultural landscapes: Molecular imperialism and the cultural politics of (not) seeing transgenes in Mexico. In: *Social Studies of Science* 44(6), S. 901–929
- Bonß, W.; Hohlfeld, R.; Kollek, R. (1993): Kontextualität – ein neues Paradigma der Wissenschaftsanalyse. In: Bonß, W.; Hohlfeld, R.; Kollek, R. (Hg.): *Wissenschaft als Kontext – Kontexte der Wissenschaft*. Hamburg, S. 171–191



- Borchardt, D.; Ewen, C.; Richter, S.; Hammerbacher, R. (2012): Informations- und Dialogprozess zur Sicherheit und Umweltverträglichkeit der Fracking-Technologie. In: *Wasser und Abfall* 14(6), S. 10–14
- Böschchen, S. (2000): Risikogenese. Prozesse wissenschaftlicher Gefahrenwahrnehmung: FCKW, DDT, Dioxin und Ökologische Chemie. Opladen
- Böschchen, S.; Kastenhofer, K.; Marschall, L.; Rust, I.; Soentgen, J.; Wehling, P. (2006): Scientific cultures of non-knowledge in the controversy over genetically modified organisms (GMO). The cases of molecular biology and ecology. In: *Gaia* 15, S. 294–301
- Böschchen, S.; Kastenhofer, K.; Rust, I.; Soentgen, J.; Wehling, P. (2010): Scientific non-knowledge and its political dynamics. The cases of agri-biotechnology and mobile phoning. In: *Science, Technology and Human Values* 35, S. 783–811
- Böschchen, S.; Wehling, P. (2004): Einleitung: Wissenschaft am Beginn des 21. Jahrhunderts. Neue Herausforderungen für Wissenschaftsforschung und -politik. In: Böschchen, S.; Wehling, P. (Hg.): *Wissenschaft zwischen Folgenverantwortung und Nichtwissen: Aktuelle Perspektiven der Wissenschaftsforschung*. Wiesbaden, S. 9–33
- Böschchen, S.; Wehling, P. (2012): Neue Wissensarten. Risiko und Nichtwissen. Maasen S.; Kaiser, M.; Reinhart, M.; Sutter, B. (Hg.): *Handbuch Wissenschaftssoziologie*. Wiesbaden, S. 317–327
- Boyd, P. (2008): Implications of large-scale iron fertilization of the oceans. In: *Marine Ecology Progress Series* 364, S. 213–218
- Boyd, P.; Watson, A.; Law, C.; Abraham, E.; Trull, T.; Murdoch, R.; Bakker, D.; Bowie, A.; Buesseler, K.; Chang, H. (2000): A mesoscale phytoplankton bloom in the polar Southern Ocean stimulated by iron fertilization. In: *Nature* 407(6805), S. 695–702
- Branson, M. (2014): A green herring: How current ocean fertilization regulation distracts from geoengineering research. In: *The Santa Clara Law Review* 54(1), S. 163–200
- Breckling, B.; Schmidt, G.; Schröder, W. (2012): Systemische Risiken von GVO und ihre wissenschaftliche Analyse: Strukturelle Aspekte der Risiko-Charakterisierung von GVO. In: Breckling, B.; Schmidt, G.; Schröder, W. (Hg.): *GeneRisk. Systemische Risiken der Gentechnik: Analyse von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Organismen in der Landwirtschaft*. Berlin/Heidelberg, S. 15–20
- Breckling, B.; Schmidt, G. (2015): Synthetic biology and genetic engineering: Parallels in risk assessment. In: Giese, B.; Pade, C.; Wigger, H.; von Gleich, A. (Hg.): *Synthetic Biology – Character and Impact*. Heidelberg, S. 197–211
- Broderick, J.; Anderson, K.; Wood, R.; Gilbert, P.; Sharmina, M.; Footitt, A.; Glynn, S.; Nicholls, F. (2011): Shale gas: An updated assessment of environmental and climate change impacts. Tyndall Centre, University of Manchester, [https://www.research.manchester.ac.uk/portal/files/56662898/FULL\\_TEXT.PDF](https://www.research.manchester.ac.uk/portal/files/56662898/FULL_TEXT.PDF) (21.5.2019)
- Brooke, G.T.F. (2010): Uncertainty, profit and entrepreneurial action: Frank Knight's contribution reconsidered. In: *Journal of the History of Economic Thought* 32(2), S. 221–235
- BUND (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland) (2015): Fracking in Deutschland. Kommunalen Widerstand. In: *BUND Magazin* 2/2015, S. 34
- Bundesregierung (2015): Entwurf eines Gesetzes zur Änderung wasser- und naturschutzrechtlicher Vorschriften zur Untersagung und zur Risikominimierung bei



- den Verfahren der Fracking-Technologie. Deutscher Bundestag, Drucksache 18/4713, Berlin
- BVL (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) (2012): Leitfaden für die Beantragung und Durchführung der Freisetzung gentechnisch veränderter höherer Pflanzen. Version 1.6, [https://www.bvl.bund.de/DE/06\\_Gentechnik/04\\_Fachmeldungen/2012/Leitfaden\\_Freisetzung.html?nn=1930202](https://www.bvl.bund.de/DE/06_Gentechnik/04_Fachmeldungen/2012/Leitfaden_Freisetzung.html?nn=1930202) (21.5.2019)
- Calliess, C. (2001): Vorsorgeprinzip und Beweislastverteilung im Verwaltungsrecht. In: Deutsches Verwaltungsblatt 22, S. 1725–1733
- Calliess, C. (2009): Das Vorsorgeprinzip und seine Auswirkungen auf die Nanotechnologie. In: Hendlar, R.; Marburger, P.; Reiff, P.; Schröder, M. (Hg.). Nanotechnologie als Herausforderung für die Rechtsordnung: 24. Trierer Kolloquium zum Umwelt- und Technikrecht vom 31. August bis 2. September 2008. Umwelt- und Technikrecht 99, Berlin, S. 21–56
- Calliess, C.; Stockhaus, H. (2012): Precautionary principle and nanomaterials: REACH revisited. In: Journal for European Environmental & Planning Law 9(2), S. 113–135
- Callon, M.; Rabeharisoa, V. (2003): Research »in the wild« and the shaping of new social identities. In: Technology in Society 25(2), S. 193–204
- Catenhusen, W.-M.; Grobe, A.; Bendisch, B. (2008): Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Berlin
- CBD (Secretariat of the Convention on Biological Diversity) (2008): Decision adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity at its ninth meeting: IX/16: Biodiversity and climate change. <https://www.cbd.int/doc/decisions/COP-09/cop-09-dec-16-en.pdf> (21.5.2019)
- CBD (2009): Scientific synthesis of the impacts of ocean fertilization on marine biodiversity. CBD Technical Series No. 45, <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-45-en.pdf> (21.5.2019)
- Cloern, J. (1996): Phytoplankton bloom dynamics in coastal ecosystems: a review with some general lessons from sustained investigation of San Francisco Bay, California. In: Reviews of Geophysics 34(2), S. 127–168
- Coale, K.; Johnson, K.; Fitzwater, S.; Gordon, R.; Tanner, S.; Chavez, F.; Ferioli, L.; Sakamoto, C.; Rogers, P.; Millero, F.; Steinberg, P. et al. (1996): A massive phytoplankton bloom induced by an ecosystem-scale iron fertilization experiment in the equatorial Pacific Ocean. In: Nature 383(6600), S. 495–501
- van den Daele, W. (1993): Zwanzig Jahre politische Kritik an den Experten. Wissenschaftliche Experten in der Regulierung technischer Risiken: die aktuelle Erfahrung. In: Huber, J.; Thurn, G. (Hg.): Wissenschaftsmilieus. Wissenschaftskontroversen und soziokulturelle Konflikte. Berlin, S. 173–194
- van den Daele, W.; Pühler, A.; Sukopp, H. (1996): Grüne Gentechnik im Widerstreit: Modell einer partizipativen Technikfolgenabschätzung zu transgenen herbizidresistenten Pflanzen. Weinheim u.a.O.
- Dannwolf, U.; Heckelsmüller, A.; Steiner, N.; Rink, C.; Weichgrebe, D.; Kayser, K.; Zwafink, R.; Rosenwinkel, K.-H.; Fritsche, U.; Fingerman, K.; Hunt, S. et al. (2014): Umweltauswirkungen von Fracking bei der Aufsuchung und Gewinnung von Erdgas insbesondere aus Schiefergaslagerstätten: Teil 2 – Grundwassermonitoringkonzept, Frackingchemikalienkataster, Entsorgung von Flowback, Forschungsstand zur Emissions- und Klimabilanz, induzierte Seismizität, Naturhaushalt, Landschaftsbild und biologische Vielfalt. UBA-Texte 53, Dessau-Roßlau

- Derrida, J. (1999): Bemerkungen zu Dekonstruktion und Pragmatismus. In: Mouffe, C. (Hg.). Dekonstruktion und Pragmatismus. Wien, S. 171–199
- von Detten, R.; Faber, F.; Bemman, M. (Hg.) (2013): Unberechenbare Umwelt: Zum Umgang mit Unsicherheit und Nicht-Wissen. Wiesbaden
- Devos, Y.; Ortiz-García, S.; Hokanson, K.; Raybould, A. (2018): Teosinte and maize × teosinte hybrid plants in Europe – Environmental risk assessment and management implications for genetically modified maize. In: *Agriculture, Ecosystems and Environment* 259, S. 19–27
- DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) (2012): Climate Engineering: Forschungsfragen einer gesellschaftlichen Herausforderung. Gemeinsame Stellungnahme für den Senat der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Nationales Komitee für Global Change Forschung, DFG-Senatskommission für Ozeanographie, DFG-Senatskommission Zukunftsaufgaben der Geowissenschaften, Bonn
- Dieter, H. (1998): Proactive limit values for responsible management of chemicals, Part I: Environmental hygiene and management of chemicals. In: *Environmental Science and Pollution Research* 5(1), S. 51–54
- Dietrich, L.; Elgeti, T. (2011): Rechtliche Implikationen der Aufsuchung und Förderung von unkonventionellem Erdgas. In: *Erdöl Erdgas Kohle* 127(7/8), S. 311–315
- Dolezel, M.; Miklau, M.; Eckerstorfer, M.; Hilbeck, A.; Heissenberger, A.; Gaugitsch, H. (2009): Standardising the environmental risk assessment of genetically modified plants in the EU. BfN-Skripten 259, Bundesamt für Naturschutz (BfN), Bonn
- Dugdale, R.; Wilkerson, F. (1990): Iron addition experiments in the Antarctic: A reanalysis. In: *Global Biogeochemical Cycles* 4(1), S. 13–19
- EASAC (European Academies' Science Advisory Council) (2014): Shale gas extraction: Issues of particular relevance to the European Union. EASAC, Halle/Brüssel
- Eberhardt, O. (2013): Risikobeurteilung mit FMEA: Die Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse gemäß VDA-Richtlinie 4.2. Die Risikobeurteilung von Maschinen gemäß EU-Richtlinie 2006/42/EG. Renningen
- EDF (Environmental Defense Fund); The Royal Society; TWAS (the academy of sciences for the developing world) (2011): Solar radiation management: The governance of research. [https://royalsociety.org/~media/Royal\\_Society\\_Content/policy/projects/solar-radiation-governance/DES2391\\_SRMGI%20report\\_web.pdf](https://royalsociety.org/~media/Royal_Society_Content/policy/projects/solar-radiation-governance/DES2391_SRMGI%20report_web.pdf) (3.5.2019)
- EEA (European Environment Agency) (2001): Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1896 – 2000. Environmental Issue Report No 22., European Environment Agency, Copenhagen
- EEA (European Environment Agency) (2013). Late lessons from early warnings: Science, precaution, innovation. EEA Report No 1/2013, Copenhagen
- EFSA (European Food Safety Authority) (2010): Guidance on the environmental risk assessment of genetically modified plants. In: *EFSA Journal* 8(11), <http://www.efsa.europa.eu/de/efsajournal/pub/1879> (21.5.2019)
- EK (Enquete-Kommission »Chancen und Risiken der Gentechnologie«) (1987): Chancen und Risiken der Gentechnologie. Dokumentation des Berichts an den Deutschen Bundestag. Catenhusen, W.-M.; Neumeister, H. (Hg.), München
- Elster, Jon (1989): Solomonic judgements: Studies in the limitations of rationality. Cambridge



- Emmermann, R.; Lauterjung, J. (1997): The German continental deep drilling program KTB: Overview and major results. In: *Journal of Geophysical Research* 102(B8) S. 18179–18201
- Engelhardt, M.; Louis, H.W. (2014): Rechtliche Betrachtungen zum »Fracking«. In: *Natur und Recht* 36(8), S. 548–555
- EPA (2015): Assessment of the Potenzial Impacts of Hydraulic Fracturing for Oil and Gas on Drinking Water Resources (External Review Draft). Washington, DC, EPA/600/R-15/047 <http://cfpub.epa.gov/ncea/hfstudy/recordisplay.cfm?deid=244651> (21.5.2019)
- EPRS (European Parliamentary Research Service) (2014): Shale gas and EU energy security. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2014/542167/EP\\_RS\\_BRI%282014%29542167\\_REV1\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2014/542167/EP_RS_BRI%282014%29542167_REV1_EN.pdf) (21.5.2019)
- ETC Group (2009): German geo-engineers show iron will to defy global UN moratorium. <http://www.etcgroup.org/fr/node/710> (21.5.2019)
- ETC Group (2010): Geopiracy. The case against geoengineering. [http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/publication/pdf\\_file/ETC\\_geopiracy\\_4web.pdf](http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/publication/pdf_file/ETC_geopiracy_4web.pdf) (21.5.2019)
- EuGH (Gerichtshof der Europäischen Union) (2018): Durch Mutagenese gewonnene Organismen sind genetisch veränderte Organismen (GVO) und unterliegen grundsätzlich den in der GVO-Richtlinie vorgesehenen Verpflichtungen. Pressemitteilung Nr. 111/18, Luxemburg
- EK (Europäische Kommission (2014a): Empfehlung der Kommission vom 22. Januar 2014 mit Mindestgrundsätzen für die Exploration und Förderung von Kohlenwasserstoffen (z. B. Schiefergas) durch Hochvolumen-Hydrofracking (2014/70/EU), Brüssel
- EK (2014b): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen über die Exploration und Förderung von Kohlenwasserstoffen (z. B. Schiefergas) durch Hochvolumen-Hydrofracking in der EU. COM/2014/023 final/2, Brüssel
- Ewald, F. (1998): Die Rückkehr des genius malignus: Entwurf zu einer Philosophie der Vorbeugung. In: *Soziale Welt* 49, S. 5–24
- Ewen, C.; Borchardt, D.; Richter, S.; Hammerbacher, R. (2012): Risikostudie Fracking – Sicherheit und Umweltverträglichkeit der Fracking-Technologie für die Erdgasgewinnung aus unkonventionellen Quellen (Übersichtsfassung). O.O.
- Faber, M.; Proops, J. (1998): *Evolution, Time, Production and the Environment*. Berlin u.a.O.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (1995): Code of conduct for responsible fisheries. Rome. <http://www.fao.org/3/a-v9878e.pdf> (21.5.2019)
- Farman, J. (2001): Halocarbons, the ozone layer and the precautionary principle. In: *EEA 2001*, S. 76–83
- Faulstich, M.; Holm-Müller, K.; Bradke, H.; Callies, C.; Foth, H.; Niekisch, M.; Schreurs, M. (2013): Fracking zur Schiefergasgewinnung. Ein Beitrag zur energie- und umweltpolitischen Bewertung. Sachverständigenrat für Umweltfragen, Stellungnahme Nr. 18, Berlin
- Fernau, S.; Braun, M.; Dabrock, P. (2017): Innovation verantwortlich gestalten. 3. Dialogveranstaltung zu den neuen molekularbiologischen Techniken, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Berlin
- Finke, P. (2014): *Citizen Science: Das unterschätzte Wissen der Laien*. München

- Fleck, L. (1993): Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache. Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv. Frankfurt a.M.
- Freestone, D.; Hey, E. (Hg.) (1996): The precautionary principle and international law: The challenge of implementation. International environmental law and policy series 31, Den Haag u.a.O.
- Frickel, S.; Gibbon, S.; Howard, J.; Kempner, J.; Ottinger, G.; Hess, D. (2010): Undone science. Charting social movement and civil society challenges to research agenda setting. In: Science, Technology and Human Values 35(4), S. 444–473
- Gandossi, L.; von Estorff U. (2015): An overview of hydraulic fracturing and other formation stimulation technologies for shale gas production – Update 2015. JRC Science for Policy Report, <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bit-stream/JRC98582/an%20overview%20of%20hydraulic%20fracturing%20and%20other%20stimulation%20technologies%20-%20update%202015.pdf> (21.5.2019)
- GG (Gegen Gasbohren) (2014a): APPELL: Stimmen Sie für ein konsequentes Fracking-Verbot! [www.gegen-gasbohren.de/wp-content/uploads/2014/12/Anti-Fracking-Initiativen\\_Appell\\_Fracking-Gesetzgebung.pdf](http://www.gegen-gasbohren.de/wp-content/uploads/2014/12/Anti-Fracking-Initiativen_Appell_Fracking-Gesetzgebung.pdf) (21.5.2019)
- GG (2014b): Anlage zum Appell. »Stimmen Sie für ein konsequentes Fracking-Verbot«. [http://www.gegen-gasbohren.de/wp-content/uploads/2014/12/Anlage-zum-Appell\\_Stimmen-Sie-für-ein-konsequentes-Fracking-Verbot.pdf](http://www.gegen-gasbohren.de/wp-content/uploads/2014/12/Anlage-zum-Appell_Stimmen-Sie-für-ein-konsequentes-Fracking-Verbot.pdf) (21.5.2019)
- GG (2014c): Bis das Erdgas Klimavorteile bringt, sind Sie längst tot und das Klima ruiniert. <http://www.gegen-gasbohren.de/2014/02/26/bis-das-erdgas-klimavorteile-bringt-sind-sie-laengst-tot-und-das-klima-ruiniert/> (21.5.2019)
- GG (2014d): Fracking-Irrsinn. Wie die Fracking-Industrie den Planeten bedroht. <http://www.gegen-gasbohren.de/2014/12/18/fracking-irrsinn-wie-die-fracking-industrie-den-planeten-bedroht/> (21.5.2019)
- GG (2014e): Hendricks täuscht das Volk – grünes Licht für Fracking geplant. <http://www.gegen-gasbohren.de/2014/11/20/hendricks-taeuscht-das-volk-gruenes-licht-fuer-fracking-geplant/> (21.5.2019)
- GG (2015a): 12 Mythen zu Fracking in Deutschland und Kommentare dazu. <http://www.gegen-gasbohren.de/wp-content/uploads/2015/02/12-Mythen-zu-Fracking-und-Kommentare-dazu-4-2-23.02.15VF.pdf> (21.5.2019)
- GG (2015b): Frackingverbot? – April, April! Hendricks legt Fracking-Etablierungsgesetz vor – von Verboten keine Spur. <http://www.gegen-gasbohren.de/2015/04/01/frackingverbot-april-april/> (21.5.2019)
- Gibbons, M.; Limoges, C.; Nowotny, H.; Schwartzman, S.; Scott, P.; Trow, M. (1994): The new production of knowledge: The dynamics of science and research in contemporary societies. London u.a.O.
- Giese, B.; von Gleich, A.; Koenigstein, S.; Pade, C.; Schmidt, J.; Wigger, H. (2015): Lebendige Konstruktionen – Technisierung des Lebendigen: Potenziale, Grenzen und Entwicklungspfade der Synthetischen Biologie. Berlin
- Giese, B.; von Gleich, A. (2015): Hazards, Risks, and Low Hazard Development Paths of Synthetic Biology. In: Giese, B.; Pade, C.; Wigger, H.; von Gleich, A. (Hg.): Synthetic Biology – Character and Impact. Heidelberg, S. 173–195
- Ginzky, H.; Frost, R. (2014). Marine geo-engineering: Legally binding regulation under the London Protocol. In: Carbon and Climate Law Review 2/2014, S. 82–96
- von Gleich, A. (1989): Der wissenschaftliche Umgang mit der Natur: Über die Vielfalt harter und sanfter Naturwissenschaften. Frankfurt a.M./New York



- von Gleich, A. (1991): Wissenschaft und Technik als Mitverursacher und Bewältiger der ökologischen Krise? In: Hassenpflug, D. (Hg.): *Industrialismus und Ökoro-  
mantik: Geschichte und Perspektiven der Ökologisierung*. Wiesbaden, S. 235–272
- von Gleich, A. (1996): Äquivalente Risiken – mit und ohne Gentechnik? Ein Kom-  
mentar zum »Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des Anbaus von Kultur-  
pflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz«. In: *TA-Datenbank-Nach-  
richten* 5(1), S. 92-103
- von Gleich, A. (1998a): Ökologische Kriterien der Technik-und Stoffbewertung: In-  
tegration des Vorsorgeprinzips, Teil I: Die Bedeutung von Kriterien in der Tech-  
nik- und Stoffbewertung. In: *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung*  
10(6), S. 367–373
- von Gleich, A. (1998b): Ökologische Kriterien der Technik-und Stoffbewertung: In-  
tegration des Vorsorgeprinzips, Teil II: Kriterien zur Charakterisierung von Tech-  
niken und Stoffen. In: *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung* 11(1),  
S. 21–32
- von Gleich, A. (1998c): Ökologische Kriterien der Technik-und Stoffbewertung: In-  
tegration des Vorsorgeprinzips, Teil III: Ein Raster ökologischer Bewertungskri-  
terien. In: *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung* 11(2), S. 99–102
- von Gleich, A. (1999): Vorsorgeprinzip. In: Bröchler, S.; Simonis, G.; Sundermann,  
K. (Hg.): *Handbuch Technikfolgenabschätzung*. Berlin, 287–293
- von Gleich, A. (2005): Technikcharakterisierung als Ansatz einer vorsorgeorientierten  
prospektiven Innovations- und Technikanalyse. In: Bora, A.; Decker, M.; Grun-  
wald, A.; Renn, O. (Hg.): *Technik in einer fragilen Welt: Die Rolle der Technik-  
folgenabschätzung*. Berlin, S. 229–244
- von Gleich, A. (2006): Chemiezukünfte – Leitbilder und Leitplanken am Beispiel Bi-  
onik / Biomimetik und Nanotechnologie. In: Angrick, M.; Kümmerer K.; Mein-  
zer, L. (Hg.): *Nachhaltige Chemie: Erfahrungen und Perspektiven*. Marburg,  
S. 71–113
- von Gleich, A.; Pade, C.; Petschow, U.; Pissarskoi, E. (2010): *Potentials and Trends  
in Biomimetics*. Berlin/Heidelberg
- von Gleich, A.; Pade, C.; Wigger, H. (2013): Indizien und Indikatoren zur Umsetzung  
des Vorsorgeprinzips. In: *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis* 22(3),  
S. 16–24
- Greenpeace (2007): *A scientific critique of oceanic iron fertilization as a climate  
change mitigation strategy*. Greenpeace Research Laboratories Arbeitspapier 07,  
[http://greenpeace.to/publications/iron\\_fertilisation\\_critique.pdf](http://greenpeace.to/publications/iron_fertilisation_critique.pdf) (21.5.2019)
- Groß, M. (2010): *Ignorance and surprise: Science, society and ecological design*.  
Cambridge
- Groß, M. (2014): *Experimentelles Nichtwissen*. Bielefeld
- Groß, M.; Bleicher, A. (2012): Jenseits der Zurechnung auf Entscheidungen: Nichtwis-  
senskommunikation am Beispiel Altlastensanierung. In: Janich, N.; Nordmann A.;  
Schebek, L. (Hg.): *Nichtwissenskommunikation in den Wissenschaften: Interdis-  
ziplinäre Zugänge*. Wissen – Kompetenz – Text Bd. 1, Frankfurt a.M., S. 209–234
- Groß, M.; Hoffmann-Riem, H.; Krohn, W. (2005): *Realexperimente: Ökologische Ge-  
staltungsprozesse in der Wissensgesellschaft*. Bielefeld
- Guzman, A.; Meyer, T. (2010): International soft law. In: *Journal of Legal Analysis*  
2(1), S. 171–225
- Hacking, I. (1996): *Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften*. Stuttgart



- Hammerbacher, R. (2003): Diskurs Grüne Gentechnik. Abschlussbericht der Moderation zu dem Diskursprojekt des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft 2002. Osnabrück
- Harrison, P. (2006): SERIES (subarctic ecosystem response to iron enrichment study): A Canadian–Japanese contribution to our understanding of the iron–ocean–climate connection. In: *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 53(20–22), S. 2006–2011
- Harvey, M.; Hall, J.; Ho, D. (2004): Surface Ocean-Lower Atmosphere Activities in New Zealand. In: *Global Change NewsLetter* No. 58(6), S. 8–10
- Heid, T.; Niesmann, A. (2014): Gibt es sauberes Fracking? In: *Focus Magazin*, [www.focus.de/immobilien/energiesparen/auto-und-technik-gibt-es-sauberes-fracking\\_id\\_4179958.html](http://www.focus.de/immobilien/energiesparen/auto-und-technik-gibt-es-sauberes-fracking_id_4179958.html) (21.5.2019)
- Heidbrink, L. (2013): Nichtwissen und Verantwortung: Zum Umgang mit nichtintendierten Handlungsfolgen. In: Peter, C.; Funcke, D. (Hg.): *Wissen an der Grenze. Zum Umgang mit Ungewissheit und Unsicherheit in der modernen Medizin*. Frankfurt a.M., S. 111–139
- Hennen, L. (2012): Why do we still need participatory technology assessment? In: *Poiesis & Praxis* 9(1-2), S. 27–41
- Hess, D.J. (2011): To tell the truth: on scientific counterpublics. In: *Public Understanding of Science* 20, S. 627–641
- Hirschberg, S.; Wiemer, S.; Burgherr, P. (2015): Energy from the earth: Deep geothermal as a resource for the future? TA-SWISS 62, Zürich
- Hoffmann, L.; Peeken, I.; Lochte, K.; Assmy, P.; Veldhuis, M. (2006): Different reactions of Southern Ocean phytoplankton size classes to iron fertilization. In: *Limnology and Oceanography* 51(3), S. 1217–1229
- Holton, G.A. (2004): Perspectives: Defining risk. In: *Financial Analysts Journal* 60(6), S. 19–25
- Howarth, D. (2000): *Discourse*. Buckingham
- Howarth, R.; Chan, F.; Conley, D.; Garnier, J.; Doney, S.; Marino, R.; Billen, G. (2011): Coupled biogeochemical cycles: Eutrophication and hypoxia in temperate estuaries and coastal marine ecosystems. In: *Frontiers in Ecology and the Environment* 9(1), S. 18–26
- Hubert, A.-M.; Reichwein, D. (2015): An Exploration of a Code of Conduct for Responsible Scientific Research involving Geoengineering. Introduction, Draft Articles and Commentaries. IASS Working Paper/InSIS Occasional Paper #1, Potsdam/Oxford
- Hulme, M. (2014): *Can science fix climate change? A case against climate engineering*. London.
- Ibisch, P. (Hg.) (2012): *Global change management: Knowledge gaps, blindspots and unknowables*. Baden-Baden
- IMO (International Maritime Organization) (2008): Resolution LC-LP.1(2008): On The Regulation Of Ocean Fertilization. <http://www.imo.org/OurWork/Environment/LCLP/EmergingIssues/geoengineering/Documents/2008resolutionOF.doc> (21.5.2019)
- IMO (2010): Resolution LC-LP.2(2010): On the assessment framework for scientific research involving ocean fertilization (adopted on 14.10.2010) <http://www.umt.edu/ethics/resourcecenter/imx/legaldocs2/LCresolution2010> (21.5.2019)
- IMO (2013): Marine geoengineering including ocean fertilization to be regulated under amendments to international treaty. Briefing 45, <http://www.imo.org/en/Me>



- diaCentre/PressBriefings/Pages/45-marine-geoengineering.aspx#.VaYZUmOyIcs (21.5.2019)
- IOC Secretariat (Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO) (2008): Report on the IMO London Convention Scientific Group Meeting on ocean fertilization: information document. IOC/INF-1247, <http://unesdoc.unesco.org/images/0016/001604/160478e.pdf> (21.5.2019)
- ITAS (Institut für Technikfolgen-Abschätzung und Systemanalyse), BBAW (Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften) (2008): Diskursprojekt Szenario-Workshops »Zukünfte der Grünen Gentechnik« – Basisinformationen (BI) 11-15, <http://www.szenario-workshops-gruene-gentechnik.de/swgg-basis.htm> (21.5.2019)
- James, C. (2017): Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2016. ISAAA Brief No. 52, <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/52/download/isaaa-brief-52-2016.pdf> (21.5.2019)
- Janich, N.; Simmerling, A. (2013): »Nüchterne Forscher träumen ...« Nichtwissen im Klimadiskurs unter deskriptiver und kritischer diskursanalytischer Betrachtung. Meinhof, U.; Reisigl, M.; Warnke, I. (Hg.): Diskurslinguistik im Spannungsfeld von Deskription und Kritik. Berlin, S. 65–99
- Janich, N.; Nordmann, A.; Schebek, L. (2012): Einleitung: Warum Nichtwissenskommunikation? Janich, N.; Nordmann, A.; Schebek, L. (Hg.): Nichtwissenskommunikation in den Wissenschaften: Interdisziplinäre Zugänge. Wissen – Kompetenz – Text Bd. 1, Frankfurt a.M., S. 7–20
- Jin, X.; Gruber, N. (2003): Offsetting the radiative benefit of ocean iron fertilization by enhancing N<sub>2</sub>O emissions. In: *Geophysical Research Letters* 30(24), OCE3-1–OCE3-4
- Jung, R.; Orzol, J.; Kehrer, P.; Jatho, R. (2006): Verbundprojekt GeneSys: – Erprobung der Wasserfrac-Technik und des Einsonden-Zweischichtverfahrens für die Direktwärmenutzung aus gering permeablen Sedimentgesteinen, Hannover
- Junghans, M.; Bryner, A. (2013): Schiefergas – Wissenswertes zum Hydraulic Fracturing (Fracking). Schweizerisches Zentrum für angewandte Ökotoxikologie, Eawag, [http://www.eawag.ch/medien/publ/fb/doc/fb\\_fracking\\_d.pdf](http://www.eawag.ch/medien/publ/fb/doc/fb_fracking_d.pdf) (21.5.2019)
- Kania, M. (2002): Entwicklung von polyklonalen und monoklonalen Antikörpern zum Nachweis von Domoinsäure. Dissertation, <http://d-nb.info/96520023X/34> (21.5.2019)
- Kastenhofer, K. (2015): Die Rekonstruktion idealtypischer Nichtwissens-Kulturen: Beispiele aus der Risikoforschung zu Grüner Gentechnik und Mobilfunk. In: Wehling P.; Böschen, S. (Hg.): Nichtwissenskulturen und Nichtwissensdiskurse. Über den Umgang mit Nichtwissen in Wissenschaft und Öffentlichkeit. Baden-Baden, S. 67–122
- Kay, L. (2001): *Das Buch des Lebens: Wer schrieb den genetischen Code?* München
- Keith, D. (2013): *A case for climate engineering.* Cambridge
- Kirk, B. (1999): *Der Contergan-Fall: Eine unvermeidbare Arzneimittelkatastrophe?* Stuttgart
- Klauer, B.; Manstetten, R.; Petersen T.; Schiller, J. (2013): *Die Kunst langfristig zu denken – Wege zur Nachhaltigkeit.* Baden-Baden
- Kleinman, D.; Suryanarayanan, S. (2013): Dying bees and the social production of ignorance. In: *Science, Technology and Human Values* 38, S. 492–517
- Knight, F. (1921): *Risk, Uncertainty, and Profit.* Boston/New York



- Knorr-Cetina, K. (1995): Laborstudien. Der kultursoziologische Ansatz in der Wissenschaftsforschung. In: Martinsen, R. (Hg.): *Das Auge der Wissenschaft*. Baden-Baden, S. 101–135
- Knorr-Cetina, K. (2002): *Wissenskulturen. Ein Vergleich naturwissenschaftlicher Wissensformen*. Frankfurt a.M.
- Köchy, K.; Schiemann, G. (2006): Natur im Labor. Einleitung. In: *Philosophia Naturalis* 43(1), S. 1–9
- Köchy, K. (2008): *Biophilosophie zur Einführung*. Hamburg
- Krohn, W. (1997): Rekursive Lernprozesse: Experimentelle Praktiken in der Gesellschaft. Das Beispiel der Abfallwirtschaft. In: Rammert, W.; Bechmann, G. (Hg.): *Technik und Gesellschaft. Jahrbuch 9*. Frankfurt a.M./New York, S. 65–89
- Krohn, W. (2007): Realexperimente: Die Modernisierung der »offenen Gesellschaft« durch experimentelle Forschung. In: *Erwägen, Wissen, Ethik* 18(3), S. 343–356
- Krohn, W. (2011): Realexperimente: Laboratorien der Gesellschaft. In: Gamm, G.; Kertscher, J. (Hg.): *Philosophie in Experimenten. Versuche explorativen Denkens*. Bielefeld, S. 283–301
- Krohn, W.; Weyer, J. (1989): Gesellschaft als Labor: Die Erzeugung sozialer Risiken durch experimentelle Forschung. In: *Soziale Welt* 40(3), S. 349–373
- La Paz, J.; Vicient, C.; Pla, M. (2012): Insert stability and transgenic plant risk. In: *Encyclopedia of Biotechnology in Agriculture and Food*, S. 1–4
- Lawrence, M. G. (2002): Side effects of oceanic iron fertilization. In: *Science* 297(5589), S. 1993
- Leopoldina (Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V. – Nationale Akademie der Wissenschaften), DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft), acatech (acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V.), Akademienunion (Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e.V.) (2015): *Chancen und Grenzen des genome editing/The opportunities and limits of genome editing*. Halle
- Lorch, A.; Then C. (2007): How much Bt toxin do genetically engineered MON810 maize plants actually produce? Bt concentration in field plants from Germany and Spain. Greenpeace e.V., [https://www.testbiotech.org/sites/default/files/How%20much%20Bt%20toxin%20produced%20in%20MON810\\_Greenpeace.pdf](https://www.testbiotech.org/sites/default/files/How%20much%20Bt%20toxin%20produced%20in%20MON810_Greenpeace.pdf) (22.0.2019)
- Luhmann, N. (1992): *Ökologie des Nichtwissens*. In: Luhmann, N. (Hg.): *Beobachtungen der Moderne*. Opladen, S. 149–220
- Macnaghten, P.; Szerszynski, B. (2013): Living the global social experiment: An analysis of public discourse on solar radiation management and its implications for governance. In: *Global Environmental Change* 23(2), S. 465–474
- Martin, J. (1990): Glacial-interglacial CO<sub>2</sub> change: The iron hypothesis. In: *Paleoceanography* 5(1), S. 1–13
- Martin, J.; Fitzwater, S.; Gordon, R. (1990): Iron deficiency limits phytoplankton growth in Antarctic waters. In: *Global Biogeochemical Cycles* 4(1), S. 5–12
- Martin, J.; Fitzwater, S.; Gordon, R.; Hunter, C.; Tanner, S. (1993): Iron, primary production and carbon-nitrogen flux studies during the JGOFS North Atlantic bloom experiment. In: *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 40(1–2), S. 115–134
- Martin, P.; Loeff, M.; Cassar, N.; Vandromme, P.; d'Ovidio, F.; Stemmann, L.; Rengarajan, R.; Soares, M.; González, H.; Ebersbach, F. (2013): Iron fertilization enhanced net community production but not downward particle flux during the



- Southern Ocean iron fertilization experiment LOHAFEX. In: *Global Biogeochemical Cycles* 27(3), S. 871–881
- MBARI (The Monterey Bay Aquarium Research Institute) (2014): SOFeX cruise history & purpose. <https://www3.mbari.org/expeditions/SOFeX2002/history&purpose.htm> (22.5.2019)
- Meiners, H.; Denneborg, M.; Müller, F.; Bergmann, A.; Weber, F.-A.; Dopp, E.; Hansen, C.; Schüth, C.; Gaßner, H.; Buchholz, G.; Sass, I. et al. (2012). *Umweltauswirkungen von Fracking bei der Aufsuchung und Gewinnung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten – Risikobewertung, Handlungsempfehlungen und Evaluierung bestehender rechtlicher Regelungen und Verwaltungsstrukturen*. UBA-Texte 61, Dessau-Roßlau
- Merton, R. (1987): Three fragments from a sociologist's notebook: Establishing the phenomenon, specified ignorance, and strategic research materials. In: *Annual Review of Sociology* 13, S. 1–28
- Merzouk, A.; Lepasqueur, M.; Scarratt, M.; Michaud, S.; Rivkin, R.; Hale, M.; Kiene, R.; Price, N.; Li, W. (2006): DMSP and DMS dynamics during a mesoscale iron fertilization experiment in the Northeast Pacific–Part II: Biological cycling. In: *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 53(20), S. 2370–2383
- Modrzejewski, D.; Hartung, F.; Sprink, T.; Krause, D.; Kohl, C.; Wilhelm, R. (2019): What is the available evidence for the application of genome editing as a new tool for plant trait modification and the potential occurrence of associated off-target effects? A Systematic Map. In: *Environmental Evidence* 8(27), S. 1–33
- Müller-Herold, U.; Scheringer, M. (1999): *Zur Umweltgefährdungsbewertung von Schadstoffen und Schadstoffkombinationen durch Reichweiten- und Persistenzanalyse*. Europäische Akademie Bad Neuenahr-Ahrweiler, Bad Neuenahr
- Müller-Jung, J. (2009): Fluch der Algen oder ein Umweltminister in Seenot. *Frankfurter Allgemeine*, <http://blogs.faz.net/plancton/2009/01/24/fluch-der-algen-oder-ein-umweltminister-in-seenot-39/> (18.4.2019)
- Nanokommission (2008): *Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Empfehlungen der Nanokommission der Deutschen Bundesregierung 2008*. Berlin
- Nanokommission (2011): *Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Empfehlungen der Nanokommission 2011*. Berlin
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (2009): *World Ocean Atlas 2009*. [http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA09/pr\\_woa09.html](http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA09/pr_woa09.html) (22.5.2019)
- Nodder, S.; Charette, M.; Waite, A.; Trull, T.; Boyd, P.; Zeldis, J.; Buesseler, K. (2001): Particle transformations and export flux during an in situ iron-stimulated algal bloom in the Southern Ocean. In: *Geophysical Research Letters* 28(12), S. 2409–2412
- Nordmann, A. (2005): Was ist TechnoWissenschaft? Zum Wandel der Wissenschaftskultur am Beispiel von Nanoforschung und Bionik. In: Rossmann, T.; Tropea, C. (Hg.): *Bionik*. Berlin/Heidelberg, S. 209–218
- Nowotny, H.; Scott, P.; Gibbons, M. (2004): *Wissenschaft neu denken: Wissen und Öffentlichkeit in einem Zeitalter der Ungewißheit*. Weilerswist
- NRC (National Research Council) (2012): *Induced seismicity potential in energy technologies*. National Research Council of The National Academies, Washington D.C.



- Oreskes, N.; Conway, E. (2012): *Merchants of doubt: How a handful of scientists obscured the truth on issues from tobacco smoke to global warming*. London u.a.O.
- Ott, H. (1998): *Umweltregime im Völkerrecht: Eine Untersuchung zu neuen Formen internationaler institutionalisierter Kooperation am Beispiel der Verträge zum Schutz der Ozonschicht und zur Kontrolle grenzüberschreitender Abfallverbringungen*. *Völkerrecht und Außenpolitik* 53, Baden-Baden
- Pauwels, K.; Mampuy, R.; Golstein, C.; Breyer, D.; Herman, P.; Kaspari, M.; Pagès, J.-C.; Pfister, H.; van der Wilk, F.; Schönig, B. (2013): *Event report: SynBio Workshop (Paris 2012) – Risk assessment challenges of Synthetic Biology*. In: *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* 8(3), S. 215–226
- Pedersen, O. (2014): *From abundance to indeterminacy: The precautionary principle and its two camps of custom*. In: *Transnational Environmental Law* 3(2), S. 323–339
- Pilson, D.; Snow, A.; Rieseberg, L.; Alexander, H. (2002): *Fitness and population effects of gene flow from transgenic sunflower to wild Helianthus annuus*. *Proceedings of a workshop on the ecological and agronomic consequences of gene flow from transgenic crops to wild relatives*. Columbus
- Pötter, B. (2007): *In letzter Minute*. *Die Zeit*, <https://www.zeit.de/2007/37/A-Montreal-Protokoll/komplettansicht> (22.5.2019)
- Pohl, M.; Arndt, N. (2004): *Containment, Confinement und Koexistenz beim Molecular Farming – Möglichkeiten und Probleme*. TÜV NORD EnSys Hannover GmbH & Co. KG, Hannover
- Powell, M.; Colin, M. (2009): *Participatory paradoxes. Facilitating citizen engagement in science and technology from the top-down*. In: *Bulletin of Science, Technology and Society* 29, S. 325–342
- Proelss, A. (2009): *Legal opinion on the legality of the LOHAFEX marine research experiment under international law*. Christian Albrechts University, [https://www.wsi.uni-kiel.de/de/forschung/opinions/LOHAFEX\\_en.pdf](https://www.wsi.uni-kiel.de/de/forschung/opinions/LOHAFEX_en.pdf) (29.8.2018)
- Purcell, J. (2005): *Climate effects on formation of jellyfish and ctenophore blooms: A review*. In: *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 85(03), S. 461–476
- Ravetz, J. (1986): *Usable knowledge, usable ignorance*. In: Clark, W.; Munn, R. (Hg.): *Sustainable development of the biosphere*. Cambridge, S. 415–432
- Ravetz, J. (1990): *The merger of knowledge with power. Essays in critical science*. London/New York
- Rayner, S. (2014): *To know or not to know? A note on ignorance as a rhetorical resource in geoengineering debates*. CGG Working Papers no. 10, Oxford
- Rayner, S.; Heyward, C.; Kruger, T.; Pidgeon, N.; Redgwell, C.; Savulescu, J. (2013). *The Oxford Principles*. In: *Climatic Change* 121(3), S. 499–512
- Rayner S.; Redgwell C.; Savulescu J.; Pidgeon N.; Kruger, T. (2009): *Memorandum on draft principles for the conduct of geoengineering research*. [www.geoengineering.ox.ac.uk/oxford-principles/history/?download\\_file=14\\_1\\_memo.pdf&download\\_cat=downloads](http://www.geoengineering.ox.ac.uk/oxford-principles/history/?download_file=14_1_memo.pdf&download_cat=downloads) (6.5.2019)
- Renn, O. (2007): *Einführung: Zugänge zum Thema Risiko: Eine multi-diziplinäre Betrachtung*. In: *Präsident der Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hg.): Streitgespräche in den wissenschaftlichen Sitzungen der Versammlung der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften am 15. Dezember 2006 und am 22. Juni 2007*. Berlin, S. 11–18



- Renn, O.; Brachatzek, N.; Hiller, S. (2011): Climate Engineering. Risikowahrnehmung, gesellschaftliche Risikodiskurse und Optionen der Öffentlichkeitsbeteiligung. Dialogik, [www.kiel-earth-institute.de/sondierungsstudie-climate-engineering.html?file=files/media/downloads/risikowahrnehmung.pdf](http://www.kiel-earth-institute.de/sondierungsstudie-climate-engineering.html?file=files/media/downloads/risikowahrnehmung.pdf) (22.5.2019)
- Revkin, A. (2014): A fresh look at iron, plankton, carbon, salmon and ocean engineering. The opinion pages: Dot earth. New York Times, <http://dotearth.blogs.nytimes.com/2014/07/18/a-fresh-look-at-iron-plankton-carbon-salmon-and-ocean-engineering/> (22.5.2019)
- Rheinberger, H.-J. (1999): Strukturen des Experimentierens: Zum Umgang mit dem Nichtwissen. In: Bödeker, H.; Reill, P.; Schlumbohm, J. (Hg.): Wissenschaft als kulturelle Praxis: 1750 – 1900. Göttingen, S 415–423
- Rickels, W.; Klepper, G.; Dovern, J.; Betz, G.; Brachatzek, N.; Cacean, S.; Güssow, K.; Heintzenberg J.; Hiller, S.; Hoose, C.; Leisner, T. et al. (2011): Gezielte Eingriffe in das Klima? Eine Bestandsaufnahme der Debatte zu Climate Engineering. Kiel Earth Institute, [www.kiel-earth-institute.de/sondierungsstudie-climate-engineering.html](http://www.kiel-earth-institute.de/sondierungsstudie-climate-engineering.html) (6.5.2019)
- Robock, A.; Bunzl, M.; Kravitz, B.; Stenchikov, G. (2010): A test for geoengineering? In: Science 327(5965), S. 530–531
- Römbke, J.; Jänsch, S.; Roß-Nickoll, M.; Toschki, A. (2014): Nutzungsmöglichkeiten der Boden-Dauerbeobachtung der Länder für das Monitoring der Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen. BfN-Skripte 369, Bonn
- Roßnagel, A.; Hentschel, A.; Polzer, A. (2012): Rechtliche Rahmenbedingungen der unkonventionellen Erdgasförderung mittels Fracking. Kompetenzzentrum für Klimaschutz und Klimaanpassung (CliMA) der Universität Kassel, Kassel
- Röver, M.; Arndt, N.; Pohl-Orf, M. (2000): Analyse der bei Freisetzen von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP) durchgeführten Sicherheitsmaßnahmen in Hinblick auf deren Effektivität und Ableitung von Empfehlungen für die künftige Vollzugsarbeit. UBA-Texte 03, Berlin
- Royal Society (2009): Geoengineering the climate: Science, governance and uncertainty. [https://royalsociety.org/~media/Royal\\_Society\\_Content/policy/publications/2009/8693.pdf](https://royalsociety.org/~media/Royal_Society_Content/policy/publications/2009/8693.pdf) (22.5.2019)
- Salter, I.; Schiebel, R.; Ziveri, P.; Movellan, A.; Lampitt, R.; Wolff, G. (2014): Carbonate counter pump stimulated by natural iron fertilization in the Polar Frontal Zone. In: Nature Geoscience 7(12), S. 885–889
- Sanden, J. (2006): Das Vorsorgeprinzip im europäischen und deutschen Umweltrecht: Weiterentwicklung und Impulse für das internationale Recht. In: Osaka University Law Review 53, S. 243–270
- Sandkühler, H. (Hg.) (2014a): Wissen. Wissenskulturen und die Kontextualität des Wissens. Frankfurt a.M.
- Sandkühler, H. (2014b): Wissenskulturen. Zum Status und zur Funktion eines epistemologischen Konzepts. In: Sandkühler 2014a, S. 59–72
- Sandkühler, H. (2014c): Wissenskulturen und Experimentalkulturen. Sandkühler 2014a, S. 137–155
- Saretzki, T.; Bornemann, B. (2014): Die Rolle von Unternehmensdialogen im gesellschaftlichen Diskurs über umstrittene Technikentwicklungen: Der »InfoDialog Fracking«. In: Neue Soziale Bewegungen 27(4), S. 70–82
- Sauter, A. (2005): Grüne Gentechnik? – Folgenabschätzung der Agrobiotechnologie. In: Petermann, T.; Grunwald, A. (Hg.): Technikfolgen-Abschätzung für den Deut-



- schen Bundestag. Das TAB – Erfahrungen und Perspektiven wissenschaftlicher Politikberatung. Berlin, S. 116–146
- Scheringer, M. (1996): Persistence and Spatial Range as End-points of an Exposure Based Assessment of Organic Chemicals. In: *Environmental Science and Technology* 30(5), S. 1652–1659
- Scheringer, M. (2002): Persistence and spatial range of environmental chemicals. Weinheim
- Scheringer, M.; Mathes, K.; Weidemann, G.; Winter, G. (1998): Für einen Paradigmenwechsel bei der Bewertung ökologischer Risiken durch Chemikalien im Rahmen der staatlichen Chemikalienregulierung. In: *Zeitschrift für angewandte Umweltforschung* 11(2), S. 227–233
- Schiaffonati, V. (2015): Stretching the traditional notion of experiment in computing: Explorative experiments. In: *Science and Engineering Ethics*, S. 1–19
- Schiller, J. (2002): Umweltprobleme und Zeit: Bestände als konzeptionelle Grundlage ökologischer Ökonomik. Marburg
- Schlacke, S.; Markus, T.; Much, S. (2012): Rechtliche Steuerungsmöglichkeiten für experimentelle Erforschung der Meeresdüngung. UBA-Texte 20, Dessau-Roßlau
- Schuling, R.; Krijgsman, P. (2006): Enhanced weathering: an effective and cheap tool to sequester CO<sub>2</sub>. In: *Climatic Change* 74(1–3), S. 349–354
- Schütte, G.; Oldendorf, S. (2001): Horizontaler Gentransfer. In Schütte et al. 2001, S. 76–81
- Schütte, G.; Stirn, S.; Beusmann, V. (2001): Transgene Nutzpflanzen – Sicherheitsforschung, Risikoabschätzung und Nachzulassungs-Monitoring transgener Pflanzen. Basel u.a.O.
- Scott, K. (2013): International Law in the Anthropocene: Responding to the Geoengineering Challenge. In: *Michigan Journal of International Law* 34(2), S. 309–358
- Schmitz, G.; Schütte, G. (2001): Risiken für die Umwelt: Verwilderung transgener Pflanzen und ihrer Hybride. In: Schütte et al. 2001, S. 82–101
- von Schomberg, R. (2005): Die normativen Dimensionen des Vorsorgeprinzips. In: *TAB: Risikoregulierung bei unsicherem Wissen: Diskurse und Lösungsansätze. TAB-Diskussionspapier Nr. 11*, Berlin, S. 97–127
- Seidler, C. (2009): Kampf gegen CO<sub>2</sub>: Umweltschützer behindern Algen-Großversuch. Spiegel online, <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/kampf-gegen-co2-umweltschuetzer-behindern-algen-grossversuch-a-601096.html> (22.05.2019)
- Seifert, F. (2002): Gentechnik – Öffentlichkeit – Demokratie. Der österreichische Gentechnik-Konflikt im internationalen Kontext. München/Wien
- Sellke, P.; Renn, O. (2011): Risiko-Governance in einer komplexen Welt. In: Groß, M. (Hg.): *Handbuch Umweltsoziologie*. Wiesbaden, S. 503–528
- Smetacek, V.; Cloern, J. (2008): On phytoplankton trends. In: *Science* 319(5868), S. 1346–1348
- Smetacek, V.; Naqvi, S. (2008): The next generation of iron fertilization experiments in the Southern Ocean. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society a-Mathematical Physical and Engineering Sciences* 366(1882), S. 3947–3967
- Smetacek, V.; Assmy, P.; Henjes, J. (2004): The role of grazing in structuring Southern Ocean pelagic ecosystems and biogeochemical cycles. In: *Antarctic Science* 16(4), S. 541–558
- Smetacek, V.; Klaas, C.; Strass, V.; Assmy, P.; Montresor, M.; Cisewski, B.; Savoye, N.; Webb, A.; d'Ovidio, F.; Arrieta, J.; Bathmann, U. et al. (2012): Deep carbon



- export from a Southern Ocean iron-fertilized diatom bloom. In: *Nature* 487(7407), S. 313–319
- Steinfeldt, M.; von Gleich, A.; Petschow, U.; Haum, R.; Chudoba, T.; Haubold, S. (2004). Nachhaltigkeitseffekte durch Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Berlin
- Steinfeldt, M.; von Gleich, A.; Petschow, U.; Haum, R. (2007): *Nanotechnologies, Hazards and Resource Efficiency*. Heidelberg
- Steinle, F. (2004): Exploratives Experimentieren: Charles Dufay und die Entdeckung der zwei Elektrizitäten. In: *Physik-Journal* 3(6), S. 47–52
- Stilgoe, J.; Lock, S.; Wilsdon, J. (2014): Why should we promote public engagement with science? In: *Public Understanding of Science* 23, S. 4–15
- Strong, A.; Cullen, J.; Chisholm, S. (2009): Ocean fertilization: Science, policy, and commerce. In: *Oceanography* 22(3), S. 236–261
- Szerszynski, B.; Kearnes, M.; Macnaghten, P.; Owen, R.; Stilgoe, J. (2013): Why solar radiation management, geoengineering and democracy won't mix. In: *Environment and Planning A* 45, S. 2809–2816
- TAB (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag) (1993): *Biologische Sicherheit bei der Nutzung der Gentechnik*. (Gloede, F.; Bechmann, G.; Hennen, L.; Schmitt, J.) TAB-Arbeitsbericht Nr. 20, Bonn
- TAB (1998): *Gentechnik, Züchtung und Biodiversität*. (Meyer, R.; Revermann, C.; Sauter, A.) TAB-Arbeitsbericht Nr. 55, Bonn
- TAB (2000): *Risikoabschätzung und Nachzulassungs-Monitoring transgener Pflanzen*. (Sauter, A.; Meyer, R.) TAB-Arbeitsbericht Nr. 68, Berlin
- TAB (2005): *Grüne Gentechnik – Transgene Pflanzen der 2. und 3. Generation*. (Sauter, A.) TAB-Arbeitsbericht Nr. 104, Berlin
- TAB (2008): *Transgenes Saatgut in Entwicklungsländern – Erfahrungen, Herausforderungen, Perspektiven*. (Sauter, A.) TAB-Arbeitsbericht Nr. 128, Berlin
- TAB (2014): *Climate Engineering*. (Caviezel, C.; Revermann, C.) TAB-Arbeitsbericht Nr. 159, Berlin
- TAB (2015): *Synthetische Biologie – die nächste Stufe der Biotechnologie*. (Sauter, A.; Albrecht, S.; van Doren, D.; König, H.; Reiß, T.; Trojok, R.) TAB-Arbeitsbericht Nr. 164, Berlin
- Takeda, S.; Tsuda, A. (2005): An in situ iron-enrichment experiment in the western subarctic Pacific (SEEDS): introduction and summary. In: *Progress in Oceanography* 64(2), S. 95–109
- Taubert, N.; Krämer, F. (2007): Grenzenloses Experimentieren? Die Grenzen von Realexperimenten. In: *Erwägen, Wissen, Ethik* 18(3), S. 407–410
- Testbiotech (2016): Werden Gentechnik-Pflanzen in Spanien zum Unkraut? Möglicher Gentransfer zwischen Gentechnik-Mais und Teosinte. <https://www.testbiotech.org/node/1562> (22.05.2019)
- Testbiotech (2017): »Aliens« in Spanien: Hybride zwischen Teosinte und Mais entdeckt. Risiko der Auskreuzung von Gentechnik-Mais muss dringend untersucht werden. <https://www.testbiotech.org/node/1960> (22.05.2019)
- Tetens, H. (2006): Das Labor als Grenze der exakten Naturforschung. In: *Philosophia Naturalis* 43(1), S. 31–48
- Thiele, S.; Fuchs, B.; Ramaiah, N.; Amann, R. (2012): Microbial community response during the iron fertilization experiment LOHAFEX. In: *Applied and Environmental Microbiology* 78(24), S. 8803–8812



- Thums, A. (2004): Formale Fehlerbaumanalyse. Dissertation, <https://d-nb.info/973155647/34> (22.5.2019)
- Tollefson, J. (2012): Ocean-fertilization project off Canada sparks furore. In: *Nature* 490(7421), S. 458–459
- Tollefson, J. (2017): Iron-dumping ocean experiment sparks controversy. In: *Nature* 545, S. 393–394
- Trick, C.; Bill, B.; Cochlan, W.; Wells, M.; Trainer, V.; Pickell, L. (2010): Iron enrichment stimulates toxic diatom production in high-nitrate, low-chlorophyll areas. In: *PNAS* 107(13), S. 5887–5892
- Trouwborst, A. (2009): Prevention, precaution, logic and law. In: *Erasmus Law Review* 2, S. 105–128
- Tsuda, A.; Takeda, S.; Uematsu, M.; Wells, M.; Levasseur, M. (2005): Workshop on SEEDS-II. [www.pices.int/meetings/workshops/2005\\_workshops/SEEDS%20II/SEEDS\\_f.pdf](http://www.pices.int/meetings/workshops/2005_workshops/SEEDS%20II/SEEDS_f.pdf) (6.5.2019)
- Tsuda, A.; Takeda, S.; Saito, H.; Nishioka, J.; Kudo, I.; Nojiri, Y.; Suzuki, K.; Uematsu, M.; Wells, M.; Tsumune, D. (2007): Evidence for the grazing hypothesis: Grazing reduces phytoplankton responses of the HNLC ecosystem to iron enrichment in the western subarctic Pacific (SEEDS II). In: *Journal of Oceanography* 63(6), S. 983–994
- Uekötter, F.; Lübken, U. (Hg.) (2014): *Managing the unknown. Essays on environmental ignorance.* New York/Oxford
- UBA (Umweltbundesamt) (2011): *Geo-Engineering: Wirksamer Klimaschutz oder Größenwahn? Methoden – rechtliche Rahmenbedingungen – umweltpolitische Forderungen.* (Ginzky, H.; Herrmann, F.; Kartschall, K.; Leujak, W.; Lipsius, K.; Mäder, C.; Schwermer, S.) Dessau-Roßlau
- USC (University of Southern California) (1997): *Making the Ocean Bloom.* <http://news.usc.edu/12233/Making-the-Ocean-Bloom/> (22.5.2019)
- Uther, S. (2014): *Diskurse des Climate Engineering: Argumente, Akteure und Koalitionen in Deutschland und Großbritannien.* Wiesbaden
- Uye, S.-I. (2008): Blooms of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai*: A threat to the fisheries sustainability of the East Asian Marginal Seas. In: *Plankton and Benthos Research* 3 (Suppl.), S. 125–131
- Vengosh, A.; Jackson, R.; Warner, N.; Darrah, T.; Kondash, A. (2014): A critical review of the risks to water resources from unconventional shale gas development and hydraulic fracturing in the United States. In: *Environmental Science & Technology* 48(15), S. 8334–8348
- Verlaan, P. (2007): Experimental activities that intentionally perturb the marine environment: implications for the marine environmental protection and marine scientific research provisions of the 1982 United Nations Convention on the Law of the Sea. In: *Marine Policy* 31(2), S. 210–216
- VN (Vereinte Nationen) (1992): *Agenda 21: Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung.* [www.un.org/depts/german/conf/agenda21/agenda\\_21.pdf](http://www.un.org/depts/german/conf/agenda21/agenda_21.pdf) (23.5.2019)
- Waite, A.; Nodder, S. (2001): The effect of in situ iron addition on the sinking rates and export flux of Southern Ocean diatoms. In: *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 48(11), S. 2635–2654
- Wallace, D.; Law, C.; Boyd, P.; Collos, Y.; Croot, P.; Denman, K.; Lam, P.; Riebesell, U.; Takeda, S.; Williamson, P. (2010): *Ocean fertilization. A scientific summary for policy makers.* Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO,



- www.igbp.net/download/18.1b8ae20512db692f2a680004381/1376383081959/oceanfertilization.pdf (6.5.2019)
- Walton, D. (1996): Arguments from ignorance. University Park
- Watson, A.; Boyd, P.; Turner, S.; Jickells, T.; Liss, P. (2008): Designing the next generation of ocean iron fertilization experiments. In: Marine Ecology Progress Series 364, S. 303–309
- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) (1999). Welt im Wandel: Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken – Jahresgutachten 1998. Berlin u.a.O.
- Wehling, P. (2006): Im Schatten des Wissens? Perspektiven der Soziologie des Nichtwissens. Konstanz
- Wehling, P. (2007a): Die Politisierung des Nichtwissens – Vorläufer einer reflexiven Wissensgesellschaft? In: Ammon, S.; Hintz, A.; Selbmann-Lobbedey, K.; Heineke, C. (Hg.): Wissen in Bewegung. Vielfalt und Hegemonie in der Wissensgesellschaft. Bielefeld, S. 221–240
- Wehling, P. (2007b): Unter welchen Bedingungen sind Realexperimente rational und vertretbar? *Erwägen, Wissen, Ethik* 18(3), S. 415–417
- Wehling, P. (2011): Vom Risikokalkül zur Governance des Nichtwissens: Öffentliche Wahrnehmung und soziologische Deutung von Umweltgefährdungen. Groß, M. (Hg.): Handbuch Umweltsoziologie. Wiesbaden, S. 529–548
- Wehling, P. (2012a): Nichtwissenskulturen und Nichtwissenskommunikation in den Wissenschaften. In: Janich, N.; Nordmann A.; Schebek, L. (Hg.): Nichtwissenskommunikation in den Wissenschaften: Interdisziplinäre Zugänge. Wissen – Kompetenz – Text Bd. 1, Frankfurt a.M., S. 73–91
- Wehling, P. (2012b): From invited to uninvited participation (and back?) Rethinking civil society engagement in technology assessment and development. In: *Poiesis & Praxis* 9(1–2), S. 43–60
- Wehling, P. (2015a): Formen und Verfahren demokratischer, gesellschaftlicher Beteiligung an explorativen Experimenten unter Nichtwissens-Bedingungen. Frankfurt a.M.
- Wehling, P. (2015b): Nichtwissenskulturen – theoretische Konturen eines neuen Konzepts der Wissenschaftsforschung. In: Wehling, P.; Böschen, S. (Hg.): Nichtwissenskulturen und Nichtwissensdiskurse. Über den Umgang mit Nichtwissen in Wissenschaft und Öffentlichkeit. Baden-Baden
- Wehling, P.; Viehöver, W. (2013): »Uneingeladene« Partizipation der Zivilgesellschaft – ein kreatives Element der Governance von Wissenschaft. In: Grande, E.; Jansen, D.; Jarren, O.; Rip, A.; Schimank, U.; Weingart, P. (Hg.): Neue Governance der Wissenschaft. Reorganisation – externe Anforderungen – Medialisierung. Bielefeld, S. 213–234
- Wehling, P.; Viehöfer, W.; Koenen, S. (Hg.) (2015): The public shaping of medical research. Patient associations, health movements and biomedicine. New York/London
- Wessling, S.; Junkera, R.; Rutqvist, J.; Silin, D.; Sulzbachera, H.; Tischner, T.; Tsang, C.-F. (2009): Pressure analysis of the hydromechanical fracture behaviour in stimulated tight sedimentary geothermal reservoirs. In: *Geothermics* 38(2), S. 211–226
- Willems, W. (2015): Wenn Gene von Bakterien auf Menschen übergehen. <https://www.welt.de/wissenschaft/article138408882/Wenn-Gene-von-Bakterien-auf-Menschen-uebergehen.html> (23.5.2019)



- Wilson, G. (2014): Murky waters: Ambiguous international law for ocean fertilization and other geoengineering. In: *Texas International Law Journal* 49, S. 507–558
- Wiltshire, K.; Malzahn, A.; Greve, W.; Wirtz, K.; Janisch, S.; Mangelsdorf, P.; Manly, B.; Boersma, M. (2008): Resilience of North Sea phytoplankton spring blooms dynamics: An analysis of long term data at Helgoland Roads. In: *Limnology and Oceanography* 53, S. 1294-1302
- Winickoff, D.; Brown, M. (2013): Time for a government advisory committee for geoengineering research. In: *Issues in Science and Technology* 29, S. 79–85
- Winter, G. (2011): Climate engineering and international law: Last resort or the end of humanity? In: *Review of European Community & International Environmental Law* 20, S. 277-289
- Wolfrum, R. (2009): Zusammenfassung der Gutachten zum deutsch-indischen LOHAFEX-Experiment im Südwestatlantik sowie abschließendes Votum. Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht, [http://www.nio.org/userfiles/file/projects/Univ\\_Heidelberg\\_zu\\_LOHAFEX.pdf](http://www.nio.org/userfiles/file/projects/Univ_Heidelberg_zu_LOHAFEX.pdf) (12.9.2018)
- Wong, C.; Johnson, W. (2002): Subarctic ecosystem response to iron enrichment study (SERIES): Eastern Subarctic Pacific, [http://data.bco-dmo.org/Fe\\_Synthesis/SERIES/SERIES.pdf](http://data.bco-dmo.org/Fe_Synthesis/SERIES/SERIES.pdf) (23.5.2019)
- WWF (World Wildlife Fund) (2009). WWF opposes precarious ocean fertilization project. [http://wwf.panda.org/wwf\\_news/?155301/WWF-opposes-precarious-ocean-fertilization-project](http://wwf.panda.org/wwf_news/?155301/WWF-opposes-precarious-ocean-fertilization-project) (23.5.2019)
- Wynne, B. (1992): Uncertainty and environmental learning. Reconciling science and policy in the preventive paradigm. In: *Global Environmental Change* 2, S. 111–127
- Wynne, B. (2003): Seasick on the third wave? Subverting the hegemony of propositionalism. In: *Social Studies of Science* 33, S. 401–417
- Wynne, B. (2007): Public participation in science and technology. Performing and obscuring a political-conceptual category mistake. In: *East Asian Science, Technology and Society: An International Journal* 1, S. 99–110
- Xiu, P.; Thomas, A.; Chai, F. (2014): Satellite bio-optical and altimeter comparisons of phytoplankton blooms induced by natural and artificial iron addition in the Gulf of Alaska. In: *Remote Sensing of Environment* 145, S. 38–46
- Zhang, Z.; Wang, W.; Qiu, B. (2014): Oceanic mass transport by mesoscale eddies. In: *Science* 345(6194), S. 322–324
- Zittel, W. (2015): Fracking – eine Zwischenbilanz. Energy Watch Group/Ludwig-Boelkow-Stiftung, Ottobrunn
- Zucker, H. (2014): A public health review of high volume hydraulic fracturing for shale gas development. New York State Department of Health, [https://www.health.ny.gov/press/reports/docs/high\\_volume\\_hydraulic\\_fracturing.pdf](https://www.health.ny.gov/press/reports/docs/high_volume_hydraulic_fracturing.pdf) (23.5.2019)
- Züghart, W.; Breckling, B. (2003): Konzeptionelle Entwicklung eines Monitorings von Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen. Teil 1 und 2. UBA-Texte 50, Berlin
- Züghart, W.; Benzler, A.; Berhorn, F.; Graef, F.; Sukopp, U. (2005): Monitoring der Wirkungen gentechnisch veränderter Organismen auf Natur und Landschaft nach Marktzulassung. In: *Natur und Landschaft* 80(7), S. 307–312



---

## 11 Anhang

---

### 11.1 Abbildungen

Abb. 4.1 Interventionsmodell: Analysegegenstände der Technikcharakterisierung	70
Abb. 4.2 Erweiterter Gestaltungszyklus im Realexperiment zur Strukturierung im Umgang mit Nichtwissen	80
Abb. 7.1 Darstellung konventioneller und nichtkonventioneller Erdöl- und Erdgasvorkommen	138

---

### 11.2 Tabellen

Tab. 4.1 Gründe zur Besorgnis aufgrund von Wirkmächtigkeiten durch hohe Eingriffsintensität und/oder Eingriffstiefe sowie Ansatzpunkte der Vorsorge	73
Tab. 8.1 Öffentlich bekannte, bis 2014 durchgeführten Ozeaneisendüngungsexperimente	176
Tab. 8.2 Gefährdungs- und Expositionspotenziale von möglichen Ereignissen bei Eisendüngungsexperimenten im Ozean	183

---

### 11.3 Abkürzungen

ACSENT	Socio-Economic and Ecological Evaluation of New Technologies
AWI	Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
BbergG	Bundesberggesetz
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BT	Bacillus thuringiensis
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
BVT	beste verfügbare Technik
CBD	Convention on Biological Diversity
CDR	Carbon Dioxide Removal
CE	Climate Engineering
COP	Conference of the Parties
COTA	Committee on Technology Assessment
COTDAC	Committee on Technological Diffusion and Conservation
CRISPR	clustered regularly interspaced short palindromic repeats
DDT	Dichlordiphenyltrichlorethan; Insektizid, dessen Verwendung von den meisten westlichen Industrieländern in den 1970er Jahren verboten wurde
DMS	Dimethylsulfid



EFSA	European Food Safety Authority
EU	Europäische Union
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
GE	Geo Engineering
GrwV	Grundwasserverordnung
GVO	gentechnisch veränderter Organismus
GVP	gentechnisch veränderte Pflanze
HSRC	Haida Salmon Restoration Corporation
ICENT	International Convention for the Evaluation of New Technologies
IMO	International Maritime Organization
LC-LP	London Convention and London Protocol
MKULNV	Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
NOAA	US National Oceanic and Atmospheric Administration
OIF	ocean iron fertilization
PCB	polychlorierte Biphenyle, giftige und krebsauslösende organische Chlorverbindungen
POP	persistent organic pollutants (persistente organische Schadstoffe)
RNA	ribonucleic acid
SRM	Solar-Radiation-Management
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
WBGU	Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WWF	World Wildlife Fund





**BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG  
BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG**

Karlsruher Institut für Technologie

Neue Schönhauser Straße 10  
10178 Berlin

Telefon: +49 30 28491-0  
E-Mail: [buero@tab-beim-bundestag.de](mailto:buero@tab-beim-bundestag.de)  
Web: [www.tab-beim-bundestag.de](http://www.tab-beim-bundestag.de)  
Twitter: @TABundestag