

# **Problemorientierte Forschung und Schließungsprozesse der Wissenschaft: das Beispiel des Ozonlochs als Umweltproblem**

Expertise zum Themenfeld  
"Politik, Wissenschaft und Gesellschaft"

Themenschwerpunkt  
“(Neue) Formen der Wissensproduktion”

Jost Halfmann  
Falk Schützenmeister

Dresden, den 1. April 2003~~26. März 2003~~

## Inhalt

1. Einleitung und Problemstellung	3
2. Problemorientierte Forschung und Disziplinarität	8
3. Die Ozonforschung als disziplinäre Entwicklung	18
4. Klimaforschung: Disziplinarität und Interdisziplinarität	33
5. Vorläufiges Ergebnis und Vorschläge zur weiteren Forschung	49
Literaturverzeichnis	50
Anhang (Vercodungsschema)	56

## 1. Einleitung und Problemstellung

Die starke Wissenschaftsabhängigkeit von Umweltpolitik hat das Verhältnis zwischen Wissenschaft und anderen Funktionssystemen der Gesellschaft unumstritten verändert. Wissenschaft spielt bei der Identifizierung von ökologischen Problemlagen eine zentrale Rolle, politische Entscheidungen hängen u.a. von wissenschaftlich beschriebenen Kausalketten ab und die Effektivität umweltpolitischer Maßnahmen wird durch Wissenschaft kontrolliert. Kontroverser werden dagegen die Auswirkungen dieses engen Verhältnisses auf das Wissenschaftssystem selbst diskutiert. Im Mittelpunkt der Debatte steht dabei die Frage, ob ökologische und andere dringende Problemlagen wegen der damit verbundenen Unsicherheit wissenschaftlichen Wissens und des politischen Entscheidungsdrucks neue Formen der Wissensproduktion haben entstehen lassen (*post-normal science*, Funtowicz/ Ravetz 1993, *mode 2*, Gibbons u.a. 1994). Umstritten ist, ob es über einen Wandel der Wissen produzierenden Organisationen hinaus auch (zwangsläufig) zu epistemischen Veränderungen der gesamten Wissenschaft kommt (Nowotny u.a. 2001), oder ob das Gebiet der ökologisch orientierten Forschung ein Spezialfall im sich zunehmend ausdifferenzierenden Wissenschaftssystem ist, dessen Kern, die spezifische wissenschaftliche Kommunikation, weitgehend unberührt bleibt (Weingart 1997, 2001).

Für das Verhältnis von Wissenschaft und Politik angesichts ökologischer Probleme kann die Klimaforschung, insbesondere aber das Zustandekommen des internationalen Ozonregimes als paradigmatisch gelten (Weingart 2001: 123). Politisch werden die Wiener Konvention (*Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer*, März 1985), das Montrealer Protokoll (*Montreal Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer*, September 1987) und die daran anschließenden Regelungen<sup>1</sup> als erfolgreiches Modell zur Lösung globaler Umweltprobleme, u.a. auch der globalen Erderwärmung betrachtet (Benedick 1991, Bechmann/ Beck

---

<sup>1</sup> Mit den *London Revisions to the Montreal Protocol (London Amendment*, Juni 1990) wurde die Liste der zu regulierenden Substanzen so erweitert, dass die wissenschaftlichen Prognosen das erste Mal eine Abnahme der Chlorkradikale in der Atmosphäre (*chlorine loading*) und somit eine Zunahme des Ozongehalts der Stratosphäre prognostizierten (s. Benedick 1991: 129ff.). Neu am *London Amendment* ist auch, dass nun nicht mehr von der Reduzierung sondern dem Verbot vieler Substanzen die Rede ist. Inzwischen wurden die Regulierungen weiter verfeinert (*Copenhagen Amendment*, November 1992, *Montreal Amendment*, September 1997, *Beijing Amendment*, Dezember 1999, siehe [www.unep.org/ozone](http://www.unep.org/ozone)). Besonders zu erwähnen ist dabei die Erweiterung der Regulierungen auf andere Stoffgruppen wie zum Beispiel Bromide, die ein noch höheres Potential zur Ozonerstörung (*ozone depletion potential*, ODP) aufweisen. Inzwischen besteht ein wissenschaftlicher Konsens darüber, dass die Umsetzung der Regulierungen bis 2050 zu einem Zustand der Ozonschicht führen wird, wie er vor 1980 bestand (s. WMO 1998, *Executive Summary*, S.33, Schrope 2000).

1997, s. auch Grundmann 2001, zur Kritik Downie 1995). In den Naturwissenschaften sind im Zuge der Debatte um die anthropogene Zerstörung der Ozonschicht eine Reihe von Instituten, Gremien und Organisationen entstanden, in denen außerhalb von Universitäten über wissenschaftliches Wissen *und* politische Maßnahmen verhandelt wird. In der sozialwissenschaftlichen Diskussion über das Verhältnis von Wissenschaft und Umweltpolitik ist die Klimaforschung geradezu das Paradebeispiel.

In einer ersten explorativen Untersuchung soll die Rolle von Disziplinenbildungsprozessen in der problemorientierten Forschung beleuchtet und auf dieser Basis ein Forschungsdesiderat formuliert werden. Wir versuchen die Ozonforschung als eine Episode der disziplinären Entwicklung der Klimaforschung zu beschreiben und ziehen dazu vorhandene, vor allem in den siebziger und achtziger Jahren entwickelte Theorien der Wissenschaftsdynamik heran. Dieses Unternehmen wäre allerdings nostalgisch, wenn wir nicht überzeugt wären, dass eine Vielzahl von Beobachtungen, die neueren Ansätzen zur Theorie der Wissenschaftsentwicklung zu Grunde liegen, keine Anomalien darstellen, sondern sich als Moment der Dynamik wissenschaftlicher Disziplinen beschreiben lassen. Dabei wollen wir für unser Fallbeispiel zeigen, dass 1. Transdisziplinarität als Durchgangsstadium von Disziplinenbildungsprozessen beschrieben werden kann, und dass 2. die Probleme ökologischer Forschung diese Prozesse begünstigen können, weil a) politische Unsicherheit und Entscheidungsdruck häufig in der Forderung nach mehr Forschung münden und so zum Wachstum des Feldes führen und b) politische Entscheidungen von der wie immer vorläufigen Schließung wissenschaftlicher Kontroversen abhängig gemacht werden. Dem Begriff der Schließung kommt deshalb in der weiteren Analyse und bei der Entscheidung in der Kontroverse über die *normal vs. postnormal science* (bzw. *mode 1 vs. mode 2*) eine Schlüsselrolle zu.

Das Problem der Schließung entsteht ursprünglich aus dem wissenschaftstheoretischen Dilemma der Underdeterminiertheit von Theorien in Bezug auf Fakten (*locus classicus*: Quine 1979). Da durch Forschung erhobene Fakten in der Regel mehreren Theorien als Beleg dienen können, lassen sich Theoriekontroversen nicht allein durch Bezug auf Empirie lösen. In der wissenschaftssoziologischen Tradition der Laborstudien wurde der Gedanke entwickelt, dass Kontroversen über die Zuordnung von Fakten zu Theorien durch soziale Aushandlungsstrategien beendet werden, die zur Zertifizierung bestimmter Fakten als Verifikationsinstanzen für Theorien führen.

Ausgangspunkt der Expertise sollen einige von uns wahrgenommene Defizite in bestehenden Analysen problembezogener Forschung sein. So wird der Wandel von Wissenschaft in eini-

gen Ansätzen als die Auflösung (*blurring*) etablierter sozialsystemischer Grenzen beschrieben. Dieses Motiv findet sich bei Gibbons u.a. (1994), aber auch bei Beck (1986) und im Diskurs über interdisziplinäre Forschung (z.B. Kocka 1987, in bezug auf die Umweltforschung siehe auch verschiedene Beiträge in Daschkeit/Schröder 1998). Dies widerspricht aber der allgemeinen Beobachtung, dass die Gesellschaft und ihre Subsysteme auf die Zunahme von Komplexität mit fortschreitender Ausdifferenzierung, nicht aber mit Entdifferenzierung und der Verschmelzung sozialer Systeme reagieren können. Die beobachteten Strukturbildungen müssen vielmehr als Effekte struktureller Kopplungen betrachtet werden, die sich zwischen Politik und Wissenschaft oder auch einzelnen wissenschaftlichen Disziplinen ansiedeln, die klar nach allen Seiten abgegrenzt sind und außerdem in ihrer Substruktur die beobachteten Unterscheidungen zwischen den Subsystemen reproduzieren. Diese intermediären Organisationen (oder auch *boundary organizations*, s. Guston 2001) stehen naturgemäß im Mittelpunkt der Aufmerksamkeit, wenn der Wandel des Verhältnisses von Wissenschaft und Politik angesichts ökologischer Problemlagen thematisiert wird. Doch geraten dabei mitunter das Weiterbestehen und die Funktionen normaler Wissenschaft ebenso wie ‚normaler‘ Politik aus dem Blick.

Eine weitere methodische Ungenauigkeit in der Theorie des *mode 2* oder einer *„post-normal science“* besteht darin, dass nicht genau genug zwischen wissenschaftlichem und nichtwissenschaftlichem Wissen unterschieden wird (dies ist u.E. ein Problem der Arbeiten von Gibbons u.a. 1994, da die weitreichenden Schlüsse das Wissenschaftssystem betreffen). Wissenschaftliches Wissen als besonders zertifizierte Form von Wissen ist und war nie die alleingültige Wissensform, sondern Wissen wurde stets auch in anderen Kontexten wie z.B. Handwerk oder Industrie produziert und dieses war in der Praxis dem wissenschaftlichem Wissen häufig überlegen. So wurde Wein hergestellt, lange bevor die alkoholische Gärung wissenschaftlich verstanden wurde. *Tacit knowledge* ist in Anwendungskontexten (und auch im Labor) unentbehrlich, aber ebenso wenig wie die Karrierestrategien von Wissenschaftlern wissenschaftlich. Es ist natürlich legitim, wissenschaftliches Wissen als eine Form des Wissens neben anderen zu beschreiben, doch lässt sich auf diese Weise nicht erklären, warum gerade von der Wissenschaft die Lösung gesellschaftlicher Problemlagen erwartet wird. Selbst wenn Wissenschaft von sozialen Bewegungen kritisiert wird, mündet diese Kritik oft in der Forderung nach einer alternativen Wissenschaft (van den Daele 1987). Daher muss gerade für die problembezogene Forschung herausgearbeitet werden, was das Spezifische am wissenschaftlichem Wissen ist.

Die besondere Autorität der Wissenschaft basiert auf bestimmten Routinen der Zertifizierung, die das Zustandekommen neuen wahren Wissens als einen durch Methoden und Theorien kontrollierten Erzeugungsprozess ausweisen. Die Reinigung von sozialen Einflüssen, die bei der Entstehung neuen Wissens eine Rolle spielen können, beruht auf einer evolutionär und nicht intentional gesteuerten Praxis der jeweiligen *scientific community*, in der dasjenige Wissen als gültig behandelt wird, an das andere Forschungen, die oft mit denjenigen des Entstehungskontextes keine Verbindung haben, anschließen und weitere Forschungen anschlussfähig machen. Gerade dies macht wissenschaftliches Wissen zu einer mächtigen Ressource in politischen Diskursen und begründet den Einfluss von Wissenschaftlern auf politische Entscheidungen. Schon deswegen dürften Wissenschaftler am Erhalt des Wissenschaftssystems und seinen autonomiesichernden Strukturen interessiert sein, in dem die Kontrolle über die Zertifizierung von Wissen den Wissenschaftlern selbst obliegt. Ein wesentliches Moment ist dabei die aktive strategische Abgrenzung von anderen Wissensformen (*boundary work*, s. Gieryn 1995, 1999). Dies gilt auch für die problemorientierte Forschung. Die Erwartung, dass gesellschaftliche Probleme durch Forschung gelöst werden können, beruht auf dem Vertrauen in die wissenschaftliche Methodik und Theoriebildung. Die Schwierigkeiten der problemorientierten Forschung erwachsen gerade aus der Konfrontation mit diesem Anspruch. Die Abgrenzung der Wissenschaften von Politik und Öffentlichkeit haben eine wesentliche Funktion bei der Qualitätssicherung wissenschaftlicher Erkenntnis. Diese Abgrenzung wird angesichts ökologischer Probleme zunehmend prekär, so dass die Wissenschaft erhöhte Anstrengungen unternehmen muss, diese Grenze aufrechtzuerhalten. In der Folge wird die Inanspruchnahme von Wissenschaft durch andere Subsysteme häufiger, die strukturelle Kopplung somit enger, die Bildung intermediärer oder Hybrid-Organisationen verstärkt (Luhmann 1990, Weingart 2001).

Die Dynamik wissenschaftlicher Forschung wird immer durch Probleme ausgelöst, die, wenn sie aus der Umwelt der Wissenschaft stammen, eine forschungsgerechte Formulierung erfahren müssen. Keineswegs führen politisch oder wirtschaftlich induzierte Probleme, die in inter- oder transdisziplinäre Forschungsprojekte oder -programme überführt werden, regelmäßig zur Herausbildung neuer Disziplinen. So bildete sich im Zuge der Krebsforschung, einem wichtigen Beispiel für problemorientierte Forschung, keine neue Fachdisziplin heraus. Vielmehr bleibt die Problembearbeitung bis heute trotz hoher interdisziplinärer Verschränkung in den jeweiligen Ausgangsdisziplinen angesiedelt (Hohlfeld 1978). Auch wenn die Wissenschaftsdynamik nicht immer zur Entstehung neuer Disziplinen führt, lässt sich empirisch dennoch konstatieren, dass der Disziplinenbezug der Forschung bisher auch in Fällen der Beharrung

etablierter Forschungsstrategien nicht aufgegeben wurde. In der folgenden Expertise wird der Versuch unternommen, die Entwicklung der atmosphärischen Ozonforschung als Etappe der Entstehung einer neuen (Hybrid-)Disziplin „Klimaforschung“ oder, programmatisch weiter gefasst, „*Earth System Science*“ zu rekonstruieren. Es soll dabei nicht behauptet werden, dass dies ein typisches Beispiel für „erfolgreiche“ Hybridisierung von Disziplinen sei, wohl aber dass dieser Fall auch entlang älterer Theorien der Wissenschaftsentwicklung innerhalb einer disziplinären Dynamik beschrieben werden kann.

## 2. Problemorientierte Forschung und Disziplinarität

### I.

Das in dieser Expertise gewählte Beispiel für die disziplinäre Dynamik der Wissenschaft ist die Klimaforschung und insbesondere die Teildisziplin der atmosphärischen Chemie. Die folgende Argumentation geht in drei Schritten vor. Erstens wird die Rolle des Disziplinenbegriffs angesichts neuer Formen der Wissensproduktion untersucht. Dabei soll auf Arbeiten über die „Finalisierung der Wissenschaften“ aus den 70er Jahren zurückgegriffen werden (s. Whitley 1974, Böhme u.a. 1978a). Weiterhin soll gezeigt werden, dass Schließungsprozesse als zentrale und empirisch fassbare Ereignisse im Zuge der Herausbildung und des Wandels von Disziplinen beschrieben werden können. Zweitens wird versucht, Schließungsprozesse in der Debatte um die anthropogene Zerstörung der Ozonschicht zu identifizieren, die, drittens, zur fortschreitenden Etablierung einer neuen Disziplin Klimaforschung führen.

Disziplinen entstehen durch interne Differenzierungen des Wissenschaftssystems (Luhmann 1990: 446ff., Stichweh 1988). Auslöser dieser Differenzierungen sind Probleme, die wissenschaftliche Forschung stimulieren können (so schon Popper 1969, s. auch Laudan 1977: 11f., Laudan 1981). Wissenschaftliche Probleme, die zur Neubildung von Disziplinen führen, können durch Forschungsfragen ausgelöst werden, die innerhalb eines Paradigmas (Kuhn 1967) oder Forschungsprogramms (Lakatos 1975) für unlösbar gehalten werden. Sie können aber auch aus Reflexionstheorien der Funktionssysteme der Wirtschaft, der Politik, des Rechts oder der Gesundheit generiert werden. So lässt sich mit Fug und Recht behaupten, dass wissenschaftliche Probleme des globalen Klimawandels ihren Ursprung in umweltpolitischen Alarmdiskursen über globale ökologische Risiken hatten, die Problemlösungsdruck im politischen System erzeugten, das wiederum Anreize für die Neujustierung wissenschaftlicher Forschungsprogramme schuf. Die Frage, ob Problemerzeugung der Wissenschaft „interne“ oder „externe“ Auslöser hat, ist schon in den wissenschaftstheoretischen Debatten der siebziger Jahre aufgeworfen worden. Damals konnte gezeigt werden, dass eine solche Alternative die seinerzeit konkurrierenden Geltungsansprüche wissenschaftstheoretischer und -soziologischer Theorievorschläge, aber nicht die empirischen Verläufe von Disziplinbildungen spiegelte (Halfmann 1980). Der Problembezug ist also der Normalfall der Ausdifferenzierung von Disziplinen und nicht, wie die Theoretiker des *mode 2* der Wissensproduktion bzw. einer „*post-normal science*“ unterstellen, das Signum eines neuen Stadiums der Wissenschaftsentwicklung. Die empirisch jeweils offene Frage ist, ob Forschungsprobleme im Kontext existieren-

der Disziplinen und der in ihnen vorherrschenden Paradigmen und Forschungsprogramme gelöst werden können oder zur Ausdifferenzierung neuer (Hybrid-)Disziplinen führen. Auf jeden Fall werfen „Krisen“ des Normalverlaufs wissenschaftlicher Forschung Fragen der Grenzziehung zwischen wissenschaftlicher und außerwissenschaftlicher Problembearbeitung auf. Die Grenzziehung zu anderen Disziplinen und zur Umwelt des Wissenschaftssystems schließt deren temporäre Überschreitung durch interdisziplinäre Strategien nicht aus. Wissenschaftliche Disziplinen werden hier anhand ihrer Funktion bestimmt, Probleme entlang des wissenschaftlichen Codes wahr/unwahr zu bearbeiten. Ansätze, die eine zurückgehende Bedeutung von Disziplinen postulieren, müssen daher die Frage beantworten, wie diese Funktion anderweitig realisiert werden kann. Es ist evident, dass wissenschaftliche Innovationen oft, wenn nicht gar regelhaft, durch die Überschreitung disziplinärer Grenzen zustande kommen, doch spielen Disziplinen eine entscheidende Rolle bei deren Stabilisierung und Integration in bestehende Lehrgebäude oder Errichtung neuer. In der sozialkonstruktivistischen Wissenschaftstheorie sind diese Prozesse als Schließung wissenschaftlicher Kontroversen beschrieben worden (z.B. Latour/ Woolgar 1986, Collins 1985, Wynne 1991, aber auch Bonß u.a. 1993). Dies bedeutet auch, wie es der Begriff der Schließung selbst schon besagt, Ausschluss anderer Positionen. Beobachtungen und Theorien werden innerhalb einer *scientific community* so in Wahrheiten transformiert, die nicht mehr begründet werden müssen und die für weitere Forschung anschlussfähig sind. Gelingt eine Integration in bestehende Disziplinen nicht, können sich um Beobachtungen und Theorien neue wissenschaftliche Gemeinschaften bilden, deren Forschungen dann eine disziplinäre Entwicklung nehmen können. Auf der anderen Seite können sich neue, programmatisch postulierte Disziplinen, aber auch interdisziplinäre Unternehmungen als Sackgasse erweisen, wenn die Eingrenzung von Gegenstandsbereichen, Methoden und zu Grunde liegenden Theorien nicht gelingt bzw. diese nicht als wissenschaftlich anerkannt werden.

Für einen empirisch handhabbaren Begriff der wissenschaftlichen Disziplin muss zwischen dem Funktionssystem der Wissenschaft und Organisationssystemen, die Wissenschaftler rekrutieren und Forschung organisieren, unterschieden werden. Auf der Ebene des Wissenschaftssystems sind Disziplinen die kognitive Form, in der Wissen, das an dem Code von Wahrheit und Nicht-Wahrheit orientiert ist, als wissenschaftliches Wissen von nicht-wissenschaftlichem Wissen unterscheidbar gehalten werden kann. Auf der Ebene von Organisationssystemen lässt sich beobachten, wie sich die Herstellung gültigen Wissens als Entscheidungsprozess vollzieht. Insofern kann die Durchsetzung von Wissen als Institutionalierungsstrategie verstanden werden (Weingart 1987). Vom Erfolg der Institutionalisierung

hängt es ab, ob das Wissen für weitere disziplinäre oder auch interdisziplinäre Forschungsprogramme anschlussfähig wird.

In der wissenschaftstheoretischen Literatur findet sich kein einheitlicher Disziplinenbegriff. Manchmal werden lediglich die traditionellen Großdisziplinen (und somit die traditionellen Fakultäten) als Disziplinen angesehen (Heckhausen 1987), manchmal einzelne Fächer oder Forschungsfelder. Wir wollen Disziplinen als problembezogene Kommunikationszusammenhänge der Wissenschaft definieren, die auf der Ebene des Funktionssystems der Wissenschaft Methoden und Theorien zu wahrheitsorientierten Forschungen mobilisieren und die auf der Ebene von Organisationssystemen die Institutionalisierung von *scientific communities* ermöglichen. Daraus lassen sich einige Kriterien ableiten, anhand derer man ein Forschungsfeld als Disziplin beobachten kann.

Funktionssystemebene: Disziplinen beziehen sich auf einen klar umrissenen Gegenstandsreich, der mit bestimmten Methoden und Theorien untersucht wird; andere Gegenstände, Methoden und Theorien werden im Moment der Disziplinenbildung ausgeschlossen. Mit fortschreitender Disziplinenbildung kommt es zur Formulierung grundlegender Theorien und entscheidender Experimente, die einen paradigmatischen Stand der Forschung etablieren, an den weitere Forschung anschließt. Daher sind Schließungsprozesse die entscheidenden Ereignisse im Zuge der Herausbildung einer Disziplin. Schließung ermöglicht eine über Abweichungsverstärkung gesteuerte Eigendynamik von Forschung und damit die Selbststeuerung der Wissenschaft im Hinblick auf ihre Forschungsergebnisse. Disziplinen sind somit das relevante Bezugssystem für Forschungsfronten. In diesem Sinne begrenzen Disziplinen immer auch die Ausdifferenzierung der Wissenschaft entlang von Problemen.

Organisationssystemebene: Die Institutionalisierung von Disziplinen ermöglicht die Ausbildung von *scientific communities* entlang von Forschungsprogrammen. Die Institutionalisierung von Disziplinen geht der Akquisition sachlicher und sozialer Ressourcen voraus. Neben den materiellen Ressourcen sind dies vor allem Reputation der Inhaber von Forschungsstellen, die die Kontrolle über ein Forschungsfeld und die Durchsetzung von Forschungsprogrammen ermöglicht. Insbesondere bei drittmittelgeförderter Forschung spielen Begutachtungs- und Evaluationsverfahren eine entscheidende Rolle bei der Selbststeuerung der Forschung. Die *peers* innerhalb von Disziplinen sind deshalb entscheidend für die Beurteilung wissenschaftlicher Ergebnisse. Der Generationswechsel löst die Wissensbestände von den ursprünglichen Trägern ab. Entscheidend für den Weiterbestand einer Disziplin sind somit die Verwendung anerkannter Lehrbücher, die Einrichtung disziplinär definierter Lehrstühle und

Forschungsprogramme sowie die Motivierung von Studenten, die in die entsprechende Problemsicht und das dominierende Paradigma hineinsozialisiert werden.

## II.

In der breiten Diskussion über den Wandel von Wissenschaft angesichts ökologischer Probleme und der zunehmenden Industrieforschung, spielen Interdisziplinarität und Transdisziplinarität eine zentrale Rolle. Ist das Innovationspotential interdisziplinärer, problemorientierter Forschungsprogramme weitgehend unumstritten, bleibt die Funktion ‚normaler‘ und disziplinärer Wissenschaft häufig unterbelichtet. Interdisziplinarität soll hier als Begriffs- und Methodentransfer über disziplinäre Grenzen hinweg verstanden werden; in den seltensten Fällen führt ein solcher Transfer zur Vereinheitlichung von disziplinären Forschungsstrategien; der Normalfall ist die durch Struktur und Tradition von Disziplinen gesteuerte „eigen-sinnige“ Verwendung von Begriffen und Methoden aus anderen Disziplinen. Transdisziplinär soll die Konstruktion eines theoretischen und methodischen Paradigmas heißen, das verschiedene Disziplinen begrifflich und methodisch neu konfiguriert: ein Beispiel wäre die Kybernetik, deren Konzept des *feedback* zu einer Neuformulierung der Computerwissenschaften und der Sozialwissenschaften anregen sollte (s. dazu Luhmann 1990: 459).

In den Arbeiten von Gibbons u.a. (1994, besonders 27ff.) gilt die transdisziplinäre Zusammenarbeit von Wissenschaftlern und Praktikern quer zu den traditionellen Disziplinen und über verschiedene formale institutionelle Grenzen hinweg als ein wesentliches Merkmal der an Anwendungskontexten orientierten Wissensproduktion nach *mode 2*. Im Unterschied zu einer interdisziplinären Zusammenarbeit, wo die kooperierenden Wissenschaftler den selben Gegenstand unter verschiedenen autonomen disziplinären Blickwinkeln erforschen, steht dabei die Herausarbeitung einer expliziten, disziplinenüberschreitenden Terminologie und gemeinsamer Methoden im Mittelpunkt. Wissensproduktion erfolge so in sich ständig ändernden Konfigurationen von Experten-Clustern (Gibbons u.a. 1994: 28f.). Die Gibbons u.a. oft unterstellte aber nicht explizit formulierte Entwicklungshypothese, dass die traditionelle universitäre, nach autonomen Disziplinen geordnete Wissensproduktion (*mode 1*) durch *mode 2* mehr und mehr abgelöst werde, ist bereits mehrfach kritisiert worden (z.B. Weingart 1997, Gläser 2001). Häufige Kritikpunkte an diesem Konzept sind das Fehlen einer expliziten Theorie der Wissenschaftsdynamik und die kursorisch verkürzte, weitgehend unsoziologische Beschreibung von *mode 1*. So wird dem normativen Idealbild einer akademischen Wissenschaft

(*mode 1*) eine empirische Beschreibung aktueller Entwicklungstendenzen (*mode 2*) gegenübergestellt.

Doch haben wissenschaftshistorische Fallstudien besonders im Zusammenhang mit den Ingenieurwissenschaften und der bereits Ende des 19. Jahrhunderts aufkommenden Industrieforschung gezeigt, dass anwendungsbezogene Wissensproduktion nicht erst seit wenigen Jahrzehnten stattfindet. Zwar kommen zu lösende Probleme häufig quer zu den Disziplinen auf und erfordern so eine interdisziplinäre Strategie; dennoch können unter bestimmten Voraussetzungen und mit einer gewissen Trägheit an diesen Problemen ausgerichtete Spezialdisziplinen entstehen. Dies gilt gerade für die wissensbasierte Industrie, deren Bedarf an Innovationen eine disziplinäre Institutionalisierung von Forschungsfeldern geradezu rechtfertigt. So führte die Entstehung der Mikroelektronik zur endgültigen Etablierung der akademischen Festkörperphysik (Halfmann 1984). Ähnliches gilt für die Hochenergiephysik oder auch für die Informatik (Mainzer 1979). Andere Fallstudien haben gezeigt, dass sich bereits im 19. Jahrhundert Formen problemorientierter Forschung nachweisen lassen. Markantes Beispiel hierfür ist die Agrikulturchemie (Krohn/ Schäfer 1978), die im Zuge der antizipierten Bevölkerungsexplosion und den damit verbundenen Versorgungsproblemen zur Zeit der industriellen Revolution entstand, oder auch die Entdeckung der Mikroben durch Pasteur (Latour 1988), die im Kontext einer gesellschaftlichen Problemwahrnehmung erfolgte, die sich in der Hygienebewegung manifestierte. Bezüglich der Lösbarkeit sozialer Probleme durch Naturwissenschaften herrschte im 19. und am Anfang des 20. Jahrhunderts ein weit verbreiteter Optimismus vor, auf dem die Autorität und die besondere Stellung der Wissenschaft beruhte und wohl immer noch beruht.

Diese historischen Beispiele zeigen, dass spezifische Problemlagen zur Konjunktur bestimmter Disziplinen führten, die sich so schneller ausdifferenzierten als andere. Im Folgenden soll auf der Basis einer kurz umrissenen Theorie der Wissenschaftsdynamik demonstriert werden, dass der Problembezug der Forschung der Normalfall bei der Bildung neuer Disziplinen ist. Dabei soll auch gezeigt werden, dass die disziplinär organisierte und die an externen Problemen orientierte Forschung nicht im Gegensatz zueinander stehen (s. von den Daele u.a. 1979b), sondern aufeinander bezogen bleiben.

Interdisziplinarität gilt als Strategie der Überwindung von Schwierigkeiten, die durch die Spezialisierung der Wissenschaften entstehen (Gräfrath u.a. 1991: 142ff.). Dabei scheint es für die Erfolgchancen von Forschungsprogrammen einen erheblichen Unterschied zu machen, ob Interdisziplinarität durch Forschungspolitik verordnet wird, oder ‚von unten wächst‘

(s. Grundmann 2001). Im ersten Fall erscheint Interdisziplinarität häufig als Zweckbündnis zur Mittelbeschaffung, auch wenn eine erfolgreiche Entwicklung des Feldes nicht ausgeschlossen ist. Der zweite Fall ist vor allem dadurch gekennzeichnet, dass einzelne Forscher oder auch kleinere Forschergruppen mit den Mitteln ihrer Stammdisziplin in andere Forschungsgebiete vordringen. Interdisziplinarität ergibt sich in diesen Fällen aufgrund der kognitiven Entwicklung eines Forschungsfeldes. Man kann in diesem Fall auch von wissenschaftsinternen Gründen für die Entstehung von Interdisziplinarität sprechen. Bietet ein Forschungsfeld intern nur wenig interessante Probleme, können Wissenschaftler versuchen, die Theorien dieses Forschungsfeldes in andere Disziplinen zu übertragen (s. Mullins 1974). Die oft zitierten Verständnisprobleme interdisziplinärer Forschungsgruppen führen daher in dieser Konstellation seltener zu internen Konflikten. Kontroversen ergeben sich hier vor allem zwischen den Quereinsteigern, die mit alternativen Theorien von den Rändern her in ein anderes Forschungsgebiet ‚einwandern‘, und den traditionellen Vertretern einer Disziplin. Die Konfliktlinien wissenschaftlicher Kontroversen laufen so häufig entlang disziplinärer Grenzen.

Öffentlich wahrgenommene Probleme können häufig nicht einer der bestehenden wissenschaftlichen Disziplinen zugeordnet werden. Die Betonung liegt hier im Gegensatz zu Gibbons u.a. 1994 absichtlich auf ‚bestehend‘ nicht auf ‚klassisch‘, da die Disziplinenstruktur einem ständigen Wandel unterliegt. Auch wenn es traditionsreiche Großdisziplinen gibt, wird diese Tatsache bei der Betrachtung der institutionalisierten Spezialgebiete offensichtlich. Die Disziplinenstruktur repräsentiert, wie zu zeigen sein wird, die Struktur vergangener innerwissenschaftlicher und externer Probleme und ist somit historisch gewachsen und wandelbar (s. auch Barnes 1996: 168). Disziplinen sind somit der Hintergrund, vor dem alle, auch problemorientierte, Forschungsfragen formuliert werden müssen. Dabei lässt sich die Disziplinenstruktur kaum in dem Sinne hierarchisch beschreiben, dass Grundlagenforschung mehr ‚wert‘ (wenn u.U. auch reputationsträchtiger) sei als anwendungsbezogene Forschungsprogramme; sie muss vielmehr als Nebeneinander verschiedener Forschungsprogramme betrachtet werden.

Es kann gezeigt werden, dass das bei Gibbons u.a. gepflegte Negativimage von altmodischer und verstaubter disziplinärer Wissenschaft auf einer inadäquaten, normativistischen Beschreibung wissenschaftlicher Disziplinen und einer Unterschätzung ihrer Funktionen beruht. Zwar mag dieses Negativimage hohe taktische Bedeutung haben, wenn es um die selbstbewusste Durchsetzung von Innovationen gegen den *mainstream* eines Faches geht, doch sollte man derartige Taktiken soziologisch nicht *„at face value“* nehmen. Interdisziplinarität muss soziologisch vor dem Hintergrund einer disziplinären Wissenschaft als spezifische und temporäre

Problemlösungs- und Innovationsstrategie beschrieben, kurz: in eine allgemeine Theorie der Wissenschaftsdynamik eingebettet werden. Weingart (1987) weist darauf hin, dass auch interdisziplinäre Forschung hochspezialisiert bleibt. Interdisziplinarität kann somit nicht als Überwindung einer übermäßigen Ausdifferenzierung der Wissenschaften betrachtet, sondern muss als Komplexitätszunahme beschrieben werden (s. auch Luhmann 1990: 454, 460), die die spezifischen Probleme einer disziplinären Forschung wieder in diese reflexiv einführt.

Dieser Komplexitätszunahme muss durch alternative Strategien der Komplexitätsreduktion begegnet werden. Transdisziplinarität kann als eine derartige Strategie beschrieben werden. Der Entwurf von Begriffen und Methoden, die verschiedene Disziplinen unter einem einheitlichen Problembezug integrieren können, kann die Übersetzungsprobleme überwinden helfen, die die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Wissenschaftlern unterschiedlicher Fachrichtungen mit sich bringt. Diese Strategie führt zu einer Ablösung eines Forschungsprogramms von den Ursprungsdisziplinen. Transdisziplinäre Begriffe und Methoden werden im Zuge fortschreitender Disziplinenbildung gesichert oder geraten im Falle des Scheiterns in Vergessenheit.

### *III.*

Neben der reduktionistischen Konstruktion von Mikrotheorien (in Form von Gesetzen, Formeln usw.) ist die Rekonstruktion von Modellen für komplexe Phänomene auf der Basis dieser Theorien (Rekombination) ein wesentlicher Bestandteil von Forschung. Die wissenschaftlichen Grundlagen für die Konstruktion von Techniken, das Aufstellen komplexer Kausalketten oder die Entwicklung von Problemlösungsstrategien können genauso als rekonstruktive wissenschaftliche Tätigkeit beschrieben werden wie das Probehandeln in Form von Experimenten oder die möglichst widerspruchsfreie Formulierung von Lehrgebäuden. Dabei kann die traditionelle Vorstellung, dass es sich dabei um eine bloße Anwendung grundlegender Theorien handelt, nicht durchgehalten werden. Vielmehr müssen sich grundlegende Theorien in derartigen Konstruktionen bewähren (für Technik s. Halfmann 2002). Diese beruhen auf kontingenten Selektionen relevanter Wissensbestände (auch verschiedener Disziplinen) und sind somit unsicher und entscheidungsgeladen. Das Scheitern dieser Rekonstruktionen in Form von Widersprüchen, Nichtfunktionieren, falschen Prognosen, inadäquaten Modellen oder gar Katastrophen kann so auf jeweils verschiedene Gründe zurückgeführt werden: Einerseits können, und dies kommt praktisch häufiger vor, die Selektionen der Rekonstruktion, andererseits aber auch die zugrunde liegenden Theorien die Ursache sein. Anomalien, die zur

Korrektur theoretischer Grundannahmen zwingen, treten so zwar selten aber typischerweise in rekonstruktiven Zusammenhängen auf.

In der problemorientierten Forschung überwiegt die Rekonstruktion komplexer Phänomene auf der Basis von oft in verschiedenen Disziplinen angesiedelten und dort häufig gut gesicherten Wissensbeständen. Meist drehen sich wissenschaftliche Kontroversen in problembezogenen Kontexten um die Relevanz der getroffenen Selektionen, die aufgrund ihrer Kontingenz das wesentliche Moment von Unsicherheit sind. Die gesellschaftlich wahrgenommenen Problemlagen werden auf diese Weise in Forschungsprogramme übersetzt. Vom Erfolg dieser Transformation und somit der konzeptuellen Schließung eines Forschungsfeldes hängt es ab, ob ein gesellschaftliches Problem überhaupt wissenschaftlich bearbeitet werden kann. Interdisziplinarität ist dabei eine spezifische Selektionsstrategie, die von der beobachteten Beschaffenheit der Probleme ausgeht. Wissenschaftler verschiedener Disziplinen bilden auf diese Weise Problemgemeinschaften (van den Daele u.a. 1979b). Grundlegende Theorien bleiben dagegen an ihre jeweils verschiedenen Herkunftsdisziplinen gebunden, so lange ihr Zusammenwirken in den jeweiligen Rekonstruktionen keine größeren Probleme aufwirft. Sie können aber dann Gegenstand der Kontroverse werden, wenn Anomalien auftauchen, das heißt die Rekonstruktion auf der Basis dieser gesicherten Theorien scheitert. In diesem Fall wird problembezogene Forschung für die Grundlagenforschung anschlussfähig und kann der Ausgangspunkt für eine disziplinäre Entwicklung des Forschungsfeldes werden.

#### IV.

Grundlegende Arbeiten zum Konzept wissenschaftlicher Disziplinen sind in den letzten Jahren nur wenige erschienen, obwohl die Begriffe Transdisziplinarität und Interdisziplinarität auf das Disziplinenkonzept bezogen bleiben. In einer soziologischen Theorie der Wissenschaftsdynamik müssen Disziplinen als Kontexte wissenschaftlicher Handlungen bzw. Kommunikationen und somit als eine spezifische Form epistemischer Gemeinschaften<sup>2</sup> beschrieben werden.

Eine umfassende, evolutionäre Theorie zur Dynamik wissenschaftlicher Disziplinen wurde in der Folge von Kuhn und im Zuge der Finalisierungsdebatte der 70er Jahre von der sogenann-

---

<sup>2</sup> Epistemische Gemeinschaften werden hier in einem engeren Sinne verstanden als bei Haas (1992). Grundmann (2001: 315) kritisiert Haas vor allem, weil er den Konsens der beteiligten Expertengruppen und Politikern für wichtiger als das strategisches Handeln konkurrierender Politiknetzwerke hält. Wir beschränken den Begriff auf *scientific communities* und werden im Folgenden diese Formulierung vorziehen, um zu kennzeichnen, dass es sich bei Politik und Wissenschaft um getrennte Funktionssysteme handelt. Daher ist u.E. auch Vorsicht geboten,

ten Starnberger Gruppe um Gernot Böhme, Wolfgang van den Daele, Rainer Hohlfeld, Wolfgang Krohn und anderen entwickelt (Böhme u.a. 1972, 1978a). Diese beeinflusste die Diskussion der deutschen und internationalen Wissenschaftssoziologie lange Zeit. Ausgangspunkt dieses Konzeptes sind die kognitiven Bedingungen der wissenschaftlichen Entwicklung. Wissenschaft braucht für ihre Entwicklung interessante Probleme, an denen sich Forschung orientiert. Diese können entweder intern generiert oder extern bezogen werden. In Folge dessen können sich einzelne Disziplinen in Abhängigkeit ihrer theoretischen Reife unterschiedlich entwickeln. Einige neigen zur Autonomisierung und somit zur Orientierung an internen Problemen der Theorieentwicklung; andere tendieren zur Finalisierung, das heißt zur Untersuchung der Anwendungsbedingungen für grundlegende Theorien auf externe Probleme.

In Anlehnung an Kuhns Stadienmodell werden drei Phasen unterschieden, die eine Disziplin in ihrer Entwicklung idealtypisch durchläuft. Die präparadigmatische, explorative Phase ist durch empirische Strategien gekennzeichnet, in denen das Forschungsfeld nach Mustern und Analogien abgesucht wird, die aus anderen Forschungsfeldern bezogen werden können. In dieser Phase ist eine Disziplin für Funktionalisierungen durch externe Einflüsse anfällig, weil die Suchstrategien extern bezogen werden müssen und auch durch nicht wissenschaftliche Ziele geleitet sein können. Die Theorieentwicklung der paradigmatischen, autonomen Phase lässt eine externe Orientierung dagegen nicht zu, Fragestellungen ergeben sich wissenschaftsintern. Erst im Stadium der theoretischen Reife, wenn wissenschaftsintern nur noch wenige Probleme zu lösen sind, beginnt in einer postparadigmatischen, finalisierbaren Phase die Orientierung einer Disziplin an externen Problemen. In dieser Phase entstehen dann spezifische Probleme der Theorieanwendung, die dann die Forschungsfronten bestimmen (s. Schäfer 1978).

Die Übergänge zwischen diesen Phasen der disziplinären Entwicklung sind durch Beendigung von Kontroversen gekennzeichnet, die man als Schließungsprozesse auffassen kann. Schließungsprozesse sind vor allem in der sozialkonstruktivistischen Wissenschaftsforschung untersucht und beschrieben worden (z.B. Latour/ Woolgar 1986, Collins 1985, Wynne 1991, Bonß u.a. 1993). Sie sind dadurch gekennzeichnet, dass Wissen aus dem (sozialen) Kontext der Entdeckung bzw. Entstehung (*context of discovery*) in den Kontext einer Wissenschaftlergemeinschaft transferiert wird und dort als »harte« Fakten erscheint, die nicht mehr begründet werden müssen. Durch dieses gemeinsam geteilte Wissen werden *scientific communities* und somit auch wissenschaftliche Disziplinen konstituiert. Bereits die Formulierung zu lösender

---

wenn man wissenssoziologische Ansätze auf die Politik und politikwissenschaftliche Ansätze auf die Wissenschaft anwendet. Wir ziehen das aus der Systemtheorie stammende Konzept der strukturellen Kopplung vor.

Probleme und der methodischen Herangehensweise kann als (konzeptueller) Schließungsprozess beschrieben werden. Es kann nur dann zur Disziplinenbildung kommen, wenn sich Wissenschaftler auf einen gemeinsamen Begriffsapparat und ein Instrumentarium einigen, die eine Formulierung und Überprüfung der fundamentalen, theoretischen Problemstellungen erlauben. In dieser frühen Phase sind aufkommende Disziplinen mit den von Gibbons u.a. beschriebenen Experten-Clustern durchaus ähnlich. Sie unterscheiden sich lediglich in der Perspektive auf zukünftige Probleme. Es kann nur dann zu einer weiteren disziplinären Entwicklung kommen, wenn intern genügend Probleme generiert werden können, die eine Ausformulierung einer theoretischen Grundlage und somit die Erzeugung von kodifiziertem Wissen erlauben. Dies kann sowohl in akademischen Kontexten scheitern als auch in anwendungsorientierten Kontexten (auch nichtintendiert) gelingen. Mit dem Konsens über grundlegende, zu lösende Probleme tritt eine Disziplin in ihre paradigmatische Phase. Diese ist wiederum dann abgeschlossen, wenn es zu einem Konsens über die theoretischen Grundlagen kommt. In diesem Moment können Probleme nicht mehr aus der Theorieentwicklung selbst bezogen werden. So müssen in der anschließenden postparadigmatischen Phase Probleme extern beschafft werden; auch dies kann scheitern. Dabei scheinen zwei Strategien möglich. Die erste ist durch die Suche nach zusätzlichen Theorieelementen gekennzeichnet, die eine Übersetzung der theoretischen Grundlagen in Technik erlauben. Die zweite besteht in der Anwendung grundlegender Theorien auf einen anderen oder erweiterten Gegenstandsbereich. In diesem Fall kommt es erneut zu einer transdisziplinären Phase. Die Wissenschaftsentwicklung kann so evolutionstheoretisch als zyklischer Prozess von Variation (transdisziplinär, externer Problembezug) und Stabilisierung (disziplinäre Entwicklung) beschrieben werden. Schließungsprozesse können so als Wendepunkte der wissenschaftlichen Entwicklung beschrieben werden, die durch kontingente Möglichkeiten der Weiterentwicklung gekennzeichnet sind, die durch externe Einflüsse entschieden werden aber auch scheitern können.

### 3. Ozonforschung als disziplinäre Entwicklung

#### I.

Im Folgenden soll die Erforschung der anthropogenen Ozonzerstörung im Rahmen der oben skizzierten Theorie der Wissenschaftsdynamik interpretiert werden. Dies geschieht in diesem Kapitel in erster Linie durch die deskriptive Rekonstruktion historischer Daten aus vorhandenen Arbeiten zur Ozonkontroverse (vor allem Dotto/Schiff 1978, Bower/Ward 1982, Roan 1989, Benedick 1991, Haas 1992, Bösch 2000, Grundmann 2001). Dabei kann in dieser Expertise natürlich keine vollständige Darstellung der Ozonkontroverse gelingen, dies haben die genannten Arbeiten schon sehr weitreichend geleistet. Vielmehr beschränkt sich die Argumentation beispielhaft auf zwei wesentliche Prozesse innerhalb der Geschichte des Umweltproblems der anthropogenen Ozonzerstörung, die sich auch in den quantitativen Analysen des 4. Kapitels widerspiegeln: erstens das Aufkommen des akuten ökologischen Problems durch die Rekontextualisierung wissenschaftlichen Wissens (Anfang bis Mitte der siebziger Jahre) und zweitens die Kontroverse über die anthropogenen Ursachen des antarktischen Ozonlochs (1986 bis 1988). Weiterhin soll beispielhaft begründet werden, dass eine genauere Analyse der wissenschaftlichen Dynamik von problemorientierten Forschungsfeldern vor allem auch nach dem Ende von Kontroversen ergiebig ist. Diese Phase ist vor allem auch deswegen von Interesse, weil erst dann beobachtet werden kann, ob an das in diesen Kontroversen produzierte Wissen weitere Forschung angeschlossen wird. Es soll weiterhin gezeigt werden, dass bei der Beschreibung von politiknaher Wissenschaft nicht nur politikwissenschaftliche Ansätze, sondern auch sozialwissenschaftliche Wissenschaftstheorien fruchtbar gemacht werden können.

Im nächsten Kapitel werden dann einige Äußerungen von den beteiligten Wissenschaftlern zu Fragen von Disziplinarität und Interdisziplinarität beispielhaft zusammengetragen und anschließend untersucht, inwieweit die an den für WMO und UNEP erstellten *Assessment Reports* beteiligten Wissenschaftler als Vertreter wissenschaftlicher Disziplinen beobachtet werden können. Die im Laufe der Ozonkontroverse etablierte atmosphärische Chemie soll neben der in der bis dahin dominierenden atmosphärischen Physik als Teildisziplin einer breiter angelegten Klimaforschung beschrieben werden. Die atmosphärische Chemie kann als eine relativ klar umrissene Spezialdisziplin identifiziert werden, die sich an Universitäten, aber auch an staatlichen und unabhängigen Instituten in der Bezeichnung von Lehrstühlen, Abteilungen und Projekten wiederfindet. *Atmospheric Chemistry & Physics* wird in dem umfangreichen

biographischen Verzeichnis *American Men & Women of Science* seit der 16. Auflage (1986) explizit als Disziplin geführt.<sup>3</sup> Die Klimaforschung als Ganzes befindet sich dagegen in einem interdisziplinären Stadium, in dem eine Kontroverse über die Relevanz der beteiligten disziplinären Ansätze nachweisbar ist. Es wird aber zu zeigen sein, dass gerade eine fortschreitende (auch disziplinäre) Integration eines Forschungsfeldes eine Voraussetzung dafür ist, die für politische Entscheidungen relevanten Experten und Wissensbestände zu identifizieren.

Neben verschiedenen politischen und ökonomischen Unterschieden in der Ausgangskonstellation unterscheiden sich die relativ kurzfristig aufgekommene Kontroverse um die anthropogene Zerstörung der Ozonschicht und die viel ältere Diskussion um den Zusatztreibhauseffekt vor allem auch darin, dass im Fall der Ozonkontroverse eine starke konzeptuelle Eingrenzung (Schließung) des Forschungsfeldes gelang (auch wenn sich diese im Vorfeld des plötzlichen Auftauchen des Ozonlochs als zu eng erwies), die eine Adressierung des Problems an eine relativ überschaubare Zahl von Akteuren ermöglichte. Im Fall der Erforschung des Klimawandels ist dieser beschränkende Konsens noch nicht erreicht. Zu beobachten ist hier eine Zunahme der Komplexität der Modelle (bis hin zur Diskussion über *Earth System Simulation*). In der Folge ist dieses Wissen noch mit großer Unsicherheit behaftet und bietet eine Vielzahl von Angriffsflächen für andere Positionen. Das internationale Ozonregime diente als Blaupause für die Etablierung eines ähnlichen Regimes im Zusammenhang mit dem globalen Klimawandel (*Framework Convention of Climatic Change*, FCCC 1988, s. auch *Nature* 329, 1987: 277, Downie 1995). So bezieht dieses Verfahren auch heute noch einen Teil seines gesellschaftlichen Kredits aus dem Erfolg der Ozondebatte, wobei einige Probleme dieser Analogiebildung häufig übersehen werden. Der entscheidende Unterschied liegt wohl in der bereits erwähnten gelungenen Eingrenzung des Problems in der Ozonkontroverse. Der erheblich größere Rahmen des IPCC bezüglich der beteiligten Interessengruppen, Wissenschaftler und Disziplinen ergibt sich aufgrund der größeren Komplexität des Problems des globalen Klimawandels, wirft aber auch erhebliche Schwierigkeiten bei der Schließung der Kontroverse auf.

---

<sup>3</sup> Auf eine noch nicht abgeschlossene Disziplinenbildung deutet auch die Einordnung der Klimaforschung in *American Men & Women* (*Atmospheric Dynamics/ Atmospheric Chemistry & Physics/ Atmospheric Sciences, General*) hin. Die Veränderungen der disziplinären Zuordnung in diesen Verzeichnissen scheint unsere These einer disziplinären Rekonfiguration der Wissenschaft angesichts ökologischer Probleme zu stützen: Finden sich die für die Klimaforschung relevanten Subdisziplinen in den 70er Jahren (s. 14th und 15th Edition) noch auf die »traditionellen« Disziplinen wie Chemie, Physik und Meteorologie verteilt, sind sie heute unter der Oberkategorie *Environmental, Earth & Marine Science* zusammengefasst. Die Meteorologie erscheint dagegen nicht mehr als Hauptdisziplin. Auch wenn diese Einteilung von den Herausgebern zum Teil willkürlich vorgenommen wird, kann sie doch als Ergebnis der Beobachtung der Wissenschaft aufgefasst werden.

Eine Schwierigkeit der Beobachtung disziplinärer Dynamik besteht darin, dass sich die Vertreter wissenschaftlicher Disziplinen gern auf Traditionen berufen, und so den Beginn der disziplinären Entwicklung möglichst weit in die Vergangenheit zurückverlegen. So kam die These über eine Erwärmung durch den anthropogenen Anstieg des Kohlendioxidgehalts der Atmosphäre bereits Ende des 19. Jahrhunderts auf (sie wurde u.a. 1896 von Svante Arrhenius formuliert). Damit besteht zwar eine alte Forschungstradition, doch lässt sich die Entwicklung über diesen langen Zeitraum nicht als ein einziger Disziplinenbildungsprozess im beschriebenen Sinne charakterisieren, zumal es zu diesem Zeitpunkt nicht gelang, diese These in einer Disziplin und somit in den *mainstream* der Wissenschaft zu integrieren. Vielmehr wanderte sie im Lauf der Zeit zwischen verschiedenen Kontexten (bis hin zur Diskussion um die gezielte Beeinflussung des Klimas in den 60er Jahren, *weather modification*, s. Kwa 2001), bevor es zur Ausbildung der heutigen auf das Umweltproblem bezogenen Klimaforschung kommt. Ein weiteres Beispiel, das der frühen Institutionalisierung der Stratosphärenforschung seit dem Ende des 19. Jahrhunderts in Berlin (Labitzke 1999), kann ebenfalls nicht als geradliniger Disziplinenbildungsprozess betrachtet werden, da die deutsche Klimatologie erst relativ spät für die Diskussion um das Problem der anthropogenen Ozonzerstörung relevant wurde. Bösch (2000: besonders 102) weist ebenfalls am Beispiel der Gefährdung der Ozonschicht durch FCKW darauf hin, dass viele Hypothesen, die im Laufe der späteren Ozonkontroverse zu dem heutigen Risikowissen zusammengeführt wurden, bereits recht früh (z.T. bereits in den 30er Jahren) formuliert wurden, die Zusammenführung verschiedener Disziplinen in einer Problemstruktur aber erst durch eine enge Abstimmung der Forschungsfelder im Umfeld der Ökologiedebatte gelingen konnte. Wir deuten diesen Moment der engen Abstimmung von Forschungsfeldern als möglichen Beginn einer disziplinären Entwicklung, insofern es zu einer konzeptionellen Schließung des auf das ökologische Problem bezogenen Forschung kommt.

Die historische Selbstbeschreibung einer Disziplin geschieht in Lehrbüchern häufig durch die Brille des aktuellen Forschungsstandes und erscheint somit als Kontinuität. Ein vorhandenes historisches Bewusstsein einer Disziplin und somit eine eigene Geschichtsschreibung kann aber als Indikator für eine etablierte Disziplin herangezogen werden (zum Verhältnis von Disziplinengeschichte und disziplinärem Selbstverständnis s. Laitko 1999). So betreibt die *University/National Corporation for Atmospheric Research* (UCAR/NCAR) ein eigenes *Oral History* Projekt, in dem prominente Wissenschaftler interviewt und die Aufzeichnungen archiviert werden.<sup>4</sup> Eine Disziplinengeschichtsschreibung kann allerdings für eine soziologische Beschreibung der Wissenschaftsdynamik besonders dann nicht kritiklos übernommen werden,

---

<sup>4</sup> Siehe [www.ucar.edu/archives](http://www.ucar.edu/archives).

wenn sie als eine historisch kontinuierliche Abfolge von Ideen erscheint, eine institutionelle Kontinuität aber nicht gegeben ist.

## II.

Besonders gilt dies auch für die Ozonforschung und die Etablierung der atmosphärischen Chemie in der heutigen Form. Die Existenz der Ozonschicht und deren Bedeutung für das Leben auf der Erde aufgrund verschiedener Absorptionsspektren im UV-Bereich sowie Methoden zur Messung der vertikalen Ozonverteilung waren bereits in den dreißiger Jahren unter den Atmosphärenforschern gesichertes Wissen. Diese Schließung kann man auf die ersten zwei Ozonkonferenzen 1929 in Paris und 1936 in Oxford datieren. Zu diesem Zeitpunkt lag mit Chapmans Gleichungen, die das dynamische Gleichgewicht von Ozonbildung und Ozonabbau beschrieben, eine dynamische Theorie über die Chemie des atmosphärischen Ozons vor. Viele der grundlegenden Theorien, auf denen die Rekonstruktion des Umweltproblems anthropogene Zerstörung der Ozonschicht und die damit verbundenen Folgen für das Leben auf der Erde beruhten, waren in den 30er Jahren bereits bekannt. Selbst die These, dass FCKW Quelle von Chlorradikalen sein könne, wurde von Chemikern bereits zu diesem Zeitpunkt aufgestellt. Eine *scientific community*, die das Problem als Umweltproblem formulieren konnte, entstand zu diesem Zeitpunkt aber nicht (s. Böschen 2000). Der ökologische Problembezug kann aber als das entscheidende integrierende Paradigma der heutigen Klimaforschung angesehen werden. Die nicht abgeschlossene theoretische Grundlegung muss dabei als Indiz für einen gerade stattfindenden Prozess der Disziplinenbildung gelten.

Zwischen den dreißiger und sechziger Jahren fristete die Ozonforschung ein akademisches Schattendasein.<sup>5</sup> Nach den anfänglichen Innovationen der Atmosphärenbeobachtung, die mit der Erfassung der Ozonverteilung zusammenhingen, wurde der Ozongehalt zwar regelmäßig von meteorologischen Stationen an verschiedenen Orten in der ganzen Welt erfasst, doch versprach man sich davon in erster Linie eine Verbesserung der Wettervorhersage. Die Erforschung der Atmosphäre war zu diesem Zeitpunkt in mehreren Disziplinen angesiedelt, die kaum miteinander kommunizierten. In der Meteorologie dominierten physikalische Ansätze, die Experten der höheren Atmosphäre waren vor allem im Umfeld von Raketentechnik und

---

<sup>5</sup> »A subject which until the late 1960s was a rather arcane corner of the atmospheric science, of interest to a handful of specialists, suddenly burst upon the political scene and became the subject of voluminous Congressional hearings and government reports.« (Brooks 1982: 202). Zu diesem Zeitpunkt kam gerade die Diskussion um den sauren Regen auf, die Stratosphärenforschung war aber noch ein *curiosity-driven*-Teilgebiet der Meteorologie. Paul Crutzen (1996: 1880): »Ich wollte jedoch lieber reine Wissenschaft von natürlichen Pro-

Luftfahrtindustrie zu finden (Mégie 1989: 23). Die Chemie der Atmosphäre galt als gut erforscht und weitgehend uninteressant, Kontroversen waren in diesem Stadium kaum zu erwarten. Einige Chemiker, die sich in den sechziger Jahren an den Universitäten mit der Atmosphäre beschäftigten, untersuchten mögliche Veränderungen durch den Menschen, z.B. in Folge eines Atombombeneinsatzes oder die Atmosphäre anderer Planeten im Zusammenhang mit NASA-Projekten (so z.B. Michael E. McElroy und Steven C. Wofsy, s. Kowalok 1993) und weiteten somit den Gegenstandsbereich ihrer Forschung über das auf der Erde herrschende Klima aus. Anhand des im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Schemas der Starnberger Gruppe lässt sich diese Phase durchaus als postparadigmatisch charakterisieren, obwohl gemessen am heutigen Stand der Forschung sehr wenig über die komplexe Dynamik der Erdatmosphäre bekannt war. Es zeigt sich, dass in dieser Phase überwiegend disziplinärer Forschung die Entstehung einer neuen Spezialdisziplin weder notwendig noch möglich schien. Die Beobachtung der Ozonschicht war damit normalwissenschaftlicher Alltag innerhalb der Meteorologie. Die Wahrscheinlichkeit für die Herausbildung neuer Disziplinen wächst dagegen, wenn Probleme in die vorhandene Disziplinenstruktur nicht mehr integriert werden können und als Anomalien behandelt werden. Betrachtet man die Disziplinenstruktur der Wissenschaft als historisch gewachsen und in der Folge als veränderlich, ist ein Wandel der disziplinären Struktur angesichts von Krisen der bestehenden Disziplinen zu erwarten, eine Situation der kurzfristig mit interdisziplinären Ansätzen begegnet werden kann und begegnet wird.

Im Fall der Ozonforschung kam die Anomalie, die den Stein ins Rollen brachte, in einem anwendungsorientierten Kontext auf. Mit der Erforschung des Flugverhaltens von Raketen gerieten Chapmans Gleichungen zur Ozondynamik wieder in das Blickfeld der Forscher. Chapman hatte in den dreißiger Jahren herausgefunden, dass sich in der Stratosphäre die Ozonbildung durch UV-Licht und der Ozonzerfall in einem dynamischen Gleichgewicht befinden. Für den Zerfall machte er freie Sauerstoffradikale verantwortlich. Allerdings zeigten Messungen, dass der Ozongehalt der Stratosphäre deutlich geringer war, als es Chapmans Theorie voraussagte, die Zerfallsprozesse also unterschätzt wurden. Diese Anomalie konnte unter der Annahme eines katalytischen Ozonabbaus durch Spurengase aufgelöst werden, bei denen sich diese in extrem geringen Mengen vorkommenden Gase selbst nicht verbrauchen. Als Katalysator wurden in dem Atmosphärenchemiemodell von Hampson und Hunt freie Wasserradikale ( $\text{HO}_x$ ) in Betracht gezogen. Crutzen wies in seinen *filosofie licentiat thesis* (1969) darauf

---

zessen betreiben, daher wählte ich stratosphärisches Ozon als Fachgebiet, ohne im geringsten zu ahnen, was vor mir lag.”.

hin, dass Stickoxide (NO<sub>x</sub>) eine erheblich wichtigere Rolle für die stratosphärische Ozonchemie spielen könnten. Die These von der Bedeutung von Stickoxiden für den Ozonabbau in der Stratosphäre wurde ebenfalls von dem amerikanischen Wissenschaftler Harold Johnston formuliert. Damit gerieten die Abgase der geplanten Überschallpassagierflugzeuge (*Supersonic Transportation*, SST), die in der Stratosphäre verkehren sollten, in den Verdacht, die Ozonschicht schwer schädigen zu können (Crutzen 1996, Grundmann 2001, Roan 1989). Zur Klärung der möglichen Umweltbelastungen durch diese neue Technologie, die vor allem wegen des Knalls beim Durchbrechen der Schallmauer bereits in der öffentlichen Kritik stand, wurde von der Regierung der USA das 22 Millionen Dollar umfassende *Climatic Impact Assessment Program* (CIAP) initiiert, das wesentlich zur Entstehung der für die Ozonkontroverse relevanten und auf das Umweltprobleme bezogenen *scientific community* beitrug. In diesem Rahmen wurden bereits ein Großteil der theoretischen Grundlagen zusammengeführt bzw. neu formuliert, die in der späteren Ozonforschung von Bedeutung waren (Bastian 1982: 167). Etwas später stellten Stolarski und Cicerone im Rahmen der Arbeit im CIAP die These auf, dass Chlorverbindungen, die durch Vulkanausbrüche in die Atmosphäre geschleudert werden, aber auch Bestandteil der *Space-Shuttle*-Abgase sind, eine wesentlich stärkere ozonzerstörende Wirkung haben könnten als die SST-Abgase (s. Roan 1989: 16).

Nachdem die Pläne zur Einführung des Überschallluftverkehrs aus überwiegend ökonomischen, aber auch aus ökologischen Gründen<sup>6</sup> ad acta gelegt wurden (hierzu Rosenbloom 1981, Brooks 1982: 203), blieb die Problemformulierung einer möglichen anthropogenen Ozonzerstörung besonders in Verbindung mit der These der ozonzerstörenden Wirkung von Chlorradikalen erhalten. Mit der Molina-Rowland-Hypothese, die die in Industrie und Haushalt weit verbreiteten Fluorkohlenwasserstoffe (FCKW) als Quelle von Chlorradikalen identifizierte, wurde das Problem der anthropogenen Ozonzerstörung rekontextualisiert. Es erschien nun nicht mehr als mögliches Problem einer noch nicht eingeführten Technik, sondern als akutes Umweltrisiko. Mario Molina und Sherwood Rowland, die keine Atmosphärenwissenschaftler, sondern Chemiker waren<sup>7</sup>, interessierten sich für mögliche Senken für Fluorkohlenwasserstoffe (FCKW) in der Atmosphäre, angeregt durch die Thesen des britischen Chemikers James Lovelock, der wegen ihrer chemischen Stabilität den Verbleib sämtlicher je produzierten FCKW in der Atmosphäre vermutete. In Laborexperimenten konnten sie nachweisen, dass

---

<sup>6</sup> Ironischerweise verkehrten sich die Modellkalkulationen bezüglich der Wirkung von SST-Abgasen bereits 1978 in ihr Gegenteil. Nun wurde weithin angenommen, dass der Flugverkehr in der Stratosphäre Ozon produzieren würde (s. Bower/ Ward 1982: Preface).

<sup>7</sup> "But Rowland and Molina did not belong to that community—their professional orbit had never overlapped those of atmospheric scientists—and they knew nothing of the chlorine debate or the scientists who were party to it." (Dotto/Schiff 1987: 16)

UV-Strahlungen FCKW aufspalten und dabei Chlorradikale freisetzen konnten. Diese Ergebnisse brachten sie mit den bereits formulierten Thesen über die ozonzerstörende Wirkung von Chlorradikalen in Verbindung. Sie führten ihre Thesen durch persönliche Kontaktaufnahme (s. Roan 1989: 10-19) in das durch das CIAP vorstrukturierte und ökologisch sensibilisierte Feld der atmosphärischen Chemie ein (s. hierzu Dotto/Schiff 1978, Bastian 1982: 167). Dies gelang vor allem deswegen, weil in diesem Forschungsfeld durch Veröffentlichungen, Konferenzen und *Assessment Reports* im Rahmen des CIAP eine relevante Wissenschaftlergemeinschaft beobachtbar war.

Es waren vor allem die ökologischen Implikationen und die damit verbundene US-amerikanische Förderpolitik<sup>8</sup>, die das lange vernachlässigte Feld der atmosphärischen Chemie für viele Wissenschaftler unterschiedlicher Disziplinen interessant machte. Erst mit fortschreitender Forschung und im Verlauf der Kontroverse selbst zeigte sich, wie viele Probleme der Dynamik der Atmosphäre mit den bestehenden Theorien nicht erklärt werden konnten und welcher Bedarf an Grundlagenforschung bestand. Diese Situation führte neben der politischen Kontroverse zu einer wissenschaftlichen Eigendynamik und somit zunehmend auch zu Autonomisierungstendenzen innerhalb der atmosphärischen Chemie, da das Verständnis des Klimas durch die Einführung komplexer chemischer Prozesse in die Modelle erheblich erweitert werden konnte. Die Probleme, die zu einem *curiosity driven*-Strang der Forschung führten, sind in diesem Fall als Nebenfolge politisch initiiertter Forschungsprogramme zu betrachten. Es zeigt sich gerade in der Ozonkontroverse, dass eine an externen Problemen orientierte Forschung auch wissenschaftsintern Probleme erzeugen kann, die für die Grundlagenforschung interessant und somit anschlussfähig sind.<sup>9</sup> Ein Indiz dafür ist im Falle der Ozonforschung, dass das Feld auch nach dem Abschluss des Montrealer Protokolls im Jahre 1987 weiterhin stark anwächst (eine entsprechende bibliometrische Analyse findet sich bei Grundmann 2001: 94).

Das Umfeld, in dem die Thesen zur Ozonzerstörung entstanden, kann man als interdisziplinär und anwendungsorientiert beschreiben. Die Problemformulierung konnte den Kontext der

---

<sup>8</sup> Forschungsanträge zur Untersuchung des stratosphärischen Ozons und dem Verbleib von FCKW wurden schon vor der ökologischen Debatte u.a. auch durch Rowland gestellt, aber in der Regel abgelehnt (s. Roan 1989, Crutzen 1996). Die verstärkte Förderung von ökologischer Forschung in der Folge des *National Environmental Policy Act* (NEPA) führte zur Konjunktur sogenannter "defensive research" in den USA, die sich mit den negativen Folgen des wissenschaftlich-technischen Fortschritts befasste (s. Brooks 1982: 203). Programme, die unmittelbar mit der Ozonproblematik zusammenhingen, wurden neben den Regierungsorganisationen z.B. auch von der *Atmospheric Division* der *National Science Foundation* (NSF) aufgelegt. 1977 kam ein explizites *Atmospheric Chemistry Program* hinzu. Insgesamt betrug die staatliche Förderung der mit der Ozonproblematik verbundenen Forschung in den USA bereits im Haushaltsjahr 1980 knapp 60 Millionen Dollar (s. Block 1982).

<sup>9</sup> Eine exemplarische Aufstellung von offenen Forschungsfragen der Chemie der Atmosphäre ist bei (Crutzen) 1996 zu finden.

SST-Debatte verlassen und mit (dort im wesentlichen gut gesicherten) Wissensbeständen der Chemie angereichert in den Kontext der Kontroverse über die anthropogene Ozonzerstörung durch FCKW übertragen werden. Dies geschah außerhalb der klassischen Disziplinenstruktur, wo das Thema u.U. in den Bereich der Meteorologie gefallen wäre. Da dort die Stratosphäre lange vernachlässigt worden war, konnte das Feld der Ozonforschung von Chemikern und teilweise auch von Physikern besetzt werden, denen es gelang, einen neuen, konkurrierenden Ansatz, die atmosphärische Chemie zu etablieren. Auch wenn dieser noch kein unstrittiges Paradigma bot, konnte ein Konsens darüber erreicht werden, dass mit den Methoden der Chemie neue Erkenntnisse über die Atmosphäre gewonnen werden können (konzeptuelle Schließung). Das Feld bot eine umfangreiche Problemstellung, den Nachweis einer Kausalkette der Ozonzerstörung durch FCKW, und konnte auch aufgrund der von der Politik bereitgestellten Mittel zu einem (wie weiter unten noch zu zeigen sein wird) institutionalisierten Forschungsfeld ausgebaut werden, das angesichts der komplexen Problemstellung nicht auf die Ozondebatte beschränkt blieb.

Bereits 1978 kam es in den USA mit dem Verbot<sup>10</sup> einiger FCKW in *nonessential aerosols* zu einem vorläufigen Abschluss der innenpolitischen Debatte. Eine solche Regulierung wurde auch von der Wissenschaftlergemeinschaft als wirksam bewertet. Die Prognosen der *National Academy of Science* (NAS) über die Ozonreduktion in den nächsten fünfzig bis hundert Jahren gingen zurück (vgl. Benedick 1991, Zehr 1994, Breitmeier 1996). Allerdings war dies keine Folge der Regulierung, sondern die Prognosen wurden durch die Verbesserung der Computermodelle unter der Annahme einer weltweit gleichmäßigen Ozonreduktion (das Ozonloch war noch nicht entdeckt) verfeinert. Anfang der achtziger Jahre wurde sogar teilweise eine Ozonzunahme prognostiziert. Der Ausgangspunkt der internationalen Verhandlungen bezüglich einer FCKW-Reduktion war das Ziel einer Internationalisierung dieser Regelung.

### III.

Ein entscheidendes Moment in der Ozonkontroverse war die unerwartete Beobachtung des antarktischen Ozonlochs im Jahre 1985. Dieses Ereignis war für die Ozonforschung paradox, weil es einerseits die Prognosefähigkeit von Wissenschaft in Frage stellte, zumal das Ozonloch trotz vorliegender Messungen „übersehen“ wurde. Auf der anderen Seite erschien das Auftauchen des Ozonlochs als katastrophales Ereignis, welchem durch die Intensivierung von

---

<sup>10</sup> Diese Regulierung war Bestandteil des *Clean Air Act Amendment* (CAAA) von 1977. Verboten wurden vor allem die Nutzung von FCKW-11 und FCKW-12 in Spraydosen. Kanada, Norwegen und Schweden schlossen sich dieser Regulierung an.

Forschung begegnet werden sollte und die Problemlösung trotz ihres scheinbaren Versagens von der Wissenschaft erwartet wurde (s. Zehr 1994, zur paradoxen Situation von Wissenschaft angesichts ökologischer Probleme s. Stehr 1994: 82ff.). Die theoretischen Grundlagen, auf denen die Regulierung von 1978 basierten, stellten sich als unzureichend heraus, da sie das regional und zeitlich begrenzte Auftreten einer erheblichen Ozonabnahme im antarktischen Frühling nicht erklären konnte, zumal das Gros der FCKW in der Nordhemisphäre hergestellt und verbraucht wurde. Den Skeptikern, vor allem den Vertretern der dynamischen Meteorologie, boten sich so neue Angriffspunkte.

Die extrem niedrigen Ozon-Werte in der Antarktis wurden unabhängig von japanischen und britischen Wissenschaftlern entdeckt, die sich außerhalb oder am Rande der *scientific community* befanden, die an der Formulierung der FCKW-Regulierung des Jahres 1978 maßgeblich beteiligt war. So wurden die ersten Beobachtungen niedriger Ozonwerte durch japanische Meteorologen vorerst kaum wahrgenommen, da diese die Ozonabnahme mit dynamischen Prozessen der antarktischen Jahreszeiten verbanden. Die damaligen Positionen sind im Sonderheft der *Geophysical Research Letters* vom November 1986 nachzulesen. Die andere Gruppe des *British Antarctic Survey* unter der Leitung von McFarland unternahm die alarmierenden Messungen mit einem in den dreißiger Jahren hergestellten Dobson-Spektrometer. Diese Gruppe hielt die Messungen für fehlerhaft, so dass sie das Instrument überprüfen ließen. Die Satelliten der NASA registrierten ebenfalls extrem niedrige Ozonwerte, die jedoch als Messfehler aus den Daten herausgefiltert wurden. Diese Episoden sind ein typisches Beispiel für Normalwissenschaft im Sinne Kuhns. Die zuvor vereinbarte Schließung der Kontroversen über die ozonzerstörenden Prozesse war zu diesem Zeitpunkt so eng, dass andere Messergebnisse systematisch ignoriert wurden. Eine Öffnung des Feldes wurde erst möglich, als Forscher, die nicht unmittelbar im Zentrum der relevanten *scientific community* standen (sondern eher Meteorologen waren), Anomalien aufzeigten, die besonders wegen ihrer Resonanz in einer von Umweltkatastrophen bestimmten Semantik der Öffentlichkeit nicht mehr ignoriert werden konnten.

Um nach der unerwarteten Entdeckung des antarktischen Ozonlochs Belege dafür zu finden, dass FCKW Ursache für den Ozonverlust über der Antarktis seien, reiste 1986 eine erste *National Ozone Expedition* (NOZE I) zur US-amerikanischen Forschungsstation McMurdo. Diese auf bodenbasierte und ballongestützte Verfahren beschränkte Expedition konnte zwar einige Evidenz beibringen, die die FCKW-These der antarktischen Ozonzerstörung stützten, nicht aber die gesamte Wissenschaftlergemeinschaft von ihren Ergebnissen überzeugen (s. auch Grundmann 2001: 154). Vielmehr wurde die Kontroverse auf experimentell entscheidbare

Alternativen zugespitzt: Auf der einen Seite standen die Vertreter der atmosphärischen Chemie, die eine anthropogene chemische Erklärung für die Entstehung des Ozonlochs bevorzugten; auf der anderen Seite befanden sich vor allem Meteorologen, die ganz in der Tradition ihres Faches eine dynamische Erklärung der niedrigen Ozonwerte in der Antarktis favorisierten (zur Kontroverse zwischen atmosphärischer Chemie und dynamischer Meteorologie s. auch Grundmann 2001: 107).

Im Nachhinein war das wichtigste Ergebnis der NOZE I, dass die anschließende wissenschaftliche Diskussion zum Entwurf eines entscheidenden Experiments führte. Wurde der NOZE I vorgehalten, dass sie einseitig nach Belegen für die chemische Theorie des Ozonabbaus suchte<sup>11</sup> (s. Roan 1989: 175), wurde die NOZE II von vornherein so konzipiert, dass ihre Ergebnisse von den Vertretern der verschiedenen Thesen anerkannt werden konnten, insofern sie den in der *scientific community* schon bestehenden Konsens teilten. Dies wirft ein entscheidendes Licht auf den Verlauf von Schließungsprozessen. Im Prozess der Schließung dienen die unumstrittenen Wissensbestände und eine Einigung über Methoden und experimentelle Designs dazu, die Kontroverse in mit wissenschaftlichen Methoden entscheidbare Fragestellungen zu übersetzen. In einer solchen Situation ist die Ablösung des Wissens von den Entstehungskontexten bereits weit fortgeschritten. Schließlich müssen alle möglichen Ausgänge des Experiments von den Kontrahenten im gleichen Sinne gedeutet werden, um die Kontroverse zu entscheiden. In der Ozonkontroverse wird in diesem Zusammenhang oft die Metapher vom *smoking gun* (s. Roan 1989: 179, Christie 2001: 95, Grundmann 2001: 172) im Sinne eines eindeutigen Beweises zitiert. Im Fall der Kontroverse um das antarktische Ozonloch galt der Nachweis von freien Chlorradikalen ( $\text{ClO}_x$ ), deren einzige bekannte für die Ozonzerstörung relevante Quelle FCKW sind, als Beleg für die chemische Theorie für die Entstehung des Ozonlochs. Entscheidende Experimente erscheinen so als Befragung der Natur, deren Ergebnisse von den an der Kontroverse beteiligten Wissenschaftlern anerkannt werden. So kam es im Vorfeld der NOZE II (1987) zu einem Konsens darüber, welche möglichen Er-

---

<sup>11</sup> Besonders der NASA-Wissenschaftler Mark Schoeberl formierte als Herausgeber des *Special Issues* der *Geophysical Research Letters* im November 1986 die Gegner der Ergebnisse der NOZE I. Besonders kritisierte er die Pressekonferenz der Expedition, auf der Susan Salomon als Leiterin der Expedition die Ergebnisse als Beweis für die chemische Theorie des antarktischen Ozonlochs präsentierte.

gebnisse der Messkampagnen welche der Theorien über das Ozonloch stützen bzw. widerlegen würden.<sup>12</sup>

Bezeichnend für die Bedeutung der NOZE II ist auch der erheblich größere Umfang der Expedition gegenüber der NOZE I. Reisten mit dieser gerade einmal 18 Wissenschaftler (s. *Nature* 326, 1987: 20) mit recht konventionellem Gerät in die Antarktis, waren mit der NOZE II über 150 Wissenschaftler und technische Spezialkräfte befasst. In Punta Arenas (Chile) wurde sogar ein Flughafen für die Bedürfnisse der Expedition ausgebaut. Neben einem fliegenden Labor wurde auch ein modern ausgerüstetes Spionageflugzeug eingesetzt, das im Bereich der Stratosphäre fliegen konnte und so in das Ozonloch vordringen konnte (s. Roan 1989).

Im Zuge der *in situ*-Messungen der NOZE II konnte der Nachweis erbracht werden, dass tatsächlich freie Chlorradikale im Bereich des Ozonlochs vorhanden waren. So konnte die These erhärtet werden, dass FCKW die Ursache des antarktischen Ozonverlustes sein könnten, ohne dass die Transportmechanismen und Details der Reaktion schon bis zuletzt verstanden wurden (s. *Nature* 329, 1987: 473). Die Schließung durch entscheidende Experimente zielt somit nicht auf den Abschluss eines komplexen Theoriegebäudes, sondern auf die Entscheidung von Kontroversen ab. Die dynamischen Theorien wurden keinesfalls als grundlegend falsch zurückgewiesen, sondern sie spielten eine zentrale Rolle in der komplexen Theorie des Ozonlochs. Es waren gerade auch die dynamischen Prozesse, die in den chemischen Theorien der Ozonabnahme in den 70er Jahren zu wenig berücksichtigt wurden und die Vertreter der chemischen Erklärung im Zusammenhang mit dem Ozonloch in Schwierigkeiten brachten. Die Dynamiker gingen in der Kontroverse im Wesentlichen nicht aufgrund empirisch widerlegter Aussagen als „Verlierer“ hervor, sondern weil sie sich als Gegner der chemischen Erklärung

---

<sup>12</sup> Im Kern drehte sich die Kontroverse darum, ob die extrem kalten Temperaturen, die im Zusammenhang mit dem Ozonloch gemessen wurden, Ursache oder Folge der niedrigen Ozonwerte waren. Durch die Absorption von UV-Strahlen ist das Ozon für die verhältnismäßig hohen Temperaturen in der Stratosphäre verantwortlich (in mittleren Breiten 27° Celsius). Auf der anderen Seite sind die extrem niedrigen Temperaturen am Ende der Polarnacht Folge der fehlenden Sonneneinstrahlung. Die niedrigen Temperaturen sind auch eine Bedingung dafür, dass die ozonzerstörenden Substanzen ausreichend stabil und die an den heterogenen Reaktionen beteiligten Eispartikel vorhanden sind. Die Dynamiker gingen nun davon aus, dass unter diesen extremen Bedingungen die normalen an dem dynamischen Ozongleichgewicht beteiligten Prozesse (Abbau durch OH-Radikale) schneller ablaufen und so das Ozongleichgewicht vorübergehend gestört ist. Einige äußerten die These, dass der Treibhauseffekt, der verhindert, dass ein Teil der von der Erde reflektierten Wärmestrahlung bis zur Stratosphäre gelangt, den Effekt der niedrigen Temperaturen und somit die Ozonreduktion noch verstärkt. Die Vertreter der FCKW-Erklärung sahen die niedrigen Temperaturen dagegen als Folge des fehlenden Ozons. Zwar spielen auch für die chemischen Erklärung niedrige Temperaturen eine wichtige Rolle, doch nicht in dem gemessenen extremen Ausmaß. In dieser Theorie sind freie Chlorradikale ( $\text{ClO}_x$ ) für die Ozonreduktion verantwortlich. Die Aufgabe der NOZE II war somit zu prüfen, ob im Zentrum des Ozonlochs  $\text{ClO}_x$  nachweisbar sind. Roan schreibt dazu: "Proof was what was needed. And both the dynamicists and chemists agreed that chlorine monoxide- $\text{ClO}$ -was the "smoking gun" that would confirm the chemical theories. The next Antarctic mission must confirm or dismiss the presence of this compound." (Roan 1989: 179).

exponierten.<sup>13</sup> Die Kontroverse bei der Konstruktion der Kausalkette drehte sich so um die Relevanz chemischer und physikalischer Prozesse, deren theoretische Grundlagen kaum in Zweifel standen. Durch den Nachweis von freien Chlorradiikalen im Bereich des Ozonlochs konnte die anthropogene, chemische Erklärung nicht mehr ignoriert werden. Die atmosphärische Chemie wurde damit die für das Ozonproblem entscheidende Spezialdisziplin, die die relevanten Fragen des Forschungsfeldes definierte, und auch in anderen Feldern der Klimaforschung eine zunehmend wichtige Rolle spielte. Fragen, die mit der Chemie der Atmosphäre zusammenhängen, werden so z.B. auch im Rahmen des IPCC an die in der Ozonkontroverse entstandene *scientific community* adressiert.<sup>14</sup>

Interpretiert man die Kontroverse zwischen den Anhängern der chemischen und der dynamischen Erklärung des antarktischen Ozonlochs innerhalb eines Ansatzes der disziplinären Dynamik, lässt sich das Ende der Kontroverse weder als Paradigmenwechsel im Sinne Kuhns noch als programmatische Interdisziplinarität beschreiben. Gegen Ersteres spricht, dass die chemische Theorie die komplizierten Prozesse zu Beginn des antarktischen Frühlings nicht beschreiben konnte und so auf Theorieelemente der dynamischen Erklärung angewiesen blieb. Die Dynamiker versuchten dagegen das Ozonloch innerhalb ihres Paradigmas zu erklären und die FCKW-These mit Hinweis auf die nicht geklärten Transportprozesse zurückzuweisen. Sie strebten damit keine gleichberechtigte interdisziplinäre Zusammenarbeit an, sondern führten eine Kontroverse über die Relevanz von einzelnen Prozessen in einer komplexen Kausalkette und bevorzugten diejenigen Phänomene, die innerhalb der eigenen Subdisziplin erklärt werden konnten. Das heißt nicht, dass die Dynamiker die Molina-Rowland-Hypothese als solche ablehnten oder zu widerlegen versuchten, die einen allgemeinen gleichmäßigen Ozonabbau voraussagte<sup>15</sup>; sie bestritten aber, dass diese auf das antarktische Ozonloch angewendet werden kann. Bezeichnend für den geringen Grad der wechselseitigen Zusammenarbeit ist, dass die NOZE II auf die Überprüfung von Vorhersagen durch *in situ* Messungen ausgelegt war. Das heißt, es wurde im Ozonloch selbst gemessen, welche der aus den jeweili-

---

<sup>13</sup> Jerry Mahlman in einem Interview für die *Chemical and Engineering News* (zitiert nach Roan 1989: 178): "The quantitative aspects of ozone hole can't be explained by either the chemical or dynamical theories. Both groups can come up with hand-waving explanations but neither can quantify them."

<sup>14</sup> Vgl. hierzu Kapitel 4-IV dieser Expertise.

<sup>15</sup> Eine Ozonreduktion auch außerhalb der Antarktis ist durchaus beobachtbar, wenn auch nicht in dem von der Molina-Rowland-Hypothese prognostizierten Ausmaß. Die Frage, um die sich die Kontroverse drehte, war somit nicht, ob FCKW die Ozonschicht schädigen könnten, sondern ob das Ozonloch mit diesem Umweltproblem in Verbindung gebracht werden kann. Der Verhandlungsführer US-amerikanischen Delegation der Benedick (1991: 19f.) schreibt gar, dass die Verhandlungen zum Protokoll von Montreal die Entdeckung des Ozonlochs inhaltlich nicht mehr berücksichtigten, auch wenn das katastrophenartige Auftauchen dieses Umweltproblems diese unzweifelhaft beschleunigten.

gen Theorien generierten Voraussagen zutraf. Erst das Ergebnis dieser Messungen führte zu einer verstärkten Zusammenarbeit zwischen Chemikern und Dynamikern bei der Entwicklung einer komplexeren Theorie.

Die beschriebene Zuspitzung der Kontroverse und die Konzeption des entscheidenden Experimentes führte zu einer Schließung und in der Folge zur Herausbildung der erweiterten *scientific community*. Unser Interpretationsvorschlag ist, dass es in diesem Fall zu Transdisziplinarität in Folge der Schließung einer Kontroverse, d.h. aufgrund der wissenschaftlichen Entwicklung und nicht als unmittelbare Folge des Problembezugs kam. Die Ergebnisse (sie wurden im Wesentlichen in WMO 1988 veröffentlicht, s. auch Benedick 1991: 110) der NOZE II führten zur Integration verschiedener bis dahin konkurrierender Ansätze, wobei die grundlegenden Prozesse noch nicht vollständig erklärt werden konnten. Transdisziplinarität erscheint so gerade nicht als Ergebnis einer programmatisch postulierten Zusammenarbeit von Wissenschaftlern, sondern als Folge der Zusammenführung von verschiedenen Wissensbeständen aufgrund der Krise disziplinär orientierten Wissens. Unsere These würde im Rahmen einer allgemeinen Theorie wissenschaftlicher Dynamik zur Folge haben, dass eine Überwindung der Krise zu einer (disziplinären) Neuintegration des Feldes führt.

#### IV.

Das Problem der anthropogenen Ozonzerstörung gilt mit dem Montrealer Protokoll und seinen Folgevereinbarungen als politisch gelöst. Würde man die Ozonforschung als Wissensproduktion nach *mode 2* beschreiben, hieße dies, dass sie nun in ein Schattendasein treten würde und ihre Rolle auf die Kontrolle der Wirksamkeit der Montrealer Vereinbarungen beschränken würde. Doch ist im Zuge der Ozonkontroverse eine umfangreiche *scientific community* entstanden, die auch an der Erforschung anderer Probleme innerhalb der Klimaforschung beteiligt ist. In der bisherigen sozialwissenschaftlichen Analyse der Ozonkontroverse wurde die wissenschaftliche Entwicklung nach der Verabschiedung des Montrealer Protokolls weitgehend vernachlässigt. Tiefgreifende Untersuchungen über das Fortbestehen bzw. das Ende von in gesellschaftlichen Kontroversen entstandenen Forschungsprogrammen stehen noch aus. Es ist aber anzunehmen, und die Klimaforschung als das bisher umfangreichste ökologische Forschungsprojekt liefert dafür einige Evidenz, dass der Erfolg einer derartigen Forschungsoperation ein Muster für die Behandlung anderer Probleme liefert. Unsere These über die disziplinäre Dynamik problemorientierter Forschung impliziert nicht nur eine institutionelle,

sondern auch eine theoretische Fortentwicklung auf der gesicherten Basis der abgeschlossenen Kontroversen.

Es gibt mehrere entscheidende Momente, die eine fortschreitende Institutionalisierung der Klimaforschung ermöglichten. Natürlich wurde die Rolle zukünftiger Forschung im Montrealer Protokoll festgeschrieben und das regelmäßige Zusammenfassen des aktuellen Wissensstandes mit den *Assessment Reports of Ozone Depletion* institutionalisiert. Kurz nach der Implementierung des internationalen Regimes zum Schutz der Ozonschicht wurde aber bereits 1988 eine ähnliche Struktur (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*) zur Eindämmung des globalen Klimawandels etabliert. Ein entscheidendes Moment ist aber, dass im Rahmen der Ozonforschung eine Reihe von Problemen auftauchten, die das Verständnis der Stratosphäre und der Atmosphäre grundlegend änderten. Anfang der siebziger Jahre galt die Stratosphäre als uninteressantes, weitgehend homogenes Gasgemisch. Aber gerade die in der Ozonkontroverse zu lösende Probleme des Transports von FCKW und heterogener chemischer Reaktionen<sup>16</sup> innerhalb der Stratosphäre haben zu einer erheblichen Zunahme der Komplexität des Konstruktes Klima geführt. Innerhalb der Ozonforschung gelang es Wissenschaftlern verschiedener Disziplinen, einen gemeinsamen Gegenstand, gegenseitig anerkannte Methoden und ein komplexes, von der traditionellen Meteorologie sich stark unterscheidendes Verständnis vor allem der chemischen Prozesse des Klimas zu entwickeln. Im Zuge der Ozondebatte und der globalen Erwärmung kam es zu einem grundlegenden Wandel des Begriffes Klima. Es wird immer weniger als der Durchschnitt von Temperatur und Niederschlag an einem bestimmten Ort oder in einer Region definiert. Das Klima steht in dem neueren Verständnis vielmehr für die globalen Lebensbedingungen im Ganzen. Die Atmosphäre ist in diesem Konzept das Medium, an das die verschiedenen Komponenten des Systems Erde "angeschlossen" sind. Die Ozonkontroverse kann als Testfall für die Tragfähigkeit dieses globalen Konzeptes gelten. Dabei fällt auf, dass gerade die reduktionistische, von der Debatte um die globale Erwärmung weitgehend isolierte Theorie des stratosphärischen Ozons zur Etablierung des neuen Paradigmas vom Klima beitrug. Ist das Wissen einmal Bestandteil des von der *scientific community* geteilten Konsenses, kann diese starke Einschränkung wieder gelockert und auf einen erweiterten Gegenstandsbereich angewandt werden, wie es an der zunehmenden Verschränkung der Ozonforschung mit der *Climate-Change*-Forschung auch zu beobach-

---

<sup>16</sup> Heterogene Reaktionen sind dadurch gekennzeichnet, dass an ihnen nicht nur Gase, sondern auch flüssige und feste Partikel beteiligt sind. Besonders für die katalytischen Prozesse des Ozonabbaus spielen derartige Prozesse eine wichtige Rolle.

ten ist. Die Ergebnisse der abgeschlossenen Kontroversen werden dabei (bis zum eventuellen Auftreten neuer Anomalien) als gesichertes Wissen behandelt.

Das Ergebnis dieses Paradigmenwechsels lässt sich auch in der disziplinären Struktur unmittelbar aufzeigen. Waren Anfang der 70er Jahre atmosphärische Chemie und Physik kleine Subdisziplinen der Meteorologie, ist die Meteorologie heute mehr und mehr eine anwendungsorientierte Subdisziplin der Klimaforschung.

#### 4. Klimaforschung: Disziplinarität und Interdisziplinarität

##### *I.*

Das Ziel dieses Kapitels ist, in einem ersten explorativen Versuch zu zeigen, dass sich die oben beschriebenen Prozesse auch in der fortschreitenden Institutionalisierung der Klimaforschung widerspiegeln. Anders als in einigen stark programmatischen Beiträgen zur sozialwissenschaftlichen Diskussion der Klimaforschung, in denen die Interdisziplinarität des Feldes und die Verknüpfung zwischen Wissenschaft und Politik im Mittelpunkt stehen (z.B. Bechmann u.a. 1996, Bechmann/ Beck 1997, Kopfmüller 1987, Bechmann/ Friedrichs 1998), soll hier die disziplinäre Dynamik der Klimaforschung im Vordergrund stehen. Die folgenden Argumente und Evidenzen stellen einen ersten Schritt dar, die kognitive und die institutionelle Entwicklung des Forschungsfeldes auch empirisch zu synchronisieren. Eine derartige Vorgehensweise ist eine Grundvoraussetzung dafür, problemorientierte Forschung im Rahmen einer allgemeinen Theorie disziplinärer Dynamik (die Interdisziplinarität und Transdisziplinarität als Teil dieser Dynamik umfasst) zu beschreiben. Die Datengewinnung beruht dabei auf einigen wenigen, exemplarisch ausgewählten Dokumenten und einer ersten, groben Internetrecherche. Auf diese Weise konnten bisher nur einzelne Indizien für eine zunehmende Institutionalisierung gewonnen werden.

In der Diskussion innerhalb der Klimaforschung sind die Aussagen verschiedener Wissenschaftler bezüglich Disziplinarität und Interdisziplinarität durchaus widersprüchlich. Eine große Einigkeit besteht sicher darüber, dass die globalen Probleme des Klimawandels eine interdisziplinäre bzw. transdisziplinäre Herangehensweise erfordern (z.B. Kowalok 1993). Häufig wird die Institutionalisierung dieser interdisziplinären Forschung gefordert, insbesondere die Einrichtung von Instituten, Studiengängen und Zeitschriften (z.B. Schneider 1992). Auf der Organisationsebene sind dies Indikatoren für eine beginnende Disziplinenbildung, auch wenn gleichzeitig eine große Offenheit für die Vertreter verschiedener Disziplinen postuliert wird. Diese Konstellation einer „interdisziplinären Disziplin“ kann auch als beginnende Integration verschiedener Forschungsansätze unter einem außerwissenschaftlich bezogenen Problembezug beschrieben werden. Diese Phase kann im Schema der von der Starnberger Gruppe aufgestellten Kriterien als präparadigmatische Phase betrachtet werden. In einigen

Lehrbüchern wird die Klimaforschung so als, wenn auch junge, Disziplin oder gar als neue Wissenschaft (Mégie 1989)<sup>17</sup> bezeichnet.

Eine eindeutig disziplinäre Beschreibung der Klimaforschung liefert der Report des *Board on Atmospheric Sciences and Climate* (BASC) innerhalb des *National Research Councils* (NRC) dar (BASC 1998), obwohl zugleich eine intensive Zusammenarbeit mit Regierungsstellen und der Industrie programmatisch eingefordert wird. In den einzelnen Kapiteln werden *Atmospheric Physics Research*, *Atmospheric Chemistry Research*, *Atmospheric Dynamics and Weather Forecasting Research* und *Upper Atmosphere and Near-Earth Space Research* als Subdisziplinen der Klimaforschung behandelt.

Häufig wird die Ineffektivität der Ansiedlung von Forschung in *mission-oriented agencies* beklagt und eine an den Universitäten angesiedelte Grundlagenforschung frei von politischem Druck gefordert. Kritisiert wird dabei auch, dass ein großer Teil der wissenschaftlichen Kapazität mit der Erstellung kurzfristiger Berichte befasst ist und die langfristige Forschung vernachlässigt wird (Broecker 1987)<sup>18</sup>. Derartige Einschätzungen deuten einerseits auf ein Unbehagen einiger Wissenschaftler an der internationalen, eng mit verschiedenen politisch beeinflussten Institutionen verknüpften Klimaforschung hin, zeigen aber auch, dass es in der *scientific community* ein Bestreben nach einer autonomen, *curiosity-driven* Forschung selbst im Zusammenhang mit ökologischen Problemen besteht. Wie auch immer man die Folgen solchen Unbehagens einschätzen mag, sie reflektieren die Spannungen, die an den Schnittstellen der strukturellen Kopplung von Wissenschaft und Politik entstehen. Diese Schnittstellen sind aber bei Forschung, die einer politisch aufgeladenen Problemorientierung entspringt, unentbehrliche Organisationen des Leistungsaustauschs zwischen Wissenschaft und Politik und zugleich Orte des dauerhaften *boundary work* zwischen den beteiligten Funktionssystemen.

---

<sup>17</sup> So zum Beispiel Mégie (der sicherlich prominenteste Vertreter der französischen Ozonforschung) im Vorwort seines Lehrbuches zum Ozon in der Atmosphäre (1989: 23): "Lange Zeit war die Erforschung der Atmosphäre aufgeteilt, es gab Spezialisten der hohen Atmosphäre, Meteorologen und Chemiker, die nebeneinanderher, aber kaum zusammenarbeiteten. Im Verlauf der letzten 30 Jahre hat die genaue quantitative Beschreibung der Vorgänge, die das Gleichgewicht der irdischen Umgebung steuern, den ständigen Dialog zwischen Atmosphärenphysikern, Ozeanografen, Biologen, Hydrologen und Geophysikern erforderlich gemacht. Eine neue Wissenschaft der Umwelt, die ihre Grundlage in der Notwendigkeit hat, diesen Planeten Erde auf dem wir leben, zu verstehen und seine Entwicklung unter der Einwirkung des Menschen vorausszusehen, scheint im Entstehen."

<sup>18</sup> Eine ähnliche Einschätzung wurde in einer informellen Befragung auf dem NATO ASI *Advanced Research Workshop on Stratospheric Ozone Depletion/ UV-B Radiation in the Biosphere* in Gainesville, Florida (14.-18. Juni 1993) geäußert, die im Anhang der *Proceedings* veröffentlicht sind: "There is too much of continual drive to bring together issues of research assessment and regulatory needs. What we need is CURIOSITY-DRIVEN [Hervorhebung im Original] science." (Biggs/ Joyner 1993: 353).

## II.

Organisationen, wie die von der WMO und UNEP initiierten *Assessment Panels of Ozone Depletion*<sup>19</sup>, führen selbst keine Forschung durch, sondern dienen der Zusammenfassung des aktuellen Forschungsstandes auf der Basis vorhandener oder speziell angeforderter Arbeiten. Sie sind somit zwischen der Wissenschaft und der Politik angesiedelte *boundary organizations*. Bei der Analyse dieser Organisationen wird häufig auf ihre politischen Elemente verwiesen. Weniger untersucht wurde dagegen bisher, wie gut die *Assessment Panels* die relevante *scientific community* repräsentieren und wie die *Assessment Reports* von der Wissenschaft selbst beobachtet werden. Ganz im Sinne der These von der Auflösung disziplinärer Grenzen und dem Verschwinden des Unterschiedes zwischen Wissenschaft und Politik angesichts ökologischer Probleme, wird häufig die Vielzahl von Disziplinen und Institutionen innerhalb dieser unter dem Dach der UNO angesiedelten Organisationen betont. Innerhalb dieser Diskussion werden allerdings zwei wesentliche Einwände übersehen.

Erstens lösen diese Organisationen weder die Wissenschaft ab, noch fällen sie politische Entscheidungen. Wissenschaft findet nach wie vor in den entsprechenden Forschungsorganisationen statt, während die *Assessment Panels* keine eigene Forschung durchführen. Auch die politischen Entscheidungen über ökologische Probleme obliegen den bestehenden politischen Organisationen. Daher können die *Assessment Panels* nicht ohne weiteres als Indiz für die Veränderung dieser Organisationen herangezogen werden. Sie treten vielmehr als eine neue Organisationsform hinzu, die sich struktureller Kopplung zwischen dem politischen und dem wissenschaftlichen System verdanken und reziproke Leistungsströme kanalisieren sollen. Welche Folgen das für die bestehenden Organisationen hat, bedarf einer tiefgreifenden Analyse. Unsere These wäre, dass sich die klassischen Organisationen dem beobachtbaren Bedarf an Expertise (Wissenschaft) oder der Lösbarkeit von Problemen (Politik) anpassen. Für die Wissenschaft soll hier nachgewiesen werden, dass es zu einer institutionellen Anpassung (u.a. durch Disziplinenbildungsprozesse), nicht aber zu einer Auflösung bestehender Organisationsformen kommt.

Ein zweiter Einwand ergibt sich, wenn man sich die interne Struktur der *Assessment Panels* und das Verfahren ihrer Erstellung näher anschaut. Dabei wird deutlich, dass die disziplinären Grenzen in der Struktur der *Assessment Panels* nicht verschwinden, sondern reproduziert werden. Dies gilt ebenfalls für die Grenze zwischen Wissenschaft und Politik, die vor allem durch die mehrstufigen Verfahren der *Assessment*-Prozesse aufrecht erhalten wird.

---

<sup>19</sup> Ähnliches gilt auch für das *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC).

Bezüglich des Problems der anthropogenen Ozonzerstörung existieren unter dem Dach der UNEP und der WMO drei *Assessment Panels*: das *Scientific Assessment Panel*, das *Environmental Effects Panel* und ein Panel, das sich mit den Folgen für *Technology and Economics* befasst (Ein Organigramm des internationalen Ozonregimes unter dem Dach von WMO und UNEP findet sich in UNEP 2000: 12). Für unsere These ist entscheidend, dass diese unabhängig voneinander arbeiten und unabhängig voneinander *Assessment Reports* produzieren. Unabhängigkeit bedeutet hier, dass an diesen jeweils verschiedene *scientific communities* beteiligt sind und der *peer review* innerhalb dieser Panels stattfindet. In dieser Struktur werden selbst die klimatischen Prozesse und die Auswirkungen auf die Umwelt (z.B. Hautkrebs und Genveränderungen aufgrund von UV-B-Strahlung) in getrennten *Assessment Panels* behandelt(!). Zwar sind auch Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler an der wissenschaftlichen Einschätzung der Folgen der Ozonzerstörung beteiligt, aber gerade nicht im *Scientific Assessment Panel* oder im *Environmental Effects Panel*.<sup>20</sup>

Die strukturelle Kopplung von Wissenschaft und Politik erfolgt in den *Assessments Panel* dadurch, dass die Zusammenfassung des Forschungsstandes durch ein politisches Verfahren organisiert wird. Ein Zeichen dafür ist das mehrstufige *Procedere*, das gerade die politische Unabhängigkeit der wissenschaftlichen Einschätzung sicherstellen soll, die wiederum eine Voraussetzung dafür ist, dass Politiker die Ergebnisse als nicht interessegeleitet beobachten können. Erst auf der Basis der wissenschaftlichen Berichte (*scientific basis*) werden die *Executive Summaries* erstellt. Die wissenschaftliche Basis dieser *Assessment Reports* wird nach (leicht modifizierten) Regeln der in den Wissenschaften üblichen *peer review* erstellt.<sup>21</sup> Auch wenn die Zusammensetzung der *peers* zu einem nicht unerheblichen Teil durch das politische Verfahren bestimmt wird, ist, wie wir weiter unten zeigen werden, die internationale Ozonforschung gut repräsentiert. Erst die *Executive Summaries* bzw. die *Summaries for Policy Makers* und damit die Empfehlungen an die Politik werden durch eine zeilenweise Abstimmung durch Regierungsvertreter angenommen. Entscheidend ist dabei, dass der wissenschaftliche Teil der *Assessment Reports* ebenfalls veröffentlicht wird und damit einem grundlegenden Leistungsmerkmal von Wissenschaft, Publizität der Forschung, Rechnung getragen wird<sup>22</sup>.

---

<sup>20</sup> Im Falle der Einschätzung des globalen Klimawandels durch das IPCC werden verschiedene Problembereiche in verschiedenen *work groups* behandelt. Man beachte auch die Unterscheidung zwischen Klimaforschung und Klimawirkungsforschung (zur Konzeption der Klimawirkungsforschung s. Friedrichs/Bechmann 1997).

<sup>21</sup> Ein Unterschied zu dem bei den meisten wissenschaftlichen Zeitschriften üblichen Verfahren besteht allerdings darin, dass diese *peer review* nicht blind erfolgt, sondern sowohl die Autoren als auch die *reviewer* bekannt sind. Ein Versuch der Kompensation besteht aber darin, dass die Zahl der *reviewer* erheblich höher als bei wissenschaftliche Zeitschriften ist (Zur Diskussion der Wissenschaftlichkeit bezüglich *self-governance* und *peer review* im Fall des ähnlich organisierten IPCC s. Edwards/ Schneider 2001).

<sup>22</sup> Als weiterer Zwischenschritt lassen sich die *Technical Summaries* betrachten.

Sicher sind die Wissenschaftler innerhalb dieser Konstruktionen einem gewissen politischen Druck ausgesetzt, erfolgreiche politische Eingriffe in den wissenschaftlichen Teil der Berichte werden aber als Scheitern dieses Verfahrens gewertet.<sup>23</sup>

Die Zusammenfassung des jeweils aktuellen Forschungsstandes kann als (wenn auch politisch initiiertes) Versuch der Schließung beschrieben werden. Politische Regulierungen werden vom Konsens der relevanten *scientific community* abhängig gemacht. Entscheidend für die Wissenschaften ist aber, dass dieser Konsens auch wissenschaftsintern als anschlussfähig gilt. Damit unterscheiden sich diese *assessments* wesentlich von herkömmlichen Expertisen. Als Folge der politisch terminierten Darstellung des als gesichert geltenden Wissens, die die Beendigung innerwissenschaftlicher Kontroversen nicht abwarten kann, zeigt sich, dass die wissenschaftliche Unsicherheit explizit gemacht werden muss. Auf diese Weise werden Unsicherheit und Nichtwissen paradoxerweise (zeitweilig) zu gesichertem Wissen. Dennoch bleiben auch diese in der problemorientierten Forschung explizit gemachten (neuen?) Formen des Wissens an beobachtbare *scientific communities* gebunden und stehen somit nicht im Gegensatz zu einer disziplinären Dynamik. Da die politischen Regulierungen von beobachtbaren oder gar politisch angeregten Schließungsprozessen abhängig gemacht werden, ist eine Eingrenzung der relevanten Disziplinen und Experten, die als Träger dieses Konsenses beobachtet werden können, unabdingbar.

Der in den *Assessment*-Prozessen erreichte Konsens wirkt auch auf die Wissenschaft selbst zurück. So gelten die *Assessment Reports* als wissenschaftlich zitierfähig und dienen in vielen Einführungsseminaren als Grundlagentexte. Betrachtet man die Webseiten vieler vor allem auch junger Wissenschaftler, so ist ersichtlich, dass die Mitarbeit in diesen *Assessment Panels* sehr reputationsträchtig ist. Beschreibt man Wissenschaft als Kommunikationssystem, dessen Selbstreferenz auf wiederholten Schließungsprozeduren beruht, müssen die *Assessment Reports* als Ergebnisse wissenschaftlicher Kommunikation betrachtet werden, auch wenn in diesem Rahmen selbst keine Forschung stattfindet.

Zwar spiegelt die Zusammensetzung des *Scientific Assessment Panels* nur bedingt eine wissenschaftsinterne Selbstorganisation wieder, sie ist auch nicht frei von politischen Eingriffen, dennoch kann sie als unmittelbares Ergebnis der Beobachtung der verschiedenen Forschungsfelder innerhalb der Klimaforschung aufgefasst werden. Diese Beobachtung der Klimafor-

---

<sup>23</sup> Ein Zeichen dafür ist die Diskussion, die im Zusammenhang mit Änderungen während des *review*-Prozesses des 8. Kapitels des *Second Assessment Report* (SAR) des IPCC aufkam (s. Edwards/Schneider 2001, *Nature* 412, 2000: 112).

schung kann als genuine Aufgabe dieser zwischen Wissenschaft und Politik angesiedelten Organisationen betrachtet werden. In der folgenden Analyse soll versucht werden, anhand der an diesem Prozess beteiligten Wissenschaftler Indizien für eine disziplinäre Dynamik der Klimaforschung zu gewinnen.

### III.

Die Meteorologie und später die Klimaforschung sind seit jeher durch politische Programme und durch die wechselseitige Beobachtung von Politik durch Wissenschaft geprägt. Darauf deutet auch die enge Verschmelzung von professionellen wissenschaftlichen Organisationen (wie z.B. der *International Association of Meteorological and Atmospheric Sciences*, IAMAS) und der WMO hin. Lässt sich die Mehrzahl der an den *Scientific Assessment Reports of Ozone Depletion* beteiligten Wissenschaftler als Vertreter einer disziplinären Wissenschaft beschreiben, kann das als Indiz dafür gelten, dass die Zusammensetzung der *Assessment Panels* tatsächlich als Ergebnis der Beobachtung disziplinärer Wissenschaft durch diese Organisationen betrachtet werden kann.

Um diese Behauptungen zu stützen ist die Frage zu beantworten, inwieweit die an den *Assessment Reports* beteiligten Wissenschaftler auch innerhalb der Universitäten und anderer Forschungsinstitutionen den Stand der aktuellen Forschung repräsentieren. Dazu kann die Teilnahme an Kongressen, die Publikation von relevanten Aufsätzen oder auch die Mitgliedschaft in professionellen Organisationen herangezogen werden.

Betrachtet man so zum Beispiel die seit 1997 in *Nature* erschienen Artikel, die unter der Eingabe des Stichwortes *ozone* auf der Homepage dieser Zeitschrift zu finden sind und sich auf die Klimaforschung beziehen, so sind 34 der 71 Artikel (48%) unter der Beteiligung mindestens eines Autors entstanden, der auch an den *Scientific Assessments of Ozone Depletion* beteiligt war.<sup>24</sup> Dies ist ein erster Hinweis auf eine starke Verschränkung der Forschungsfronten mit dem *Assessment*-Prozess.

Die für die wissenschaftliche Ozonforschung relevante professionelle Organisation innerhalb der *International Union of Geodesy and Geophysics* (IUGG) ist die *International Ozone Commission* (IO<sub>3</sub>C). Dieses Gremium geht bereits auf die ersten Ozonkonferenzen zurück und wurde 1948 formal gegründet, einem Zeitpunkt zu dem die Ozonforschung als ein *curiosity driven* Spezialgebiet der Meteorologie gelten kann. So wurden auf einem ersten Treffen 1954

---

<sup>24</sup> Ausgewertet wurden die Rubriken *Letters to Nature*, *News and Views*, *Brief Communication*, *Scientific Correspondence*, *Article* und *Concepts* im Zeitraum von 1997 bis April 2002.

in Rom gerade einmal 15 Arbeiten präsentiert (18 veröffentlicht)<sup>25</sup>. An den letzten von der IO<sub>3</sub>C veranstalteten Konferenzen (1996 in L'Aquila und 2000 in Sapporo) präsentierten jeweils über 500 Wissenschaftler hunderte von *papers*. Die *International Ozone Commission* setzt sich aus 30 Mitgliedern zusammen, die auf den alle vier Jahre stattfindenden Ozonkonferenzen gewählt werden. Betrachtet man die 87 seit 1988 (dem Zeitpunkt der Institutionalisierung des *Panels of Ozone Depletion* in der Folge des Protokolls von Montreal) in das Gremien gewählten Wissenschaftler, zeigt sich, dass 58 (67%) von ihnen auch an den *Assessment Reports of Ozone Depletion* beteiligt waren.

#### IV.

Ein empirisches Kriterium zur Identifizierung einer Disziplin ist neben dem Vorhandensein einer stabilen, von außen wahrnehmbaren *scientific community* der Grad der Institutionalisierung eines Forschungsfeldes. Eine fortgeschrittene Institutionalisierung erhöht die Wahrscheinlichkeit dafür, dass weitere Forschung und auch zukünftige interdisziplinäre Projekte angeschlossen werden können. Mit der von uns hier durchgeführten ersten explorativen Internet-Recherche ließen sich vor allem institutionelle Indizien für eine disziplinäre Dynamik gewinnen.

In einem ersten Schritt wurde untersucht, wie sich die organisatorische Anbindung der an den *Assessment Reports* beteiligten Wissenschaftler im Lauf der Zeit wandelt. Dazu wurden vier Phasen des wissenschaftlichen *Assessment* der Ozonproblematik unterschieden: die Phase des *Climate Impact Assessment Panel* (CIAP, Bsp. 1972), die des *Ozone Trends Panel* (OTP, Bsp. 1979), der Zeitpunkt nach der Verabschiedung des Montrealer Protokolls (1988) und die Phase des *Assessment Panel of Ozone Depletion* im Rahmen der WMO und der UNEP (Bsp. 1998). Die Auswahl der herangezogenen *Assessments* ist aufgrund der Verfügbarkeit etwas zufällig und beispielhaft. Dennoch wurde versucht solche auszuwerten, die sich zeitlich nah an wichtigen Ereignissen der Ozondebatte bzw. FCKW-Regulierung befinden, die den jeweiligen wissenschaftlichen Stand möglichst umfassend darstellen und an denen eine große Breite relevanter Institutionen beteiligt war.<sup>26</sup> Auch wenn die Vergleichbarkeit aufgrund abwei-

---

<sup>25</sup> vgl. <http://ioc.atmos.uiuc.edu/history.php>

<sup>26</sup> Aus diesem Grunde wurde zum Beispiel die für die ersten US-amerikanischen FCKW-Regulierungen 1978 oft als entscheidend betrachteten (s. u.a. Bastian 1982) Reports der *Federal Task Force on Inadvertent Modification of the Stratosphere* (IMOS) nicht berücksichtigt, weil diese unmittelbar der Vorbereitung der gesetzlichen Regelungen dienten und vor allem Wissenschaftler aus Regierungsorganisationen, nicht aber die chemische Industrie einbezog. Ebenfalls nicht berücksichtigt wurden die Einschätzungen der *National Academy of Science* (NAS).

chender Verfahrensweisen bei der Auswahl der für relevant gehaltenen Experten sicher etwas eingeschränkt ist, lassen sich doch einige grobe Tendenzen erkennen.

Besonders deutlich ist der Kontextwechsel des Problems einer möglichen anthropogenen Schädigung der Stratosphäre in den siebziger Jahren zu sehen. So waren nur 20% der Teilnehmer an der *2nd Conference on the CIAP* im Jahre 1972 an Universitäten beschäftigt. Weitere 13% kamen aus Forschungsinstituten, die nicht unmittelbar dem Militär oder der Luftfahrtindustrie zuzurechnen waren. Weiterhin können die am *National Center on Atmospheric Research* (NCAR) beschäftigten Wissenschaftler dieser Gruppe zugerechnet werden, da diese Einrichtung 1960 in der Folge der Kooperation amerikanischer Universitäten gegründet wurde und die gemeinsame Infrastruktur (vor allem Großrechner, aber auch Stratosphärenballons und Flugzeuge) der universitären Klimaforschung beherbergt. Diese drei Bereiche kann man als klassisch institutionalisierte Forschung betrachten. Besonders hoch war im problembezogenen Kontext des CIAP der Anteil der Vertreter der US-amerikanischen Regierung (insbesondere *Department of Transportation*, unter dessen Dach das CIAP angesiedelt war), von Luftfahrtindustrie und Militär (insbesondere *Air Force*, USAF).

Tabelle 1) Organisatorische Anbindung der an verschiedenen *Assessment Reports* (Beispiele für die entsprechende Phase) beteiligten Wissenschaftlern in wichtigen Etappen der Ozonforschung (Vercodung siehe Anhang)

in %	<i>2<sup>nd</sup> Conference on the CIAP 1972 (Teilnehmer)</i>	<i>The Stratosphere: Present and Future 1979 (Contributors)</i>	<i>Report of the International Ozone Trend Panel 1988 (Contributors)</i>	<i>Scientific Assessment of Ozone Depletion 1998 (Contributors and Reviewer)</i>
Universitäten	20	30	36	31
NCAR	2	3	5	4
öffentliche Forschungsinstitute	13	13	10	30
NASA	4	27	20	10
NOAA	4	13	16	10
Meteorologische Institute	2	1	2	6
Instrumente- und Softwarehersteller	5	-	3	3
Private Forschungsinstitute	5	4	4	3
pol. Organisationen, Regierungen, UN-Organisationen	15	5	3	2
Militär	9	-	-	-
FCKW-Industrie	-	1	2	2
Luftfahrtindustrie	15	-	1	-
Sonstiges	6	-	-	-
N	100 (309)	100 (98)	100 (109)	100 (304)

Datenquellen: CIAP 1972, NASA 1979, WMO 1988, WMO 1998

Der Bericht von 1979 (NASA 1979) spiegelt die Zusammensetzung der *scientific community* wieder, wie sie im Zuge des Verbots von FCKW in Spraydosen innerhalb der USA entstanden ist. Mit der Rekontextualisierung des Problems durch die Molina-Rowland-Hypothese über die ozonzerstörende Wirkung von FCKW nahm die Bedeutung universitärer Forschung zu. Einen noch größeren Bedeutungszuwachs verzeichneten aber die Wissenschaftler der NASA und der *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Damit spiegeln die Zahlen die Forschungsorganisation innerhalb von Regierungsorganisationen wieder, wie sie im Zuge des *Clean Air Act Amendment* (CAAA) von 1977 geregelt wurde (s. Block 1982).

Der Bericht des *International Ozone Trends Panel* von 1988 spiegelt die Zusammensetzung des Feldes nach der Beendigung der Kontroverse über eine chemische oder dynamische Erklärung des antarktischen Ozonlochs wider. Der Einfluss von NASA und NOAA ging vor allem im Zuge der Internationalisierung des Forschungsfeldes (s. Grundmann 2001: 111) etwas zurück, während der Anteil universitärer Forschung weiter anstieg. In der Folge des Protokolls von Montreal nimmt der Anteil der Forscher, die in nicht-universitären Instituten arbeiten weiter zu, ein Effekt, der sicher auch darauf zurückgeht, dass einige wichtige Unterzeichnerstaaten erst jetzt mit dem Aufbau einer Ozonforschung und entsprechender Institute begannen und die Dominanz der US-Forschung (s. Benedick 1991: 29) etwas zurückging.

Waren 1972 nur 35% der am CIAP beteiligten Wissenschaftler an Universitäten oder in dem Militär und der Regierung nicht unmittelbar unterstellten Instituten beschäftigt, waren es unter den am *Scientific Assessment of Ozone Depletion 1998* Beteiligten mit 65% die Mehrheit der beteiligten Wissenschaftler. Der Anteil ist sogar noch höher, wenn man das am *California Institute of Technology* (Caltech) angesiedelte *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) als universitäre Forschung betrachten würde. Da es sich aber hier um in erster Linie von der NASA finanzierte und in Auftrag gegebene Forschung handelt, wurde diese hybride Struktur in der obigen Tabelle der NASA zugeschlagen.

Diese erste Aufstellung gibt somit einige Hinweise darauf, dass die Förderung der Ozonforschung in der USA und die Internationalisierung in der Folge der Wiener Konvention bzw. des Montrealer Protokolls zu einem Wachstum des Feldes führten, welches den Gesamtanteil von Universitäten und Forschungsinstituten erhöhte.

Im Folgenden soll die disziplinäre Ausrichtungen dieser Organisationen, besonders der universitären Forschung, näher beleuchtet werden. In Tabelle 2 wird die Disziplinenzugehörigkeit der an den *Assessments of Ozone Depletion* beteiligten Forscher über die Bezeichnung von Lehrstühlen und Abteilungen von Forschungsinstituten erschlossen. Die Daten wurden

gewonnen, indem die in den Anhängen der *Assessment Reports on Ozone Depletion* aufgelisteten Personen und Institutionen im Internet aufgesucht wurden. Die mit den aufgelisteten Personen verbundenen Abteilungen und Positionen wurden dann nach dem Vorkommen von den in Tabelle zu findenden Begriffen vercodet.

Dabei zeigt sich, dass 62% der an Universitäten (oder NCAR) beschäftigten Wissenschaftler Lehrstühlen und Instituten zugerechnet werden, deren Bezeichnung sich unmittelbar auf die Klimaforschung bezieht. In nichtuniversitären Instituten sind es 44%, wahrscheinlich liegt der tatsächliche Wert noch höher, da es nicht gelungen ist, für alle dieser Institute eine genaue Aufschlüsselung der Abteilungen zu finden.

Tabelle 2) Bezeichnung von Lehrstühlen, Abteilungen und Forschungseinrichtungen, denen die an den *Assessment Reports on Ozone Depletion* 1994 und 1998 beteiligten Wissenschaftler zugeordnet sind (Vorkommen von Wörtern in den genauen Bezeichnungen, Stand 2002)

in %	universitäre Forschung/ NCAR	nichtuniversi- täre Forschung (außer Meteo- rologie)	meteo- rologische Institute	NASA, NOAA	Sonstige
<b>Klimaforschung</b>					
”Climate”/ ”Atmospheric”	22	21	13	20	14
”Atmospheric Chemistry”/ ”Ozone”/ ”Stratosphere”/ ”Troposphere”	22	17	3	11	8
”Atmospheric Physics”	7	3	-	-	-
”Earth Sciences”	6	1	-	1	-
Meteorology	5	2	77	1	-
<b>gesamt</b>	<b>62</b>	<b>44</b>	<b>93</b>	<b>34</b>	<b>22</b>
<b>andere „umweltnahe“ Disziplinen</b>					
Aeronomy, Oceanography	-	13	-	21	-
Geophysics, Geochemistry	2	2	-	4	-
”Environment”	2	4	-	1	14
<b>gesamt</b>	<b>4</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>26</b>	<b>14</b>
<b>traditionelle Disziplinen</b> (Lehrstühle und Institutionen ohne direkten Bezug auf die Klimaforschung)					
Physics/ Astrophysics/ Astronomy	4	3	-	-	3
Biology	1	2	-	-	-
Chemistry	4	4	-	-	-
Engineering	1	-	-	-	-
Computer Sciences	1	-	-	-	8
<b>gesamt</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>11</b>
Sonstiges/ Nicht zuordenbar	<b>22</b>	<b>29</b>	<b>7</b>	<b>40</b>	<b>53</b>
N	100 <b>(149)</b>	100 <b>(146)</b>	100 <b>(31)</b>	100 <b>(75)</b>	100 <b>(37)</b>

Datenquellen: WMO 1994, 1998, Codierung siehe Anhang 1

Die stärkste Spezialdisziplin im Zusammenhang mit der Ozonforschung ist die atmosphärische Chemie. Von den an Universitäten angestellten Wissenschaftlern arbeiten 22% an Lehrstühlen bzw. Instituten, deren Bezeichnung unmittelbar auf die mit der Ozonkontroverse verbundenen Forschung verweist. Ebenso viele Wissenschaftler arbeiten an Lehrstühlen und Instituten, die sich allgemein auf die Klimaforschung beziehen. Etwas weniger dagegen beziehen sich auf die atmosphärische Physik. Die Zusammensetzung der Wissenschaftler an nicht-universitären Instituten ergibt ein ähnliches Bild.

Weniger eindeutig ist das Bild für die anderen Formen der Wissenschaftsorganisation. Zwar ist dort ebenfalls ein nicht unerheblicher Anteil der Wissenschaftler an Instituten beschäftigt, deren Bezeichnung explizit auf die Klimaforschung verweist, doch war es hier schwieriger, entsprechende Daten zu gewinnen (hoher Anteil "Sonstiges/Nicht zuordenbar").

Für die universitäre Klimaforschung müsste man in einer Folgestudie genauer untersuchen, welchen Fakultäten bzw. *departments* die entsprechenden Lehrstühle zugeordnet sind, um die skizzierten Prozesse rekonstruieren zu können. Ein Lehrstuhl für atmosphärische Chemie könnte so zum Beispiel sowohl in einem Institut für Chemie, aber auch in einem Institut für Klimaforschung angesiedelt sein. Unsere These über eine fortschreitende disziplinäre Institutionalisierung der Klimaforschung würde implizieren, dass mehr und mehr Lehrstühle entstehen, die Instituten zugeordnet sind, die eine Bezeichnung mit Bezug auf die Klimaforschung tragen. Tatsächlich lassen sich mehr und mehr Universitäten finden, in denen sich *departments* mit Bezug auf Umweltprobleme oder *Earth System Science* finden.

Bei der Erhebung von quantifizierbaren Daten stößt man schnell an die Grenzen des Internets, da die Informationen nicht standardisiert sind und nur für einen relativ kurzen Zeitraum vorliegen. Dennoch haben wir im Rahmen der explorativen Studie versucht, auf den Homepages der an Universitäten beschäftigten Wissenschaftler Daten über ihre Karriere zu gewinnen. Für knapp die Hälfte (N=70) der in Tabelle 3 aufgelisteten Universitätswissenschaftler konnte das Fach des letzten Studienabschlusses vor der Promotion, das Promotionsfach und bei einigen der Zeitpunkt der Promotion ermittelt werden. Bei Personen, die nicht an einer Universität beschäftigt waren, sind die entsprechenden Daten im Internet kaum zu beschaffen. Trotz diesen starken Einschränkungen bezüglich der Repräsentativität lassen sich einige Tendenzen erkennen, die man im Rahmen einer repräsentativen Befragung als Ausgangsthese zum Entwurf eines Forschungsdesigns heranziehen könnte. Die Untersuchung des disziplinären Verlaufs von Karrieren, kann Aufschlüsse über die Entstehung eines Faches liefern, zumal eine

gemeinsame wissenschaftliche Biographie ein identitätsbildender Bestandteil von *scientific communities* ist.

Aus unserer kleinen nicht-repräsentativen Stichprobe ist zu erkennen (s. Tabelle 3), dass die meisten der Wissenschaftler nicht aus der Klimaforschung stammen, sondern erst im Laufe ihrer wissenschaftlichen Spezialisierung in dieses Feld hineingelangten. Die typischen Herkunftsdisziplinen sind Chemie, Physik und Meteorologie. Die unterschiedlichen Erklärungsansätze dieser Disziplinen strukturierten, wie bereits beschrieben, wesentlich die Kontroverse über die Ursachen des Ozonlochs.

Tabelle 3) Zusammensetzung der Studienabschlüsse, Promotionsfächer und Denominationen der Lehrstühle bzw. Institute der an Universitäten beschäftigten Wissenschaftler (nur diejenigen deren Daten zu beschaffen waren)

in %	Fach Studienabschluss	Fach Promotion	aktuelle Denomination
Physics	24	29	3
Chemistry	26	16	6
Mathematics	6	4	-
Engineering	11	4	-
<b>Atmospheric Chemistry</b>			
<b>Atmospheric Physics</b>	<b>11</b>	<b>19</b>	<b>50</b>
<b>Atmospheric Sciences</b>			
Meteorology	10	10	2
Sonstiges	16	10	39
N	100 (70)	100 (70)	100 (70)

Datenquelle: Internetrecherche, Suche von Namen und Institutionen mit [www.google.de](http://www.google.de)

Der Anteil der Wissenschaftler, die ihre Promotion innerhalb der Klimaforschung ablegten, ist bereits höher. In Tabelle 3 wurde nicht das Promotionsthema zur Einordnung herangezogen, hier dürften die klimarelevanten Arbeiten einen erheblich höheren Anteil einnehmen, sondern die explizite Fachbezeichnung des Dokortitels (z.B. Ph.D. in *Atmospheric Sciences*). Betrachtet man die Denomination der Lehrstühle, an denen die Wissenschaftler zum jetzigen Zeitpunkt beschäftigt sind, entspricht der Anteil der der Klimaforschung gewidmeten Lehrstühle in etwa dem Bild, das bereits aus Tabelle 2 gewonnen werden konnte. Da die Institutionalisierung einer Disziplin Zeit in Anspruch nimmt, kann diese Verschiebung als Anzeichen für diesen Prozess der Disziplinenbildung gesehen werden. Dabei müssten sich verschiedene Generationen von Wissenschaftlern in ihren Karrieren unterscheiden. Leider reichen die vorliegenden Daten nicht für eine detailliertere Analyse. Doch vergleicht man die bis 1980 promovierten Wissenschaftler mit denen, die nach 1980 promovierten (Tabelle 4), ist zu vermuten, dass der Anteil der explizit im Bereich der Klimaforschung Promovierenden tatsächlich

zunimmt. Dies wäre ein untrügliches Zeichen für eine disziplinäre Etablierung der Klimaforschung, die sich auch in einer Vielzahl von Studiengängen an US-amerikanischen und kanadischen Universitäten widerspiegelt.<sup>27</sup>

Tabelle 4) Promotionsfächer der an Universitäten beschäftigten Wissenschaftler, deren Lebensläufe im Internet zu finden waren (N=70)

n (%)	bis 1980	nach 1980	ohne Jahr
Physics	9 (35)	9 (31)	2 (13)
Chemistry	5 (19)	6 (21)	6 (40)
Mathematics	1 (4)	1 (3)	1 (7)
Engineering	2 (8)	1 (3)	-
<b>Atmospheric Chemistry</b>			
<b>Atmospheric Physics</b>	<b>2 (8)</b>	<b>7 (24)</b>	<b>4 (27)</b>
<b>Atmospheric Sciences</b>			
Meteorology	4 (15)	2 (7)	-
Sonstiges	3 (12)	3 (10)	2 (13)
N	26 (100)	29 (100)	15 (100)

Datenquelle: Internetrecherche, Suche von Namen und Institutionen mit [www.google.de](http://www.google.de)

Auch bei der wissenschaftlichen Einschätzung des globalen Klimawandels im Rahmen des IPCC spielt die während der Ozonkontroverse entstandene *scientific community* eine wesentliche Rolle. Tabelle 5 zeigt, dass die Wissenschaftler, die zwischen 1989 und 2002 im *Assessment Panel of Ozone Depletion* mitwirkten, im Report der *Work Group I* (WG I) des IPCC von 1995 auf das Kapitel konzentriert sind, in welchem die Auswirkungen von kosmischen Strahlungen auf das Klima behandelt werden. Die kosmische UV-Strahlung spielt eine zentrale Rolle bei den Prozessen der atmosphärischen Ozonchemie. Einerseits entsteht das Ozon in der Stratosphäre durch die Einwirkung dieser Strahlen, auf der anderen Seite sind diese auch für die Aufspaltung der FCKW und somit für die Freisetzung von Chlorryadikalen verantwortlich. Hinzu kommt die lebenswichtige UV-absorbierende Wirkung der Ozonschicht.

So kann die Kapitelstruktur der *Scientific Assessments* teilweise auch als die Reproduktion der subdisziplinären Struktur innerhalb der Klimaforschung interpretiert werden. Im IPCC *Scientific Assessment* von 2001 ist ein extra Kapitel *Atmospheric Chemistry and Greenhouse Ga-*

<sup>27</sup> In einer gemeinsamen Veröffentlichung der *American Meteorological Society* (AMS) und der *University Corporation for Atmospheric Research* sind die Studienmöglichkeiten in *Atmospheric, Oceanic, Hydrologic, and Related Sciences* aufgeführt. Demnach existierten 2000 an fast 70 Universitäten sowohl Promotions-, Master- als auch Bachelorstudiengänge (s. AMS/ UCAR 2000).

ses” eingeführt worden. Mehr als die Hälfte der Autoren und *contributors* dieses Kapitels waren zwischen 1989 und 2002 auch an den *Scientific Assessments of Ozone Depletion* beteiligt. Dieser Befund kann als Indiz dafür gelten, dass die im Zusammenhang mit der Ozonkontroverse etablierte atmosphärische Chemie auch innerhalb des IPCC als spezialisierte *scientific community* beobachtet wird. Geht man von einer Disziplin Klimaforschung aus, kann die atmosphärische Chemie als Subdisziplin beobachtet werden.

Tabelle 5) Personelle Überschneidungen zwischen dem *Scientific Assessment Panel of Ozone Depletion* 1989 bis 2002 (N=539) und dem IPCC WG 1 (1995 und 2001)

<u>Climate Change 1995</u>	<i>Lead Authors</i>	<i>Contributers</i>	Anteil (gesamt) am jeweiligen Kapitel in %
<i>Technical Summary</i>	8/28 *	-	29
<i>Chapter 1: The Climate System</i>	0/3	-	0
<i>Chapter 2: Radiative Forcing of Climate Change</i>	<b>15/26</b>	<b>27/49</b>	<b>56</b>
<i>Chapter 3: Observed Climate Variability and Change</i>	0/6	3/93	3
<i>Chapter 4: Climate Processes</i>	0/6	4/27	12
<i>Chapter 5: Climate Models – Evaluation</i>	0/10	4/66	5
<i>Chapter 6: Climate Models – Projections of Future Climate</i>	1/9	4/73	6
<i>Chapter 7: Changes in Sea Levels</i>	0/5	1/18	4
<i>Chapter 8 : Detections of Climate Change and Attribution of Causes</i>	1/4	5/31	17
<i>Chapter 9: Terrestrial Biotic Responses to Environmental Change ...</i>	0/5	1/29	3
<i>Chapter 10: Marine Biotic Responses to Environmental Change ...</i>	0/3	0/18	0
<i>Chapter 11: Advancing our Understanding</i>	0/3	-	0
<i>Reviewer</i>	46/551		8
Insgesamt haben an dem Report <i>Climate Change</i> 1995 85 Wissenschaftler mitgearbeitet, die zwischen 1989 und 2002 auch an den <i>Scientific Assessments of Ozone Depletion</i> beteiligt waren.			
<u>Climate Change 2001</u>	<i>Lead Authors</i>	<i>Contributers / Review Editors</i>	Anteil am jeweiligen Kapitel in %
<i>Technical Summary</i>	5/20	6/39	19
<i>Chapter 1: The Climate System: An overview</i>	0/2	0/2	0
<i>Chapter 2: Observed Climate Variability and Change</i>	2/10	10/145	8
<i>Chapter 3: The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide</i>	0/10	1/59	1
<i>Chapter 4: Atmospheric Chemistry and Greenhouse Gases</i>	<b>8/12</b>	<b>34/61</b>	<b>58</b>
<i>Chapter 5: Aerosols, their Direct and Indirect Effects</i>	3/11	8/49	18
<i>Chapter 6: Radiative Forcing of Climate Change</i>	<b>5/9</b>	<b>10/34</b>	<b>35</b>
<i>Chapter 7: Physical Climate Processes and Feedbacks</i>	0/11	6/58	9
<i>Chapter 8: Model Evaluation</i>	0/10	2/62	3
<i>Chapter 9: Predictions of Future Climate Change</i>	0/9	1/35	2
<i>Chapter 10: Regional Climate Information – Evaluation and Projections</i>	1/9	0/50	2
<i>Chapter 11: Changes in Sea Level</i>	1/8	1/30	5
<i>Chapter 12: Detection of Climate Change and Attribution of Causes</i>	0/6	1/30	3
<i>Chapter 13: Climate Scenario Development</i>	1/6	0/8	7
<i>Chapter 14: Advancing our Understanding</i>	0/4	0/3	0
<i>Reviewer</i>	52/639		8
Insgesamt haben an dem Report <i>Climate Change</i> 2001 111 Wissenschaftler mitgearbeitet, die zwischen 1989 und 2002 auch an den <i>Scientific Assessments of Ozone Depletion</i> beteiligt waren.			

\* Lies 8 von insgesamt 28, Datenquellen: WMO 1989, 1992, 1994, 1998, IPCC 1996, 2001

V.

Diese erste explorative Analyse der Zusammensetzung der an den *Scientific Assessments of Ozone Depletion* beteiligten Wissenschaftler, die im Wesentlichen institutionelle Aspekte der Ozon- und Klimaforschung erfasst, lässt den Versuch die Klimaforschung mit einem Ansatz zu untersuchen, der Inter- und Transdisziplinarität als Prozesse der disziplinären Dynamik beschreibt, fruchtbar erscheinen. Ein umfangreicheres Forschungsprojekt müsste es sich nun zur Aufgabe machen, diese Prozesse auch auf der Funktionsebene zu beschreiben. Dazu ist es nötig, für die disziplinäre Entwicklung wichtige Kontroversen zu rekonstruieren und mit der institutionellen Entwicklung zu synchronisieren.

In dem von uns empfohlenen Forschungsprogramm könnten darüber hinaus mit den Methoden der empirischen Sozialforschung Innenansichten der Klimaforschung gewonnen werden, die es ermöglichen würden, eine Vielzahl von Thesen bezüglich der Veränderungen von Wissenschaft angesichts einer zunehmenden politischen Inanspruchnahme wissenschaftlichen Wissens zu prüfen. Mit dieser Ergänzung könnten die bereits vorliegenden Arbeiten zum Fallbeispiel Klimaforschung im Rahmen einer Theorie wissenschaftlicher Dynamik systematisiert werden.

Repräsentative Befragungen von *scientific communities* sind relativ selten. In der wissenschaftssoziologischen Analyse von Forschungsfeldern überwiegen bibliometrische und Netzwerk-Ansätze. Dies hängt vor allem damit zusammen, dass *scientific communities* relativ schwer einzugrenzen sind und an ihren Rändern erhebliche Unschärfen aufweisen (s. hierzu Woolgar 1976). Daher gibt es Schwierigkeiten bei der Definition der Grundgesamtheiten. Im Fall der Klimaforschung ist die Definition einer Grundgesamtheit durch die Veröffentlichung der beteiligten Wissenschaftler in den Anhängen der *Scientific Assessments* gut möglich. Die Frage, wie gut die relevanten *scientific communities* durch diese *Assessment Panels* repräsentiert werden, kann dabei nicht vorentschieden, sondern muss innerhalb des vorgeschlagenen Forschungsprogramms untersucht werden. Inhalt eines Fragebogens könnten dabei Fragen zur Karriere der einzelnen Wissenschaftler, ihre Problemsicht und ihre Einstellungen bezüglich Disziplinarität und Interdisziplinarität sein. Eine entscheidende Frage ist, wie die *Assessment Panels* und vor allem ihr Verhältnis zur Politik von den beteiligten Wissenschaftlern selbst wahrgenommen werden. Auf diese Weise ließen sich verschiedene Fragestellungen zu dem durch *Assessment Panels* vermittelten Verhältnis von Wissenschaft und Politik und vor allem die Rückwirkungen auf die Wissenschaft selbst untersuchen.

Beispielsweise könnten in einer umfangreichen Studie die seit 1989 an den *Scientific Assessment Reports of Ozone Depletion* beteiligten Wissenschaftler (N=539) zu ihrer Sicht auf die Entwicklung der Klimaforschung befragt werden. Die Email-Adressen lassen sich zum größten Teil aus dem Internet gewinnen. Im Rahmen eines solchen Projektes könnte auch geprüft werden, ob sich das Internet als Medium für eine umfangreiche, standardisierte Experten-Befragung eignet.

Alternative Zugänge zur Befragung einer *scientific community* bieten die Teilnehmerlisten von wichtigen Kongressen<sup>28</sup> oder auch die in relevanten Bibliographien aufgeführten Autoren. Diese Quellen erlauben es zu untersuchen, inwiefern die an den *Assessment Reports* beteiligten Wissenschaftler für die innerwissenschaftlichen Diskussion der Klimaforschung relevant sind.

---

<sup>28</sup> Zum Beispiel ist die komplette Teilnehmerliste des XVIII *Ozone Symposium* in L'Aquila 1996 samt Kontaktadressen im Internet verfügbar. Siehe [www.aquila.infn.it/o3symp](http://www.aquila.infn.it/o3symp).

## 5. Vorläufiges Ergebnis und Vorschläge zur weiteren Forschung

Es lässt sich zeigen, dass sich die Entwicklung der Klimaforschung im Rahmen einer Theorie der disziplinären Dynamik beschreiben lässt, ohne dass dies im Widerspruch zu der beobachteten engen strukturellen Kopplung von Wissenschaft und Politik stehen muss. Allerdings konnte dies im Rahmen der Expertise nicht vollständig geleistet werden. Dies liegt neben der geringen Zeit zur Beschaffung empirischer Evidenz vor allem auch daran, dass die Ausformulierung einer Theorie der allgemeinen Wissenschaftsdynamik, die sowohl disziplinäre als auch interdisziplinäre Forschung beschreiben und erklären kann, in den letzten Jahren vernachlässigt wurde. Die Beobachtungen der Veränderungen beschränkten sich häufig auf intermediäre Organisationen, die aber nicht nur die Funktion haben, Wissenschaft in eine Grundlage politischer Entscheidung und politische Entscheidungen in Forschungsprogramme zu übersetzen, sondern auch die Abgrenzung von Wissenschaft und Politik zu sichern. Es kommt also nicht zu einer Entgrenzung von Wissenschaft und Politik, sondern zwischen diesen beiden Funktionssystemen treten auf die Übersetzung der jeweiligen Probleme spezialisierte neue Organisationsformen. Die damit verbundenen Probleme der *boundary*-Sicherung erhöhen die Komplexität wissenschaftlicher Forschung wie die politischen Entscheidungen.

Unsere Expertise ging von zwei bei Gibbons u.a. herausgestellten Merkmalen von *mode 2*-Forschung aus – Problemorientierung und Trans-/Interdisziplinarität – um am Beispiel der Ozonforschung folgende Gegenhypothesen zu prüfen. Erstens ist wissenschaftliche Forschung, auch sogenannten *mode 1*-Forschung immer problemorientiert; zweitens erfolgt wissenschaftliche Selbststeuerung stets über Disziplinen. Trans- oder Interdisziplinarität sind Stadien der disziplinären Wissenschaftsdynamik. Vor diesem Hintergrund kann auch nicht von einer Entdifferenzierung zwischen Wissenschaft und Politik die Rede sein; historisch neu ist eher die verstärkte Herausbildung von *boundary organizations*, die die Leistungsströme zwischen Wissenschaft und Politik koordinieren. Diese Behauptungen wurden an einem Fallbeispiel – der Entwicklungsdynamik der Ozonforschung – zu explizieren versucht. Im Verlaufe der jüngeren Geschichte der Ozonforschung hat sich die atmosphärische Chemie als Kerndisziplin herausgebildet, da sie Anomalien aufklären konnte, die mit den Paradigmen der klassischen Disziplinen der Klimaforschung, Meteorologie und atmosphärische Physik, nicht zu beseitigen waren. Im Verlaufe der Kontroverse zwischen den beteiligten Disziplinen waren zwei Schließungsprozesse für den Ausgang des Wissenschaftsstreites entscheidend: zunächst

die Molina/Rowland-Hypothese, durch die der Ozonverlust auf FCKW zurückgeführt werden konnte; dann der Nachweis von Chlorradikalen im antarktischen Ozonloch durch das sogenannte NOZE II-Experiment. Der erste Schließungsprozess löste die Ozonforschung aus dem dominanten meteorologischen Paradigma heraus und der zweite bestätigte die Geltung des neuen Paradigmas der atmosphärischen Chemie in einem anomalieverdächtigen Fall. Im weiteren wird in der Expertise anhand einiger, bisher nur vorläufiger Indikatoren der Nachweis zu führen versucht, dass, beginnend auch mit der disziplinären Rekonfigurierung der Ozonforschung eine neue Disziplin, Klimaforschung oder *Earth System Science*, im Entstehen begriffen ist, die die Rede von einer disziplinengesteuerten Wissenschaft zumindest an diesem in der Debatte um *mode 1* bzw. *2* -Forschung relevanten Fall rechtfertigt.

In unserer Analyse haben wir Distanz zu einer am normativen Bild der Gelehrtenrepublik orientierten Vorstellung von wissenschaftlichen Disziplinen gewahrt, wie man es auch bei Gibbons u.a. (1994) als *mode 1* noch findet. Wir behalten den Begriff der Disziplin bei, weil auch die als traditionell beobachteten Disziplinen in ähnlichen Prozessen entstanden sind. Hier sei nur an die starke Problemorientierung erinnert, die die Entwicklung zur heutigen Chemie bestimmte. Ob der Disziplinenbegriff in zukünftigen Theorien der wissenschaftlichen Dynamik eine Rolle spielen wird, muss hier offen bleiben. Sollten Disziplinen nicht mehr dieselbe Rolle bei der Selbststeuerung der Wissenschaft spielen, müssten sich alternative Strukturen herausbilden, über die wissenschaftliches Wissen von anderen Wissensformen unterschieden werden kann. Dass wissenschaftliches Wissen nicht als politisch interessegeleitet wahrgenommen wird, ist ein wichtiges Moment dafür, dass politische Regulierungen von umweltgefährdenden Substanzen durchgesetzt werden können. Daher spielen Schließungsprozesse in der Wissenschaft eine zentrale Rolle, weil sie die Anschlussfähigkeit von wissenschaftlichem Wissen sichern. Weil wissenschaftliches Wissen an identifizierbare *scientific communities* gebunden ist, kann es (nicht nur in der Wissenschaft, sondern auch in Öffentlichkeit und Politik) beobachtet werden. Denn nur so können die für interdisziplinäre Forschungsprogramme relevanten Wissensbestände herangezogen werden. Dies kann sowohl instrumentell, d.h. ohne Konsequenzen für die Herkunftsdisziplinen, erfolgen als auch beim Auftreten von Anomalien in diesen rekonstruktiven Zusammenhängen zu großen Veränderungen führen. Die oben herausgearbeiteten Indizien für eine Institutionalisierung der Klimaforschungen können als Folge dieser Prozesse angesehen werden.

Die zentrale Empfehlung, die wir aus dieser Expertise ableiten, zielt darauf ab, im Verhältnis von Politik, Wissenschaft und Gesellschaft die Eigenlogiken politischer Entscheidungs- und wissenschaftlicher Forschungsdynamiken zur Grundlage empirischer Studien über strukturel-

le Kopplungen zwischen Politik und Wissenschaft zu machen. Die Überschrift “(Neue) Formen der Wissensproduktion” verstehen wir in dem Sinne, dass an den Schnittstellen von Politik und Wissenschaft neue Formen der Organisation von Leistungsströmen zwischen diesen beiden Bereichen entstanden sind, die Folgen für die jeweilige Form der Leistungserstellung in Wissenschaft und Politik haben. Für die Wissenschaft erhöht sich durch Kontakt zur Politik vor allem der Druck, den immer stärker öffentlichen Charakters von Forschung zu reflektieren. Forschungsbedarf besteht deshalb nach unserer Auffassung erstens zu der Rolle von *boundary organizations* zwischen den Funktionssystemen der Politik und der Wissenschaft, zweitens zu der Komplexitätszunahme politischen Entscheidens unter Bedingungen hoher Wissenschaftsabhängigkeit der Entscheidungsgrundlagen im Bereich ökologischer Risiken, drittens zu der Dynamik wissenschaftlicher Wissenserzeugung unter Bedingungen politisch irritierbarer und öffentlich beobachtbarer Schließungsprozesse bei Forschungsprozessen.

## Literatur

- American Men & Women of Science 1992-1993. A Biographical Directory of Today's Leaders in Physical, Biological and Related Science.* 18<sup>th</sup> Edition, Vol. 8, Discipline Index. New Providence and New Jersey: R.R. Bowker.
- AMS/ UCAR, 2000: *Curricula 2000 In Atmospheric, Oceanic, Hydrologic and Related Sciences. Colleges and Universities in the United States and Canada.* ed. by B. Farley. erhältlich unter [www.ametsoc.org/AMS/curricula](http://www.ametsoc.org/AMS/curricula)
- Arrhenius, Svante, 1896: On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science* 41, 237-276.
- BASC, 1998: *The Atmospheric Sciences Entering the Twenty-First Century.* Washington D.C.: National Academy Press.
- Bastian, Carroll Leslie, 1982: The Formulation of Federal Policy. in: Bower and Ward: *Stratospheric Ozone and Man.* Boca Raton: CRC Press, Vol. II, 163-200.
- Bechmann Gotthard/ Beck, Silke, 1997: Zur gesellschaftlichen Wahrnehmung des anthropogenen Klimawandels und seiner möglichen Folgen. in: Jürgen Kopfmüller und Reinhard Coenen (Hg.): *Risiko Klima. Der Treibhauseffekt als Herausforderung für Wissenschaft und Politik.* Frankfurt am Main/ New York: Campus, 119-158.
- Bechmann, Gotthard/ Beck, Silke/ Friedrichs, Günter/ Kopfmüller, Jürgen/ Krings, Bettina-Johanna/ Sardemann, Gerhard, 1996: *Sozialwissenschaftliche Konzepte einer interdisziplinären Klimawirkungsforschung.* Karlsruhe: Forschungszentrum Karlsruhe
- Bechmann Gotthard/ Friedrichs, Günter, 1998: Umweltforschung zwischen Erkenntnis und Organisation. in: Achim Daschkeit und Winfried Schröder (Hg.): *Umweltforschung quergedacht: Perspektiven integrativer Umweltforschung und -lehre.* Berlin u.a.: Springer, 7-30.
- Beck, Ulrich, 1986: Risikogesellschaft. *Auf dem Weg in eine andere Moderne.* Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Benedick, Richard E., 1991: *Ozone Diplomacy. New Directions in Safeguarding the Planet.* Cambridge/London: MIT Press.
- Bender, Gerd (Hg.), 2000: *Neue Formen der Wissenserzeugung.* Frankfurt am Main: Campus.
- Biggs, R. Hilton/ Joyner, Margaret E.B. Joyner (eds.), 1993: *Stratospheric Ozone Depletion/ UV-B Radiation in the Biosphere.* Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop, Gainesville, Florida, June 14–18, 1993, Berlin/ Heidelberg/ New York: Springer-Verlag.
- Birrer, Frans, 2001: Combination, hybridisation and fusion of knowledge modes. in: Gerd Bender (Hg.): *Neue Formen der Wissenserzeugung.* Frankfurt am Main: Campus, 57-68.
- Block, B. Peter, 1982: Current Government Research Related to Ozone. in: Bower and Ward: *Stratospheric Ozone and Man.* Boca Raton: CRC Press, Vol. II, 137-147.
- Böhme, Gernot/ van den Daele, Wolfgang/ Krohn, Wolfgang, 1972: Alternativen in der Wissenschaft. *Zeitschrift für Soziologie* 1: 302-316.

- Böhme, Gernot, 1978: Autonomisierung und Finalisierung. in: Gernot Böhme u.a.: *Die gesellschaftliche Orientierung des wissenschaftlichen Fortschritts. Starnberger Studien I.* Frankfurt am Main: Suhrkamp, 69-130.
- Böhme, Gernot/ van den Daele, Wolfgang/ Hohlfeld, Rainer/ Krohn, Wolfgang, Schäfer, Wolf, Spengler, Tilman, 1978a: *Die gesellschaftliche Orientierung des wissenschaftlichen Fortschritts. Starnberger Studien I.* Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Böhme, Gernot/ van den Daele, Wolfgang/ Hohlfeld, Rainer, 1978b: Finalisierung revisited. in: Gernot Böhme u.a.: *Die gesellschaftliche Orientierung des wissenschaftlichen Fortschritts. Starnberger Studien I.* Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 195-250.
- Bösch, Stefan, 2000: *Risikogenese: Prozesse gesellschaftlicher Gefahrenwahrnehmung: FCKW, DDT, Dioxin und Ökologische Chemie.* Opladen: Leske + Budrich.
- Bonß, W./ Hohlfeld, R./ Kollek, R. (Hg.), 1993: *Wissenschaft als Kontext – Kontexte der Wissenschaft.* Hamburg: Junius.
- Bower, Frank A./ Ward, Richard. B. (eds.), 1982: *Stratospheric Ozone and Man.* 2 Bde., Boca Raton: CRC Press.
- Breitmeier, H., 1996: *Wie entstehen globale Umweltregime?* Opladen: Leske + Budrich.
- Broecker, Wallace S., 1987: Unpleasant surprises in the greenhouse? *Nature* 328: 123-126
- Brooks, Harvey, 1982: Stratospheric Ozone, the Science Community and Public Policy. in: Frank A. Bower/ Richard B. Ward (eds.): *Stratospheric Ozone and Man.* Volume II, 201-216.
- CIAP, 1972: *Proceedings of the Second Conference on the Climatic Impact Assessment Program, November 14-17, 1972*, ed. by A. J. Broderick.
- Christie, Maureen, 2001: *The Ozone Layer. A Philosophy of Science Perspective.* Cambridge: Cambridge University Press.
- Collins, H.M., 1985: *Changing Order, Replication and Induction in Scientific Practice.* London: Sage.
- Crutzen, Paul J., (1996): Mein Leben mit O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub> und anderen YZO<sub>x</sub>-Verbindungen (Nobel-Vortrag). *Angewandte Chemie* 108: 1878-1898.
- Daschkeit, Achim, 1998: Umweltforschung interdisziplinär – notwendig, aber unmöglich? in: Achim Daschkeit/ Winfried Schröder (Hg.) *Umweltforschung quergedacht: Perspektiven integrativer Umweltforschung und -lehre.* Berlin u.a: Springer, 51-73.
- Daschkeit, Achim/ Schröder Winfried (Hg.), 1998: *Umweltforschung quergedacht: Perspektiven integrativer Umweltforschung und -lehre.* Berlin u.a: Springer
- Dotto, Lydia/ Schiff, Harold, 1978: *The Ozone War.* Garden City, New York: Doubleday.
- Downie, David L., 1995: Road Map or False Trail? Evaluating the "Precedence" of the Ozone Regime as a Model and Strategy for Global Climate Change. *International Environmental Affairs* 7, 321-345.
- Edwards, Paul N./ Schneider, Stephen H., 2001: Self-Governance and Peer Review in Science-for Policy: The Case of the IPCC Second Assessment Report. in: Clark A. Miller and Paul N. Edwards (eds.): *Changing the Atmosphere. Expert Knowledge and Environmental Governance.* Cambridge/ London: MIT Press, 219-246.
- Friedrichs, Günter/ Bechmann, Gotthard, 1997: Zum Verhältnis von Natur- und Sozialwissenschaften in der Klimawirkungsforschung. in: Jürgen Kopfmüller und Reinhard Coenen

- (Hg.): *Risiko Klima. Der Treibhauseffekt als Herausforderung für Wissenschaft und Politik*. Frankfurt am Main/ New York: Campus, 75-118.
- Funtowicz, Silvio O./ Ravetz, Jerome R., 1993: Science for the post-normal age. *Futures* 25, 739-754.
- Gibbons, Michael/ Limoges, Camille/ Nowotny, Helga/ Schwartzman, Simon/ Scott, Peter/ Trow, Martin, 1994: *The New Production of Knowledge. The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*. London u.a.: Sage Publications.
- Gläser, Jochen, 2001: Modus 2a und Modus 2b. in: Gerd Bender (Hg.): *Neue Formen der Wissenserzeugung*. Frankfurt am Main: Campus, 83-100.
- Gräfrath, Bernd/ Huber, Renate/ Uhlemann, Brigitte, 1991: *Einheit, Interdisziplinarität, Komplementarität. Orientierungsprobleme der Wissenschaft heute*. Berlin, New York: de Gruyter.
- Grundmann, Reiner, 2001: *Transnationale Umweltpolitik zum Schutz der Ozonschicht. USA und Deutschland im Vergleich*. Frankfurt u.a.: Campus.
- Gieryn, Thomas F., 1995: Boundaries of Science. in: S. Jasanoff/ G. E. Markle/ J. C. Petersen/ T. Pinch: *Handbook of science and technology studies*. Thousand Oaks: Sage, 393-443.
- Gieryn, Thomas F., 1999: *Cultural Boundaries of Science: Credibility on the Line*. Chicago: University of Chicago Press.
- Guston, David H., 2001: Boundary Organizations in Environmental Policy and Science: An Introduction. *Science, Technology, and Human Values* 26, 399-408.
- Haas, Peter M., 1992: Banning chlorofluorocarbons: epistemic community efforts to protect stratospheric ozone. *International Organization* 46, 187-224.
- Hack, Lothar, 2001: "Ich habe da eine Theorie" oder: Neue Fokussierung von Kontext/en und Kompetenz/en. in: Gerd Bender (Hg.): *Neue Formen der Wissenserzeugung*. Frankfurt am Main: Campus, 23-56.
- Halfmann, Jost, 1980: *Innenansichten der Wissenschaft*, Frankfurt a.M.: Campus.
- Halfmann, Jost, 1984: *Die Entstehung der Mikroelektronik. Zur Produktion technischen Fortschritts*. Frankfurt am Main: Campus.
- Halfmann, Jost, 2002: Wissenschaft, Methode und Technik. Die Geltungsüberprüfung von wissenschaftlichem Wissen durch Technik, in: Christoph Engel, Jost Halfmann und Martin Schulte (Hg.): *Wissen, Nichtwissen, unsicheres Wissen. Disziplinäre und interdisziplinäre Annäherungen*. Baden-Baden: Nomos (im Erscheinen).
- Halfmann, Jost/ Japp, Klaus Peter (Hg.), 1990: *Risikante Entscheidungen und Katastrophententiale: Elemente einer soziologischen Risikoforschung*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Hohlfeld, Rainer, 1978: Praxisbezüge wissenschaftlicher Disziplinen. Das Beispiel der Krebsforschung. in: Gernot Böhme u.a.: *Die gesellschaftliche Orientierung des wissenschaftlichen Fortschritts. Starnberger Studien I*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 131-194.
- Hart, David M./ Victor, David G., 1993: Scientific Elites and the Making of US Policy for Climate Change Research, 1957-74. *Social Studies of Science* 23, 643-680.

- Heckhausen, Heinz, 1987: »Interdisziplinäre Forschung« zwischen Intra-, Multi- und Chimären-Disziplinarität. in: Jürgen Kocka (Hg.): *Interdisziplinarität. Praxis - Herausforderung - Ideologie*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 129-145.
- IPCC, 1996: *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Hg. von John Houghton. Cambridge. Cambridge University Press.
- IPCC, 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Hg. von John Houghton. Cambridge. Cambridge University Press.
- Kocka, Jürgen, (Hg.) 1987: *Interdisziplinarität. Praxis - Herausforderung - Ideologie*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Kopfmüller, J./ Coenen, R. (Hg.), 1997: *Risiko Klima*. Frankfurt u.a: Campus.
- Kowalok, Michael E., 1993: Research Lessons from Acid Rain, Ozone Depletion and Global Warming. *Environment* 35, 12-13.
- Krohn, Wolfgang/ Schäfer, Wolf, 1978: Ursprung und Struktur der Agrikulturchemie. in: Gernot Böhme u.a.: *Die gesellschaftliche Orientierung des wissenschaftlichen Fortschritts*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 23-68.
- Krohn, Wolfgang/ Weyer, Johannes, 1990: Die Gesellschaft als Labor: Risikotransformation und Risikokonstitution durch moderne Forschung. in: Jost Halfmann/ Klaus Japp (Hg.): *Risikante Entscheidungen und Katastrophenpotentiale: Elemente einer soziologischen Risikoforschung*. Opladen: Westdeutscher Verlag, 89-122.
- Kuhn, Thomas, 1967: *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Kwa, Chunglin, 2001: The Rise and Fall of Weather Modification: Changes in American Attitudes Toward Technology, Nature, and Society. in: Clark A. Miller and Paul N. Edwards: *Changing the Atmosphere. Expert Knowledge and Environmental Governance*. Cambridge and London: MIT Press, 135-166.
- Labitzke, Karin G., 1999: *Die Stratosphäre. Phänomene, Geschichte, Relevanz*. Berlin u.a.: Springer
- Laitko, Hubert, 1999: Disziplingeschichte und Disziplinverständnis. in: Volker Peckhaus/ Christian Thiel (Hg.): *Disziplinen im Kontext. Perspektiven einer Disziplinengeschichtsschreibung*. München: Wilhelm Fink Verlag, 21-60.
- Lakatos, Imre, 1975: Kritischer Rationalismus und die Methodologie wissenschaftlicher Forschungsprogramme. in: Peter Weingart (Hg.): *Wissenschaftsforschung*. Frankfurt am Main: Campus, 91-132.
- Latour, Bruno, 1988: *The Pasteurization of France*. Cambridge: Harvard University Press.
- Latour, Bruno/ Woolgar, Steve, 1986: *Laboratory Life. The Construction of Scientific Facts*. Princetown: Princetown University Press.
- Laudan, Larry, 1977: *Progress and Its Problems. Towards a Theory of Scientific Growth*. Berkeley/ Los Angeles/ London: University of California Press.
- Laudan, Larry, 1981: A Problem-Solving Approach to Scientific Progress. in: Ian Hacking (ed.): *Scientific Revolutions*. New York: Oxford University Press, 144-156.
- Lenoir, Timothy, 1992: *Politik im Tempel der Wissenschaft. Forschung und Machtausübung im deutschen Kaiserreich*. Frankfurt am Main/ New York: Campus.
- Luhmann, Niklas, 1990: *Die Wissenschaft der Gesellschaft*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.

- Maasen, Sabine/ Winterhager, Matthias 2001: Introduction. Science Studies. Probing the Dynamics of Science. in: Sabine Maasen/ Matthias Winterhager (Hg.): *Science Studies. Probing the Dynamics of Scientific Knowledge*. Bielefeld: transcript.
- Mainzer, Klaus, 1979: Entwicklungsfaktoren der Informatik in der Bundesrepublik. in: Wolfgang van den Daele/ Wolfgang, Krohn/ Peter Weingart (Hg.): *Geplante Forschung*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 117-180.
- McElroy, Michael B., 1995: Scientific Studies and Political Reactions. *Academic Questions* 8/4, 18-23.
- Mégie, Gérard, 1989: *Ozone. Atmosphäre aus dem Gleichgewicht*. Berlin u.a: Springer-Verlag.
- Mullins, N.C., 1974: Die Entwicklung eines wissenschaftlichen Spezialgebietes: die Phagen-Gruppe und die Ursprünge der Molekularbiologie. in: Weingart, Peter (Hg.): *Wissenschaftssoziologie 2*. Frankfurt am Main: Athenäum Verlag, 184-222.
- NASA, 1979: *The Stratosphere: Present and Future*. ed. by. R.D. Hudson and E.I. Reed. NASA: Scientific and Technical Information Branch.
- Nowotny, Helga/ Scott, Peter/ Gibbons, Michael, 2001: *Re-Thinking Science. Knowledge and the Public in an Age of Uncertainty*. Cambridge: Polity Press.
- Popper, Karl R., 1969: Die Logik der Sozialwissenschaften, in: Theodor W. Adorno u. a.: *Der Positivismusstreit in der deutschen Soziologie*. Neuwied: Luchterhand, 103-123.
- Quine, Willard van Orman, 1979: Zwei Dogmen des Empirismus. in: Willard Van Orman Quine: *Von einem logischen Standpunkt. Neun logisch-philosophische Essays*. Frankfurt a.M.: Ullstein, 27-50.
- Roan, Sharon, 1989: *Ozone Crises. The 15 Year Evolution of a Sudden Global Emergency*. New York u.a: Wiley.
- Rosenbloom, Joshua, 1981: The Politics of the American SST Programme: Origin, Opposition and Termination. *Social Studies of Science* 11, 403-423.
- Schäfer, Wolf, 1978: Normative Finalisierung. Eine Perspektive. in: Gernot Böhme u.a.: *Die gesellschaftliche Orientierung des wissenschaftlichen Fortschritts. Starnberger Studien I*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 377-415.
- Schneider, Stephen H., 1992: Change Research: Structural Constraints and the Potential For Change. An Editorial. *Climate Change* 20, vii-x.
- Schrope, Mark 2000: Successes in fight to save ozone layer could close holes by 2050. *Nature* 408, 627.
- Stehr, Nico, 1994: *Arbeit, Eigentum und Wissen. Zur Theorie der Wissensgesellschaften*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Stichweh, Rudolf, 1988: Differenzierung der Wissenschaft. in: Renate Mayntz et al., *Differenzierung und Verselbständigung*. Frankfurt am Main: Campus, 45-115.
- UNEP, 2000: *Action on Ozone. 2000 Edition*. ed. by UNEP, Ozone Secretariat, erhältlich unter [www.unep.org/ozone](http://www.unep.org/ozone).
- van den Daele, Wolfgang, 1987: Der Traum von der ‚alternativen‘ Wissenschaft. *Zeitschrift für Soziologie* 16: 403-418.

- van den Daele, Wolfgang/ Krohn, Wolfgang/ Weingart, Peter, 1979a: *Geplante Forschung. Vergleichende Studien über den Einfluß politischer Programme auf die Wissenschaftsentwicklung*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- van den Daele, Wolfgang/ Krohn, Wolfgang/ Weingart, Peter, 1979b: *Die politische Steuerung der wissenschaftlichen Entwicklung*. in: Wolfgang van den Daele u.a. 1979: *Geplante Forschung. Vergleichende Studien über den Einfluß politischer Programme auf die Wissenschaftsentwicklung*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 11-64.
- Weingart, Peter, 1987: Interdisziplinarität als List der Institution. in: Jürgen Kocka: *Interdisziplinarität. Praxis - Herausforderung - Ideologie*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 159-166.
- Weingart, Peter, 1997: *Neue Formen der Wissensproduktion: Fakt, Fiktion und Mode*. Bielefeld: IWT Paper 15.
- Weingart, Peter, 2001: *Die Stunde der Wahrheit? Zum Verhältnis der Wissenschaft zu Politik, Wirtschaft und Medien in der Wissensgesellschaft*. Weilerswist: Velbrück Wissenschaft.
- Whitley, Richard (ed.), 1974: *Social Processes of Scientific Development*. London/Boston: Routledge & Kegan Paul.
- WMO, 1988: *Report of the International Ozone Trend Panel – 1988*. WMO, Global Ozone Research and Monitoring Project–Report No. 18.
- WMO, 1989: *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1989*. WMO, Global Ozone Research and Monitoring Project–Report No. 20.
- WMO, 1992: *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1991*. WMO, Global Ozone Research and Monitoring Project–Report No. 25.
- WMO, 1994: *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1994*. WMO, Global Ozone Research and Monitoring Project–Report No. 37.
- WMO, 1998: *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1998*. WMO, Global Ozone Research and Monitoring Project–Report No. 44. Die Executive Summary findet sich unter [www.al.noaa.gov/WWWHD/pubdocs/Assessment98.html](http://www.al.noaa.gov/WWWHD/pubdocs/Assessment98.html)
- Woolgar, S. W., 1976: The Identification and Definition of Scientific Collectivities. in: Gerard Lemaine, Roy MacLeod, Michael Mulkay, Peter Weingart: *Perspectives on the Emergence of Scientific Disciplines*. Mouton u.a. : Aldine, 23-246.
- Wynne, B., 1991: Knowledge in Context. *Science, Technology and Human Value* 16, 111-121.
- Zehr, Stephen C., 1994: Accounting for the Ozone Hole: Scientific Representations of an Anomaly and Prior Incorrect Claims in Public Settings. *Sociological Quarterly* 35, 603-619.

## Anhang 1: Vercodung der Institutionen

### 1. Universitäten

Bezeichnung enthält den Namen Hochschule, University, Universität, Université, Università, ..., ... *Institutes of Technology, ... School*

### 2. öffentliche Forschungsinstitute (außer Meteorologie und Militär)

A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory (Russia), Academia Sinica (China), Academy of Sciences (Russia), Aerological Observatory (Japan), Alfred Wegener Institute (Germany), American Institute of Aeronautics and Astronautics (US), Argonne National Laboratory, (Irland), Association of Scientific Unions (Yugoslavia), Atmospheric Environment Service (Canada), Australian Radiation Laboratory (Australia), Belgium Institute for Space Aeronomy (Belgium), Boyce Thompson Institute for Plant Research (US), British Antarctic Survey (UK), Central Aerological Observatory 2 Russia, Central Aerological Observatory (Russia), Centre National de la Recherche Scientifique (France), Centre of Aerology (Poland), Centro Austral de Investigaciones Cientificas (CADIC, Argentina), CIRES (US), Consiglio Nazionale della Ricerche Istituto di Fisica dell'Atmosfera (Italy), CSIRO Division of Atmospheric Research (Australia), CSIRO Telecommunications and Industrial Physics (Australia), Czech Hydrometeorological Institute (Czech Republic), DSIR Physics and Engineering Laboratory (New Zealand), Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (Germany), Environmental Defense Fund (US), European Ozone Research Coordinating Unit (UK), FF Research Centre Tokyo (Japan), Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (Germany), Forschungszentrum Jülich (Germany), Fraunhofer Institute (Germany) Harwell Laboratory/AEA Environment and Energy (UK), Hungarian Academy of Sciences (Hungary), Institut d'Aeronomie Spatiale de Belgique (Belgium), Institute for Advanced Studies (US), Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre (Germany), Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht (IMAU, The Netherlands), Institute of Atmospheric Physics (Russia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, Brazil), Instituto Venezolano de Investigaciones Cientificas (IVIC, Venezuela), IROF-CNR (Italy), Israel Institute for Biological Research (Israel), Istituto di Ricrea sulle Onde Elettromagnetiche del Consiglio Nazionale (Italy), Korea Aerospace Research Institute (Republic of Korea), Laboratoire d'Optique Atmosphérique (France), Lamont Geophysical Observatory (US), Lawrence Livermore Lab. (US), Max-Planck-Institute (Germany), National Institute of Water & Atmospheric Research (New Zealand), National Institute of Standards and Technology (US), National Institute for Environmental Studies (Japan), National Institute of Public Health and the Environment (RIVM, The Netherlands), National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd. (NIWA, New Zealand), National Physical Laboratory (US), National Physics Laboratory (India), National Resources Defense Council (US), National Science Foundation (US), Naval Research Laboratory (US), Institute of Atmospheric Physics (China), Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO, The Netherlands), Norsk Institutt for Luftforskning (NILU, Norway), Office National d'Etudes et de Recherches Air (France), Planetario y Observatorio de Rosario (Argentina), Polish Academy of Sciences (Poland), Riso National Laboratory (Denmark), Russian State Hydrometeorological Institute (Russia), Rutherford and Appleton Laboratories (UK), SERC Rutherford Appleton Laboratory (UK), Smithsonian Environmental Research Center (US), Stanford Research Institute (US), The Urban Institute (US), TNO Institute of Environmental Sciences (The Netherlands)

### 3. NASA (US)

California Institute of Technology – Jet Propulsion Laboratory, NASA Ames Research Center, NASA Goddard Institute for Space Studies, NASA Goddard Space Flight Center, NASA Headquarters, NASA Langley Research Center, NASA, NASA Lewis Research Center, Johnson Space Center

### 4. NOAA (US)

NOAA, NOAA Aeronomy Laboratory, NOAA Air Resources Laboratory, NOAA Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, NOAA Climate Analysis Center, NOAA Climate Monitoring and Diagnostics Labor, NOAA Environmental Research Laboratory, NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, NOAA National Environmental Satellite Program, NOAA NWS Climate Prediction Center, NOAA Office of Global Programs, NOAA, Environmental Research Laboratory, NOAA National Weather Service

### 5. Meteorologie

Air Weather Service (US), American Meteorology Society (US), Chinese Academy of Meteorological Sciences (China), Danish Meteorological Institute (Denmark), Deutscher Wetterdienst (Germany), EERM Centre

National de Recherches Météorologiques (France), Egyptian Meteorological Authority (Egypt), Finnish Meteorological Institute (Finland), Institut Royal Météorologique de Belgique (Belgium), Instituto de Meteorologia (Cuba), Japan Meteorological Agency (Japan), Kenya Meteorological Department (Kenya), Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI, The Netherlands), Météo-France (France), Meteorological Research Institute (Japan), Meteorological Observatory Hohenpeißenberg (Germany), Meteorological Office (UK), Meteorological Service (New Zealand), Meteorologie Consult (Germany), National Meteorological Center (US), Weather Bureau (South Africa),

#### 6. Instrumente und Softwarehersteller

AlliedSignal Inc. (US), Biospherical Instruments, Inc. (US), Computational Physics, Inc. (US), Hughes STX (US), IDEA Corporation (US), Research and Data Systems Corporation (US), Panametrics Inc. (US), SASC Technologies Inc. (US), Science Applications International Corporation (US), Sigma Data Services Corporation (US), Software Corporation of America (US), Solvay S.A. (Belgium), Space Applications Corporation (US), Sun Photometer Atmospheric Network (US), Zhenjiang Rietschle Machinery Company, Ltd. (China)

#### 7. Private Forschungsinstitute

Aerochem Research Lab. Inc (US), Aerodyne Research, Inc. (US), AT&T Bell Laboratories (US), Atmospheric and Environmental Research Inc. (US), AVCO-Everett Research Lab. (US), Contral Data Corporation (US), Dynatrend Inc. (US), Industrial Research Limited (New Zealand), M & D Consulting (Germany), NorthWest Research Associates, Inc. (US), Ptersa Environmental Consultants (South Africa), R&D Associated, Marina Del Rey (US), RAND Corporation (US), Raytheon STX Inc. (US), Science and Policy Associates (US), SRI International (US), STC, Hampton (US), Tri-Cal Research Division (US)

#### 8. NCAR (US)

#### 9. politische Organisationen, Regierungen, UN-Organisationen

Air Directorate (Netherlands), Comm. of European Communities (Belgium), Department of Energy (DOE, US), Department of Transportation (DOT, US), Department of Science and Industrial Research (India), Environmental Protection Agency (EPA, US), Federal Aviation Administration (US), National Bureau of Standards (US), The World Bank, UK Department of the Environment (UK), UNEP, WMO

#### 10. FCKW-Industrie

Allied Chemical Corporation (US), E.I. du Pont de Nemours Company (US), ICI Chemicals & Polymers Ltd.

#### 11. Luftfahrtindustrie

ARO Inc. (US), Block Engineering Inc. (US), Boeing (US), Bristol Engine Division (US), British Aircraft Corporation (US), European Aerospace Corporation, Ford Motor Company (US), General Electrics, Lockheed, McDonnals-Douglass (US), Pratt & Whitney Aircraft Division (US), Pressman Enterprises (US), Rolls-Royce (US), Societe Nationale Industrielle Aerospatiale, TRW Systems (US), TWA (US), United Aircraft Corporation (US)

#### 12. Militär

Balistics Research Labs. (US), Institute for Defense Analyses (US), USAF

#### Zusammenfassung in Tabelle 2

universitäre Forschung/ NCAR	→ 1. und 8.
nichtuniversitäre Forschung	→ 2. und 7.
meteorologische Institute	→ 5.
NASA, NOAA	→ 3. und 4.
Sonstige	→ 6., 9., 10., 11. und 12.